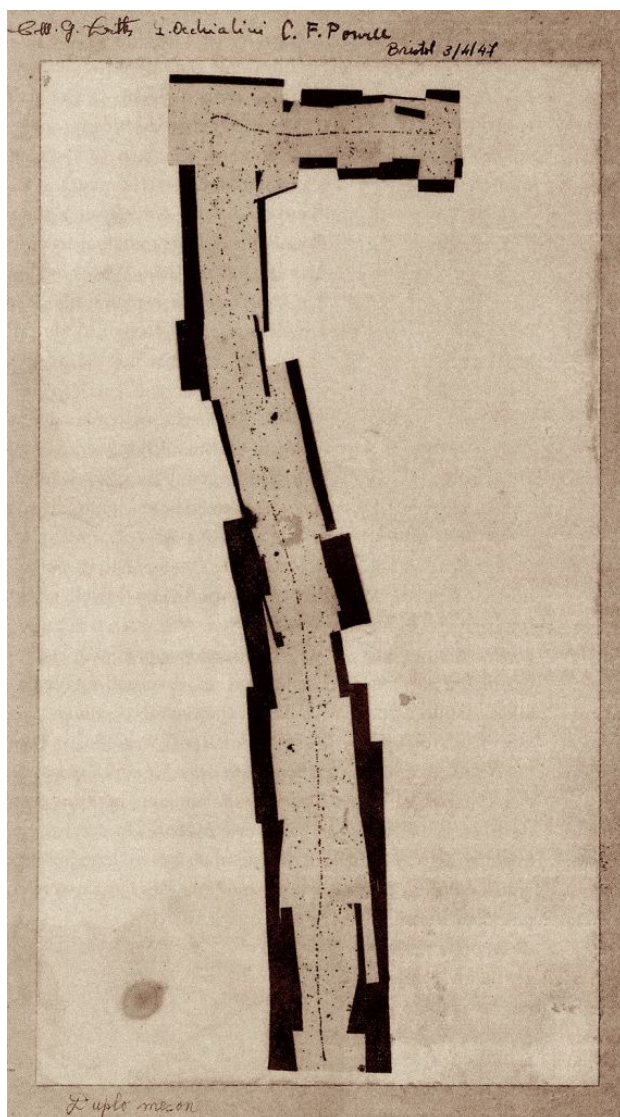


... UM MUNDO INTEIRAMENTE NOVO SE REVELOU: A TÉCNICA DAS EMULSÕES NUCLEARES

Cássio Leite Vieira

**PROGRAMA INTERDISCIPLINAR DE HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E
EPISTEMOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

2009



**... UM MUNDO INTEIRAMENTE NOVO SE REVELOU:
A TÉCNICA DAS EMULSÕES NUCLEARES**

Cássio Leite Vieira

**TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE HISTÓRIA DAS
CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO
GRAU DE DOUTOR EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E
EPISTEMOLOGIA.**

Aprovada por:

Prof. Antonio Augusto Passos Videira, PhD.

Prof. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras, PhD.

Profa. Martha Cecília Bustamante, PhD

Prof. Olival Freire Júnior, PhD.

Prof. Edison Hiroyuki Shibuya, PhD.

Prof. Odilon Antônio Paula Tavares, PhD.

Prof. João R. Torres de Mello Neto, PhD.

LEITE VIEIRA, CÁSSIO

**... Um mundo inteiramente novo se revelou:
a técnica das emulsões nucleares**

[Rio de Janeiro] 2009

**XIII, 287 p. 29,7 cm (HCTE/UFRJ, D.Sc.,
História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia, 2009)**

**Tese - Universidade Federal do Rio de
Janeiro, HCTE**

**1. História da Técnica de Emulsões Nucleares. 2. História da
Física. 3. História da Física no
Brasil**

I. HCTE/UFRJ II. Título (série)

“As afirmações mais poderosas da ciência não são feitas com palavras.”

Science and Engineering Visualization Challenge¹

“A imagem é mais que ideia.

É vórtice ou aglomerado de ideias fundidas e está dotada de energia.”

Ezra Pound²

“Imagens são a matéria-prima da ciência e importante modo por meio do qual a ciência tem se definido (e sido definida ou percebida por outros) por centenas de anos.”

Jennifer Tucker³

“Detetores são, na verdade, uma maneira de se expressar. [Servem] para dizer, de algum modo, o que você tem em suas entranhas. No caso dos pintores, é a pintura. No caso dos escultores, a escultura. No caso dos físicos experimentais, são os detectores. O detector é a imagem da pessoa que o desenhou.”

Carlo Rubbia⁴

¹ Lema do concurso *Science and Engineering Visualization Challenge*, criado pela revista *Science* e pela Fundação Nacional para a Ciência (NSF).

² POUND (1973, p. 374). A escolha desse autor não implica concordância com suas ideias políticas.

³ TUCKER (2006, p. 114).

⁴ Prêmio Nobel de Física de 1984. Citado em ALVAREZ (1985, p. 1).

**Aos pesquisadores e técnicos que trabalha(ram)
com o método das emulsões nucleares no Brasil.**

Ao CBPF, no seu 60º aniversário.

Resumo da Tese apresentada ao Programa de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

... UM MUNDO INTEIRAMENTE NOVO SE REVELOU:
A TÉCNICA DAS EMULSÕES NUCLEARES

Cássio Leite Vieira

Outubro/2009

Orientador: Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras

Programa: História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia

O principal objetivo desta tese é descrever e analisar a história de parte da física experimental do século passado, tendo como eixo condutor para isso a chamada técnica das emulsões nucleares, empregada, nos últimos 100 anos, por físicos de diversos países – Brasil, inclusive – e de áreas como a da física nuclear, de raios cósmicos e de partículas.

Abstract of Thesis presented to the Program of History of Science, Technique, and Epistemology from the Federal University of Rio de Janeiro as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.).

... A NEW WORLD HAD BEEN REVEALED:
THE NUCLEAR EMULSION TECHNIQUE

Cássio Leite Vieira

October/2009

Supervisor: Antonio Augusto Passos Videira, PhD

Co-supervisor: Carlos Alberto Lombardi Filguerias, PhD

Department: Program of History of Science and Technique, and Epistemology

The main aim of this thesis is to describe and analyze the history of part of the last century's experimental physics, having as a central axis for this the so-called nuclear emulsion technique, employed, throughout the last 100 years, by physicists from several countries – including Brazil – and from areas like nuclear, cosmic-ray and particle physics.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	xiii

CAPÍTULO 1

DISCUSSÕES PRELIMINARES

Introdução.....	1
A técnica e a autorradiografia.....	6
Breves palavras sobre o título desta tese.....	10
Por que uma tese sobre esse tema no Brasil?.....	11
Biografia de um objeto.....	13
Sobre a periodização, a estrutura e o modelo.....	17
As emulsões e as detecções do méson pi.....	20
Sobre o segundo capítulo.....	21
Sobre a linguagem e a língua deste trabalho.....	22
A internet como instrumento do historiador (da ciência).....	23
Definição de história?.....	24

CAPÍTULO 2

RETRATO DA FOTOGRAFIA QUANDO JOVEM

Introdução.....	27
Grande angular: panorama instantâneo da fotografia.....	30
A luz aprisionada: a câmara escura e seus princípios físicos.....	36
Sinfonia submolecular: a química fixa a imagem.....	43
Base de sustentação: do betume ao celuloide.....	51
Em busca do meio perdido: gelatina e padronização.....	54
Conclusão.....	55

CAPÍTULO 3

AS TRAJETÓRIAS DA RADIOATIVIDADE

Introdução.....	60
Químicos e a essência da fotografia: apropriação de terreno vazio?.....	60
Herança do passado: detector de caráter 'qualitativo'.....	61

Mügge e Scheffer: olhar pela ocular.....	64
Kinoshita e a técnica: uma alfa, um grão.....	69
Mayer e Sahni: espalhamento em folhas e câmaras.....	72
Reinganum e Michl: 'contaminação' e precisão.....	74
Conclusão.....	76

CAPÍTULO 4

CAIXA-PRETA REVELADA

Introdução.....	81
Essência latente: o acaso desperta a luz adormecida?.....	81
Um século e meio para se revelar: a prata metálica vem à luz.....	84
Hurter e Driffield: como obter bons negativos.....	86
Mees, Sheppard e Hodgson: centros de revelação e sensibilidade.....	87
Gurney e Mott: o <i>quantum</i> encontra a imagem latente.....	88
Os deslocamentos de Mitchell: imperfeições na rede.....	90
Conclusão.....	90

CAPÍTULO 5

OS PRÓTONS REVELAM SUAS IMAGENS

Introdução.....	94
Cambridge <i>versus</i> Viena: o cenário da disputa.....	94
Marietta Blau: a retomada da técnica.....	96
Amarelo de pinacriptol: sem ruído de fundo.....	100
Myssowsky e Tschishow: espessura e receita.....	102
Conclusão.....	104

CAPÍTULO 6

CETICISMO SOBRE UM RECÉM-NASCIDO

Introdução.....	106
Ordem na casa: as proposições de Zhdanov.....	106
Explosões nucleares: estrelas de desintegração.....	107
Os limites de Taylor: a imprecisão do método.....	109
As chapas carregadas: Goldhaber e Taylor.....	111
A fotografia enfrenta a câmara: as comparações de Powell.....	117

Conclusão.....	118

CAPÍTULO 7

O MÉSOTRON ENTRA EM CENA

Introdução.....	121
A natureza dos raios cósmicos: de fótons a partículas com carga.....	123
Mésotron: união de duas comunidades.....	125
Dez anos de controvérsia: um ou dois mésons?.....	127
Wataghin e Janossy: produção múltipla ou plural?.....	129
Conclusão.....	130

CAPÍTULO 8

RUMO AO AMADURECIMENTO E AUGE

Introdução.....	133
O painel de emulsões: indústria, academia e bomba.....	134
O método e o projeto Manhattan: tedioso na aplicação.....	138
Lentes e microscópios: breve interação com a indústria.....	139
Conclusão.....	143

CAPÍTULO 9

A DETECÇÃO NATURAL DO MÉSON π

Introdução.....	145
O método vai a teste: Powell, Occhiliani, Livesey e Chilton.....	146
Calibração: citada na física, desconhecida pela história.....	148
Competição nas alturas: Bristol <i>versus</i> Imperial College.....	152
Chapas com bórax: a retomada de algo ‘desconhecido’.....	156
NT4 e G5: tornando visíveis mundos que não existiam.....	158
Conclusão.....	160

CAPÍTULO 10

A PRODUÇÃO ARTIFICIAL DO MÉSON π

Introdução.....	162
Mensageiros de Bohr: o que está acontecendo em Bristol?.....	164

Olhar treinado ao microscópio: mésons à vista.....	170
Inglaterra-Estados Unidos: receitas vêm e vão.....	172
Máquinas <i>versus</i> natureza: contagem de grãos na berlinda.....	176
Estatística e eventos de ouro: estatística de eventos de ouro?.....	181
Fotoprodução de píons: o fim das chapas de McMillan?.....	184
Conclusão.....	187

CAPÍTULO 11

A DÉCADA DO ENTUSIASMO

Introdução.....	191
Novo estatuto: de detector a instrumento de medida.....	191
As emulsões espessas: novos métodos de revelação.....	196
Fios, chumbo e raios X: a economia em jogo.....	198
Blau em Brookhaven: rumo à automatização.....	200
Balões, foguetes e satélites: emulsões ao espaço.....	203
Conclusão.....	204

CAPÍTULO 12

REFÚGIO DE UMA CULTURA MATERIAL

Introdução.....	211
Imagem na era das máquinas: a detecção do antipróton.....	212
Rumo às bolhas: por que um detector gigante e caro?.....	218
‘Dialética’ da técnica: sua força, sua fraqueza.....	221
Chorus e Opera: a desumanização da varredura.....	225
Conclusão.....	227

CAPÍTULO 13

CONCLUSÕES

Introdução.....	230
No Brasil: a posse de um detector barato e simples.....	232
Tolstoy <i>versus</i> Poincaré: que concepção de história?.....	233
Conceitos latentes: reinvenções e redescobertas.....	234
O modelo galisoniano se aplica ao caso brasileiro?.....	235
Sem o glamour da teoria: história de laboratório.....	239

ARQUIVOS CONSULTADOS.....	244
LISTA DE COMUNICAÇÕES PESSOAIS.....	245
PADRONIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	248
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	250

AGRADECIMENTOS

Li, certa vez, que tese é trabalho conjunto⁵. Palavras sábias e, a meu ver, apropriadas para esta ocasião. Não se faz tese acadêmica sem a ajuda de outros, é fato. Portanto, ela é resultado de colaboração de muitos. Em certo sentido, cabe, portanto, àquele que a assina apenas reunir e sistematizar dados que lhe foram cedidos por artigos, documentos, entrevistas, comunicações pessoais e, em nosso caso, imagens. Compete ao redator final salpicar, aqui e ali, sínteses e análises extraídas dessas fontes, resultado da reflexão emprestada ao material investigado, depois que o assunto lhe amadurece na memória.

Posto isto, nada mais justo que citar aqueles que ajudaram nesta longa empreitada, de anos, fazendo das próximas páginas as mais prazerosas (e, talvez, importantes) desta tese.

Tomo aqui a liberdade de pedir emprestada passagem da tese de mestrado⁶ do Prof. Dr. Odilon Antônio Paula Tavares, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro (RJ), grande especialista na técnica de emulsões nucleares e a quem, antecipadamente, agradeço a ajuda e o incentivo recebidos, que só podemos qualificar com o adjetivo inestimáveis.

Eis o trecho:

"Agradecer a quem nos beneficiou não é só dever de justiça, é também uma riqueza que se incorpora à nossa vida. Pois agradecer é reviver aqueles encontros, aquelas lições, auxílios que nos deram da solidariedade humana uma ideia confortadora e feliz."

‘Ajuda inestimável’ é expressão que deve ser aplicada a outro entusiasta deste trabalho, o Prof. Dr. Edison Shibuya, do Instituto de Física Gleb Wataghin, da Universidade Estadual de Campinas (IFGW/Unicamp), que nos cedeu graciosamente seus vastos conhecimentos sobre raios cósmicos e sua paciência ilimitada, para destrinchar detalhes da Colaboração Brasil-Japão (CBJ), de sua extensa amizade com César Lattes e de seu igualmente impressionante conhecimento sobre emulsões nucleares;

– Ao Prof. Dr. Alfredo Marques, pelas inúmeras conversas – muitas delas informais, nos cantos dos corredores do CBPF – sobre os mais variados temas que fazem parte de

⁵ MOURA (2006, s/p).

⁶ TAVARES (1973, p. vii)

seu amplo cabedal de cultura geral e história, e por nos permitir dele extrair análises valiosas sobre a história das detecções do méson pi, de César Lattes, do CBPF;

– Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Lombardi Filgueiras, do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, meu coorientador, pelas competentes aulas e entusiasmadas discussões sobre história da ciência, bem como por seu tempo e sua paciência em digladiar teimosas passagens em latim desta tese e – mais importante – pelo entusiasmo e pela competência com que vem liderando o programa de pós-graduação do HCTE/UFRJ – estou certo de que esse trabalho merece nosso profundo respeito;

– À Profa. Dra. Anna Maria Freire Endler, do CBPF, pelas entrevistas sobre a CBJ e por outros momentos igualmente importantes sobre sua carreira e o emprego de detectores visuais na física de raios cósmicos e de partículas elementares;

– À Profa. Dra. Maria Inez Turazzi, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (Iphan), pelas valorosas sugestões bibliográficas sobre a história da fotografia (entre elas, o primoroso *Pioneers of Photography – their achievements in science and technology*⁷), tema do primeiro capítulo desta tese, bem como pelas indicações de livros da Biblioteca de Obras Raras da UFRJ;

– Ao Prof. Dr. Leonardo Gariboldi, da Universidade de Milão, por tão gentilmente nos ceder sua tese de doutorado sobre o físico italiano Giuseppe Occhialini e nos dar acesso ao material do acervo desse físico tão importante para o desenvolvimento da ciência no Brasil;

– Ao Prof. Dr. Ugo Camerini, da Universidade de Wisconsin (Estados Unidos), pela entrevista sobre “os velhos e bons tempos”;

– Ao Prof. Dr. Donald Perkins, da Universidade de Oxford, pelas entrevistas sobre a técnica de emulsões nucleares e sobre fatos importantes da história da física de partículas do século passado;

– Ao Prof. Dr. Jack Steinberger, pelas entrevistas, pelos esclarecimentos sobre fatos ocorridos no Laboratório de Radiação de Berkeley relativos à fotoprodução de mésons e por seu interesse neste trabalho;

– Ao Prof. Dr. Georges Charpak, pela gentileza em responder prontamente a pedido de minha parte;

– Ao Prof. Dr. Olival Freire Junior, pelo envio de seus trabalhos sobre história da física e em especial por artigo sobre a escola japonesa de física de partículas;⁸

⁷ OSTROFF (1987).

⁸ STALEY (2001).

- Ao Prof. Dr Amós Troper, do CBPF, por dividir comigo, em longas e prazerosas conversas, seu vasto e invejável conhecimento sobre física, história da ciência, música, pintura, poesia, literatura, política, religião...;
- Ao Prof. Dr. Carlos Ourivio Escobar, do IFGW, da Unicamp, por compartilhar seu vasto conhecimento teórico e histórico sobre a física de partículas e de raios cósmicos;
- Ao Prof. Dr. Ronald Cintra Shellard, do CBPF, por ter despertado minha atenção e curiosidade para a física dos raios cósmicos e por estar sempre disposto a discutir qualquer questão relativa a esse tema;
- Ao Prof. Dr. Finn Aaserud e à Dra. Felicity Pors, ambos do Arquivo Niels Bohr (Dinamarca), pela gentileza em me esclarecer detalhes sobre a passagem de César Lattes por Copenhague no final de 1947 e pelo envio de documento relativo ao tema;
- Ao físico e amigo britânico Joe Olmi, pelas longas e agradáveis discussões sobre física e assuntos correlatos e não correlatos;
- À arquivologista e mestre em história Aracy Lisbôa, do Arquivo de História da Ciência do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/MCT), pela busca e reprodução de documentos importantes para este trabalho;
- Às bibliotecárias Lúcia Lino e Eloisa Helena Pinto de Almeida, ambas do Serviço de Biblioteca e Informação Científica do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/MCT), pela busca de artigos por meio do sistema Comut;
- À bibliotecária Maria Cristina de Souza Barreto, da Biblioteca de Obras Raras, pela feliz notícia de que a tese 'Física e Fotografia', de A. J. Nunes da Costa, constava desse estupendo acervo histórico;
- À Profa. Esperanza Verduzco Ríos, da Escola de Engenharia Mecânica e Elétrica do Instituto Politécnico Nacional (México), pelo gracioso envio da tradução para o espanhol do livro sobre a vida de Marietta Blau;
- Ao Prof. Dr. Feliciano Sanchez, Diretor do Centro Latino-Americano de Física (CLAF), no Rio de Janeiro, por ter nos indicado a iniciativa mexicana de homenagem a Blau e por ter intermediado o envio do livro;
- À comunicóloga Ethel Kaufmann, minha colega de pós-graduação no HCTE/UFRJ, por sugerir referência (para mim, desconhecida) relativa a Lattes, e ao autor desse trabalho, Luiz Felipe Nicolini Nogueira, do Centro Universitário FIEO de Pesquisa (SP), pelo gentil envio desse material;
- Ao Dr. Peter Sansom, da Harman Technology Ltd. (ex-Ilford Ltd.), pela presteza com que sempre respondeu às minhas perguntas e pelo gentil envio da valiosa documentação da então Ilford Ltd. referente ao carregamento das emulsões com boro;

- Ao Prof. Dr. José Helayël Neto, do CBPF, por nos chamar a atenção sobre artigo de David J. Gross⁹ no qual se discute a contribuição de Oskar Klein para a teoria de calibre em encontro em Varsóvia em 1938;
- Ao Prof. Dr. Ívano Damião Soares, por ter nos lembrado de *Os Quatro Quartetos*, de T. S. Eliot, obra da qual encontramos soberba e poética ‘definição’ de história;
- Ao amigo e músico Roberto Hekel Tavares (*in memoriam*), pela amizade desinteressada e pelos momentos felizes nos palcos;
- Ao Prof. Dr. Ildeu de Castro Moreira, do Instituto de Física da UFRJ, por seu constante entusiasmo sobre a história da ciência e a divulgação científica, bem como pelas inúmeras conversas sobre o desenvolvimento da física no Brasil e no mundo;
- Ao Prof. Dr. Rodney Hillier e à Profa. Dra. Rosemary Fowler (née Brown), da Universidade de Bristol (Inglaterra), pela atenção que nos dispensaram e pelas entrevistas que nos concederam, no início de 1997, em nossas duas visitas à cidade, no ano do 50º aniversário da chamada produção natural do méson pi, em 1997;
- À Biblioteca H. H. Wills Memorial, por ter nos permitido o acesso à valiosa documentação sob sua guarda, bem como a permissão de cópia do caderno de anotações (*notebook*) de Lattes, documento que revela muito sobre os métodos empregados por esse então jovem físico brasileiro para desvendar as propriedades do méson pi;
- Ao Prof. Dr. Jesus de Paula Assis, pela gentil cessão dos originais em papel e pelas gravações da última grande entrevista dada por Lattes, que resultou em livro sob sua organização;¹⁰
- Ao colega jornalista e mestre pelo HCTE Bernardo Esteves, do Instituto Ciência Hoje, pela gentil cessão de cópias das edições do suplemento ‘Ciência para Todos’, de *A Manhã*; *A Noite*; *Folha da Manhã*; *O Estado de São Paulo*; e *O Jornal*, com as notícias sobre as detecções do méson pi na Inglaterra e nos Estados Unidos; bem como pela tradução para o português de trechos escritos em francês;
- Ao Prof. Francis Ring, da Universidade de Glamorgan (Reino Unido), e Colin Harding, do Museu Nacional de Mídia (Reino Unido), e pelo gentil envio de importante revisão sobre emulsões nucleares assinadas pelo químico Cecil Waller, da então Ilford Ltd.;
- À física brasileira Carolina Cronemberger, então concluindo seu doutorado, pelo igualmente gentil envio de revisão publicada em periódico francês;
- Ao Prof. Dr. Reese Jenkins, da Universidade Rutgers (Estados Unidos), por sua gentileza em nos indicar fontes bibliográficas e por seu interesse no tema desta tese;

⁹ GROSS (1994).

¹⁰ ASSIS (2001)

– Ao Dr. Tadaaki Tani, da Fuji Photo Film, do Japão, pelo envio de seus artigos, bem como a indicação de capítulo de seu livro¹¹, sobre as teorias atuais sobre os mecanismos de formação da imagem latente, principalmente aquelas que surgiram depois dos trabalhos de Gurney e Mott¹², bem como Mitchell;¹³

– À Profa. Dra. Carola Dobrigkeit Chinellato, do Instituto de Física Gleb Wataghin, da Universidade Estadual de Campinas (IFGW/Unicamp), por ter nos enviado documentos sobre a vida e obra de Lattes;

– Ao Sr. Reinaldo Delgado, responsável pelo excelente *blog* 'Navios e Navegadores', as informações cruciais sobre o cargueiro 'Saint Rosário', que levou Lattes do Brasil à Europa em 1946;

– Ao Prof. Dr. Henrique Lins de Barros, do CBPF, pela localização de informações sobre o avião que traria Lattes ao Brasil em 1947 e caiu nas proximidades de Dacar;

– A Maria Aparecida de Oliveira Pádua e José Ramalho Nery, da Coordenação de Documentação e Informação Científica, do CBPF, respectivamente, pela gentil cessão da fita de vídeo com as imagens do encontro que comemorou os 80 anos da Profa. Neusa Amato, em 17 de dezembro de 2006, e pela obtenção de artigos via Comut;

– A Mike Staufenger por valiosas sugestões sobre onde buscar cartas trocadas entre Eugene Gardner, do Laboratório de Radiação, em Berkeley, e Julian Webb, da Eastman Kodak, e Rochester;

– À arquivologista Nancy Martin, do Departamento de Obras Raras e Coleções Especiais, da Biblioteca Rush Rhees, da Universidade de Rochester, pela busca das cartas trocadas por Eugene Gardner, co-autor da descoberta artificial do méson pi juntamente por Lattes, e Julian Webb, da Eastman Kodak;

– Ao Prof. Dr. John L. Heilbron, físico e historiador da ciência, por sua gentileza em nos responder a questões relativas às ações de Ernest O. Lawrence antes e depois da produção artificial do méson pi em Berkeley;

– Ao jornalista norte-americano Tom Siegfried, editor-chefe da revista *Science News*, pelo envio das reportagens e da capa da publicação sobre a produção artificial do méson pi em Berkeley;

– Ao arquivologista John Stoner, do Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, pela busca dos registros relativos dos documentos de Eugene Gardner doados ao NARA (Arquivos Nacionais e Administração de Registros), da região do Pacífico, em San Bruno, São Francisco, Califórnia;

¹¹ TANI (1995, capítulo 4, pp. 81-110).

¹² GURNEY e MOTT (1938).

¹³ MITCHELL (1957).

- Ao arquivologista Robert Glass, do NARA (Arquivos Nacionais e Administração de Registros), da região do Pacífico, em San Bruno, São Francisco, Califórnia, pelo envio da listagem completa dos papéis da Comissão de Energia Atômica, da qual constavam documentos relativos a Eugene Gardner e os diários de laboratório de Lattes relativos à produção artificial do méson;
- À bibliotecária Becky Simmons pela verificação de documentos relativos a possível correspondência entre César Lattes e Julian Webb, da Kodak inglesa, nas coleções do Instituto de Tecnologia de Rochester;
- À física e historiadora da física Martha Cecília Bustamante, da equipe REHSEIS/CNRS, pelo envio de artigo raro sobre emulsões do início da década de 1950;
- À fotógrafa argentina Pompei Gutnisky pelo envio de importante material sobre a história da fotografia;
- À advogada Marcia Gray, pela ajuda na obtenção de cópias dos três diários de laboratório de César Lattes relativos à produção artificial do méson pi em Berkeley, depositados em arquivo público em San Francisco, Califórnia;
- Às famílias Vieira Soldani, Ivanissevich e Moreno;
- À historiadora da física Profa. Dra. Luisa Bonolis, da Universidade de Roma, pela gentileza em nos enviar capítulo (editado por ela) sobre emulsões nucleares e escrito pelo Prof. Dr. M. Grili, a quem, indiretamente, seguem meus agradecimentos;
- Ao Prof. José Duarte de Oliveira, do CBPF, pela indicação do artigo do filósofo Evald Ilyenkov¹⁴, sobre o conceito de ideal;
- Ao Prof. Dr. Roald Hoffmann, da Universidade Cornell (Estados Unidos) e prêmio Nobel de Química de 1981, por me revelar os breves momentos de sua carreira em que trabalhou com problemas ligados à imagem latente em colaboração com a Kodak norte-americana e pelo constante envio de seus excelentes ensaios sobre química ao longo dos anos;
- Ao Prof. Dr. Ennio Candotti, da Universidade Federal do Espírito Santo, por me revelar detalhes de seu longo convívio com o físico italiano Giuseppe Occhialini e da relação deste com a indústria fotográfica inglesa na década de 1940, bem como pelo envio de trabalho correlato ao tema;
- Aos meus amigos músicos de São Paulo e do Rio de Janeiro, que me proporcionaram alguns dos melhores momentos da minha vida;
- Aos colegas do Instituto Ciência Hoje e da Ampersand Comunicação Gráfica, pelos quase 20 anos de convivência e pela amizade;

¹⁴ ILYENKOV (1977).

– Aos colegas da editoria de ‘Ciência’ da *Folha de S. Paulo*, pela chance que me dão de poder colaborar com esse grande jornal.

– À bibliotecária Margareth Lopes de Moraes, da Biblioteca Octavio Barbosa, do CPRM/Serviço Geológico do Brasil, pela instalação do ‘Acesso Livre’, por meio do qual pude pesquisar a documentação histórica do Departamento Nacional de Produção Mineral e reunir dados importantes sobre a chegada da técnica das emulsões nucleares ao Brasil;

– Ao Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto, do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, em Rio Claro (SP), pelas respostas sobre autorradiografia e pelo envio da tese com detalhamento desse método sem o emprego do microscópio;

– A David Walker, administrador do sítio Microscopy-UK e editor da revista eletrônica *Miscapex*, por ter me apontado livros em que pude pesquisar adaptações dos microscópios para a técnica das emulsões nucleares depois de Segunda Guerra;

– Aos Profs. Drs. Márcio e Marcelo de Albuquerque, da Coordenação de Atividades Técnicas do CBPF, por gentilmente me permitirem o acesso, por meio de conexão VPN, ao Portal de Periódicos da CAPES, o que se mostrou essencial para a pesquisa feita nesta tese;

– À jornalista Margareth Marmori pela gentileza de buscar no Arquivo de Estado, em Copenhagen (Dinamarca), documentos referentes à passagem de Lattes por aquele país no final de 1947;

– Ao jornalista Elio Gaspari, pela gentileza em me enviar o documento *Apreciação Semanal*, contendo breve relatório sobre as condições das universidades e dos centros de pesquisa no governo do General Geisel, no qual se deu, em janeiro de 1976, a transferência do CBPF para o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

– À doutoranda em literatura Márcia Reis, do CBPF, pela ajuda na obtenção de cópias de material valioso para esta tese;

– Ao advogado Cauê Melo Ivanissevich, por duas décadas de convivência harmoniosa e pelas aulas sobre a mais importante das instituições humanas, a Justiça;

– À magnífica Biblioteca do CBPF e sua fabulosa coleção de livros e periódicos, bem como aos seus funcionários, por terem providenciado cópias de artigos que nos pareciam ‘impossíveis’ de obter em outros lugares do mundo e, por isso, me deram a certeza de que o Brasil era país adequado para se fazer tese sobre a técnica das emulsões nucleares.

###

Todo orientando tem orientador. É regra. Porém, nem todos têm a sorte de encontrar no orientador amigo de longa data. Portanto, meu penúltimo agradecimento vai para o Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira, do Departamento de Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, que a sorte fez cruzar o meu caminho no início da década de 1990 e que me deu a chance de chegar até aqui, sempre guiado por suas inestimáveis sugestões, sua vasta cultura e seus esclarecedores comentários.

Gostaria de dedicar este trabalho à memória de meus pais, Manoel e Maria José (*in memoriam*), que me ensinaram o que considero algo essencial na minha vida: o gosto pela leitura. No entanto, conhecendo-os, sei que me diriam que a dedicatória deveria ser feita ao meu filho, João, o evento espaço-temporal mais importante da minha linha de mundo, para defini-lo em termos da relatividade geral.

Alicia, obrigado por tudo. Principalmente, pelo João.

A todos, meu muito obrigado.

CAPÍTULO 1

DISCUSSÕES PRELIMINARES

Introdução

“Este livro é sobre máquinas da física.”¹⁵ Com essa frase concisa, o historiador da ciência norte-americano Peter Galison, da Universidade Harvard, abre seu magnífico *Image & Logic*. A ênfase são as máquinas, os equipamentos, os instrumentos, ou seja, a cultura material¹⁶ de parte da física do século passado.¹⁷ Nele, Galison aborda as duas grandes tradições de detectores empregados pelos físicos de raios cósmicos, nucleares e de partículas elementares: os visuais (câmara de nuvens, emulsões nucleares, câmara de bolhas etc.) e lógicos (contadores, câmara de faísca e câmara de fios etc.).¹⁸

O capítulo 3 de *Image & Logic* é dos poucos trabalhos históricos mais amplos sobre a técnica das emulsões nucleares. Porém, ele é só parte das quase mil páginas. Ou seja, *Image & Logic* não é livro sobre emulsões nucleares.

Posto isto, ousaremos aqui adaptar aquela passagem de Galison, afirmando: esta tese é igualmente sobre um instrumento da física. No caso, as emulsões¹⁹ de traços nucleares (ou,

¹⁵ GALISON (1997b, p. xvii).

¹⁶ Uma discussão ampla sobre o significado da cultura material do ponto de vista antropológico está em MILLER (1994), para quem a cultura material pode ser encarada como subconjunto da cultura, de modo que uma teoria dos artefatos como cultura material pode ser derivada de uma teoria mais geral da cultura. Nossa intenção, nesta tese, é mais simples e modesta: é fazer algo parecido com que fazem os arqueólogos, para quem, a partir de vestígios da cultura material, é possível resgatar aspectos da cultura de uma sociedade (esta última expressão entendida no sentido amplo do termo). Um texto específico de Galison sobre cultura material e cultura teórica em GALISON (1997c).

¹⁷ Para ser mais preciso, Galison sustenta imbricação entre a cultura material e o que se poderia chamar de ‘cultura etérea’. Nas palavras dele: “Encontramos metafísica em máquinas e máquinas na metafísica” (GALISON, 2005, p. xx).

¹⁸ Para Galison, nas últimas três décadas, essas duas tradições se juntaram, para a obtenção das chamadas imagens eletrônicas nos aceleradores e nos colisores. Ver GALISON (1997b, p. 20 e 21). Para uma crítica interessante sobre esse livro de Galison, ver ZIMAN (1998).

¹⁹ Empregaremos neste trabalho o termo emulsão, por ser aquele popularmente usado no campo da fotografia. No entanto, do ponto de vista físico-químico, os haletos de prata suspensos em matriz gelatinosa formam, na verdade, dispersão gelatinosa (MYERS, s/d, p. 2). As emulsões de traços nucleares são também denominadas apenas emulsões nucleares (*nuclear emulsion*) ou, mais raramente, emulsões de pesquisa nuclear (*nuclear research emulsion*). Por vezes, encontra-se também somente o termo técnica de placas fotográficas (*photographic plate technique*). Mesmo a definição de emulsão não é consenso na química. Em nossas pesquisas, nos defrontamos, por exemplo, com livro cujo tema são as emulsões e cujo

simples e mais comumente, emulsões nucleares), que, por décadas, foram um dos principais detectores de partículas para os físicos nucleares, da área de raios cósmicos e, com o advento dos aceleradores, para os físicos de altas energias. No final da década de 1950, as emulsões nucleares já eram declaradas “instrumento” da física.²⁰ Aqui, portanto, vale desfilar algumas de suas vantagens²¹ quando comparadas às de outros detectores;

- i) têm o melhor poder de resolução de todos os detectores desenvolvidos até hoje pelos físicos, que chega a ser menor que 1 micrômetro;
- ii) são portáteis e, por isso, podem ser enviadas até mesmo pelo correio; seu peso permite serem levadas em voos de balões a grandes altitudes;
- iii) são baratas, custando cerca de um dólar por cm³;
- iv) são finas, o que permite arranjos experimentais diversos;
- v) têm sensibilidade contínua,²² o que torna possível acumular grande quantidade de dados, economizando tempo de uso dos aceleradores de partículas;
- vi) têm poder de freamento das partículas cerca de 1,8 mil vezes o do ar;
- vii) são ideais para o estudo de partículas com vida média muito curta, na casa de 10⁻¹⁰ segundo;
- viii) não têm partes móveis e/ou soldagens, diferentemente de outros detectores, como as câmaras de nuvens;
- ix) não necessitam de equipamentos eletrônicos;
- x) podem ser usadas em conjunto com outros detectores;²³
- xii) requerem, basicamente, dois tipos de ‘periféricos’: microscópio óptico e reagentes químicos (estes para a revelação);

Na longa lista de serviços prestados à ciência pelas emulsões (já que elas tiveram aplicações fora da física, como na biologia, medicina, química, metalurgia, radioquímica, petrografia, só para citar as principais áreas) estão, por exemplo:

- i) a detecção dos píons positivo e negativo²⁴ e do pión neutro;²⁵

autor ressalta, longo no capítulo introdutório, as várias definições de emulsões com que se defrontou. No total, elas são nove. Ver BECHER (1957, p. 1).

²⁰ BARKAS (1963, p. 1); WEBB (1949, p. 1).

²¹ Veremos que uma das desvantagens da técnica – talvez, a única – é ela ser trabalhosa na fase relativa à varredura óptica, feita com o auxílio de microscópios.

²² A propriedade de ser continuamente sensível à radiação e à luz cria um problema para os usuários das emulsões, pois, a partir do momento em que são fabricadas, passam a ser sensibilizadas por partículas provenientes da radioatividade ambiental e dos chuveiros de raios cósmicos. Já foram desenvolvidas técnicas para eliminar esse nevoeiro residual nas placas. Para mais detalhes, ver DILWORTH (1949).

²³ No Brasil, esse tipo de aplicação vem sendo feito pelo grupo de Theresa Borello-Lewin, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo. BORELLO-LEWIN (Comunicação pessoal).

- ii) os primeiros híperons²⁶ e mésons como o sigma positivo²⁷, o antilambda²⁸, os káons positivo e negativo²⁹;
- iii) a primeira aniquilação, ainda em 1955, entre núcleon e antipróton e que levou à comprovação da existência deste última;³⁰
- iv) a primeira confirmação experimental do nêutron;³¹
- v) a prova experimental³², em 1957, de que a paridade não se conserva no decaimento nas interações fracas por meio do decaimento do pión positivo em múon e pósitron;
- vi) o decaimento exótico, no qual o núcleo radioativo emite fragmentos mais pesados que as partículas alfa.³³
- vii) a comprovação experimental do quark charmoso³⁴.
- viii) a descoberta do neutrino do tau pela Colaboração DONut.³⁵

²⁴ PERKINS (1947), OCCHIALINI e POWELL (1947); LATTES, MUIRHEAD, OCCHIALINI e POWELL (1947); LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947a); LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947b).

²⁵ CARLSON, HOOPER e KING (1950).

²⁶ Designação para partículas cuja massa está entre a do nêutron e a do dêuteron (sendo este último o termo para o núcleo do deutério).

²⁷ BONETTI *et al.* (1953).

²⁸ PROWSE e BALDO-CEOLIN (1958).

²⁹ BROWN *et al.* (1949).

³⁰ AMALDI *et al.* (1955). Voltaremos a esse tema mais adiante nesta tese, pois ele suscita questões interessantes sobre a primazia da descoberta dessa antipartícula, bem como sobre eventos isolados em raios cósmicos e estatística em aceleradores.

³¹ BLAU e WAMBACHER (1932). Um fato pouco disseminado.

³² FRIEDMAN e TELEGI (1957). Com a morte do físico italiano Enrico Fermi, em 1954, Telegi assumiria o Grupo de Emulsões Nucleares em Chicago.

³³ DE CARVALHO, MARTINS, SOUZA e TAVARES (1975). A descoberta do decaimento exótico, por suas peculiaridades no plano científico e social, certamente deveria ser tema de trabalho em separado, o que o autor desta tese pretende fazer em futuro breve. Ver também DE CARVALHO, MARTINS, SOUZA e TAVARES (1976) e DE CARVALHO, MARTINS e TAVARES (1986). Para uma versão em linguagem para o grande público, ver TAVARES (1984).

³⁴ Não é muito divulgado o fato de as primeiras evidências sobre o *quark* charmoso terem surgido ainda em 1971, com o uso de emulsões expostas a raios cósmicos, antes da detecção dessa partícula em experimentos posteriores, entre eles o E531, no Fermilab, na década de 1970. Para mais detalhes da descoberta, bem como sobre o desenvolvimento das emulsões nucleares no Japão, sugerimos a leitura de NIU (2008). Para outra versão, ver STALEY (2001). Note-se que o uso de emulsões para o estudo de quarks pesados, que se iniciou na década de 1970 – ver, por exemplo, SACTON, MONTWILL, DAVIS e ZAKRZEWSKI (1974) –, continuou em décadas seguintes. Ver, por exemplo, DE LELLIS, MIGLIOZZI e STROLIN (2008).

³⁵ KODAMA *et al.* (2001).

xix) a descoberta da ação radioativa da zirconita de Poços de Caldas (MG) em setembro de 1948;³⁶

x) a descoberta do fenômeno, ainda pouco esclarecido, das bolas de fogo (também denominadas eventos exóticos), entendido como a produção múltipla de mésons nos choques de altíssima energia entre raios cósmicos e núcleos da atmosfera terrestre;³⁷

xi) a comprovação de que os raios cósmicos eram formados por núcleos mais pesados que o do hidrogênio (próton).³⁸

xii) os resultados obtidos com emulsões nucleares resolveram, em 1978, discrepância de 15% nos resultados sobre a seção de choque do neutrino do múon, controvérsia que durou cerca de seis anos e que se estabeleceu entre o Fermilab, nos Estados Unidos, e o CERN, na Europa.³⁹

xiii) a detecção da produção e do decaimento do primeiro hiperfragmento⁴⁰ em 1953;

xiv) as primeiras evidências experimentais que davam apoio à teoria V-A das interações fracas.⁴¹

Esses são exemplos em que a técnica das emulsões nucleares⁴² esteve envolvida. Ela se apropriou de dois elementos externos à física, a fotografia e o microscópio, e com eles construiu

³⁶ A descoberta foi realizada por Hervásio G. de Carvalho, que mais tarde se tornaria pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas e fundador de um laboratório nessa instituição para a pesquisa com emulsões nucleares. Ver, por exemplo, FRAYHA (1962).

³⁷ Para mais detalhes, ver, por exemplo, SHIBUYA (1981).

³⁸ FREIER *et al* (1948).

³⁹ PERKINS (Comunicação pessoal).

⁴⁰ DANYSZ e PNIEWSKI (1953). Fragmento nuclear em que pelo menos um dos núcleos é substituído por lambda zero.

⁴¹ FROTA-PESSÔA e MARGEM (1950). Vale citar que esse foi o primeiro trabalho publicado que trazia 'Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas' como sendo a filiação dos autores. Para exemplos de trabalhos posteriores feitos com a técnica de emulsão por E. Frota-Pessoa, ver FROTA-PESSÔA e JOFFILY (1986a) e FROTA-PESSÔA e JOFFILY (1986b).

⁴² Vale desde este início observação sobre a nomenclatura empregada nesta tese, a saber: para os períodos que antecedem a Segunda Guerra Mundial, empregaremos com mais ênfase, para ser referir ao tema aqui tratado, a expressão 'método fotográfico' ou 'método fotográfico aplicado à física', bem como 'chapas fotográficas'. Para os capítulos que tratam de períodos depois do fim do conflito, será mais comum usar 'técnica das emulsões de traços nucleares' ou simplesmente 'técnica das emulsões nucleares', bem como 'emulsões nucleares', esta última para se referir às novas chapas fotográficas (com maior quantidade de brometo de prata e maior espessura da camada de gelatina) fabricadas após o conflito mundial. Muitos dos físicos que lidaram com a técnica, mesmo depois da Segunda Guerra, continuaram usando expressões como 'método fotográfico', 'chapas nucleares', 'chapas fotográficas', por exemplo. Por vezes, a palavra emulsão refere-se apenas ao conjunto 'gelatina mais sais de prata', sem levar em consideração o suporte

um conjunto de procedimentos que perdurou por décadas do século passado, atingindo seu auge na década de 1940, com as detecções natural e artificial do méson pi, na Europa e nos Estados Unidos.

Bastaria retroceder ou avançar em relação à janela temporal acima para que outros exemplos, não menos importantes, fossem encontrados, como é o caso, para citar apenas um, do chamado decaimento exótico, descoberto no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas em meados da década de 1970 – por sinal, vale aqui registrar que o conteúdo desta tese está intimamente relacionado com a história dessa instituição.

A tabela (em inglês) a seguir⁴³ mostra com detalhes a contribuição de cada detector empregado para o descobrimento de partículas elementares até 1960.

Table 1. Instruments used in the discovery of various elementary particles.

Particle	Source of radiation	Specific behavior or measurement	Instrument used for detection
e^-	Discharge tube	Ratio e/m	Fluorescent screen
e^+	Cosmic rays	Ratio e/m	Wilson cloud chamber
μ^+	Cosmic rays	Absence of radiation loss in passage through Pb (also decay at rest)	Wilson cloud chamber
μ^-			
π^+	Cosmic rays	$\pi^-\mu$ decay at rest	Nuclear emulsion
π^-	Cosmic rays	Nuclear interaction at rest	Nuclear emulsion
π^0	Accelerator	Decay into γ rays	Counters
K^+	Cosmic rays	$K_{\pi\pi}$ decay	Nuclear emulsion
K^-	Cosmic rays	Nuclear interaction at rest	Nuclear emulsion
K^0	Cosmic rays	Decay into $\pi^+ + \pi^-$ in flight	Wilson cloud chamber
n	Polonium plus beryllium	Mass determination from elastic collisions	Ionization chamber
$\bar{p}$	Accelerator	Measurement of e/m plus detection of annihilation	Counters
$\bar{n}$	Accelerator	Detection of annihilation	Counters
Λ^0	Cosmic rays	Decay in flight into $p^+ + \pi^-$	Wilson cloud chamber
$\bar{\Lambda}^0$	Accelerator	Decay in flight into $\bar{p} + \pi^+$	Nuclear emulsion
Σ^+	Cosmic rays	Decay at rest	Nuclear emulsion
Σ^-	Accelerator	Decay in flight into $\pi^- + n^0$	Diffusion chamber
Σ^0	Accelerator	Decay in flight into $\Lambda^0 + \gamma$	Bubble chamber
Ξ	Cosmic rays	Decay in flight into $\pi^- + \Lambda^0$	Wilson cloud chamber
Ξ^0	Accelerators	Decay in flight into $\pi^0 + \Lambda^0$	Bubble chamber

###

Obviamente, nenhum detector é perfeito. Todos eles, dialeticamente, trazem embutidas as sementes de seu ocaso. As emulsões não foram exceção. Essa técnica é:

(em geral, placa de vidro). Em VIEIRA (2008), há um esboço temporalmente amplo sobre a técnica das emulsões nucleares.

⁴³ POWELL (1960, p. 1.136).

- i) muito trabalhosa quanto à varredura óptica, demandando tempo significativo do microscopista para examiná-la em sua totalidade;
- ii) não permite associar partículas a distâncias mínimas;
- iii) não permite a medida de momento;
- iv) a correlação temporal entre eventos não pode ser observada.⁴⁴

Especialistas, em épocas diversas, deram respostas variadas a cada item acima – e a tantos outros. A varredura óptica foi atacada como problema ainda na década de 1950, quando se tentou adaptar as emulsões nucleares ao grande fluxo de partículas dos aceleradores; as espessuras iniciais de dezenas de micrômetros passaram à casa das dezenas de centímetros, quando litros de emulsões foram aglomerados na forma de blocos, o que permitia seguir a trajetória de partículas com tempos de decaimentos longos; emulsões foram usadas na presença de campos magnéticos intensos, para permitir medir a curvatura de partículas carregadas eletricamente; e, finalmente, emulsões movimentadas por artefatos mecânicos permitiam medir a correlação temporal de eventos.

No entanto, as qualidades da técnica não fizeram com que ela permanecesse como o detector-padrão nos aceleradores, como ocorreu principalmente na segunda metade da década de 1940 nos Estados Unidos. E assim ela, a partir da década de 1960, ficou restrita a nichos na área de partículas elementares, mas permaneceu, principalmente por meio de colaboração entre pesquisadores brasileiros e japoneses, como o detector para o estudo dos chamados chuveiros de raios cósmicos e das partículas resultantes desse fenômeno.

A técnica e a autorradiografia: o microscópio faz a diferença

O fato de partículas carregadas ionizarem a matéria foi usado ao longo da história – principalmente pelos físicos – como modo tanto de estudar a natureza e o comportamento dessas partículas (e de outras afetadas por elas) quanto o da matéria atravessada. O método fotográfico é apenas uma dessas técnicas.

Nosso intuito é analisar e discutir o emprego do método fotográfico para a captação de trajetórias de partículas ionizantes com o auxílio de microscópio – a análise com a ajuda desse equipamento óptico é importante, pois diferencia a técnica das emulsões nucleares de outros empregos científicos da fotografia. Físicos e químicos nucleares, bem como pesquisadores da área de raios cósmicos e de partículas elementares, observavam as emulsões reveladas em microscópios e, com auxílio de câmara fotográfica acoplada a estes, faziam a chamada

⁴⁴ Os itens ii), iii) e iv) são basicamente uma análise sobre a técnica feita por STEINBERGER (Comunicação pessoal).

fotomicrografia, ou seja, tornavam macroscópica imagem microscópica. Posto de modo simples, era preciso realizar a fotografia da fotografia – um exemplo é a figura da capa deste trabalho.

Nesta tese, cabe enfatizar, não nos deteremos no que denominamos o uso indireto da fotografia, no qual o microscópio não era utilizado para a visualização das trajetórias. Exemplos:

i) no experimento realizado pelos físicos alemães Otto Stern (1888-1969) e Walther Gerlach (1889-1979), de 1922, que mostrou a quantização do momento angular intrínseco (*spin*), empregaram-se as chapas fotográficas para mostrar a deflexão de partículas elementares;

ii) o experimento do físico inglês George Thomson (1892-1975), de 1927, no qual se demonstraram as propriedades ondulatórias do elétron, comprovando assim as ideias propostas três anos antes pelo físico francês Louis de Broglie (1892-1987);

iii) o emprego de chapas pelo físico inglês John Joseph Thomson (1856-1940), na proposição da existência do elétron como resultado de suas pesquisas com raios catódicos; ou, mais tarde, nos experimentos de Thomson que iniciaram a chamada espectroscopia⁴⁵ de massa, nos quais observou a deflexão do neônio por campos elétricos e magnéticos;

iv) o uso dessa técnica nos experimentos do físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923) nos trabalhos que o levaram à descoberta dos raios X;

v) o emprego da fotografia para registrar as trajetórias nas chamadas câmaras de Wilson (ou de nuvens);

vi) a própria câmara de nuvens, inventada na década de 1910, e posteriormente a câmara de bolhas, que passa a funcionar cerca de 40 anos mais tarde, necessitavam que as trajetórias deixadas pelas partículas eletricamente carregadas que as atravessavam fossem registradas com o auxílio da fotografia, porém em nenhum desses dois detectores essas imagens eram analisadas com o auxílio do microscópio, pois eram visíveis a olho nu.

###

A esta altura, nos parece apropriado (e prudente) acrescentar algo sobre o alcance desta tese. Ela é um relato global – sem que isso, obviamente, signifique uma história total ou definitiva. E aqueles ambientados e cevados na área de história sabem que isso tem lá sua temeridade. Se enfrentamos esse desafio, isso se deveu ao fato de esta tese ser – até onde sabemos – o primeiro trabalho a tratar a técnica das emulsões nucleares por perspectiva histórica mais ampla, incluindo análise que extrapola os conteúdos dos artigos científicos publicados sobre o tema.

Para justificar nossa escolha, apelamos para palavras de nossa autoria, em trabalho recente, escrito em coautoria com o orientador desta tese, sobre a história da física no Brasil:

⁴⁵ Para a relação entre a espectroscopia e a química, ver FILGUEIRAS (1996).

“Entre nossos argumentos em favor da redação de obras amplas, podemos citar a perspectiva de grande alcance que se obtém com uma história global. Aqui, a expressão ‘perspectiva de grande alcance’ pode ser mais bem clarificada caso façamos uso da seguinte imagem: para se conhecer certa região, pode ser útil procurar subir no monte mais alto, para que, dele, nossa visão vá o mais longe possível; ou ainda, para usar outra imagem conhecida, para certos propósitos, vale mais a pena considerar a floresta e não as árvores.”⁴⁶

É certo que uma visão macro da história perde em detalhes. Mas ela, por sua vez, possibilita perceber o todo. E, a partir dele, olhar e delimitar as partes, mapear áreas, levantar questões pertinentes, indicar temas. Esperamos que isso possa ser feito por aqueles que se aventurarem por longo este conteúdo.

Esta tese é, portanto, sobre a floresta. É certo que muita de suas árvores valeriam ser estudadas individualmente. É certo que, ao fazer isso, perdemos em detalhes, mas acreditamos ganhar ao perceber vínculos entre áreas de investigação, instituições de ensino, bem como entre linhas de pesquisa e pesquisadores, vínculos estes que permaneceriam ocultos sem a perspectiva que adotamos.

Nossa história, que tem um instrumento da física como eixo condutor, é uma forma de, acreditamos, alargar a história da física do século passado, cuja ênfase tem sido, nas últimas décadas, o desenvolvimento teórico.⁴⁷ A origem desse viés parece estar na popularização, entre historiadores da ciência, das ideias de Kuhn.⁴⁸

Galison inicia um de seus artigos afirmando ter se mostrado surpreendido e profundamente tocado, depois de conhecer os trabalhos de Fernand Braudel, Felix Bloch e E. P. Thomson, com a possibilidade de se poder chegar à “História não apenas através de acontecimentos intelectuais, políticos e diplomáticos, mas também, e no sentido mais amplo, por meio da materialidade do arroz e das batatas, dos metros cúbicos de espaço habitacional, das formas de lavrar a terra ou dos meios de comunicação.”⁴⁹

Nossa intenção aqui é algo semelhante: contar a história de parte⁵⁰ da física do século passado por meio da história de um detector, de cultura material da física.

⁴⁶ VIEIRA e VIDEIRA (2007). Mais sobre história e historiografia da física em VIDEIRA (2002). Para textos mais amplos sobre a história da física no Brasil, ver COSTA RIBEIRO (1955), MOTOYAMA (1979). Para uma visão ampla da história da ciência no Brasil, ver AZEVEDO (1955) e AZEVEDO (org.) (1955), MOTOYAMA (org.) (2004).

⁴⁷ GALISON (1987, p. 30).

⁴⁸ Caso emblemático de resistência a essa tendência pela história contada pelo viés teórico está em artigo de FITCH (1999), no qual ele deixa claro seu descontentamento com a forma com que os historiadores da física têm escrito a história da física do século passado com ênfase nos desenvolvimentos teóricos.

⁴⁹ GALISON (1999a, p. 395).

⁵⁰ Para uma visão mais abrangente dessa disciplina, sugerimos BROWN, PAIS e PIPPARD (eds.) (1995) e WEINER (ed.) (1977). Para textos mais concisos, mas também sobre a física do século passado, ver ANDERSON (1995) e WEISSKOPF (1994a,b). Para uma coletânea de artigos sobre a física da década de

Sendo nossa ênfase a física experimental, não é nossa intenção aqui recontar a história das teorias físicas que vão dos átomos gregos aos recentes avanços da teórica quântica de campos e/ou do chamado Modelo Padrão de Partículas e Interações Fundamentais. Mas não nos furtaremos de apresentar, sempre que necessário, elementos da teoria. Porém, para nós, eles serão usados à medida que ajudarem a esclarecer e a entender a história que aqui pretendemos apresentar.

O viés do instrumento é também um modo de fugir à chamada história social da ciência, que, em nosso entender, esconde elementos importantes das três culturas da física: teoria, experimentação e construção de instrumentos, que se mostram como âmbitos autônomos, com identidade própria, porém com intersecções variadas e, em geral, com pontos de rompimento em situações e tempos diferenciados.⁵¹ Posto de modo mais simples, quebra de paradigma – para usar termo caro ao kuhnianos – na teoria nem sempre implica alterações na física experimental e/ou na construção de instrumentos.

Desde o início de seu uso, há cerca de 100 anos, as emulsões – ainda na forma de chapas fotográficas comuns – teceram uma trama riquíssima de relacionamentos (nem sempre amistosos) da academia com a indústria e desta com o estabelecimento nuclear norte-americano e europeu. Ao longo da história das emulsões nucleares, estão penduradas diversas personagens e variados interesses. Nossa tentativa será a de tratar esses muitos atores e eventos com o peso que lhes é devido, independentemente de nacionalidades e/ou localização geográfica.⁵²

Se fizermos uma breve listagem dos principais detectores empregados pelos físicos nos últimos séculos (eletroscópio, eletrômetro, câmara de ionização, câmara de cintilação, câmara de nuvens, detector Geiger-Müller, circuitos de coincidência, cintiladores sólidos, câmara de bolhas, câmara de faísca, câmara de fios, calorímetros), notaremos um aspecto extremamente peculiar das emulsões nucleares: pela primeira vez, os físicos delegaram a fabricação de detector a outra comunidade de cientistas – no caso, a dos químicos industriais. Essa cessão – que levou a

1950, ver BROWN, DRESDEN e HODDESON (eds.) (1989) – essas ideias foram resumidas em BROWN, DRESDEN e HODDESON (1988). Para o dito nascimento da área de partículas elementares, ver BROWN e HODDESON (1986) e WEINBERG (1993). Uma ampla fonte de referências bibliográficas em física de partículas está em CORBY HOVIS e KRAGH (1991). Para aspectos mais sociais dessa disciplina, ver, por exemplo, ZIMAN (1995).

⁵¹ No sentido de quebra de paradigmas, como proposto em Kuhn.

⁵² Em linguagem mais incisiva e direta, nossa intenção é fugir do espírito ‘veja, nós também fazíamos pesquisa’, bem como – e o que é mais comum – daquela que se escora no ‘somos heróis incompreendidos, esquecidos e injustiçados’. A nosso ver, essa maneira de fazer história descola o Brasil de contexto histórico amplo, o que é deletério tanto para a historiografia feita no país quanto para a compreensão mais ampla da história da física. Dito de outra forma, pretendemos mostrar que havia antecedentes históricos para muitas contribuições atribuídas exclusivamente a brasileiros, assim como evidenciar que a participação destes últimos foi mais extensa e importante do que a bibliografia da área tem mostrado até este momento.

relação segredosa de dependência entre a academia e a indústria – tem desdobramentos fundamentais para se entender a história da física experimental do século passado, bem como aspectos sociológicos da ciência. Um deles – só para adiantar assunto que será tratado adiante nesta tese – é que essa situação levou os físicos a ter que necessariamente aprender química, e os químicos na indústria a empregarem físicos especialistas em radiação.

Mas, talvez, mais interessante, seja o fato de essa cessão ter feito os físicos perderem parte de sua ‘personalidade’. Na frase de Rubia, que serve de epígrafe a esta tese, “O detector é a imagem da pessoa que o desenhou.”⁵³ As emulsões eram, portanto, como o espelho que não reflete a imagem de quem o usa.

###

Capítulos desta tese já foram fruto de artigos e trabalhos anteriores;⁵⁴ alguns escritos por pesquisadores em história da ciência (portanto, dotados de outra metodologia); outros apresentados na forma de relatos pessoais e memórias.⁵⁵ Porém, a nosso ver, esses trabalhos não enfocam com profundidade nem a técnica das emulsões, nem a fenomenologia física da área nuclear e de raios cósmicos. Como foi dito, não nos eximiremos de, quando necessário, apresentar detalhes sobre a técnica, o experimento e a teoria que, a nosso ver, ajudam a construir a história que nos propomos a escrever.

Por fim, vale dizer que as notas de rodapé, muitas vezes, contam uma história paralela ao tema. Nossa intenção foi tentar dar escopo mais amplo à abrangência desta tese, sempre que possível enfatizando pontos relativos à história da física no Brasil.

Breves palavras sobre o título desta tese

O título deste trabalho, ‘... Um mundo inteiramente novo se revelou’, foi extraído, com leve alteração no tempo verbal, de fragmento de autobiografia⁵⁶ feito pelo físico inglês Cecil Frank Powell (1903- 1969), escrita com o principal objetivo de contar sua trajetória pessoal e acadêmica aos netos. O trabalho, até onde sabemos, nunca foi finalizado; talvez, tenha sido interrompido por sua morte súbita e prematura, logo depois de sua aposentadoria.

⁵³ Prêmio Nobel de Física de 1984. Citado em ALVAREZ (1985, p. 1).

⁵⁴ Por exemplo, ANDRADE (1997), ANDRADE (1999), ANDRADE e CARDOSO (2001); ANDRADE e GONÇALVES (1995); CARUSO, MARQUES e TROPER (1999), MARQUES (org.) (1994), MARQUES (1997), MARQUES (2005a), MARQUES (2005b), MARQUES (2005c).

⁵⁵ Ver, por exemplo, MARQUES (2005a); MARQUES (2005b); MARQUES (2005c); MARQUES (2007).

⁵⁶ POWELL, C. F. (1987. p. 19).

A passagem "um mundo inteiramente novo se revelou" é um breve trecho de parágrafo que vale a pena ser aqui repetido, pois é uma prova do imenso entusiasmo com que os primeiros resultados obtidos com as emulsões nucleares foram recebidos logo após o fim da Segunda Guerra. Vejamos, portanto, a íntegra daquela passagem:

"[Giuseppe] Occhialini imediatamente pegou poucas placas recobertas com as novas emulsões – cerca de 2 dúzias, cada uma com 2 cm x 1 cm de área, com emulsões cuja espessura era de aproximadamente 50 microns – e as expôs no observatório francês nos Pirineus, no Pic du Midi, a altitude de 3.000 m. Quando elas foram trazidas de volta a Bristol e processadas quimicamente,⁵⁷ ficou imediatamente claro que **um mundo inteiramente novo havia sido revelado**. A trajetória de próton lento tinha grãos tão comprimidos uns contra os outros que ela parecia uma haste sólida de prata, e o pequeno volume de emulsão parecia, sob o microscópio, estar cheio de desintegrações produzidas por partículas rápidas de raios cósmicos cuja energia era muito maior que aquela que podia ser gerada artificialmente naqueles tempos. **Foi como se, repentinamente, tivéssemos adentrado um pomar cercado por muros, onde árvores houvessem florescido até então protegidas, e todos os tipos de frutas exóticas amadurecido em grande profusão.**" [Grifos nossos]

Esta, no entanto, é uma das versões dos fatos que se sucederam a partir de 1946 e atingiram ponto alto no ano seguinte, em Bristol, na Inglaterra. É a versão de Powell. Elegante, porém, em certo sentido, desumana, por privilegiar o impessoal, por enfatizar resultados, em quase detrimento de personagens que, por vezes, de forma determinante, contribuíram para que se construísse esse entusiasmo em torno de uma técnica que, menos de uma década antes, parecia desacreditada; que havia percorrido cerca de duas décadas e meia para ganhar o *status* de detector confiável e promissor entre os físicos.

Nas entrelinhas da versão de Powell esconde-se outra história, que comporta bem mais personagens que a do físico italiano Giuseppe Occhialini; que tem a ver tanto com uma boa formação científica e entusiasmo de jovens físicos (entre eles, dois oriundos do Brasil) quanto com o momento político e econômico mundial em que aquelas descobertas ocorriam; que está relacionada com árduo desenvolvimento da física em relação aos então 'mistérios' da coesão nuclear e suas partículas; que é resultado da união de duas áreas da física, a nuclear e a de raios cósmicos, com o entrelaçamento da teoria e da experimentação, bem como, para retornarmos aos primórdios, à própria invenção da fotografia.

Eis um dos objetivos deste trabalho: contar uma história que permanece latente nas entrelinhas daquele parágrafo acima.

Por que uma tese sobre esse tema no Brasil?

⁵⁷ No caso, a expressão 'processadas quimicamente' significa revelar as chapas, ou seja, submetê-las a banhos químicos (de revelador, ácido, sal) e lavagens para a retirada dos resíduos e da prata não sensibilizada (no caso, pelas partículas carregadas que atravessaram a emulsão).

Talvez, alguém se pergunte por que fazer uma tese, no Brasil, sobre emulsões nucleares? Não seria arriscado fazê-la em um país 'periférico' ao desenvolvimento dos principais fatos relativos à história da física (e, de certo modo, em nosso caso, da química)?

A resposta nos parece simples: o Brasil certamente é dos melhores lugares.⁵⁸ E a justificativa é igualmente simples: nosso país esteve envolvido com a técnica⁵⁹ das emulsões nucleares desde o início desta última, logo após o final da Segunda Guerra Mundial, por meio de físicos como Lattes, Camerini e Occhialini – ainda que este último estivesse na Inglaterra. O método começou a ser empregado no Brasil logo após o final do conflito e aqui floresceu principalmente no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, com o próprio Lattes, Hervásio Guimarães de Carvalho (1916-1999) – este último, com temas mais voltados à radioatividade e fissão nuclear –, Elisa Frota-Pessôa, Neuza Margem, só para citar os principais pesquisadores envolvidos com o método, que se espalhou (ou foi levado) para outras instituições brasileiras, como a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual de Campinas (SP) e, mais tarde, a Universidade Federal da Paraíba.

No início da década de 1960, firmou-se a chamada Colaboração Brasil-Japão⁶⁰, que empregou por décadas⁶¹ as chamadas câmaras de emulsão (nuclear), técnica que acopla filmes de raios X às emulsões para facilitar a localização das cascatas eletromagnéticas.⁶²

⁵⁸ Por exemplo, a Biblioteca do CBPF, com acervo inestimável, é como uma 'mina repleta de pedras preciosas' para os que se aventuram a buscar, por suas prateleiras, fontes relacionadas às emulsões nucleares, aos raios cósmicos e à física nuclear. Vale ressaltar que nela achamos livros, periódicos e anais que não se encontram em vários centros europeus e norte-americanos e cujas histórias estão diretamente relacionadas com o desenvolvimento da técnica de emulsões.

⁵⁹ Neste trabalho, empregaremos as palavras 'técnica' e 'método' como sinônimos. O mesmo se dará em relação a descoberta e detecção. Invenção, no entanto, terá caráter relacionado ao desenvolvimento de aparelho ou técnica, como foi, por exemplo, da própria fotografia e da câmara de nuvens, por exemplo.

⁶⁰ Inicialmente, denominada Colaboração Japão-Brasil. A mudança de nome se deu em função de ter sido feita no Brasil a descoberta de eventos importantes, como o Andrômeda, ligado à produção múltipla de píons. Para um artigo que relata, do ponto de vista técnico, os primórdios desse acordo, ver LATTES (1963). A carta de Lattes aceitando o convite do físico japonês Hideki Yukawa para se estabelecer a colaboração está em LATTES (1959) e YUKAWA (1959).

⁶¹ Costuma-se dizer que a CBJ é a colaboração internacional mais antiga entre pesquisadores brasileiros e estrangeiros. Na verdade, ao longo deste trabalho, fomos alertados – TAVARES (Comunicação pessoal) – de que há uma anterior, que também nasceu calcada no emprego das emulsões nucleares e que se mantém ativa até o momento em que estas linhas estão sendo escritas (meados de 2008): a colaboração entre o então Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços do CBPF e pesquisadores do Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN), na Itália, se iniciou no final da década de 1950, com temas voltados para o estudo da física nuclear. Esse laboratório passou, mais tarde, a ser chamado Laboratório de Detecção de Traços Nucleares.

No CBPF, o modelo de pesquisa com equipes de microscopistas foi baseado naquele idealizado por Powell, no Laboratório H. H. Wills, na Universidade de Bristol. E é bem provável que o Brasil tenha sido o país onde essas equipes femininas se mantiveram ativas por mais tempo na história das emulsões nucleares. E os motivos dessa ‘longevidade’, bem como da própria formação dessas equipes, explicam, em parte, por que o método foi implantado no Brasil, como discutiremos nesta tese.

Para finalizar, gostaríamos de apresentar aqui outra justificativa para que seja feita uma tese sobre as emulsões nucleares. Essa técnica foi (desmerecidamente) esquecida pela historiografia da física. Assim, passou-se com a técnica algo que o historiador da ciência Olivier Darrigol resume desse modo: a história tem a capacidade de esquecer suas personagens.⁶³ No caso, a personagem é um instrumento de aspecto tão simples que dificilmente mereceria essa classificação com base em sua aparência externa (um pedaço de vidro fino, na forma retangular ou quadrada, com uma das faces coberta por substância esbranquiçada, que, após revelada, torna-se transparente, com tonalidade amarronzada).

Na linha do que foi dito por Darrigol, parece-nos emblemático, por exemplo, o fato de um dos maiores especialistas mundiais em emulsões nucleares, Donald Perkins, pesquisador inglês e o primeiro a detectar a absorção de um pión negativo por núcleo em uma emulsão nuclear, nem mesmo ter citado a técnica em seu livro⁶⁴, que se tornaria muito adotado no ensino de física.

Assim, é provável que, em futuro distante, a lista de artefatos usados pelos físicos nos experimentos incluía instrumentos complexos, como aceleradores, detectores gigantescos, até mesmo câmaras de bolhas, câmaras de nuvens e contadores. Mas ela incluiria placa de vidro, com centímetros quadrados de área, com finíssima camada de gelatina?⁶⁵

Para finalizar este subcapítulo, uma ressalva: fazer uma tese sobre emulsões nucleares no Brasil não significou restringir nossa pesquisa a fontes neste país. Ao final desta tese, uma lista traz arquivos e bancos de dados pesquisados.

Biografia de um objeto

O que, talvez, mais chame a atenção daquele que se atribui a tarefa de escrever uma história das emulsões de traços nucleares é a disparidade de fontes entre esse tema e outro que,

⁶² Cascata eletromagnética é formada por pósitrons e elétrons resultantes do choque de raios cósmicos (núcleos carregados) contra núcleos de átomos da atmosfera. A cascata por vezes recebe o nome de componente mole do chuveiro de raios cósmicos, também formado pelo componente ‘duro’ (ou penetrante), este último basicamente formado por múons e neutrinos.

⁶³ DARRIGOL (1995).

⁶⁴ PERKINS (1972).

⁶⁵ Discussão interessante sobre que objetos escolher para um imaginário museu da cultura material do século 20 abre o artigo de MILLER (1994).

por motivos quase lógicos, é seu correlato: o da história da fotografia. Não seria exagero afirmar que pilhas e pilhas de livros e artigos foram produzidas até hoje sobre a evolução desta última área. Mas, para quem se atreve a essa empreitada – aqui, o verbo reflete bem a medida do grau de dificuldade com o qual essa pessoa vai se defrontar –, o primeiro fato que impressiona é a profunda escassez de fontes sobre a história do método fotográfico aplicado à física no século 19 e início do século seguinte. Livros e textos que tratem o assunto com profundidade – e, mais importante, que tenham qualidade de conteúdo – podem ser contados nos dedos das mãos.

Assim, a quantidade de fontes sobre a história dessa jornada humana de quase 170 anos⁶⁶ para capturar a luz mostra-se inversamente proporcional à riqueza de ideias que levaram ao uso das primeiras chapas fotográficas por volta de 1910 para capturar a imagem de partículas carregadas (e, indiretamente, a de partículas neutras) no estudo da radioatividade. Surpreende que obras consideradas seminais e periódicos respeitados sobre a história da fotografia não façam menção a ramificação tão importante da fotografia.⁶⁷ Até onde nos foi possível investigar, a primeira referência à técnica das emulsões nucleares se deu depois da Segunda Guerra Mundial, em obra de referência sobre fotografia,⁶⁸ na qual há um artigo sobre o registro de partículas nucleares.⁶⁹

A primeira grande revisão sobre o emprego da técnica fotográfica seja, talvez, de 1941⁷⁰, na qual há espaço significativo à história do método. Isso, a nosso ver, é evidência de que o autor encara o método como então dotado de maturidade e, portanto, merecedor de ‘revisão’ histórica, apesar de essa se deter à citação dos principais artigos publicados até então.

Portanto, pode-se afirmar – não sem surpresa – que duas áreas aparentemente tão correlatas, fotografia e emulsões nucleares, estão muito distantes, pelo menos do ponto de vista da historiografia da ciência. Por exemplo, praticamente nada há sobre o emprego das chapas fotográficas pelos físicos do século 19 nos textos sobre a história da fotografia, mesmo aqueles considerados obras seminais.⁷¹ Já as revisões sobre a técnica das emulsões nucleares citam em

⁶⁶ Consideramos aqui o ano da invenção ‘oficial’ da fotografia, em 1839, ou seja, a apresentação do daguerreótipo por Arago para a Academia de Ciências de Paris, bem como a do calótipo, desenvolvido por Talbot, por John Herschel à Royal Society, também no início daquele mesmo ano.

⁶⁷ Vide, por exemplo, FRIZOT, ALBERT e HARDING (eds.) (1998) e *Etudes Photographiques*, da Sociedade Francesa de Fotografia.

⁶⁸ SPENCER (1951). Ver especificamente HERZ (1951a,b).

⁶⁹ HERZ (1951b).

⁷⁰ SHAPIRO (1941). Shapiro escreveu outra grande revisão, em 1958, mas com caráter estritamente técnico, sem a introdução histórica. Para mais detalhes, ver SHAPIRO (1956).

⁷¹ Por exemplo, GERNSHEIM e GERNSHEIM (1955), FRIZOT, ALBERT e HARDING (1998), EDER (1945).

geral apenas o caso de Becquerel e a descoberta da radioatividade, omitindo, por exemplo, o emprego da fotografia como detector⁷² por Röntgen, Crookes e Soddy, Rutherford, por exemplo.

###

Escrever a história dessa técnica implica entender a relação dela com pessoas e instituições que a empregaram. Isso se explica pelo fato de técnica e tecnologia incorporarem, em seu bojo, relações sociais, condições de demonstração, bem como valores que direcionam seu emprego e os temas aos quais ela é aplicada.⁷³ O que foi dito na frase anterior pode ser resumido por uma passagem do próprio Galison: “O físico experimental confronta a natureza por meio de instrumentos, sendo que seu cotidiano de trabalho é largamente determinado pelas características desses aparatos.”⁷⁴

Então, por que fazer a ‘biografia’ de um objeto aparentemente tão simples?

Há várias respostas para essa pergunta.⁷⁵ Uma delas (certamente, não a mais importante): o físico de origem polonesa Joseph Rotblat (2008-2005), em revisão sobre emulsões nucleares escrita no final da década de 1940, assinala que o tema já mereceria uma monografia.⁷⁶ Porém, justifica ele, dado o espaço escasso reservado a cada autor convidado para o livro⁷⁷, não lhe seria possível fazê-lo.

De lá até hoje, passou-se mais de meio século. E, até onde pudemos investigar, essa extensa monografia não foi escrita e publicada. Eis, portanto, uma justificativa a mais sobre por que escrever sobre o tema. Ele nos parece inédito.

⁷² Aqui é preciso uma ressalva. Não estamos afirmando que o método fotográfico, no sentido usado nesta tese, tenha sido empregado por Röntgen, Crookes, Soddy, Rutherford ou mesmo Becquerel. Como foi dito, a análise por microscópio é o que diferencia o método das emulsões nucleares do emprego mais geral da fotografia em física.

⁷³ Essa tese, com a qual concordamos, é defendida por Galison em, por exemplo, GALISON (1997b). Galison denomina esses valores como ‘guide values’.

⁷⁴ GALISON (1985, p. 309).

⁷⁵ Um tratamento mais extenso sobre a história de objetos científicos está em DASTON (2000).

⁷⁶ Entendemos o termo ‘monografia’, no contexto citado por Rotblat, como trabalho extenso com elementos históricos e historiográficos, diferentemente das revisões consultadas para a elaboração desta tese, nas quais, em geral, há apenas cronologia de avanços relativos à técnica, sem análise histórica procedente. Mesmo uma obra monumental como BROWN, PAIS e PIPPARD (1995), com o portentoso título *Twentieth Century Physics*, em três volumes, que somam mais de 2 mil páginas, reservam apenas, no volume II, página 1.200, menos de um parágrafo (cerca de 10 linhas) sobre a técnica, para citar Becquerel e Kinoshita.

⁷⁷ FRISCH (1950).

Mas o fato de não se ter escrito uma tese até agora sobre as emulsões nucleares, não justifica a necessidade de se ter que o fazer (afinal, há muitíssimos temas que até agora não mereceram uma tese!).

Portanto, devemos dar aqui uma resposta mais convincente. E ela nos parece ser a seguinte: sobre as emulsões recaem momentos importantes da história da física do século passado, como teremos chance de discutir adiante. Como dissemos, ela foi responsável pela descoberta de muitas partículas subatômicas, bem como, por quase uma década, o detector usado nos gigantescos aceleradores que começaram a surgir a partir do final da década de 1940.⁷⁸

Mas as emulsões nucleares têm permanecido como personagem de bastidores. Excetuando-se, nesse sentido, três obras que jogam luz sobre o objeto desta tese:

- i) o trabalho do próprio Galison⁷⁹;
- ii) a biografia de Occhialini⁸⁰, que tem, obviamente, sua ênfase na vida e obra desse físico italiano;
- iii) uma história, apresentada em dois artigos⁸¹, das emulsões nucleares ao longo do século passado, que chegou ao nosso conhecimento praticamente no momento em que escrevemos estas linhas (setembro de 2008).

O restante dos trabalhos a que nossa pesquisa nos permitiu ter acesso são revisões, com pinceladas históricas, para a mera contextualização das discussões sobre propriedades físico-químicas das emulsões e o desempenho da técnica na detecção de partículas.

###

Entre as novas gerações de historiadores da ciência, parece estar firmado um consenso: essa disciplina deve fugir da polarização que alimentou, por décadas (talvez, desde seu surgimento mais delineado, pelos escritos de George Sarton e sua visão positivista da ciência), debates sobre os fatídicos ‘internalismo’ *versus* ‘externalismo’. Acreditamos que a escolha de um objeto como fio condutor de nossa história permite, de certa forma, fugir dese ‘maniqueísmo’ limitante. Essa escolha nos permite ‘pendurar’, ao longo da história desse objeto, elementos sociais, políticos econômicos com os quais ele, objeto, interseccionou sua trajetória.

⁷⁸ Em ADAMS (1964), há discussão sobre as contribuições europeias para a física de partículas elementares, com ênfase nos aceleradores.

⁷⁹ GALISON (1997b).

⁸⁰ GARIBOLDI (2004b). Em VIDEIRA e VIEIRA (2007), há entrevista com Gariboldi com foco no centenário de nascimento de Occhialini.

⁸¹ GRILLI (1986), GRILLI (1987).

Acreditamos que a história das emulsões nucleares nos permitirá visualizar os espaços de intersecção da física teórica e experimental; da física de raios cósmicos e física nuclear; da indústria com a academia, com suas culturas diferentes; da física com a química e seus diferentes olhares em relação à fotografia e às emulsões; da ‘velha’ estrutura social de fazer ciência, baseada em orçamentos e grupos pequenos, com a ‘nova’, esta surgida depois da Segunda Guerra Mundial, nos Estados Unidos; da física feita no Brasil com aquela feita na Europa e nos Estados Unidos.

Enfim, nosso objetivo não é excluir, mas, sempre que pertinente e possível, incluir os elementos ‘internos’ e ‘externos’, que, para nós, quando fundidos no cadinho histórico, a temperaturas corretas, produzem uno multidimensional, complexo e indissociável (e indispensável, por que não?) que é a história da ciência.⁸²

Sobre a periodização e a estrutura e o modelo

Apesar dos subtítulos encontrados nos capítulos, a ideia para a divisão deste trabalho em períodos temporais foi cronológica, porém não linear. Assim sempre que possível, tentamos estabelecer relações entre épocas e locais diferentes, bem como sínteses que resultaram de nossa visão pessoal sobre o tema (afinal, será dito mais abaixo, é nossa opinião que uma das funções do historiador, da ciência ou não, é investigar o complexo e extrair dele parâmetros a partir dos quais se possam entender cenários amplos de forma simples).

Diz-se, popularmente, que uma companhia aérea boa é aquela que leva e traz o passageiro são e salvo. Para nós, algo semelhante se passa com o corte histórico: a boa periodização é a que não esconde fatos, personagens, eventos etc.

Já nos fizemos essa pergunta anteriormente:

“Uma das principais dificuldades em história é a periodização. Qual é a divisão temporal que deve ser empregada para descrevermos os eventos percebidos como relevantes? Somos da opinião de que a estrutura temporal é boa à medida que ela não esconda os eventos. Ou ainda: ela é adequada se for capaz de apontar para a complexidade da dinâmica existente na história que está sendo narrada. Além disso, nos parece que a estrutura temporal e os eventos são constituídos simultaneamente, como em fluxo de retroalimentação.”⁸³

⁸² A nosso favor e em prol da relevância do tema aqui tratado, valeria destacar o interesse que ele despertou em dois pesquisadores de renome internacional entrevistados ao longo de nossos trabalhos: o físico Jack Steinberger, prêmio Nobel de Física de 1988, e o professor catedrático de história Reese V. Jenkins, da Universidade Rutgers (Estados Unidos), especialista na intersecção entre ciência, tecnologia e história da fotografia e diretor e editor do Arquivos Thomas Alva Edison, na mesma universidade. Para as referências de mensagens trocadas, ver ‘Comunicações Pessoais’ ao final deste trabalho.

⁸³ VIEIRA e VIDEIRA (2007).

É preciso dizer que a relação entre os muitos dos períodos aqui propostos não é estanque. Pelo contrário, há intersecções significativas entre eles, mesmo que estejam, às vezes, separados espacial e temporalmente.

Aqui são necessárias palavras de alerta. O modelo com o qual nos propomos trabalhar⁸⁴ não irá acomodar e/ou limitar os fatos de nossa história. Para nós, um modelo é um conjunto de ideias que deve permitir entender os eventos históricos em contexto mais amplo, estabelecer, com fundo histórico, ligações tanto macroscópicas quanto microscópicas. Porém, obviamente, não deve distorcer os fatos para que nele se acomodem. O modelo galisoniano – o qual apresentaremos de forma sucinta a seguir – irá aparecer nesta tese quando julgarmos conveniente, quando entendermos que ele enriquece a leitura e a interpretação de fatos; deve ser adubado por e brotar destes últimos, mas não deve deslocá-los ou trazê-los forçosamente à luz.

Em resumo: o modelo será servo dos fatos, mas nunca o mestre deles. Não nos eximiremos de criticá-lo ou apontar nele ausências e fraquezas.

Dito isso, passemos ao modelo galisoniano,⁸⁵ do qual apresentaremos a seguir um resumo:

i) **Diluição da autoria** – A partir do fim da Segunda Guerra Mundial, o número de autores que ‘assinam’ os artigos cresce significativamente. A principal consequência dessa nova forma de autoria é que se torna difícil identificar qual a contribuição específica de cada autor ao longo das pesquisas;

ii) **Evento de ouro versus estatística** – Para os físicos experimentais que trabalhavam com os detectores visuais⁸⁶ (câmara de nuvens, emulsões nucleares, câmara de bolhas etc.), um

⁸⁴ O modelo não é novo para nós. Sobre ele e sobre ideias mais gerais de Galison, já escrevemos um capítulo de livro, abordando a cultura científica e a cultura material. Ver VIDEIRA, MENDONÇA e VIEIRA (2009). Para uma discussão mais ampla sobre Galison e os chamados Estudos da Ciência (*Science Studies*), ver VIDEIRA (2005).

⁸⁵ As ideias de Galison estão imiscuídas em conceitos filosóficos. Ressaltamos que estes não nos interessam aqui para nossos propósitos. Um dos motivos é que a ‘filosofia’ de Galison por vezes é difícil de ser delimitada. Galison, por vezes, parece marxista ‘envergonhado’. Em nossa opinião, seu modelo dá voz a uma classe de cientistas que vive de mãos sujas, banhados nos odores do laboratório, com as roupas suadas, no esforço físico de construir máquinas, de utilizá-las, de carregar artefatos pesados etc. Poderíamos ver essa subcultura da física, para usar um termo caro ao próprio Galison, como os ‘proletários’ da física. Nesse sentido, é uma reação ao kuhnianismo, que deslocou a história da física para o campo das ideias, para a ‘elite’ da física, para o modo ‘glamoroso’ de fazer ciência. FITCH (1999), que se propõe a contar a história da física de partículas pelo ponto de vista dos principais experimentos, é reação a esta última tendência.

⁸⁶ Para uma obra ampla sobre detectores de imagens, ver CHARPAK (ed.) (1955).

único evento – caso emblemático seria o do decaimento do méson pi em múon, publicado pelo grupo experimental da Universidade de Bristol⁸⁷ em 24 de maio de 1947 – seria um resultado satisfatório e suficiente para encerrar um experimento. Para os detectores denominados eletrônicos – o caso emblemático aqui seria os contadores do tipo Geiger-Müller, desenvolvidos no final da década de 1920 –, é necessário acumular grande número de eventos para, a partir de análises estatísticas, obter, por exemplo, a ‘prova’ da existência de uma partícula;

iii) **Três subculturas** – Na visão de Galison, ciência é uma forma de cultura. No caso, a física, depois do fim da Segunda Guerra, estaria dividida, na visão daquele autor, em três subculturas: i) teoria; ii) experimentação; iii) construção de instrumentos⁸⁸. Essas três subculturas se desenvolveriam ‘paralelamente’ e muitas vezes sem áreas de interseção, tendo seus momentos de ruptura⁸⁹ em tempo e ambientes diferentes. O quadro abaixo, do próprio Galison, apresenta uma síntese visual da relação e das rupturas (traços horizontais) dessas três subculturas:



iv) **Zona de troca** – A nova estrutura social da ciência depois do fim da Segunda Guerra obrigou pesquisadores com diferentes formações a encontrar uma forma de diálogo. Como sentar, em torno de uma mesa de reuniões, físicos, matemáticos, químicos, biólogos, engenheiros, estatísticos, técnicos etc. e achar um campo no qual o diálogo entre essas formações culturais tão díspares fosse possível? Segundo Galison, isso só ocorreu em função da criação de pidgin, ou seja, de uma linguagem mista de comércio, de contato, semelhante àquela que nasceu da necessidade de uma negociação entre colonizados e colonizadores, nos moldes, por exemplo, da

⁸⁷ Um depoimento interessante sobre a Universidade de Bristol e a cidade de Bristol nessa época está em TYNDALL (1948) e TYNDALL (1958). Sobre alguns aspectos mais contemporâneos sobre a universidade e a memória do méson pi nela, ver VIEIRA (1999).

⁸⁸ Para Galison, o termo instrumento (por vezes, ele emprega máquina) tem acepção bem ampla, podendo ser incluído aí desde artefato mecânico ou eletrônico simples, de pequeno porte, até aceleradores de partículas de proporções gigantescas. É interessante notar, porém, que, ainda na década de 1950, o físico austríaco Otto Frisch já dividia a física nuclear em categoriais semelhantes: i) teóricos; ii) experimentais; iii) construtores de máquinas. Alvarez, mais tarde, fez o mesmo, sem, no entanto, atribuir a origem dessa divisão a Galison. Ver FRISCH (1950) e ALVAREZ (1985).

⁸⁹ Aqui, podemos entender ruptura como as chamadas ‘quebras de paradigma’ do modelo khuniano.

língua geral, usada por índios, mestiços e portugueses, para empregar um exemplo próximo a nós. Galison denominou essa área comum 'zona de troca';

v) **Vínculos de curto, médio e longos prazos** – Nesse tópico, o que nos interessa mais é a 'fidelidade' do físico experimental ao tipo de detector que ele emprega em seus trabalhos. Em outras palavras, ao longo do século passado, segundo Galison, os físicos experimentais mostraram tendência em permanecer apegados à técnica em que foram treinados, ou seja, dificilmente encontramos exemplos de experimentais que trocaram as técnicas visuais (câmara de nuvens, de bolha, emulsões etc.) pelas eletrônicas (contadores Geiger-Bothe, com ou sem eletrônica de coincidência, cristais cintiladores etc.);

vi) **Ruído de fundo** – Para Galison, a função do físico experimental é basicamente livrar-se do ruído de fundo, para que possa extrair dados confiáveis e precisos dos detectores empregados;⁹⁰

vii) **Capacidade de administração** – O novo modelo político-administrativo da ciência principalmente nos Estados Unidos depois da Segunda Guerra Mundial levou à criação de grandes laboratórios nacionais, com equipes de dezenas ou centenas de pesquisadores, orçamentos grandiosos, contrastando com o cenário europeu, de laboratórios personalizados, com ciência muitas vezes 'de bancada', equipes pequenas e orçamentos minguados. No primeiro caso, o da chamada *Big Science*, passou-se a exigir dos pesquisadores que eles tivessem, em muitos casos, a capacidade de administrar, assim como na indústria, grandes equipes e orçamentos, muitas vezes trabalhando com prazos apertados e cronogramas rígidos.

As emulsões e as detecções do méson pi

Depois desse esboço do modelo galisoniano, voltamos aos motivos que nos levaram ao tema deste trabalho.

Em função de termos acumulado muito material sobre as duas detecções do méson pi⁹¹, pretendemos dar ênfase a esse tema, pois acreditamos que, com base nas fontes recolhidas por

⁹⁰ Esse é um aspecto interessante para a nossa história, pois, por décadas, se tentou eliminar o nevoeiro (*fog*) das emulsões, para que o fundo (*background*) ficasse mais limpo, possibilitando uma melhor visualização das trajetórias das partículas que se desejava estudar.

⁹¹ A produção natural é aquela em que o méson pi foi detectado a partir da exposição de emulsões nucleares aos raios cósmicos (núcleos atômicos que bombardeiam a atmosfera terrestre e causam 'chuveiradas' de partículas que chegam ao solo a todo instante). A dita artificial ocorreu nos aceleradores, como resultado do choque de partículas produzidas por essas máquinas contra alvos fixos (de carbono, por exemplo). No caso, as emulsões detectam o produto dessas colisões.

nós, será possível esclarecer pontos considerados obscuros de um período histórico importante para o país.

Como bônus extra, esses documentos nos permitiram, por exemplo, esclarecer passagens da vida e obra de Lattes. Exemplos:

- i) a publicação da descoberta do méson pi nas páginas da revista *Time*;
- ii) as duas reportagens sobre a produção artificial (uma delas com foto de capa) na revista *Science News Letters*⁹² (hoje, apenas *Science News*);
- iii) a queda do avião da BSAA (*British South America Airways*); em Dacar, na vinda de Lattes da Inglaterra, para o Brasil, para expor emulsões nucleares no monte Chacaltaya em busca de mais eventos com o decaimento do méson pi, então recém-descoberto;
- iv) o navio cargueiro 'Saint Rosário', que levou Lattes do Brasil à Inglaterra, dando início a uma jornada de dois anos na Universidade de Bristol logo após o final da Segunda Guerra;
- v) o destino das chapas em que Lattes viu os primeiros mésons produzidos por raios X a pedido de McMillan, no início de 1949, pouco antes de seu retorno ao Brasil;
- vi) e, finalmente (e, em nosso entender, mais importante), conseguimos encontrar os cadernos de laboratório de Lattes, depositados em arquivo público em San Francisco, Califórnia.

Sobre o segundo capítulo⁹³

Um historiador deve, necessariamente, confiar no que já foi escrito sobre determinado tema. Porém, deve fazer isso sempre com o olhar crítico e tendo como metas a busca constante por autores consagrados (semelhantermente ao que ocorre no estabelecimento dos padrões gramaticais e ortográficos de uma língua). É quase obrigatório que essa assim seja. Caso contrário, esmiuçar qualquer assunto, por mais restrito que ele seja do ponto de vista de conteúdo ou de alcance temporal, seria tarefa hercúlea (certamente, eufemismo para impossível). Exemplo: o historiador que queira dar ao seu leitor uma visão geral da Revolução Francesa para contextualizá-lo, antes de introduzi-lo ao tema central de seu artigo ou livro, deveria buscar e analisar todas as fontes sobre evento tão marcante da história do Ocidente? Certamente, não. Isso lhe custaria uma vida.

Foi o que fizemos no primeiro capítulo deste trabalho, que versa sobre a história da fotografia, sobre a qual há inumeráveis títulos e arquivos espalhados pelo mundo. Frente a essa tarefa, nossa primeira decisão se deu no sentido de buscar um enfoque adequado para o tema,

⁹² *Science News Letters* (1948a), *Science News Letters* (1948b)

⁹³ Versão bem mais longa do primeiro capítulo foi apresentada na qualificação do autor desta tese em 15 de dezembro de 2008. Mantê-la daria peso desproporcional ao assunto, que, a nosso ver, tem com função contextualizar o método fotográfico aplicado à física. Se houver possibilidade, a versão original será apresentada para publicação em outro lugar.

que são as emulsões nucleares. Seria, portanto, impensável fugir dessa introdução, até porque as emulsões nada mais são que fotografia.

Assim, selecionamos (com base em nossas preferências culturais e ideológicas – e, sim, idiossincrasias) o que nos pareceu serem os melhores e mais confiáveis autores.

Feita essa escolha, como (re)escrever o capítulo sobre a história da fotografia?

Nossa opção foi contá-la a partir do desenvolvimento físico-químico dessa invenção, para entender seu entrelaçamento com a física, mais ao final do século 19. Nesse período, a fotografia passa a ser empregada pelos físicos, ainda que isso se dê com papel inicialmente indireto – caso dos estudos sobre raios X – e outro mais central – descoberta da radioatividade. Nosso objetivo foi tentar entender por que, no final da década de 1910, físicos, em países diferentes, passaram a empregar as chapas fotográficas como um novo tipo de detector para a física nuclear. Acreditamos que esse viés físico-químico também nos ajudou a apontar as razões que fizeram com que o método fotográfico aplicado à física ganhasse o adjetivo ‘qualitativo’ ainda no final do século 19.

Nosso procedimento foi buscar aconselhamento de profissionais com larga experiência na história da fotografia, para que nos indicassem as fontes mais apropriadas para o trabalho.

Comentário paralelo, porém, a nosso ver, procedente. Surpreende-se aquele que se debruça sobre a história das emulsões nucleares o fato de haver profunda dissociação entre esta última e a história da fotografia. Algo semelhante se passou quando, há poucos anos, nos propusemos a escrever um esboço da história dos planetários, que, para nossa surpresa, praticamente não se entrecruza com a história da astronomia.⁹⁴ Sobre esta última, não seria exagero dizer que há pilhas de obras disponíveis; em relação à primeira, reina quase o vazio.

Guardadas as proporções, algo semelhante ocorre com a fotografia e as emulsões nucleares.

Sobre a linguagem e a língua deste trabalho

Primeiramente, um aspecto que nos parece de suma importância: fizemos um esforço para que a linguagem desta tese já estivesse de acordo com as novas regras ortográficas da língua portuguesa.

O leitor nos permitirá aqui uma breve passagem na primeira pessoa. Os que conhecem minha carreira profissional sabem que venho dedicando grande parte de meus esforços para a divulgação científica. Para resumir um tema que acredito ser controverso e complexo, vou colocar o problema com as seguintes palavras: fui treinado para tornar simples, para o grande público, o que é obscuro e, por vezes, impenetrável a ele. Assim, nesta tese, não me furtarei de tratar de

⁹⁴ VIEIRA (2007)

temas complexos, porém tentarei fazê-lo de modo compreensivo, visando ao leitor sem conhecimentos prévios sobre, principalmente, física e química.

Outro aspecto da língua deste trabalho: a gramática da língua falada no Brasil. Há três tipos de língua portuguesa, a saber: o português europeu (PE), o português africano (PA) e o português brasileiro (PB). Por décadas, nossas gramáticas estiveram preenchidas com as regras gramaticais e ortográficas do PE. Hoje, é opinião deste autor, o PB tem identidade própria e deve se libertar dos resíduos do PE que permanecem principalmente em nossa escrita formal, muito por influência de gerações alfabetizadas sob o signo de livros e compêndios impregnados pela regras europeias dessa língua.

Aqui, privilegiaremos o PB. Os gerúndios (que usamos no lugar do infinitivo preposicionado do PE e PA) são bela e indissociável característica de nossa fala e escrita. O mesmo qualificativo vale para nossa colocação pronominal, que privilegia a próclise.

Finalmente, como defendia uma personagem deste trabalho⁹⁵, privilegiaremos sempre os termos em português. Assim, para nós, *fog* é nevoeiro; *fading*, esmaecimento; *scattering*, espalhamento; *stopping power*, poder de freamento (ou frenamento) etc.

A internet como instrumento do historiador (da ciência)

Começemos com uma frase incisiva: seria impossível obter parte substantiva da documentação e dos depoimentos para esta tese sem a internet (aqui entendida como o somatório de páginas na *web* e o correio eletrônico). Entrevistas e comunicações, caso factíveis, levariam certamente semanas ou meses. A consulta a arquivos e a localização de fontes (primárias ou não), no país ou fora dele, em arquivos a milhares de quilômetros do historiador, estariam comprometidas sem os poderosos instrumentos de busca disponíveis atualmente na internet.

A comunicação com fontes tornou-se igualmente veloz. Muitas vezes, em questão de horas, faz-se uma entrevista com alguém em outro continente. Entendemos que a passagem abaixo, de pesquisadora do Programa de História da Ciência da Universidade Princeton (Estados Unidos), resume, de forma adequada, o modo como a internet se tornou um instrumento de pesquisa quase indispensável para quem se propõe a fazer história:

“A era da internet transformou de modo crucial a tarefa do historiador e continua fazendo-o. A possibilidade de consultar livros antigos e manuscritos sem a necessidade de viajar às bibliotecas ou aos arquivos que os conservam tem enormes consequências para nossa tarefa como pesquisadores (como para a de

⁹⁵ César Lattes demonstrava irritação com termos estrangeiros na língua portuguesa. Certa ocasião, o autor deste trabalho anunciou a Lattes ter trazido, de Bristol, o *notebook* em que ele, Lattes, havia feito cálculos relativos ao méson pi e múon. Foi primeiramente felicitado e, logo depois, repreendido: “Não diga *notebook*. Há termo para isso em português. É caderno de anotações ou diário de laboratório.”

arquivistas e restauradores, bem como para as expectativas de vida e o nível de circulação dos materiais em si). Isso ocorre de maneira especial com materiais gráficos: a disponibilidade eletrônica de ilustrações científicas permite aos historiadores consultar e comparar material que está espalhado pelo mundo, assim como incorporá-lo facilmente em nossos próprios trabalhos, pois a grande maioria dos arquivos permite o uso gratuito de imagens para fins de pesquisa, facilitando também a aquisição de direitos de reprodução para publicação.”⁹⁶

Ao longo de nossa pesquisa, encontramos documentos valiosos para entender o complexo entrelaçamento de ciência, política, economia e indústria naquela década de 1940. Muitos ajudam a montar outro quadro histórico, a desfazer mitos que ‘assombram’ o tema por nós escolhido.

O emprego da internet como ferramenta possibilita também dar acesso direto aos leitores, tornando disponível a eles os endereços das páginas na quais se encontram os documentos nos diversos formatos em uso atualmente (.pdf, .htm, .html, .doc, .ppt etc). Todos os esforços foram feitos para garantir que as páginas da internet indicadas nas referências bibliográficas desta tese estivessem ‘no ar’ na entrega deste trabalho.

Muitas livrarias virtuais já permitem que parte do conteúdo do livro seja lida *online*. Ou até mesmo oferece a possibilidade de se pesquisar a obra com base em palavras-chave. Nesta tese, tivemos a chance de empregar esse valiosíssimo artifício, consultando livros que não existiam em bibliotecas brasileiras.

Permitam-me novamente um depoimento pessoal. Quando iniciei minha carreira de jornalista, a máquina de escrever era o principal instrumento de nossa profissão. Tive o privilégio (e sofri o espanto) de presenciar a transição entre esse instrumento secular e o nosso computador. Hoje, acredito que é difícil imaginar a profissão de jornalista sem o uso do computador e das ferramentas da internet. Acredito que o mesmo está se consolidando para os historiadores (e, claro, para outros profissionais, pesquisadores ou não). Penso, portanto, que chegará o dia em que os historiadores da ciência que viveram essa transição irão se perguntar como foi possível fazer pesquisa sem a internet e irão olhar para suas obras do passado com um misto de assombro e orgulho.

⁹⁶ BLEICHMAR (2004, p. 15). O texto, disponível em http://www.solofici.org/BOLETIN_33.pdf, traz lista de endereços de sítios da internet úteis para o historiador da ciência. Destacamos aqui <http://www.nahste.ac.uk/>, da NAHSTE (Ajuda Navegacional para a História da Ciência, da Tecnologia e Meio Ambiente), que nos pareceu interessante para os interessados na área de história da física e química anterior ao século 19, com material catalogado dos arquivos da Universidade de Edimburgo, da Universidade Heriot Watt e da Universidade de Glasgow.

Definição de história?

Uma das principais personagens desta tese, Cesar Lattes, tinha predileção por frases prontas. Uma delas:⁹⁷ “A história é a mais importante das ciências”.⁹⁸ Um de meus professores neste curso de pós-graduação, Prof. Dr. Carlos Alberto Filgueiras, foi testemunha de minha insistência em buscar uma definição do que seja a história (talvez, em função de minha formação em ciências exatas, nas quais definições precisas e ‘duras’ são necessárias).

Essa definição, certamente, não existe; compreendi depois de embate pessoal. E é justamente nisso, a meu ver, que reside a intensa riqueza dessa maravilhosa disciplina, a de nos permitir derramar algo de nossa personalidade sobre as análises dos fatos.

O historiador da ciência John L. Heilbron, em trecho de seu artigo⁹⁹, esboça uma relação entre a história e a física, citando Max Planck: “[Na opinião de Planck], a física pura era mais assemelhada à história que à engenharia. O objetivo de ambas [da física e da história] é entender a causa das coisas.”¹⁰⁰

A história está aferrada ao tempo e ao local em que é exercida; é, assim, indissociável da carga cultural e da visão de mundo (e das idiossincrasias, por que não?) daquele que a pratica. No livro *Varieties of History – from Voltaire to the present*¹⁰¹, pudemos ver a diversidade de enfoques; todos eles, certamente, classificados por seus autores como história; todos eles reflexo da época e do ambiente em que essas obras eram escritas.

Em um momento de maior dúvida, defrontei-me, por acaso, com um trabalho de divulgação científica sobre um tema da física, a termodinâmica. Em seu corpo, lia-se a seguinte definição:

“Foi a mecânica estatística, desenvolvida principalmente a partir de trabalhos do austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) e do norte-americano Josiah Gibbs (1839-1903), que possibilitou extrair, de inumeráveis constituintes microscópicos, poucas (e úteis) informações macroscópicas, como a quantidade de calor necessária para esquentar nosso café ou a pressão para calibrar um pneu.”¹⁰²

⁹⁷ Copião da entrevista dada à revista *Ciência Hoje* em posse do autor desta tese. Para a versão editada, ver NUSSENSVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁹⁸ Lattes citava como autor desta frase Karl von Meyenn, editor das cartas do físico alemão Wolfgang Pauli. Não nos foi possível checar essa informação.

⁹⁹ HEILBRON (1989, p. 48).

¹⁰⁰ Não acreditamos que a história tenha um só objetivo, muito menos que seja entender a causa dos fatos históricos. Se nos fosse permitido apontar aqui um dos objetivos da história, ousaríamos dizer que ela busca relações ou, se preferirem, como nas palavras de HEILBRON (1989, p. 70), conexão entre os eventos.

¹⁰¹ STERN (1973).

¹⁰² BORGES (2006).

Ouso, portanto, em um arroubo de atrevimento intelectual, apresentar aqui uma definição de história que responde a parte de meus anseios e dúvidas: A história é, em certo sentido, como a mecânica estatística: ela nos possibilita extrair, de uma realidade de imensa complexidade, poucas (porém, úteis) informações que nos permitem entender e analisar os fatos históricos. Essas informações nos ajudariam a entender a conexão entre eventos, num sentido que, para nós, fica bem explicitado na passagem de um magnífico texto de Heilbron:

“[...] a história tem suas próprias demandas, padrões, mudanças e desafios, até mesmo perigos – em resumo, sua própria base intelectual –, com analogias significantes e formais com a física.

Caso os historiadores tenham objetivo particular, este é entender a conexão de eventos a partir de perspectiva mais ampla que aquela de qualquer outro ator histórico, independentemente da posição em que este se encontre e possa ter atingido. Essa aspiração não implica sentimento de superioridade em relação a esses atores, nem qualquer tipo de sabedoria especial. Ela implica a obrigação e a paciência de estudar largo espectro e vasta quantidade de documentos – os quais nem sempre são literários – do passado e sobre o passado.”¹⁰³

O que foi exposto é apenas exercício (talvez, infrutífero) na busca de definição pessoal (e tranquilizadora) do que seja história. Penso que cada historiador tem a sua. E aí está uma das mais evidentes e excitantes qualidades desse maravilhoso campo do conhecimento humano.

Porém, não foi na precisão e na dureza da física que encontrei essa definição de modo mais completo. Mas, sim, na maleabilidade e na leveza da arte, mais especificamente na poesia. Deixo aqui, portanto, o leitor com um trecho (que não ousou traduzir por minha falta de treinamento e incapacidade no assunto) de ‘Little Gidding’, do livro *Four Quartets*, de T. S. Eliot.¹⁰⁴

*"We die with the dying:
See, they depart, and we go with them.
We are born with the dead:
See, they return, and bring us with them."*

Não há, para mim, melhor definição da verdadeira essência da história, bem como do motivo por que devemos continuar cultivando-a: para que seja colhida pelas próximas gerações. Deixo-a também como homenagem àqueles que, no Brasil, têm se dedicado à história da ciência.

Em meu campo de visão, não consigo enxergar nada mais gratificante.

¹⁰³ HEILBRON (1989, p. 48)

¹⁰⁴ ELIOT (1968, p. 46)

CAPÍTULO 2

RETRATO DA FOTOGRAFIA QUANDO JOVEM

Introdução

O início desta tese deve tratar forçosamente da história da fotografia.¹⁰⁵ Seria impensável escrever história das emulsões nucleares¹⁰⁶ sem fazer isso. Afinal, as emulsões de traços nucleares (ou, simplesmente, emulsões nucleares) nada mais são que chapas fotográficas com características especiais: mais espessas na camada de gelatina e com maior quantidade de sais de prata sensíveis à ação da luz.

A fotografia, desde sua invenção 'oficial', em 1839, tem vasta lista de serviços prestados como auxiliar na medicina, na ciência, nas artes, na indústria e no entretenimento.¹⁰⁷ Porém, destacamos, já neste início, que não é nossa intenção apresentar aqui uma descrição detalhada da história dessa invenção, pois ela conta com obras monumentais.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Há fortes evidências de que o termo tenha sido criado pelo francês radicado no Brasil Hercules Florence (1804-1879), a quem se atribui, ainda em 1832, a invenção do processo de gravação com a luz, que ele denominou *photographie*. Porém, obras de língua estrangeira, como JAMES (1977) e OSTROFF (1987), atribuem a criação do termo ao matemático, astrônomo e químico inglês John Herschel (1792-1871), que também fez pesquisas em fotografia. A ele, também tem sido atribuída a invenção dos termos 'positivo' e 'negativo', bem como a descoberta do tiosulfato de sódio como agente para fixar a imagem fotográfica. Voltaremos a tratar do papel de Florence nos primórdios da invenção da fotografia pela perspectiva dos componentes químicos empregados por este. Para mais detalhes sobre a vida e obra desse francês, sugerimos a leitura de KOSSOY (2006) e TURAZZI (2008). Para intersecção da arte com a fotografia no século 19 no Brasil, sugerimos MONTEIRO (2004). Para discussão mais filosófica sobre a fotografia, ver FLUSSER (1982) e FLUSSER (1985).

¹⁰⁶ Para nossos propósitos aqui, o termo emulsões de traços nucleares (ou simplesmente emulsões nucleares) refere-se às chapas fotográficas especiais desenvolvidas após a Segunda Guerra Mundial por empresas como Ilford e Kodak, no Reino Unido, e Eastman Kodak, nos Estados Unidos. O mesmo vale para 'técnica ou método das emulsões nucleares'. Já o termo chapa fotográfica significa, neste trabalho, as emulsões fabricadas antes do desenvolvimento das emulsões nucleares; portanto, refere-se àquelas chapas produzidas nas primeiras décadas do século 19, incluindo as que passaram a empregar a gelatina como substrato (ou matriz) para os sais de prata (notadamente, brometo de prata). Como já foi dito, quando comparadas às chapas fotográficas comuns, as emulsões nucleares tinham camada de gelatina mais espessa e maior proporção (em relação à gelatina) de brometo de prata.

¹⁰⁷ REIMERINK (2001, s/p)

¹⁰⁸ Em comunicação pessoal, TURAZZI usou esse qualificativo ("livro monumental") para FRIZOT, ALBERT e HARDING (eds.) (1998), que ela considera a "[...] obra mais abrangente e metodologicamente atualizada

Para nossa grata (in)satisfação, duas obras consultadas ao longo de nosso trabalho trazem tratamento interessante e minucioso da evolução da fotografia pela perspectiva da interseção desta com a ciência e a tecnologia. A primeira dessas obras nos pareceu tão importante, por sua abrangência, que seria injusto citá-la apenas em nota de rodapé. Portanto, deixamos aqui a sugestão de que todos aqueles que tenham interesse pela história da técnica das emulsões nucleares, bem como pela história da fotografia, procure conhecê-la: *Pioneers of Photography – their achievements in science e technology*,¹⁰⁹ publicada a partir de encontro realizado no Museu Internacional da Fotografia, na Casa George Eastman, em Rochester, no estado norte-americano de Nova York, entre 22 e 25 de junho de 1986. O livro saiu em 1987, ano em que a patrocinadora do evento, a então Sociedade de Cientistas e Engenheiros Fotográficos (SPSE), teve seu nome alterado para Sociedade para a Ciência e Tecnologia da Imagem, mantendo, no entanto, sua sigla original.

A segunda obra nos deu mais trabalho – totalmente recompensado – para ser obtida, mas é igualmente reveladora: é a tese de doutorado, ainda de 1966, do Prof. Dr. Reese Jenkins, hoje na Universidade Rutgers (Estados Unidos), com o título ‘Some interrelations of science, technology, and the photographic industry in the nineteenth century’.¹¹⁰

Nossa ideia com este capítulo introdutório é fazer com que o leitor possa se situar melhor sobre os primeiros empregos do método fotográfico aplicado à física – no caso, nuclear –, que se deu nos primeiros anos da década de 1910.

A ‘invenção’ da fotografia assemelha-se, de certo modo, à ‘invenção’ do avião, para nos restringirmos a só uma comparação. Não há momento em que essas duas culturas materiais da humanidade foram, realmente, inventadas. Portanto, a fotografia não tem um único inventor; ela é síntese de observações e inventos em momentos distintos.¹¹¹ As iniciativas que levaram à fotografia oscilaram ao prazer de uma série de fatores culturais, sociais, econômicos, técnicos e científicos. É, de modo resumido, advinda de necessidade de se encontrar meios que fossem rápidos e precisos para representar a realidade.¹¹² Seus primeiros 50 anos de vida podem ser caracterizados basicamente pela busca da estabilização e permanência da imagem.¹¹³

Para o pesquisador e grande especialista em fotografia T. H. James, a fotografia foi o somatório de tentativas e erros, que ele resume em bela frase¹¹⁴, de tom poético: “O

sobre a história da fotografia [...]”. Para os interessados, exemplar dessa obra encontra-se na Biblioteca do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

¹⁰⁹ OSTROFF (ed.) (1987).

¹¹⁰ JENKINS (1966).

¹¹¹ REIMERINK (2001, s/p).

¹¹² MONTEIRO (2004, p. 1).

¹¹³ WOLFSCHMIDT (2005).

¹¹⁴ Todas as traduções neste trabalho são de minha autoria. As exceções são indicadas.

desenvolvimento da fotografia tem sido triunfo do empirismo – que é palavra educada e frequentemente empregada para designar acidente”¹¹⁵

Certamente, muitas histórias já foram contadas (algumas, de forma minuciosa e exaustiva), por historiadores dessa área. Para os interessados nelas, há livros considerados seminais.¹¹⁶

Ao esquematizar este primeiro capítulo, tivemos sempre em mente o tema desta tese: as emulsões nucleares. A tarefa, inicialmente, nos pareceu árdua, pois, à exceção das duas obras citadas, a intersecção da fotografia com a física do século 19 é, em geral, referenciada por meio de um único exemplo: a descoberta da radioatividade, por Becquerel.¹¹⁷ Mas sabemos que Röntgen, em 1896, as empregou (muitas dessas chapas sobreviveram e podem ser hoje apreciadas), para investigar o grau de penetração da radiação recém-descoberta.¹¹⁸ Thomson, nas pesquisas que o levaram a propor a existência da primeira partícula subatômica, o elétron, em 1897, também as usou.

Portanto, para nós, permanecia o problema: como sistematizar história da fotografia para nossos propósitos. A resposta se revelou quando percebemos que as emulsões de traços nucleares (e, obviamente, a própria fotografia) poderiam ser ‘decompostas’:

- i) princípios físicos de óptica que permitiram o desenvolvimento das câmaras fotográficas e dos microscópios¹¹⁹;
- ii) sais de prata sensíveis à ação da luz (mais especificamente, haletos¹²⁰ de prata);
- iii) suporte (no caso das emulsões, geralmente o vidro);¹²¹

¹¹⁵ Frase de T. H. James citada como epígrafe da tese *Fotografia (ionografia)* apresentada em 1957 pelo pesquisador brasileiro Hervásio Guimarães de Carvalho para o concurso de professor catedrático da cadeira de física na Escola Nacional de Química da Universidade do Brasil. Ver DE CARVALHO (1957).

¹¹⁶ FRIZOT, ALBERT e HARDING (eds.) (1998); GERNSHEIM e GERNSHEIM (1955); EDER (1945), NEWHALL (1982), só para citar algumas.

¹¹⁷ Para discussão mais aprofundada sobre Becquerel e a radioatividade, ver MARTINS (1997b).

¹¹⁸ Para discussão mais ampla dos trabalhos de Röntgen, ver MARTINS (1997a) e MARTINS (1998).

¹¹⁹ POWELL, FOWLER e PERKINS (1959) iniciam esse trabalho seminal com definição aparentemente simples, porém incisiva, e, a nosso ver, bem adequada para definir o que eram os elementos básicos que constituíam a técnica das emulsões. Segundo eles, a técnica nada mais era do que a união da fotografia com a microscopia [óptica].

¹²⁰ Designação genérica para os fluoretos, cloretos, brometos e iodetos. Por vezes, é também encontrado o termo halogenetos.

¹²¹ O emprego do suporte de vidro nas emulsões nucleares é um caso interessante de ‘regresso’ a uma tecnologia que, na fotografia comercial, já havia sido superada com o desenvolvimento do celuloide, no final do século 19. Esse novo suporte trouxe desdobramentos para a indústria e a ciência fotográfica bem mais amplos do que pode parecer a mera troca de um suporte por outro. Isso será objeto de discussão em item deste capítulo. Na função de detectores de radioatividade, inicialmente, e de raios cósmicos, a partir da década de 1930, o suporte de vidro era mais apropriado em função das propriedades mecânicas desse

iv) substrato (no caso, a gelatina), cujo papel, adiantamos, vai bem além de ser mero meio de suporte para os haletos de prata.

Com base no item i), decidimos, então, apresentar história concisa sobre o emprego da *camera obscura* (câmara escura). Nela, discutimos basicamente os princípios físicos que permitiram o desenvolvimento dos equipamentos ópticos. No item ii), está a caminhada que levou ao emprego do principal sal de prata empregado tanto na fotografia quanto nas emulsões, o brometo de prata.

O item iii) tratará do percurso que culminou com o desenvolvimento de suportes (filmes) flexíveis que possibilitaram a fabricação em massa das emulsões fotográficas.

Finalmente, o último dos itens acima irá lidar com as cerca de três décadas que se estenderam da invenção oficial da fotografia até a popularização das chamadas chapas secas, por volta de 1880, cujo substrato era a gelatina. Um primeiro desafio dessas novas placas foi o fato de elas não serem tão sensíveis como as úmidas, ou seja, o colódio.¹²²

Nos tópicos seguintes deste capítulo, não apresentaremos os fatos em ordem cronológica. Sendo assim, nos parece justo, desde este início, dar breve panorama de alguns dos principais fatos da história da fotografia no século 19, com o simples propósito de situar o leitor que por ventura nunca tenha se deparado com esse tema anteriormente.

Grande angular: panorama instantâneo da fotografia

Como dissemos, a fotografia não foi a invenção de um, mas de muitos. Foi produto de avanços anteriores no campo da física e da química, para nos restringirmos apenas ao viés científico desse cenário de fundo. Poderíamos pensar que cada tipo de fotografia (daguerreótipo, calótipo, colódio etc.) trouxe em seu âmago a semente de sua superação, ora pela impossibilidade de reprodução dos originais, ora pelas qualidades das cópias obtidas de negativos, ora pelas quantidades de reagentes que o fotógrafo era obrigado a levar consigo para as ruas, ora pela impossibilidade de padronização na produção em escala de chapas, ora pela falta de flexibilidade do suporte, ora pela fragilidade do substrato que continha os sais de prata.

material. Muitas vezes, principalmente no caso dos raios cósmicos, essas chapas eram expostas em ambientes inóspitos (geleiras ou a altas altitudes, por exemplo) e passavam meses expostas a intempéries. É quase certo que a nitrocelulose, por exemplo, que também se tornou suporte-padrão, não resista a essas condições. O vidro manteve-se até o ocaso das emulsões para a física de altas energias como o principal suporte.

¹²² Solução de nitrocelulose em mistura de álcool etílico e éter etílico. As chapas úmidas continuaram sendo empregadas extensivamente, no entanto, na indústria de fotogravura na década de 1930, até onde pudemos apurar. Para mais detalhes, ver NATURE (1939).

Apesar de não haver 'o' inventor da fotografia, há marcos consensuais entre os historiadores da área. É consenso, por exemplo, que, em 1826, o inventor francês Joseph Nicéphore Niépce (1765-1833) tenha obtido o que é considerada, hoje, a primeira fotografia. Nessa imagem, tosca, sem muita definição, de difícil compreensão, o que impressiona, do ponto de vista químico, é o fato de ela ter durado até nossos dias. Isso demonstra propriedade dessa técnica que já era ressaltada pelos físicos em relação às emulsões nucleares a partir da década de 1940: uma vez (bem) revelada, a fotografia pode atravessar décadas ou séculos. Isso permitiu que dados de experimentos fossem armazenados para comparações posteriores, fato especialmente útil para a astronomia, por exemplo.¹²³



Imagem feita por Joseph Niépce, em 1826, considerada a primeira fotografia (Crédito: J. N. Niépce)

Voltemos a Niépce. Aquela imagem foi obtida por ele, *grosso modo*, com as seguintes substâncias químicas e materiais: um substrato (no caso, o chamado betume da Judeia¹²⁴), sobre uma placa de peltre (*pewter*) impregnada com sal de prata (no caso, nitrato de prata). O conjunto teve que ser exposto à luz solar cerca de oito horas. Em função disso, seu inventor denominou a técnica heliografia.

Mas isso não fez de Niépce 'o' inventor da fotografia. O químico austríaco especialista em fotografia e conceituado historiador da área Josef Maria Eder (1855-1944), para espanto (e revolta) de muitos de seus contemporâneos, defendeu, em sua obra mais popular¹²⁵, que a

¹²³ WOLFSCHMIDT (2005, s/p).

¹²⁴ Segundo definição do dicionário *Aurélio* (FERREIRA, 1996, s/p), o betume da Judeia é "substância sólida, negra, com fratura concoidal, originada possivelmente de transformação do petróleo e usada na indústria de tintas e vernizes".

¹²⁵ EDER (1945). Este livro sofreu críticas duras de NEWHALL (1946).

invenção da fotografia caberia ao professor de anatomia e microscopista alemão Johann Heinrich Schulze (1687-1744), que atribuiu o escurecimento dos sais de prata à ação da luz e com eles obteve imagens simples.

Ainda antes de Niépce, o inglês Thomas Wedgwood (1771-1805)¹²⁶ conseguiu imprimir, porém sem fixar, imagens sobre couro branco e papel, ao embebê-los em solução de nitrato de prata. As ideias de Wedgwood, filho de famoso ceramista da época, Josiah Wedgwood (1730-1795), foram disseminadas pelo químico inglês Humphry Davy (1778-1829), logo no início do século 19, em artigo científico publicado em *Journals*¹²⁷ of the *Royal Institution*, que teria só um número editado.¹²⁸ Essa colaboração entre o artista e o químico se interrompeu em função basicamente de dois fatores: Wedgwood, já muito adoentado, morreria logo depois; Davy passaria a se interessar por outras áreas da química.¹²⁹



Thomas Wedgwood, que conseguiu imprimir, porém sem fixar, imagens sobre papel e couro, era filho de famoso ceramista inglês, Josiah Wedgwood (Crédito: desconhecido)

O emprego do betume da Judeia como suporte para os sais de prata foi dos principais fatores que desestimularam a colaboração – que parece ter nascido já desconfiada¹³⁰ – entre Niépce e seu compatriota Louis-Jacques Mandé Daguerre (1787-1851), gráfico de profissão. Daguerre não acreditava ser possível desenvolver a fotografia com esse tipo de substrato. A sociedade entre os dois inventores foi firmada, tendo cada parte propósitos diversos: Niépce,

¹²⁶ Sua irmã, Susannah Wedgwood (1765–1817), casou-se com o médico inglês Robert Darwin (1766-1848). O casal teve como filho o naturalista inglês Charles Darwin (1809-1882), idealizador da teoria da evolução pela seleção natural.

¹²⁷ Assim, no plural.

¹²⁸ DAVY (1802).

¹²⁹ JAMES (1987a).

¹³⁰ REIMERINK (2001, s/p)

gráfico, via na fotografia forma de reproduzir quadros em larga escala, com a intenção de comercializá-los; para Daguerre, o interesse estava em agilizar a criação de seus dioramas,¹³¹ que inventou e exibia em Paris. Para Henry Fox Talbot (1800-1877),¹³² sobre o qual falaremos, a ideia precursora era tornar permanente a imagem projetada sobre o papel de desenho.



Daguerreótipo de Daguerre (Crédito: desconhecido)

As ideias e os experimentos de Daguerre levaram ao chamado daguerreótipo, cujo processo físico-químico descreveremos adiante. Por enquanto, vale dizer que o invento foi anunciado com pompas em sessão da Academia de Ciências de Paris, em 7 de janeiro de 1839, pelo matemático, físico, astrônomo e político francês François Jean Dominique Arago (1786-1853). O chamado daguerreótipo foi oferecido como presente da França para o mundo. O governo francês comprou os direitos autorais de Daguerre, dando a ele e ao filho de Niépce pensão vitalícia – para este último, em menor valor.¹³³

O daguerreótipo popularizou-se na obtenção de retratos e obteve sucesso, principalmente, nos Estados Unidos, onde, em torno da década de 1850, o fenômeno chegou a ser batizado ‘daguerreomania’.¹³⁴ Uma das causas para a grande popularização parece ter sido o fato do

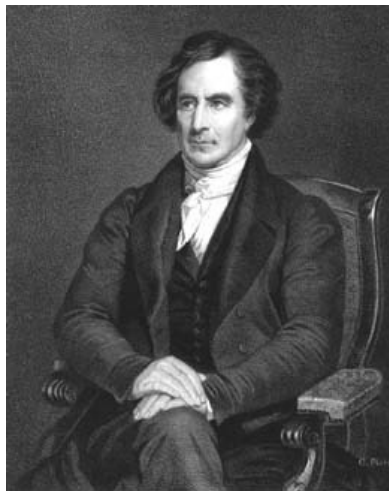
¹³¹ Quadro iluminado na parte superior por luz móvel cujo propósito é criar ilusão de óptica.

¹³² Com sólida formação científica, o britânico Henry Fox Talbot (ou Henry H. Talbot, como preferia ser chamado) deu contribuições para a matemática, física, astronomia, tendo conhecimentos de química e óptica. Porém, sua obra foi ofuscada pelo fato de ele ser pioneiro do desenvolvimento da fotografia. Para apreciação mais detalhada da vida, bem como da obra matemática de Talbot, ver O’CONNOR e ROBERTSON (2005).

¹³³ WOOD (1997) traz relato interessante sobre os trâmites políticos e burocráticos que levaram até essa concessão de pensão.

¹³⁴ No Brasil, o daguerreótipo chegou por meio de navio que viajava por vários países do mundo, para explorar comercialmente a técnica. Trabalho de pesquisa em torno desse tema vem sendo feito nos últimos

surgimento de classe de trabalhadores assalariados decorrente do processo de industrialização no início do século 19 e cujo poder econômico permitia pagar pela obtenção de retratos de familiares e entes queridos.¹³⁵ Até então, retratos eram feitos por pintores, a preços além das possibilidades dos trabalhadores de baixa renda.¹³⁶



Arago, físico, astrônomo e político francês, fez o anúncio da invenção da fotografia em 1839 na Academia de Ciências de Paris (Crédito: desconhecido)

O daguerreótipo não foi invenção isolada. Seu desenvolvimento se deu quase concomitantemente com o do chamado calótipo (mais tarde, talbótipo) por Talbot. O talbótipo trouxe consigo dois elementos que se estenderiam até o início do século 21:

- i) o papel como suporte para os sais de prata;
- ii) o uso do negativo, a partir do qual se obtém o positivo (a fotografia em si).

anos pela pesquisadora Maria Inez Turazzi, do Museu Imperial, do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional.

¹³⁵ JENKINS (1987, p. 21)

¹³⁶ Para mais detalhes sobre a relação do poder aquisitivo dos trabalhadores, desenvolvimento industrial e a aquisição de daguerreótipos, ver JENKINS (1987).



Henry H. Talbot, mais conhecido por ser um dos inventores da fotografia, deu contribuições importantes para a matemática (Crédito: desconhecido)

O talbótipo veio resolver um anseio dos fotógrafos da época, principalmente de retratistas: a cópia. Apesar de sua melhor resolução, o daguerreótipo inviabilizava a reprodução do original. Com o talbótipo, esse processo se dava como o da fotografia moderna: a exposição à luz produzia negativo, que, atravessado por luz intensa, permitia a obtenção de positivo em papel umedecido com sais sensíveis à luz.

Um problema com o método de Talbot foi o da qualidade do papel, que comprometia a definição nas reproduções. Esse revés acabou resolvido com o surgimento do binômio vidro-albúmen, criado, em 1847, pelo médico e químico francês Claude Félix Abel Niépce de Saint-Victor (1805-1870), primo de Niépce. A transparência do substrato e do suporte permitia a passagem de praticamente toda a luz que incidia sobre o conjunto. O problema parecia resolvido. Mas a fragilidade do albúmen criou outro empecilho: era difícil lidar com o substrato sem danificá-lo.

Em 1851, o britânico Frederick Scott Archer (1813-1857) apresentou o colódio¹³⁷ sobreposto a uma placa de vidro. A nova técnica se tornaria popular por ser mais barata que o daguerreótipo e trazer o tempo de exposição da chapa para a casa dos segundos.¹³⁸ Porém, a desvantagem do colódio, para fotógrafos profissionais, era o fato de as chapas terem de ser manipuladas, da fabricação à exposição à luz, ainda úmidas, pois a sensibilidade do colódio diminuía significativamente com a evaporação do solvente (éter). Apesar da logística complicada, o colódio manteria sua supremacia até o final da década de 1870.¹³⁹

¹³⁷ Solução de piroxilina (tipo de nitrocelulose com baixo teor de nitrogênio) em mistura de álcool etílico e éter etílico.

¹³⁸ O tempo de exposição do daguerreótipo era tão longo que foram desenvolvidos suportes para a cabeça dos fotografados, para evitar que a pessoa se mexesse na exposição.

¹³⁹ CARROLL (1931, p. 2.342).

Outra desvantagem do colódio: obrigar fotógrafos profissionais – na década de 1850, essa nova profissão começava a ganhar força – a preparar as chapas nos locais onde as fotografias seriam tiradas. Isso tornava esses profissionais ‘químicos ambulantes’, obrigados a arrastar com eles quantidade significativa de reagentes, bem como o ‘quarto escuro’ (tenda, geralmente) para a manipulação das chapas.

A partir da década de 1850, outros métodos fotográficos surgiram, cada um tentando superar dificuldades de seu antecessor. Para nossos propósitos aqui, iremos saltar historicamente para as chamadas chapas secas, nas quais o substrato para os sais de prata era a gelatina.

Oficialmente, o uso da gelatina na fotografia deu-se em 1871. Porém, esse emprego já havia ocorrido na década de 1850.¹⁴⁰ Inicialmente, essa inovação passou despercebida em função da então recente e rápida aceitação do colódio.

No final do século 19, iniciou-se a fabricação em massa das chapas secas, quando ocorreria a substituição do suporte de vidro pelo nitrato de celulose¹⁴¹, permitindo que filmes, agora flexíveis, fossem enrolados e acondicionados em câmeras fotográficas portáteis. A consequência disso foi a ampla popularização da fotografia na virada daquele século.

A luz aprisionada: a câmara escura e seus princípios físicos

Passamos agora a um estágio mais primitivo do processo fotográfico: a fixação da luz em um substrato. Essa ideia parece ter permeado o imaginário artístico desde a Antiguidade. O escritor Publius Papinus Statius (ou Estácio)¹⁴² publicou, em coletânea de peças de circunstâncias, com o título *As Selvas*, relato no livro III que parece espantoso, dada a similaridade com o processo fotográfico desvendado quase 20 séculos mais tarde: “[...] *tu modo fige aciem et vultus hic usque relinque...*”¹⁴³

¹⁴⁰ OSTROFF e JAMES (1972).

¹⁴¹ Na década de 1920, devido à instabilidade dessa substância, ela seria substituída pelo acetato de celulose, que, no entanto, caso não mantido em condições ideais de temperatura e umidade, pode levar à chamada ‘praga do vinagre’, ou seja, série de reações que tem o ácido acético (vinagre) como produto final.

¹⁴² Estácio nasceu em Nápoles por volta de 40 a.C. e morreu na mesma cidade cerca de 55 anos depois. Escreveu duas epopeias, *Tebaida* e *Aquileida*, esta última inacabada.

¹⁴³ Extraído de SHACKLETON BAILEY (2003), em cuja versão o trecho corresponde ao verso 97 do livro III.4. Na tradução na mesma obra, lemos “[...] *the mirror resplendent with jeweled gold [...] Only do you fix a look therein and leave your face there forever*”. Em uma tentativa de tradução para o português, “espelho esplêndido de ouro” no qual “Você apenas lança um olhar sobre ele, e nele ficam suas feições.”

Mais intrigante nos parecem ser os “espíritos elementares”¹⁴⁴, em *Gypanthie*, ficção utópica do escritor francês Charles-François Tiphaigne De la Roche.¹⁴⁵ Em passagem desse romance, de 1760, descrevem-se essas entidades misteriosas e metafísicas, capazes de fixar, em substrato viscoso, a imagem luminosa de objeto de forma permanente.¹⁴⁶

O texto de Tiphaigne De la Roche, publicado em *Giphantie*, deve ser lido com cuidado; caso contrário, passa-se a atribuir a ele cenário visionário do futuro, de adivinhação, sem que isso esteja calcado no contexto da época. É preciso lembrar que, naquele período, havia demanda da imprensa escrita (panfletos, jornais, revistas e livros) pela fixação de imagens obtidas nas câmaras escuras – ilustrações eram caras e demoradas, e muitos editores desistiam de incorporá-las aos livros para diminuir custos.¹⁴⁷ Assim, é possível pensar que a inspiração de Tiphaigne De la Roche tenha sido alimentada por esse contexto.

¹⁴⁴ Algumas traduções – por exemplo, GERNSEIM e GERNSEIM (1955, p. 26) – têm corrigido o termo no original para “espíritos elementais”. No português brasileiro, os dois termos são sinônimos, sendo, no entanto, ‘elemental’ pouco usado.

¹⁴⁵ Escritor francês nascido em 1722 e morto em 1775. O título de seu romance *Giphantie* é um anagrama de ‘Tiphaigne’. Parece-nos que T. H. James (JAMES, 1987, p. 11) equivocou-se sobre o nome de Tiphaigne De la Roche, chamando-o de Paul De la Roche, pintor francês, que, em meio ao entusiasmo inicial com a invenção da fotografia, resumiu sua apreensão sobre o destino de sua arte: “A pintura está morta”.

¹⁴⁶ “Sabe-se que os raios de luz refletidos de diferentes corpos formam imagens, pintam a imagem refletida sobre todas as superfícies polidas, por exemplo, na retina dos olhos, na água e nos vidros. Os ‘espíritos elementares’¹⁴⁶ procuraram fixar essas imagens fugidias; eles formaram matéria muito sutil, por meio da qual imagem é formada no piscar de olhos. Eles revestem um pedaço de tela com esta matéria, e o colocam na frente do objeto a ser fixado. O primeiro efeito desta tela é similar ao de um espelho, mas, por meio de sua natureza viscosa, a tela assim preparada, como não é o caso com o espelho, retém a imagem de forma fac-similar. O espelho representa imagens fielmente, mas não as retém; nossa tela reflete-os não menos fielmente, mas os retém todos. Esta impressão da imagem é instantânea. A tela é então removida e depositada em lugar escuro. Uma hora mais tarde a impressão é seca, e se tem uma imagem, a mais preciosa, cuja fidelidade nenhuma arte pode imitar.” Traduzida de versão em inglês disponível na página pessoal do Prof. Dr. Marcelo Guimarães Lima. É possível que a fonte tenha sido GERNSEIM e GERNSEIM (1955). A versão fac-similar da obra de Tiphaigne de la Roche está em <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k83191r>

¹⁴⁷ JAMES (1987a, p. 11)



Frontispício do livro *Giphantie*, de Tiphaigne de la Roche, publicado em 1760 (Crédito: desconhecido)

O princípio básico da câmara escura é conhecido desde a Antiguidade. As primeiras reflexões sobre esse artefato estão em *Problemata Physica*, de Aristóteles, despertado para o fenômeno ao observar a luz passar por pequenas frestas entre as folhas, projetando no chão a imagem de um eclipse.

A câmara escura (ou, do latim, *camera obscura*) trata-se de ambiente fechado no qual a luz penetra por diminuto orifício, projetando na parede oposta de forma invertida. Seu tamanho podia variar: de grande ambiente (quarto, sala etc.) a, posteriormente, tenda ou caixa. Na forma de quarto ou sala, a câmara escura foi utilizada para a observação de eclipses e fenômenos solares. O primeiro desses esboços aparece em obra de Frisius.¹⁴⁸

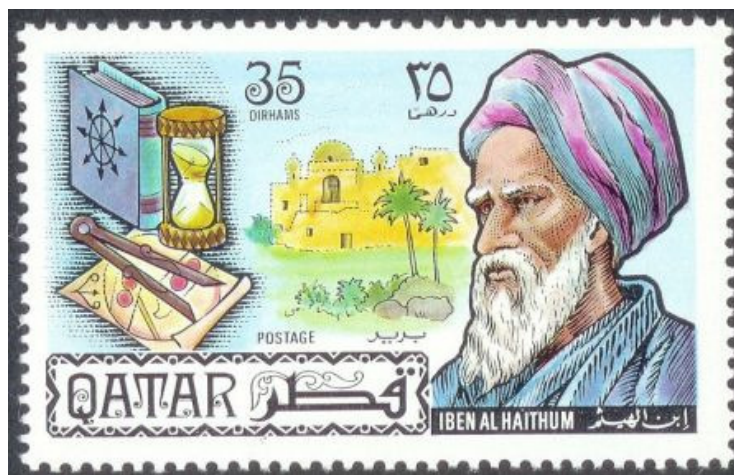
O conhecimento da câmara escura era relativamente disseminado entre intelectuais árabes na virada do século 10 para o seguinte.¹⁴⁹ No entanto, os registros históricos indicam que o maior desenvolvimento, desde a Antiguidade, se deu com Ibn al-Haytham,¹⁵⁰ provavelmente no início do século 11, que descreveu os princípios físicos da câmara escura e a usou – como o mais convincente entre os argumentos empregados por ele – para mostrar que os raios de luz penetravam os olhos e não eram emanados por eles, como foi postulado por Empédocles ainda no século 5 a. C.¹⁵¹

¹⁴⁸ FIORENTINI, 2006, p. 7 e 8.

¹⁴⁹ GERNSEIM e GERNSEIM (1955, p.1) alega que vários autores (porém, não os cita) atribuíram erroneamente a invenção da câmara escura a “Roger Bacon, Alberti, Leonardo da Vinci e G[iovanni] B[attista] Porta, mas, de fato, ela foi descrita 250 anos antes de Bacon” por Ibn Al-Haitham.

¹⁵⁰ Segundo RASHED (2002), Ibn Al-Haytham (965-1040), também conhecido por Alhazen (ou Alhacen), forma latinizada de seu primeiro nome, Al-Hasan, é denominado, por suas habilidades, ‘Ptolomeu Segundo’, em referência ao eminente astrônomo, matemático e geógrafo alexandrino. Entre vários feitos, Alhazen desenvolveu a óptica de forma surpreendente, chegando à teoria das lentes. GERNSEIM e GERNSEIM (1955, p. 1) citam 1038 como ano da morte de Al-Haitham.

¹⁵¹ “[...] al-Haytham argumentou corretamente que nos é possível ver os objetos, porque os raios luminosos solares, que ele acreditava serem formados de diminutas partículas viajando em linha reta, são refletidos



Al-Haytham, em nota do Qatar (Crédito: <http://jeff560.tripod.com/stamps.html>)

Em sua obra *De aspectibus*, al-Haytham oferece nova solução para o problema da visão, combinando técnicas experimentais sobre o comportamento da luz com provas geométricas, bem como investidas no campo da psicologia da percepção visual, formando alternativa coerente às teorias euclidianas e ptolomaicas sobre os raios visuais lançados pelos olhos.¹⁵²

pelos objetos para dentro de nossos olhos. Ele entendeu que a luz deve viajar com grande velocidade, porém finita, e que a refração é causada pelo fato de a velocidade ser diferente em meios diferentes.” – ver O’CONNOR e ROBERTSON (2002, s/p). FIORENTINI (2006, p. 7) sugere, para uma visão histórica sobre a câmara escura, John Hammond, *The Camera Obscura: A Chronicle* (Bristol: Hilger, 1981) e Philip Steadman, *Vermeer’s Camera* (Cambridge/Mass.: The MIT Press, 2001).

¹⁵² SABRA (2003, p. 54).



Página de edição de *Livro sobre Óptica*, de al-Haytham (Crédito: desconhecido)

As ideias de al-Haytham só foram conhecidas no século 16,¹⁵³ quando a obra originalmente denominada *Kitāb al-Manāẓir* (ou *Livro sobre Óptica*), reunindo os 14 títulos que sobreviveram sobre o tema¹⁵⁴, foram publicados.¹⁵⁵ As ideias de al-Haytham influenciaram pensadores como Roger Bacon e Witelo, e, mais tarde, a edição de 1572 teria chamado a atenção de matemáticos como Kepler, Descartes e Huygens.¹⁵⁶

Na Renascença, Leonardo da Vinci empregou sistematicamente a câmara escura como tema de suas pesquisas.¹⁵⁷ Seu trabalho com esse equipamento, “prepara o caminho para a publicação *Paralipomenon ad Vitellionem* (1604), por Kepler.”¹⁵⁸

¹⁵³ FIORENTINI (2006, p. 7), O’CONNOR e ROBERTSON (2002).

¹⁵⁴ RASHED (2002, p. 773).

¹⁵⁵ AL-HAYTHAM (1572).

¹⁵⁶ SABRA (2003, p. 54).

¹⁵⁷ A relação de Da Vinci com a câmara escura fica patente na passagem abaixo reproduzida: “Se os estudos de Leonardo sobre a câmara escura estão dentro de tradição bem-establishada, eles continuam importantes por, pelo menos, três razões. Uma delas é a impressionante quantidade: há não menos do que 270 diagramas de câmara escura nos diários de Leonardo. A segunda delas é que ele a usa para demonstrar amplo espectro de princípios ópticos: inversão de imagens, não-interferência, imagens sobrepostas [no original, *images all in all*], intensidade da luz e sombra e movimento contrário. A terceira razão para essa importância é o método que ele revela. Diferentemente de seus predecessores medievais, que haviam considerado apenas exemplos isolados, Leonardo explora vários casos, sistematicamente

Na época de Roger Bacon, o uso de lentes para óculos estava bem disseminado, mas coube a Girolamo Cardano (1501-1571), médico e professor de matemática em Milão (Itália), a primeira menção à conjugação de lente convexa com câmara escura.¹⁵⁹ A colocação de lente convexa no orifício permitiria que este tivesse diâmetro maior, melhorando a luminosidade da imagem refletida, sem que a nitidez dela ficasse prejudicada.¹⁶⁰ Em 1568, Daniel Barbaro (1514-1570), em sua obra *La pratica della prospettiva*, sugeriu que esse artefato poderia ser usado para o desenho.¹⁶¹ Também parece ser desse nobre e arquiteto veneziano a adaptação do diafragma à câmara escura.

É, portanto, no século 17 que a câmara escura ganha o formato de caixa, tornando-se, assim, portátil e adaptada ao trabalho artístico.¹⁶²

alterando a forma e o número de aberturas, o que o levou a fazer analogias com o olho.” Por tradição bem estabelecida, Veltman refere-se à tradição da óptica e da astronomia, proveniente do final do século 13, com Pecham, na física da luz, e William de St. Cloud, com os eclipses, segundo a autora. VELTMAN (1986, p. 1). O ensaio é versão reduzida do volume 2, parte 2, capítulo 3, da obra *Leonardo Studies*, que trata de todas as notas de Da Vinci sobre óptica e astronomia.

¹⁵⁸ VELTMAN (1986, p. 10).

¹⁵⁹ “Se a pessoa quer ver coisas que se passam na rua, quando a luz solar brilha intensamente, deve por na lâmina da janela uma lente convexa [*orbem e vitro*]. Se a pessoa então fechar a janela, irá ver imagens projetadas através daquela abertura, sobre a parede oposta, mas com cores sem intensidade; mas, ao colocar uma folha de papel branco no lugar onde se veem as imagens, a pessoa irá obter o tão desejado resultado de forma espetacular.” Tradução feita do inglês de citação reproduzida por GERNESHEIM e GERNESHEIM (1955, p. 5). Traduzimos *window shutter* como lâmina da janela. O termo apropriado em português é gelosia.

¹⁶⁰ Em *Hieronymi Cardani Medici Mediolanensis De Subtilitate: Libri XXI* (Norimbergae: Petreius, 1550). Citado na nota 13 da bibliografia de FIORENTINI (2006, p. 10).

¹⁶¹ Citado em FIORENTINI (2006, p. 7). A obra de Barbaro foi publicada com o título *La pratica della prospettiva: opera molto profittevole a' pittori, scultori, ed architetti* (Venetia: Camillo & Rutilio Borgominieri, 1568 (1569)), parte 9, p. 193.

¹⁶² GERNESHEIM e GERNESHEIM (1955, p. 1) citam Giovanni Battista Porta como o primeiro a sugerir o uso da câmara escura para o desenho.



Girolamo Cardano, que fez a primeira menção à conjugação de lente convexa com câmara escura
(Crédito: desconhecido)

Newton empregou a câmara escura como instrumento para realizar seu famoso experimento de ‘decomposição’ da luz branca na cores básicas.¹⁶³ Em sua obra *Ótica*, de 1704, escreveu: “Os raios solares penetraram a câmara escura através de orifício redondo, e sua luz foi ali refratada por prisma, que lançou, sobre a parede oposta, sua imagem.”¹⁶⁴

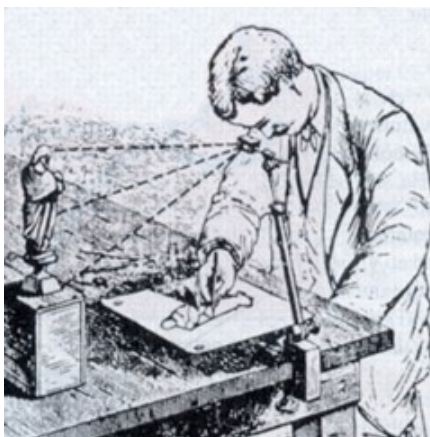
Fixar de forma permanente a imagem projetada sobre o papel de desenho foi a ideia central que motivou Talbot a iniciar suas pesquisas na área de fotografia. Em férias no lago Como (Itália), Talbot empregava a câmara lúcida¹⁶⁵ para esboçar a paisagem. Deduziu que seria mais eficiente caso a imagem visualizada sobre o papel fosse fixada de modo permanente. A ideia parece ter encontrado terreno fértil: além de sólida formação em matemática (para a qual deu contribuições importantes), esse britânico tinha conhecimentos de química e física.¹⁶⁶

¹⁶³ SALIH, H., AL-AMRI, M. e EL GOMATI, M. (2005, p. 3).

¹⁶⁴ Há tradução para o português dessa obra, publicada em 2002 (1ª edição) pela Edusp, feita por André Koch Torres Assis, pesquisador da Universidade Estadual de Campinas (SP).

¹⁶⁵ Apesar da semelhança no nome, a câmara lúcida é bem diferente da escura. Aquela é formada basicamente por prisma e haste, sendo que esta pode ser presa a uma superfície qualquer ou à prancheta do artista, por exemplo. É interessante destacar aqui que em 1957 a câmara lúcida voltou a ser técnica empregada por físicos para a observação dos traços de partículas ionizantes presentes nas chamadas emulsões nucleares. Para mais detalhes, ver SACTON (1998).

¹⁶⁶ Ele próprio descreve a passagem: “Fui informado, por um colega cientista, de que esse resultado desfavorável dos experimentos do Sr. Wedgwood e Sir Humphry Davy havia sido a causa principal que os desencorajou a seguir a ideia que ele [Sr. Wedgwood] igualmente havia tido, ou seja, a de fixar as belas imagens obtidas por meio da câmara escura. E, sem dúvida, quando um experimentador tão ilustre quanto Sir Humphry Davy anunciou ‘que todos os experimentos haviam se mostrado infrutíferos’, essa declaração teve peso tal que desencorajou qualquer tentativa posterior nesse sentido. A circunstância, também anunciada por Davy, de que o papel sobre o qual essas imagens foram delineadas tendia a tornar-se



Desenhista empregando câmara lúcida pra fazer esboço (Crédito: desconhecido)

O emprego de lentes na câmara escura criou para os artistas e cientistas do século 17 um problema quanto à autenticidade da imagem. Surgiam perguntas sobre qual seria a visão ‘verdadeira’, a dos olhos ou aquela obtida pela lente? Seria possível confiar nos próprios olhos? As lentes influenciaram nas imagens produzidas por elas?¹⁶⁷

Esse problema epistemológico entre verdade e aparência ganhou contribuição importante por parte do astrônomo e matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630), que tratou como ‘pinturas’ as imagens projetadas sobre a retina, apontando o argumento de que não seria possível fugir da representação.¹⁶⁸

Talbot não estava sozinho em seu desejo de fixar de modo permanente a imagem. É certo que a ideia ocorreu a inventores, artistas e cientistas. Essas primeiras tentativas devem ser entendidas em cenário mais amplo, no qual estavam incluídos desenvolvimentos da física e da química, bem como uma corrente filosófica, o romantismo.

Para finalizar este subcapítulo, interessa ressaltar que, no século 16, os princípios físicos da câmara escura já eram conhecidos, a saber: i) o da câmara em si; ii) o do diafragma; iii) e o da lente. Esses são, basicamente, os atributos presentes nas câmaras fotográficas modernas. Mas o surgimento da fotografia e a consequente fixação da imagem teriam que esperar pelos avanços da química dos séculos seguintes.

inteiramente escuro, e que nenhuma das tentativas para reverter essa situação obteve sucesso, teriam me induzido a pensar que tentativa semelhante seria infrutífera, caso eu não tivesse (felizmente), antes de tê-lo lido, já descoberto método para vencer essa dificuldade e para fixar a imagem de tal maneira que ela não mais se ficaria à mercê de danos ou de destruição” Ver JAMES (1987a, p. 14).

¹⁶⁷ BARBOSA-LIMA, QUEIROZ e SANTIAGO (2007, p. 29). Esse mesmo artigo traz as relações entre o vigor da arte holandesa no século 17 e avanços no estudo da óptica e da luz.

¹⁶⁸ BARBOSA-LIMA, QUEIROZ e SANTIAGO (2007, p. 29). Ver também sobre a realidade das imagens vistas ao microscópio FARA (2009).

Sinfonia submolecular: a química fixa a imagem

Os mecanismos físicos básicos para a fotografia praticamente se esgotam com o entendimento do processo físico da câmara escura e das lentes. Faltava, porém, elemento fundamental para a fixação da imagem sobre um substrato. Para isso, foi necessário esperar pelos avanços da química, principalmente os que se deram ao longo do século 18 e início do seguinte – basta lembrar que a descoberta de halogênios importantes para a nossa história, o iodo e o bromo, integrantes dos principais sais de prata que passaram a compor as emulsões fotográficas, foram descobertos, respectivamente, em 1811 e 1826.

A química do século 19 tinha o intuito de criar um “mundo artificial”, nas palavras do filósofo francês Gaston Bachelard¹⁶⁹. O complexo (e praticamente desconhecido) processo fotográfico foi resumido, de forma poética, por Arago, ao comentar as intrincadas relações que traziam, ao campo do visível, a imagem latente no daguerreótipo: “Fantástica sinfonia submolecular”, cujos elementos, regidos por forças dinâmicas, bem ao gosto do romantismo, envolviam, no caso do daguerreótipo, a complexa interação entre o iodo, a prata, o mercúrio e a luz.¹⁷⁰

Fato surpreendente a nosso ver é que todas as substâncias, simples ou compostas, necessárias para a orquestração dessa sinfonia submolecular já eram conhecidas no início do século 16: o nitrato de prata, o cloreto de sódio, o cloreto de amônio, a gelatina e o papel.¹⁷¹

Sabe-se hoje que, do ponto de vista químico, a emulsão fotográfica é formada por brometo de prata, com traços de iodeto de prata¹⁷², dispersos em gelatina, sendo que os componentes básicos desta última são o carbono, o hidrogênio, o nitrogênio e o oxigênio. Apesar de a gelatina ter papel determinante em processos físico-químicos que afetam a sensibilidade das emulsões, vamos nos deter aqui ao que são os dois componentes ativos do processo fotográfico nas chapas para fotografias em preto e branco: o brometo de prata (AgBr) e o iodeto de prata (AgI).¹⁷³

A prata no estado metálico é conhecida desde a pré-história, sendo dos primeiros metais usados pelos humanos. Já o bromo, líquido vermelho-amarronzado, de odor desagradável, foi

¹⁶⁹ BACHELARD (1927). Citado por TRESCH (2007, p. 465).

¹⁷⁰ DAGUERRE, ARAGO, GAY-LUSSAC e NIÉPCE (1839, pp. 7, 17). Citado por TRESCH (2007, p. 467).

¹⁷¹ Carta de Gerald Levenson citada por JAMES (1987a, p. 11).

¹⁷² O papel do iodeto de prata será discutido mais adiante.

¹⁷³ Discutiremos posteriormente o papel do iodeto de prata com mais detalhes na fotografia em preto e branco, adiantando que sua principal função é causar imperfeições na rede cristalina do grão de brometo de prata, o que teria, segundo a teoria desenvolvida por MITCHELL (1957), papel crucial no chamado processo fotográfico.

descoberto, em 1826, pelo químico francês Antoine Jérôme Balard (1802-1876); o iodo, em 1811, pelo químico também francês Bernard Courtois (1777-1838).



Balard, químico francês descobridor do bromo em 1826 (Crédito: desconhecido)

Porém, o emprego de brometo de prata teria que esperar cerca de meio século de empirismo (entenda-se, tentativas e erros¹⁷⁴) para ganhar a posição de composto-padrão na área de fotografia.

Para entender os primeiros acordes da 'sinfonia aragoniana', devemos retroceder cronologicamente nosso relato para um período em que a ação da luz começara a chamar a atenção dos primeiros experimentadores, bem antes dos eventos que levaram à declaração da descoberta oficial da fotografia.

O primeiro aspecto que nos parece importante: a luz nem sempre foi reconhecida como o agente responsável pelo escurecimento da prata.¹⁷⁵

¹⁷⁴ A escolha do brometo de prata ainda no século 19 deu-se por 'tentativa e erro'. Mesmo contemporaneamente, a escolha do brometo de prata como o sal-padrão para a fotografia em preto e branco foi feita com base em critérios semelhantes, como podemos deduzir de TANI (Comunicação pessoal): "Depois de muitas tentativas e erros, por anos, nesse campo, estamos convencidos a usar AgBr para produtos de alta sensibilidade e baixo nível de nevoeiro; AgCl para produtos de processamento rápido, sendo que o AgI não é usado. A diferença principal entre esses três sais é a solubilidade deles na água. A revelação fotográfica está associada com a dissolução dos grãos dos haletos de prata. Dessa perspectiva, o AgCl é o melhor para a revelação rápida, enquanto a solubilidade do AgI é muito pequena para o processo de revelação comumente usado. O haleto de prata é dissolvido em um íon de prata e outro de halogênio. Portanto, a concentração do íon de prata é a mais alta nas emulsões de AgCl e a mais baixa nas de AgI. A fração de grãos que causam o nevoeiro aumenta com o crescimento da concentração dos íons de prata nas emulsões. É, portanto, difícil diminuir a fração de grãos do nevoeiro sem deteriorar a sensibilidade [da emulsão]. Como resultado do que foi dito, o AgBr é o melhor entre os AgXs [X, no caso, representando halogênio] para se chegar à alta sensibilidade com a menor fração de grãos que causam o nevoeiro."

Ainda em 1663, Robert Boyle observou o escurecimento dos sais de prata, mas atribuiu o fenômeno à ação do ar.¹⁷⁶ Portanto, antes de Schulze, há evidência de que só duas pessoas atribuíram o enegrecimento da prata à luz:

i) o químico alemão Ângelo Sala (1576-1637), que escreveu em seu folheto¹⁷⁷ de 1614 que, quando o pó de *lapis lunearis* (nitrato de prata) era exposto à luz solar, o composto se tornava preto, como a tinta para escrever;

ii) o filósofo natural de origem holandesa Wilhelm Homberg (1652-1715), que, em 4 de setembro de 1694, apresentou, à Academia Real de Ciências de Paris, caixa feita de osso de boi, cujo acabamento dava ao objeto aspecto de mármore, sendo esse padrão obtido com banho em nitrato de prata das peças, posteriormente expostas à luz solar.¹⁷⁸

Como vimos, a primeira evidência documentada de que o enegrecimento da prata se dava pela luz está em Schulze, que, em 1727, tratou o gesso com ácido nítrico. A massa final enegrecia quando exposta à luz. Valem destacar dois aspectos relativos aos trabalhos de Schulze:

i) Schulze iniciou suas investigações por influência de escritos alquímicos de Christoph Balduin, de 1674, sendo seu objetivo a obtenção de fósforo descrita por aquele alquimista;

ii) possível explicação para os resultados de Schulze está no fato de, à época, o ácido nítrico conter resíduos de nitrato de prata,¹⁷⁹ que escurece sob a ação da luz.

Schulze chegou a sobrepor letras sobre a massa de gesso e ácido nítrico (contendo resíduos de nitrato de prata), e, com esse artifício, escrever palavras.¹⁸⁰ Como dissemos, Eder, ainda no século 19, atribui a Schulze a invenção da fotografia.¹⁸¹

¹⁷⁵ Vale citar o casal de historiadores da fotografia GERNSEIM e GERNSEIM (1955, p.20): “É falácia comum afirmar que o escurecimento de sais de prata pela luz fosse conhecido pelos alquimistas da Idade Média e da Renascença. Aqueles que citam Albertus Magnuns (1193-1280), Georgius Agricola (1490-1555), Georgius Fabricius (1516-1571), Johann Rudolf Glauber (1604-1668) como prova de seus argumentos, podem ter pouco conhecimento ou nenhuma intimidade com os trabalhos desses homens.”.

¹⁷⁶ POWELL, FOWLER e PERKINS (1959, p. 7).

¹⁷⁷ SALA (1614). Em 1647, o folheto foi incorporado ao primeiro volume de *Opera medico-chymica*. s/e: Frankfurt. Ver SALA (1647) e SALA (1682).

¹⁷⁸ GERNSEIM e GERNSEIM (1955, p. 20). Quase um século depois, o Conde Rumford (1753-1814) voltaria a atribuir o escurecimento da prata ao calor. Segundo BURNS (1990), Homberg, apesar de ter atribuído o enegrecimento do osso à ação da luz, não diferenciou a ação desta da do calor.

¹⁷⁹ Em função do modo como o ácido nítrico era feito, restavam nele resíduos de cloro. Assim, era usual adicionar prata metálica ao composto para que o cloro fosse precipitado na forma de cloreto de prata. Porém, parte da prata reagia com o nitrato, formando o nitrato de prata, que enegrecia sob a ação da luz. Ver JAMES (1987a, p. 12). Beccari de Bologna notou ação similar em sais de prata em vidro. Ver POWELL, FOWLER e PERKINS (1959, p. 7).

Em seu artigo, Schulze fez citação que parece ter passado despercebida por historiadores do período:¹⁸² propõe que sua descoberta seja empregada como técnica analítica para reconhecer a presença de prata em minerais e metais.

Cerca de meio século mais tarde, o químico sueco Carl Scheele (1742-1786) publicaria os resultados de suas investigações. Seu objetivo parece ter sido investigar a presença do flogístico¹⁸³ na luz.¹⁸⁴ Para isso, expôs cloreto de prata, em pó, por duas semanas, à luz solar. Depois, adicionou à parte enegrecida solução de amônia, que eliminou os cristais de cloreto de prata não sensibilizados. Concluiu que o composto restante era prata.¹⁸⁵

Scheele, no entanto, não levou adiante essa linha de experimentação, nem mesmo comentou sobre a possibilidade de se fixar a imagem. Apenas conjecturou que os cristais de cloreto de prata retinham o flogístico da luz e, com isso, tornavam-se prata metálica. Morreu prematuramente, em 1786, provavelmente como resultado da intoxicação por mercúrio.

###

O escurecimento de sais de prata acabou sendo empregado por artistas para a feitura de desenhos. No século 18, já eram conhecidos outros compostos sensíveis à luz, entre eles corantes orgânicos e sais de ouro.

Voltemos ao artista britânico Thomas Wedgwood, talvez o primeiro a tentar imprimir imagens por meios não manuais.¹⁸⁶ É quase certo que a motivação para isso veio do fato de seu pai, Josiah Wedgwood, ter sido famoso ceramista da época. Wedgwood usou o nitrato de prata para imprimir imagens sobre superfícies (couro e papel). Mas esse sal não era submetido ao processo convencional de eliminação da prata não sensibilizada pela luz. Assim, seus trabalhos tinham que ser guardados em ambientes escuros, para que o processo de fotossensibilização não entrasse novamente em curso – eram observados apenas à luz de vela.

Wedgwood associou-se ao químico britânico Humphry Davy, pioneiro da eletroquímica que se interessou pelos resultados do artista. O relato mais detalhado que se conhece sobre a técnica de Wedgwood está em artigo de Davy publicado no primeiro (e único) número da revista *Journals*

¹⁸⁰ Desconhecem-se as palavras.

¹⁸¹ EDER (1945)

¹⁸² JAMES (1987a, p. 12).

¹⁸³ Tipo de fluido ao qual, no século 18, era atribuída a combustão.

¹⁸⁴ JAMES (1987a, p. 12).

¹⁸⁵ Segundo JAMES (1987a, p. 12), Scheele descobriu o cloro, a glicerina, o ácido gálico e o ácido úrico, o arsênio, o ácido cianídrico e teve precedência sobre Joseph Priestley na descoberta do oxigênio. Para os interessados em versão teatral da descoberta do oxigênio, sugerimos DJERASSI e HOFFMANN (2004).

¹⁸⁶ GERNSEIM e GERNSEIM (1955).

of the Royal Society.¹⁸⁷ O artigo – apesar da pouca influência dessa sociedade – foi, paradoxalmente, amplamente divulgado, chegando a ser publicado em livros-texto e traduzido para outras línguas.¹⁸⁸

Ao se ler Davy, algo chama a atenção: ele cita o trabalho de Scheele de um quarto de século anterior, mas não faz referência à amônia usada pelo químico sueco para precipitar o sal de prata não sensibilizado pela luz, ou seja, para fixar a imagem.¹⁸⁹ A principal dificuldade apontada por Davy sobre o método foi justamente a de fixar as imagens. Como dissemos, essa colaboração foi interrompida pela morte de Wedgwood e por Davy ter ido trabalhar em outra área.¹⁹⁰

###

Niépce fez suas primeiras experiências no campo da fotografia com o cloreto de prata. Esse sal recobria uma folha de papel, exposta horas à luz solar com o auxílio de uma câmara escura. A imagem fraca, em negativo, quase sem contrastes, era parcialmente fixada com banho de ácido nítrico.¹⁹¹ Em 1826, Niépce recobriu uma chapa de metal com betume branco da Judeia. Depois de aproximadamente oito horas de exposição em câmara escura, as partes não afetadas pela luz foram retiradas com essência de alfazema, e o resultado foi o que muitos consideram a primeira fotografia.

Como vimos, a sociedade entre Niépce e Daguerre não prosperou. Mas este último prosseguiu suas pesquisas, até chegar ao daguerreótipo, para o qual daremos detalhes técnicos: placa de cobre recoberta com fina camada de prata metálica polida¹⁹², depois submetida a vapores de iodo. Este último elemento reagia com a prata para formar o iodeto de prata, sal que, sensibilizado pela luz, em exposições na casa dos minutos, gerava imagem latente, que era tornada visível por meio da exposição da chapa a vapores de mercúrio.¹⁹³ O mercúrio e a prata

¹⁸⁷ DAVY (1802)

¹⁸⁸ LITCHFIELD (1903, p.196-197). Citado no verbete 'Thomas Wedgwood' na versão em língua inglesa de Wikipedia. A obra traz a versão integral do artigo de Davy citado aqui.

¹⁸⁹ Para JAMES (1987a, p. 12), é possível que Davy tenha citado Scheele por meio de fonte secundária, ou seja, não tenha tido acesso ao trabalho original.

¹⁹⁰ Davy, com cerca de 20 anos, foi convidado para ser demonstrador na *Royal Institution* e provavelmente desinteressou-se pela invenção de Wedgwood, dedicando-se, no novo cargo, aos fenômenos elétricos, que na época eram bem populares.

¹⁹¹ REIMERINK (2001, s/p).

¹⁹² Segundo TOWLER (1864), a placa poderia ser apenas de prata metálica.

¹⁹³ Os vapores de mercúrio são altamente tóxicos para o organismo humano, mas estranhamente nenhuma das obras consultadas para este primeiro capítulo faz menção a possíveis intoxicações de fotógrafos por

metálica formavam uma amálgama, destacando as partes sensibilizadas. A resolução da imagem era muito boa.

Apesar da popularidade do daguerreótipo, esse tipo de fotografia tinha seus inconvenientes: i) era trabalhoso; ii) o observador era obrigado a inclinar a chapa, buscando um ângulo apropriado com a luz incidente, para obter maior nitidez; iii) era caro.

Nessa época, algo semelhante ocorria na Inglaterra e no Brasil. Lá, a fotografia era obtida por meio de outra técnica, desenvolvida por Talbot, que havia descoberto método¹⁹⁴ para fixar a imagem sobre o papel embebido em sal de prata e exposto à luz. Aqui, isolado do cenário europeu, Hercules Florence (1804-1879), francês radicado no Brasil, empregou o nitrato de prata e posteriormente outras substâncias¹⁹⁵ para imprimir imagens a partir da luz do Sol. Suas anotações, em 1836, descrevem parte de sua descoberta:

“Encontrei modo de evitar que as provas fiquem enegrecidas; adicionar camada de nitrato de prata ao papel e deixá-lo secar no escuro; mergulhar o papel em solução de água e sal em tabletes [cloreto de sódio] e permitir que ele seque no escuro; passar solução de [hidróxido de potássio]¹⁹⁶ sobre o papel e deixá-lo secar, mas sempre no escuro. Expô-lo à luz solar, depois lavá-lo com espíritos [vapores] de amônia.”

Do ponto de vista químico, chama a atenção no método de Florence o emprego do brometo de prata. Isso o coloca entre os pioneiros que utilizaram esse haleto de prata como base do processo fotográfico.¹⁹⁷ Vejamos outros dois detalhes dos trabalhos de Florence:

i) o fato de ele resgatar a solução de amônia para fixar a imagem, como foi usado por Scheele, em 1777;

ii) ele ter usado o hidróxido de potássio, depois da conversão do nitrato de prata em cloreto de prata, o que aumentaria a sensibilidade do papel com cloreto de prata.¹⁹⁸

Na Inglaterra, os primeiros experimentos de Talbot eram tentativas de copiar silhuetas por meio do contato de objetos contra o papel exposto à luz. A fixação era feita com sais de amônio

esses vapores, levando em conta que o daguerreótipo foi muito popular por cerca de duas décadas desde que foi inventado.

¹⁹⁴ TALBOT (1839).

¹⁹⁵ Cloreto mercurioso, oxalato de prata, cloreto de prata, brometo de prata e cloreto de ouro.

¹⁹⁶ Nossa suposição.

¹⁹⁷ Segundo PATTI (1995, s/p), a descoberta do bromo como “acelerador” do processo fotográfico, em dezembro de 1839, pertence a Paul Beck Goddard, da Universidade da Pensilvânia, que também teria obtido a primeira fotografia instantânea por meio da heliografia. Segundo TOWLER (1864), a sugestão de emprego da “água de bromo” para aumento da sensibilidade foi feita pelo físico francês Armand Fizeau (1819-1896).

¹⁹⁸ JAMES (1987a, p. 14)

(provavelmente, por influência dos trabalhos de Scheele) ou por meio de solução concentrada de sal, como iodeto de potássio.

Talbot passou a aplicar pinceladas de nitrato de prata sobre o papel, mas com resultados decepcionantes. Depois, mudou para o cloreto de prata, cujos efeitos também não o convenceram. Tentou outra estratégia: banhar o papel em cloreto de sódio e, depois de seco, dar-lhe outro banho de nitrato de prata. Também não se satisfaz com os resultados. Só conseguiu o que buscava ao descobrir que o excesso de nitrato de prata sensibilizava o cloreto de prata formado.¹⁹⁹ As chapas de Talbot levavam agora um banho equilibrado de nitrato de prata e cloreto de sódio, sendo que, depois, ele passou a empregar o iodeto de prata como sal ativo.

Talbot tratou de apresentar seus resultados à Royal Institution e à Royal Society de Londres, para garantir a primazia da invenção. Fez isso ao saber do anúncio feito por Arago, em 1839, na Academia de Ciências de Paris. A apresentação foi feita por John Herschel, quem sugeriu o emprego do tiossulfato de sódio (ou hipossulfito de sódio) como fixador da imagem nos negativos produzidos pela técnica de Talbot.

O método desenvolvido por Talbot tinha vantagens sobre o de Daguerre. Por exemplo, a preparação das chapas era mais simples, pois o suporte era o papel, e também mais fácil de lidar quando comparada com placas metálicas dos daguerreótipos. Porém, o resultado final (principalmente, para o grande público) do calótipo não era animador: as chapas eram pequenas (2,5 cm²), e a definição das imagens deixava a desejar, com perda significativa de detalhes. E o tempo de exposição, apesar de menor, ainda era longo, mesmo que na casa dos segundos²⁰⁰. Esses reveses da técnica (posteriormente, denominada talbotipia) não permitiam que ela competisse com o daguerreótipo.

A partir de meados do século 19, o colódio torna-se extremamente popular.²⁰¹ O tempo de exposição era praticamente instantâneo, e o custo acessível às camadas mais populares. A era

¹⁹⁹ JMAES (1987a, p. 16)

²⁰⁰ TOWLER (1864)

²⁰¹ A popularidade da fotografia esparramou-se para além do eixo Estados Unidos-Europa. Caso emblemático está aqui no Brasil: na década de 1860, a Princesa Isabel solicitava ao pai, o imperador Pedro II (ele mesmo aficionado pela arte fotográfica), a compra de uma dessas substâncias com o intuito de tirar fotografias de vistas do palácio da Boa Vista. O documento (sem data) com essa solicitação sobreviveu e foi publicado recentemente. A lista feita pela princesa foi a seguinte: “Terra podre, álcool, collódio, iodure de potassium, azotate de prata, acido pyrogallique, acido acetico cristalisavel, hyposulfito de soda, chloruro de prata, chloruro de ouro”. Para mais detalhes sobre a relação da Princesa Isabel com a fotografia, ver FILGUEIRAS (2004a, p. 352). Foi mantida a grafia original do documento, que está no Arquivo do Grão Pará. As palavras ‘iodure’, ‘azotato’ e ‘chloruto’ parecem corresponder, respectivamente, a iodeto, nitrato e cloreto, na terminologia mais moderna da química. Já em 1º de março de 1839, o *Jornal do Commercio*, do Rio de Janeiro (RJ), trazia artigo, transcrito de *O Panorama* (de Lisboa, 16 de janeiro de 1839), com o título ‘Revolução na arte de desenhar’, anunciando o daguerreótipo. Vale também citar o interesse de astrônomos

do colódio se estenderia por quase três décadas, sendo desbancado apenas com a popularização das chamadas chapas secas à base de gelatina.

Como os outros tipos de fotografia, o colódio carregava em si a semente de seu ocaso. A técnica, para os profissionais da fotografia, era extremamente trabalhosa, bem como implicava logística complicada. Em 1865, o número de produtos químicos empregados nas etapas da fotografia por meio do colódio havia crescido de modo significativo, como mostra a lista:²⁰²

“Colódio, (negativo e positivo,) ácido acético, ácido nítrico, ácido cítrico, ácido tartárico, protossulfato de ferro, ácido gálico, ácido pirogálico, ácido fórmico, carbonato de soda, carbonato de cálcio, (gesso,) cálcio clorado, nitrato de prata, citrato de sódio, fosfato de soda, papel de tornassol azul, papel de tornassol vermelho, sulfeto de potássio, sulfocianeto de amônio, amônia, óxido de prata, iodeto de potássio, iodeto de alumínio, iodeto de cádmio, iodo, tintura de iodo, brometo de potássio, brometo de alumínio, brometo de cádmio, bromo, nitrato de urânio, bicloreto de mercúrio, goma arábica, amido, gelatina, cola, verniz, cloreto de ouro, acetato de sódio, álcool, éter, água destilada, açúcar mascavo, cianeto de potássio, hipossulfito de sódio, piroxilina, ácido sulfúrico, terra podre, tanino, sesquicloreto de ferro, ácido oxálico, verniz, ácido hidrocloreto, acetato de chumbo, potassa cáustica, sais de tartato, cloreto de sódio, cloreto de amônia, bicromato de potassa, piche, copal, clorofórmio, algodão, nitroglicose, mástique, resina, thus²⁰³, benzoína, benzina, cera.”

A lista é sugestão de produtos que o fotógrafo profissional deveria carregar com ele para a prática da fotografia. Ela chega à impressionante casa dos 70 itens, quase um ‘laboratório ambulante’.

A entrada em cena das chapas secas fez com que o colódio perdesse popularidade no final da década de 1870. O binômio gelatina-brometo de prata se manteve praticamente ao longo do século passado tanto nas fotografias em preto e branco quanto nas emulsões nucleares.

Vale citar que a fotografia foi de extrema importância para a astronomia,²⁰⁴ campo no qual os dois principais avanços no século 19 foram o desenvolvimento da astrofísica e o emprego da

brasileiros pela fotografia, que empregaram a técnica não só profissionalmente, mas também como *hobby*. Dois casos de destaque: Henrique Morize (1860-1930) e Domingos da Costa (1882-1956), cujos livros sobre o assunto encontram-se na biblioteca do Observatório Nacional, no Rio de Janeiro. No caso de Morize, a fotografia foi empregada em expedições científicas para a demarcação de fronteira ou o estudo de fenômenos astronômicos. Os negativos em vidro de Morize estão no Arquivo de História da Ciência do Museu de Astronomia e Ciências Afins, também no Rio de Janeiro. Para mais detalhes sobre a vida e obra de Morize, ver VIDEIRA (2003) e MOREIRA (2003). Para panorama amplo da fotografia no Brasil e sua relação com as exposições, ver TURAZZI (1995). Ver também TURAZZI (org.) (1998).

²⁰² TOWLER (1864, cap. 2, s/p). A tradução para o português é provisória, pois não nos foi possível encontrar termos apropriados para itens da lista. Tentamos, no entanto, ser fiel à nomenclatura empregada na época – o texto, vale lembrar, é de 1865.

²⁰³ Não nos foi possível obter tradução para o termo.

²⁰⁴ O uso da fotografia na astronomia se estenderia até a década de 1980.

fotografia.²⁰⁵ As primeiras tentativas de emprego da fotografia em astronomia apareceram logo após o anúncio do daguerreótipo, com o qual foi fotografado o Sol, a Lua e as estrelas.²⁰⁶ Um desses pioneiros foi o norte-americano John William Draper (1811-1882).²⁰⁷ Em 1855, William Crookes tentou fotografar a Lua.

Por fim, uma pergunta que nos parece pertinente (e que, certamente, valeria tese em separado): por que a fotografia não foi descoberta na academia? Possível resposta está no fato de nenhum dos estudos de fotoquímica²⁰⁸ feitos na academia naquele período ser destinado à fotografia.²⁰⁹

Base de sustentação: do betume ao celuloide

Na história da fotografia, encontrar suporte para a emulsão fotográfica parece ser problema secundário. No entanto, foi de suma importância para a produção em série de filmes fotográficos, ou seja, para o estabelecimento de indústria no final do século 19 em torno dessa invenção. Outra consequência – ainda que indireta – do desenvolvimento de novos suportes (e aqui nos referimos aos filmes flexíveis, que permitiram a fabricação em massa de filmes fotográficos) foi algo que mais tarde se tornaria crucial para os físicos de raios cósmicos e nucleares: a padronização das chapas fotográficas. Em outras palavras, a possibilidade de que experimentos fossem repetidos com lotes diferentes de emulsões fotográficas e levassem a resultados semelhantes.

A produção em grande escala de emulsões obrigou os fabricantes a controlar a qualidade dos produtos, e é nesse cenário que surge uma nova ciência: a sensitometria, que, grosso modo, é o estudo da interação da luz com as emulsões fotográficas. Isso se deu em época em que os físicos passaram a demonstrar preocupação em fazer medidas mais precisas das constantes da natureza.²¹⁰

²⁰⁵ VAUCOULEURS (1958).

²⁰⁶ WOLFSCHMIDT (2005).

²⁰⁷ Para o cenário desta tese, vale destacar que Draper foi casado com a brasileira Antônia Caetana de Paiva Pereira Gardner (c.1814-1870), filha de Daniel Gardner, médico de D. João VI e que lecionava química na Academia Real Militar, no Rio de Janeiro (RJ). Draper foi anticatólico ferrenho, historiador da ciência e um dos fundadores da Sociedade Norte-americana de Química.

²⁰⁸ Podemos citar os trabalhos de Dalton e Cruikshank, no início do século 19, bem como os de Grotthuss, de 1818, e de Draper, de 1841, sintetizados na chamada lei de Grotthuss-Draper, que, por vezes, é mencionada como primeira lei da fotoquímica. Em 1854, Bunsen e Roscoe fizeram pesquisas sobre reações fotoquímicas. Para mais detalhes, ver IHDE (1984, p. 554).

²⁰⁹ JAMES (1987a, p. 12).

²¹⁰ Exemplo emblemático dessa atitude está na fala de Lorde Kelvin, em meados de 1900, para a Royal Society. Análise interessante desse discurso está em Schulz (2007). Nela, o autor mostra que a citação de

Ao longo do desenvolvimento da fotografia, é possível dividir os suportes em três grupos: i) placas (metal, vidro etc.); ii) papel; iii) filmes (nitrocelulose, acetato de celulose, basicamente).²¹¹

Desde a pedra de Niépce, empregada em 1822, os suportes para as chapas fotográficas percorreram longo caminho até a nitrocelulose ao final do século 19. O próprio Niépce empregou peltre²¹², bem como cobre. Este último metal e as placas de prata foram a base para o daguerreótipo no final da década de 1830, concomitantemente com o papel embebido em solução de Talbot.

O vidro viria em conjunto com o albúmen e com o colódio. Em jogo estava a transparência para as cópias, fato essencial para os fotógrafos amadores. O emprego de latão e derivados continuou paralelamente ao do vidro, mas ficava claro aos pioneiros da fotografia que a possibilidade de a luz atravessar a chapa fotográfica era fundamental, assim como mais tarde se mostrou importante a flexibilidade desse suporte.

Em meados da década de 1840, George Eastman empregava papel com sais de prata embebido em óleo de mamona quente, para que se tornassem transparentes, permitindo, assim, a passagem da luz para a obtenção de positivos. Quase 40 anos depois, Eastman, então já empresário bem-sucedido, contratou cientista em tempo integral para desenvolver suporte para a gelatina e sais de prata que fosse ao mesmo tempo transparente e flexível.²¹³ Essas pesquisas levaram à nitrocelulose²¹⁴, descoberta que deve ser entendida no contexto da nascente indústria do plástico da época.²¹⁵ Isso permitiu que filmes fossem fabricados em escala superior à das

Kelvin sobre “apenas restarem duas nuvens sobre o céu cristalino da física” é geralmente feita distorcendo-se o contexto do discurso feito perante a Royal Society.

²¹¹ Modernamente, com o advento da fotografia digital, o suporte são os chamados CDCs, sigla, em inglês, para dispositivo de carga acoplado, tipo de memória eletrônica que se torna eletricamente carregado pela ação da luz. Vale ressaltar que os CDCs foram desenvolvidos para serem empregados na pesquisa em astronomia, o que demonstra a importância da pesquisa básica para o desenvolvimento de novas tecnologias.

²¹² Liga de estanho, antimônio, cobre e chumbo.

²¹³ ADELSTEIN (1987, p. 32).

²¹⁴ O desenvolvimento da nitrocelulose levou a Eastman Kodak a longa disputa judicial que se resolveria apenas em 1914. Para mais detalhes sobre o tema, ver JENKINS (1966), tese de doutorado em que se fornece visão da indústria fotográfica nos Estados Unidos e na Europa Ocidental no século 19. Em JENKINS (1975), autor enfoca a indústria norte-americana de fotografia entre 1839-1925, incluindo resultados ao acesso a 200 mil cartas da correspondência de George Eastman, bem como vários casos judiciais em cortes norte-americanas, com destaque para o julgamento do processo anti-*trust* contra a Eastman Kodak em 1915.

²¹⁵ Segundo JENKINS (1987, p. 22), foi na Alemanha que se deu a interação mais intensa entre academia e indústria tanto na área química quanto na fotográfica. Na indústria óptica, segundo ele, as empresas dessa

placas secas e que fossem enrolados e armazenados na primeira câmara fotográfica portátil fabricada em larga escala, também pela Eastman Kodak. Esse equipamento ficou conhecido como 'máquina Eastman'. Esta, depois de empregada para tirar fotografias, era devolvida à empresa, onde os negativos eram revelados, e as fotografias enviadas aos remetentes.

Um suporte para a fotografia deveria obedecer a critérios mecânicos (resistência a forças de esticamento e de torção, flexibilidade, dureza etc.), ópticas (transparência e baixa opacidade), térmicas (flexibilidade a baixas temperaturas e alta flexibilização a altas temperaturas), dimensionais (baixo coeficiente de dilatação, de encolhimento com o tempo e de absorção de umidade), planeza (baixo encurvamento e distorção com o tempo), hidrofóbicas (baixa absorção de água com o tempo), elétricas (baixa capacidade para reter cargas elétricas), reacionais (solúvel em solventes não tóxicos), incluindo estabilidade química e ser não inflamável.²¹⁶

Nos dois últimos itens acima, a nitrocelulose acabaria sendo reprovada, pois era instável e inflamável. Esses 'poréns' levaram, cerca de duas décadas mais tarde, ao processo de esterificação da celulose, que desencadeou na descoberta do acetato de celulose. Esse polímero ganhou em qualidade com as pesquisas desenvolvidas na Primeira Guerra Mundial, quando ele era usado para cobrir as asas de aviões, mas foi apenas em 1923 que a Kodak introduziu filmes 16 mm que empregavam o acetato de celulose como suporte.²¹⁷

Para os físicos, no entanto, o vidro era preferível como suporte, principalmente pelo fato de não ser flexível, o que permitia manipular as emulsões de modo mais apropriado sob o microscópio e garantir a elas menos riscos de danos nas exposições ao ar livre, muitas vezes sob baixas temperaturas e alta umidade.

Com exceção das chamadas 'chapas estripadas' (ou seja, emulsões fotográficas sem o vidro, empregadas, por exemplo, em grandes volumes de emulsão levados ao ar por balões), o vidro foi o suporte básico das emulsões usadas pelos físicos da área nuclear, de raios cósmicos e de partículas elementares.

Em busca do meio perdido: gelatina e pradonização

A busca por substrato para servir de meio de sustentação para os haletos de prata também valeria tese em separado, dada a riqueza da discussão e os inumeráveis experimentos em torno do tema. Essa ampla discussão, no entanto, foge do escopo deste trabalho.

O caminho até a dispersão gelatinosa dos haletos de prata teve que passar necessariamente por dois aprendizados: i) o de que o brometo de prata deveria ser o principal

área mantiveram tradição de formar aliança estreita com artesãos de alto nível, como é o caso emblemático dos primeiros trabalhos de Joseph Fraunhofer. Para mais detalhes sobre o desenvolvimento da óptica fotográfica, sugerimos o capítulo IV de JENKINS (1966).

²¹⁶ ALDESTEIN (1987, p. 32).

²¹⁷ ALDESTEIN (1987, p. 33).

componente da emulsão; ii) o de que a sensibilidade desse sal só poderia ser tornada visível por meio do processo químico da revelação.²¹⁸

É comum encontrar na bibliografia da história da fotografia a citação de que o médico, microscopista e fotógrafo amador inglês Richard Lear Maddox (1816-1902) teria sido o 'inventor' da gelatina como substrato para os grãos de brometo de prata. Em 1871, ele apresentou os resultados de seu experimento com esse tipo de fotografia no *British Journal of Photography*.²¹⁹

No entanto, pesquisas históricas mais recentes trazem evidências de que a gelatina²²⁰ com esse propósito já havia sido empregada quase duas décadas antes. Em 1851, o químico inglês Robert Bingham (1824-1870)²²¹ a usou, mas esse desenvolvimento acabou obscurecido pela popularidade do colódio. Entre Bingham e Maddox, outras dessas tentativas frustradas ocorreram.²²²



Caixa com placas cujo substrato para os sais de prata é a gelatina (Crédito: desconhecido)

²¹⁸ EDER (1945). Na época, isso se dava principalmente com o emprego do pirogalol, fenol no qual o anel benzênico tem três grupos hidroxila.

²¹⁹ MADDOX (1871).

²²⁰ Segundo MEES (1951, p. 71), a gelatina é extraída basicamente da pele que forma as orelhas e a cara do gado. Esse material é submetido à ação do óxido de cálcio e fervida. A gelatina resultante é intensamente lavada em água.

²²¹ WOOD (1971, p. 50) diz que há evidências de que Bingham tenha sido auxiliar de Faraday na Royal Institution. Outra tentativa anterior a Maddox: a do inglês W. H. Harrison, de 1868, relatadas em artigo com o sugestivo título 'Filosofia das placas secas'.

²²² Por exemplo, BURNS (1990, s/p) cita: "O trabalho de Henry Fox Talbot, em particular entre 1844 e 1860, foi instrumental para o avanço do processo fotográfico. Uma de suas descobertas foi a propriedade única do dicromato de potássio e como ele endureceria a *gelatina coloidal* na proporção correta, segundo a quantidade de luz a que [a chapa] foi exposta." [Grifo nosso]. Para mais detalhes sobre a história do emprego do brometo de prata disperso em gelatina, ver EDER (1945) e ALDESTEIN (1987).

Maddox, fundador do *British Journal of Photography*, de 1854²²³, descreve no artigo de 1871 o papel da gelatina.²²⁴ Nele, propõe a obtenção de emulsão por meio da adição de nitrato de prata e bromo, porém sem inicialmente perceber que o bromo predominaria na reação e que deveria ser lavado para se obter chapas mais sensíveis.²²⁵ Chapas feitas segundo a receita de Maddox eram inicialmente cerca de 180 vezes mais lentas que o processo do colódio.²²⁶

Antes de finalizar este subcapítulo, vale ressaltar pelo menos um marco sobre os estudos feitos com gelatina: em 1929, Sheppard desenvolveu método padrão que permitiu a produção de gelatina em laboratório de pesquisa – até então, somente a indústria produzia esse material. Desdobramento igualmente importante desse trabalho foi ajudar a entender, principalmente na década seguinte, a diferença estrutural entre sóis e géis.²²⁷

A gelatina permanece até os dias hoje como o substrato para os haletos de prata nos filmes fotográficos comerciais.

Conclusão (capítulo 2)

A primeira impressão que se tem ao averiguar mais detalhadamente a bibliografia sobre as emulsões nucleares²²⁸ é a de que a interseção da física com a fotografia restringe-se em geral a um único caso: o de Becquerel. Como grande parte dessas obras são revisões técnicas²²⁹, não se espera, portanto, que os autores reservem muito espaço para essa relação. Essa assimetria está também nas grandes obras sobre a história da fotografia,²³⁰ que nada falam sobre o emprego da fotografia como detector pelos físicos.

A ênfase em Becquerel, no entanto, mesmo que se entenda o contexto em que ela é feita, tem a desvantagem de esconder o fato de a ciência, em meados do século 19, ter sido tipo de

²²³ Nasceu como *Liverpool Photographic Journal*, mais tarde sendo denominado *Liverpool and Manchester Photographic Journal* e depois apenas *Photographic Journal*. A partir de 1860, ganhou o nome que mantém até hoje, *British Photographic Journal*.

²²⁴ Sobre esse aspecto, ver JAMES (1944).

²²⁵ EDER (1945, sp).

²²⁶ REIMERINK (2001, s/p).

²²⁷ MEES (1949, p. 261-262).

²²⁸ Exceção para SHAPIRO (1941); VIGNERON (1953); GALISON (1997b) e GRILLI (1991a,b). Porém, só Galison tem abordagem histórica mais ampla (entenda-se, menos internalista).

²²⁹ Por exemplo, SHAPIRO (1941), VIGNERON (1953), GALISON (1997b) e GRILLI (1991a,b), BARKAS (1963), BEISER (1952), BLAU (1961a,b), HERZ (1951b), ROTBLAT (1950), SACTON (1993), WEBB (1948). GOLDSCHMIDT-CLERMONT (1953).

²³⁰ Por exemplo, EDER (1945), GERNSHEIM e GERNSHEIM (1955), FRIZOT, ALBERT e HARDING (eds.) (1998) não citam a interseção entre a física e a fotografia, que se deu no final do século 19, com as descobertas dos chamados novos fenômenos (raios X, radioatividade, elétron, ondas hertzianas).

‘parteira’ para a fotografia. Bem antes de sua invenção ‘oficial’, em 1839, muitos cientistas se interessaram pelo (e contribuíram para) o desenvolvimento da técnica. E – o que nos parece mais importante – vislumbraram a fotografia como detector para as então teorias sobre a natureza da luz e da matéria, no quadro do romantismo.²³¹

A fotografia como detector para a física experimental se iniciaria no final do século 19, sendo empregada não só para o estudo da radioatividade, mas também – mesmo que indiretamente – para a averiguação de propriedades dos chamados novos fenômenos (raios X, radioatividade e raios catódicos).

O desenvolvimento da fotografia está enraizado em contexto temporal amplo, que se estende de 1790 e 1830, no qual se dão avanços importantes no campo da física e da química, listado a seguir de modo sucinto.²³²

- i) Lavoisier e seu tratado sobre a química;
- ii) Dalton e sua teoria atômica da matéria;²³³
- iii) Carnot e sua teoria para o calor;
- iv) Fresnel e Young e a natureza ondulatória da luz;²³⁴

²³¹ Esse interesse primevo dos cientistas pela fotografia fica evidente em JENKINS (1987, p. 20). “Enquanto Arago e poucos outros [cientistas] estavam interessados na fotografia como artefato científico de gravação, químicos e físicos tinham suas atenções voltadas para o potencial da fotografia como teste para os fundamentos de novas teorias. [Químicos e físicos] acreditavam que o estudo dos efeitos fotográficos poderia levar ao desenvolvimento de testes críticos para a teoria ondulatória da luz; que a fotografia poderia testar se os constituintes básicos da natureza eram forças ou partículas; que a [fotografia] poderia esclarecer o modo como a luz e matéria interagem.” O termo ‘efeitos fotográficos’ parece-nos ser sinônimo do que, mais modernamente, é denominado processo fotográfico. A expressão ‘efeitos fotográficos’ tem sentido mais amplo na área de fotografia atualmente. São muitos esses efeitos, alguns relacionados a processos de reversão ou desensibilização. Nesta tese, não iremos discuti-los, restringindo-nos apenas a citar a definição de alguns deles, como solarização (basicamente, aumento da exposição resulta em redução da densidade óptica); o efeito Herschel (destruição da imagem latente, sendo que a diferença com a solarização é fato de ele ser produzido por radiação sem eficiência na formação da imagem latente); o efeito Becquerel (a imagem impressa, tanto do daguerreótipo quanto do papel com sais de prata, podia ser reforçada com a exposição à luz verde ou laranja, ocorrendo efeito fotocatalizador da prata); efeito Villard (a imagem latente formada por raios X, por exemplo, pode ser destruída por segunda exposição mais longa). As definições são baseadas em JAMES (1977), ainda nas obras mais completas sobre o processo fotográfico. Vale citar aqui que em JAMES (1977) há capítulo dedicado à ação fotográfica de radiação de alta energia, o que demonstra que a técnica das emulsões nucleares já havia sido assimilada pelos fotógrafos. Ver também BROADHEAD (1977).

²³² JENKINS (1987, p. 20). Para abordagem mais ampla do tema, ver JENKINS (1966).

²³³ Para discussão interessante sobre a origem do atomismo, ver FILGUEIRAS (2004b).

v) Ampère e Oersted e a teoria do eletromagnetismo.

Essas teorias e descobertas eram parte de cenário no qual digladiavam movimentos sociais e intelectuais nem sempre em harmonia entre si: a revolução industrial na Inglaterra; revoluções políticas na França; reações positivistas ao romantismo.²³⁵

De todos eles, vamos nos deter brevemente ao romantismo, contexto filosófico no qual a fotografia foi inventada. Essa visão de mundo representa retorno à natureza, retomada das ideias de Rousseau. Nela, ocorre o nascimento da filosofia natural de Goethe, Schelling e Hegel; ocorre o casamento entre esta e a ciência, como reação ao cartesianismo e à então profunda dominância do chamado newtonianismo, contexto no qual se apresentam os trabalhos sobre magnetismo e eletricidade, por exemplo, de Faraday e Oersted.²³⁶

No romantismo, a natureza era vista como dinâmica, movida por forças e dotada de elementos que se apresentam em extremos, de forma polarizada, incentivando a busca pelos opostos, como ocorreu, por exemplo, na descoberta do infravermelho e do ultravioleta. O vocabulário do romantismo pode até hoje ser encontrado no universo da fotografia: positivo, negativo, força de revelação e sensibilidade.

A partir da década de 1840, o romantismo começa a ser alvo dos ataques do positivismo. Esta última doutrina²³⁷ acusava a primeira de metafísica em relação a fenômenos relacionados ao calor e à eletricidade, por exemplo. O positivismo defendia, no campo científico, o experimentalismo, ao mesmo tempo em que combatia conceitos que considerava metafísicos, classificados como entidades ontológicas (caso mais emblemático é o conceito de átomo).

O positivismo surge como doutrina do 'objetivismo', em oposição ao 'subjetivismo' do romantismo. E a fotografia, por seu potencial tanto como instrumento de gravação quanto de detector, torna-se instrumento do positivismo. A imagem fotográfica era destituída das possíveis interferências daquele que a produzia; era objeto destituído de estética, subjetividade ou paixão; era passível de reprodução, impessoal, fidedigna ao objeto retratado.²³⁸

²³⁴ Talbot, por exemplo, pesquisou extensivamente sobre a natureza da luz. Para mais detalhes, ver O'CONNOR e ROBERTSON (2005). Vale aqui breve nota: a popularização da natureza ondulatória da luz fez com que a explicação para o processo fotográfico tivesse que esperar até o século passado.

²³⁵ JENKINS (1987, p. 18).

²³⁶ Discussão mais ampla da ciência dita romântica pode ser encontrada em GONÇALVES (2006).

²³⁷ Apesar de fugir ao escopo desta tese, vale citar também nesse cenário o nascimento do kantismo, doutrina de Immanuel Kant (1724-1804), em que há a determinação dos limites, do alcance e do valor da razão.

²³⁸ Quanto ao último item, vale notar que a fotografia, no entanto, chamava a atenção do grande público por sua diferença com a realidade, ou seja, a retratação de algo colorido em preto e branco; as diferenças de tonalidade, de luz etc. Nesse aspecto, ver TRESCH (2007).

Em resumo: a imagem que brotava como produto final era dotada de elementos considerados essenciais para a prática científica. A fotografia tornou-se instrumento ideal para a disciplina que os cientistas tentavam construir ao longo do século 19²³⁹, ao mesmo tempo em que o próprio conceito de objetividade ia sendo historicamente construído.²⁴⁰

Acreditamos que a passagem a seguir²⁴¹ resume o apresentado até agora:

“[A fotografia] era representação gráfica do ideal da ciência que queria enterrar a metafísica especulativa do romantismo. A fotografia nasceu no contexto da veneração virtual da natureza. E, ao mesmo tempo, os registros fotográficos tornaram-se o epítome da representação objetiva e detalhada defendida pelo positivistas.”

Ao mesmo tempo em que a fotografia oferecia a possibilidade de "reproduzir o real"²⁴², ela ofertava a captura do que não era visível ao olho humano.²⁴³ A ‘captura’ do invisível permitiu que se pensasse na fotografia como detector adequado para o estudo da radioatividade. É justamente nesse ponto, como discutiremos mais adiante, que o método fotográfico aplicado à física (mais tarde, técnica das emulsões nucleares) ganha seus primeiros contornos quantitativos.

A aceitação da fotografia como evidência científica (medicina, astronomia, meteorologia, biologia, por exemplo) se deu por meio de negociação social: em meados do século 19, o valor científico da imagem era diretamente proporcional ao estatuto científico do fotógrafo que a havia feito, sendo que as academias científicas desempenharam papel importante na aceitação dessa técnica na comunidade científica.²⁴⁴

²³⁹ Discussão mais longa do papel de Arago e dos cientistas no século 19 está em TRESCH (2007).

²⁴⁰ A construção histórica do conceito de objetividade e a discussão da chamada objetividade mecânica estão em DASTON e GALISON (1992) e DASTON e GALISON (2007). Sugerimos também TANNOCH-BLAND (1997) para discussão da evolução histórica do conceito de objetividade.

²⁴¹ JENKINS (1987, p. 20).

²⁴² Apesar de ser tema ainda que paralelo ao desta tese, vale citar passagem de MOREL (2002, s/p): "A fotografia recém-nascida tinha dimensão de lazer, consumismo, modismo tecnológico, empolgação pela novidade, mas sobretudo de possibilidade de "reprodução do real". E aí tinha usos mais "sérios". Ligou-se estreitamente à medicina e ao controle da criminalidade. Doentes mentais, prisioneiros, pessoas com deformidades físicas e povos considerados exóticos [...] passaram a ser enquadrados pelas lentes implacáveis."

²⁴³ Para uma discussão mais ampla sobre o científico e o pseudocientífico na fotografia, ver DIDI-HUBERMAN (1987). Quando surgiram as chamadas fotografias ditas espíritas, muitos cientistas emprestaram seu nome e prestígio ou para refutar esse tipo de imagem, como charlatanice, ou para apoiá-lo, como foi o caso do físico e químico britânico William Crookes, inventor da ampola que leva seu nome e na qual foi descoberto o elétron – ele mesmo contribuidor para o desenvolvimento da fotografia.

²⁴⁴ MEHOS (2006, p. 299).

“Tucker²⁴⁵ mostra-nos que as fotografias científicas nem sempre foram aceitas com base apenas em seu valor de face e, mais importante ainda, que a verdade ou falsidade das imagens não eram simplesmente questão de honestidade ou desonestidade. Na verdade, o modo como vemos as imagens, bem como se as aceitamos ou não como representações precisas da natureza, são resultados de negociação social. Fotografias, como todas as formas de dados científicos, constituem terreno de contestação.”²⁴⁶

Terminamos este capítulo com resumo metafórico que nos pareceu bem apropriado para descrever a trajetória dessa invenção: a fotografia nasceu no cenário do romantismo, teve a ciência como sua grande promotora e foi apropriada pelo positivismo, que a adotou para seus propósitos filosóficos e científicos.



Imagem, batizada Tartan Ribbon, é tida como a primeira fotografia colorida, feita pelo físico escocês James Clerk Maxwell em 1861 com ajuda de filtros de cores (Crédito: J. C. Maxwell)

²⁴⁵ TUCKER (2005).

²⁴⁶ MEHOS (2006, p. 300).

CAPÍTULO 3

AS TRAJETÓRIAS DA RADIOATIVIDADE

Introdução

Na ‘Introdução’ desta tese, afirmamos que o método das emulsões nucleares pressupõe o emprego do microscópio para a visualização das trajetórias das partículas carregadas. Portanto, poderíamos reduzir, de forma esquemática, a técnica das emulsões nucleares (ou método fotográfico aplicado à física) à seguinte ‘equação’:

Técnica das emulsões nucleares = chapas fotográficas + microscópio + reagentes

Com isso, nossa intenção é fazer ressalva. Parece-nos equívoco atrelar o uso dessa técnica à descoberta da radioatividade por Becquerel.²⁴⁷ O emprego do microscópio para a análise de chapa fotográfica é essencial para caracterizar a técnica. E ele se deu apenas no início do século passado, provavelmente com Mügge, em 1909, em experimento ligado à área de geologia.²⁴⁸

Apesar de físicos e químicos de renome do século 19²⁴⁹ estarem direta ou indiretamente envolvidos com aprimoramentos da fotografia, bem como o uso pioneiro dela em suas pesquisas, o método das emulsões nucleares se iniciou apenas no final da década de 1900, momento em que surgiram mais de uma dezena de trabalhos experimentais em que essa técnica é empregada para o estudo da radiação alfa, principalmente, e beta.²⁵⁰ O porquê desse ‘surto’, como gostamos de classificar essa reunião temporal de experimentos, será discutido neste capítulo.

Químicos e a essência da fotografia: apropriação de terreno vazio?

Dado o modo como nossa história evoluiu até aqui, achamos que valeria discutir neste sucapítulo, brevemente, tópico que talvez explique a existência da história paralela à qual vamos nos dedicar no capítulo 4 desta tese.

²⁴⁷ Para visão história alternativa dos fatos relacionados à descoberta da radioatividade, sugerimos a leitura de MARTINS (2008).

²⁴⁸ Pelo menos dois livros sobre fotografia – MEES (1951) e ROEBUCK (1920) – citam que o microscópio foi empregado pela primeira vez para o exame da emulsão fotográfica em 1907 por W. Scheffer. No entanto, o objetivo de Scheffer não era a investigação de fenômenos ligados à radioatividade.

²⁴⁹ Por exemplo, Davy, Arago, Crookes, Herschel, Faraday, Gay-Lussac, Maxwell, Thomson, Becquerel, Röntgen, Rutherford, Soddy.

²⁵⁰ Para a discussão desses trabalhos, usaremos basicamente SHAPIRO (1941), bem como a consulta aos artigos primários e arquivos consultados nesta tese.

Até a década de 1850, grandes lideranças científicas se envolveram diretamente ou indiretamente com a fotografia. E trabalhos sobre o assunto eram publicados nos principais periódicos da época, como *Transactions of the Royal Society*; *Philosophical Magazine*; e *Comptes Rendus*.²⁵¹ Naquele momento, surge a figura do fotógrafo profissional, e a área ganha identidade própria com a criação de sociedades e periódicos especializados, saindo, portanto, da seara dos cientistas.

Uma das consequências do afastamento dos cientistas do campo da fotografia foi o surgimento de várias explicações – com pouca ou nenhuma base científica – para o chamado processo fotográfico, que, posto de modo simples, é o da formação da imagem latente.

Essas hipóteses, muitas sem sustentação experimental, ficaram a cargo de fotógrafos profissionais, em geral sem formação científica. Por volta de 1870, já havia alta gama de explicações para, por exemplo, o surgimento da imagem latente.²⁵²

Saltemos para o século passado. Trabalho com o qual nos defrontamos foi o de Mees, ainda em 1915.²⁵³ Devemos atentar para o sugestivo título: ‘A física do processo fotográfico’. Obviamente, a expressão demonstra preocupação com aspectos físicos da formação da imagem latente – até porque os aspectos químicos não entram nesse processo.

No entanto, achamos haver leitura mais aguda da existência desse artigo e do momento em que ele surge: o fato de ter sido feito por químico – ou, pelo menos, alguém com formação em ciências fotográficas, muito mais próximas à química do que à física. Em outras palavras, Mees não era físico. Isso denota, para nós, que os químicos talvez tenham se apropriado de campo em que não se notava a presença dos físicos.

Quando lançamos a pergunta no capítulo anterior ‘por que a fotografia não foi inventada na academia?’, sugestão de resposta foi não haver, nesta última, pesquisa voltada para a fotoquímica da fotografia na primeira metade do século 19. A invenção da fotografia ficou por conta de inventores.

Neste término, lançamos aqui a seguinte hipótese: os químicos ocuparam um ‘terreno vazio’, que, em princípio pertenceria aos físicos, e partir dessa ocupação desenvolveram o que denotamos aqui história paralela àquela do uso da fotografia como detector.

Herança do passado: detector de caráter ‘qualitativo’

Apesar de as chapas fotográficas terem sido empregadas em descobertas importantes no final do século 19, como é o caso da radioatividade e dos raios X, essa invenção chegou ao

²⁵¹ Para uma discussão mais aprofundada, ver JENKINS (1987).

²⁵² Uma discussão mais aprofundada dessas hipóteses está em JAMES (1987b).

²⁵³ MEES (1915).

século passado como detector de caráter qualitativo.²⁵⁴ No final do século 19, havia entre os físicos – caso clássico é o do casal Pierre e Marie Curie – a preferência pelo emprego de instrumentos que medissem a ionização, por serem considerados quantitativos para o estudo da radioatividade.

Vejamos passagem que corrobora essa afirmação:

“Logo se tornou claro que os efeitos elétricos da radiação eram muito mais úteis que o uso da fotografia na investigação científica das radiações, pois o estudo da ionização do ar permitia medir a radiação, sendo por isso superior ao uso de chapas fotográficas. O método fotográfico, utilizado por Becquerel nos seus principais estudos, não permitia medidas, sendo puramente qualitativo. A intensidade das manchas fotográficas dependia evidentemente do próprio material fotográfico utilizado (e as chapas variavam muito de sensibilidade), assim como do processo de revelação, sendo impossível fazer comparação adequada entre duas fotografias obtidas em épocas diferentes. Além disso, o processo fotográfico é influenciado pela temperatura, umidade, pressão e por muitas substâncias químicas, por isso o surgimento de mancha em placa fotográfica podia ocorrer tanto por influência de radiações penetrantes como por outros motivos. Pode-se atribuir exatamente a efeitos desses tipos as “descobertas” [...] de tantas substâncias que pareciam emitir radiações penetrantes. Enquanto as chapas fotográficas eram o processo principal de detecção de radiação, ficava impossível distinguir as radiações do urânio de todos os outros efeitos espúrios.”²⁵⁵

Nesse cenário²⁵⁶, o eletroscópio e o eletrômetro²⁵⁷ se mostraram mais apropriados para a medição dos efeitos elétricos da radiação.²⁵⁸ Em 1900, os físicos alemães e professores de escolas secundárias Julius Elster (1854-1920) e Hans Friedrich Geitel (1855-1923) notaram²⁵⁹ que um eletroscópio se descarregava naturalmente em atmosfera livre de poeira. E isso independia do horário do dia ou da noite, bem como da voltagem do aparelho.²⁶⁰

Com o crescente interesse pela descoberta da natureza dos raios cósmicos²⁶¹, o eletroscópio e suas variantes praticamente monopolizaram as investigações nessa área,

²⁵⁴ Veremos adiante, nesta tese, que essa situação se repetiu no final da década de 1930, porém com nuance interessante.

²⁵⁵ MARTINS (2003).

²⁵⁶ Para detalhes sobre o estado da física na virada do século 19 para o 20, ver HIEBERT (1979).

²⁵⁷ Adotaremos aqui a definição de MEDEIROS (2002, p. 354): “Para efeitos práticos, um eletrômetro nada mais é que um eletroscópio provido de escala [...]” Nesse mesmo artigo, é possível ler sobre as origens do eletroscópio e de outros instrumentos de medida elétrica.

²⁵⁸ Para discussão aprofundada do tema, ver MARTINS (2008).

²⁵⁹ ELSTER e GEITEL (1901).

²⁶⁰ GALISON e ASSMUS (1989, p. 256).

²⁶¹ O termo raios cósmicos foi lançado pelo físico norte-americano Robert Millikan (1868-1953) na década de 1920, por este acreditar, com base em sua concepção de universo, que se tratava de radiação gama, ou seja, fótons altamente energéticos provenientes da suposta fusão de núcleos, processo do qual decorria a

principalmente a partir da década de 1910, quando eletrômetros foram levados em voos de balões tripulados, a quilômetros de altitude, por Hess e Kolhörster. Esses resultados levaram à conclusão de que essa então misteriosa radiação, identificada no final do século 18²⁶², tinha origem extraterrestre.²⁶³

Uma das primeiras críticas ao método fotográfico que pudemos localizar está em artigo de Rutherford²⁶⁴ no qual ele discute os resultados então recentes de Becquerel:

“As propriedades da radiação do urânio podem ser investigadas por dois métodos, um dependendo da ação [dessa radiação] sobre placa fotográfica e o outro da descarga de eletrificação [dessa radiação]. O método fotográfico é muito lento e tedioso, bem como admite apenas medidas grosseiras. É necessário dois ou três dias de exposição à radiação para produzir efeito marcante sobre a placa fotográfica. Além disso, quando estamos lidando com ações fotográficas muito tênues, é certo que o nevoeiro de fundo [*fog*] na placa, decorrente da longa exposição requerida aos vapores de substâncias, obscureça os resultados. Por outro lado, o método que testa a descarga elétrica causada pela radiação é muito mais rápido que o fotográfico e, além disso, permite medidas quantitativas muito precisas.

A questão da polarização e da refração da radiação, no entanto, pode apenas ser testada pelo método fotográfico. O experimento com base na medição elétrica [...] para testar a refração não é muito satisfatório.”

Rutherford não era voz isolada. Marie Curie havia igualmente descartado o método fotográfico, pois a técnica de medidas elétricas da ionização produzida por elementos radioativos era mais rápida e possibilitava medidas numéricas.

“Em geral, utilizou-se nesses estudos o método elétrico, quer dizer, o método que consiste em medir a condutibilidade do ar sob a influência dos raios que se estuda[m]. Esse método possui, de fato, a vantagem de ser rápido e de fornecer números que podem ser comparados entre si”²⁶⁵

Assim, o método fotográfico era, em geral, descartado em favorecimento daquele que permitia medida da ionização do ar causada pelas radiações. A fotografia, no entanto, como vimos em Rutherford, era usada em situações pontuais, como no caso das tentativas de se medir a suposta polarização e refração relacionadas à radioatividade.

formação de elementos químicos mais pesados. Visão interessante de Millikan e de suas ideias está em GALISON (1983).

²⁶² Por exemplo, os estudos do físico francês Charles-Augustin Coulomb (1736-1806), nos quais trata da quantidade de eletricidade perdida por corpo isolado. Ver COULOMB (1785).

²⁶³ Essa descoberta rendeu o Nobel de Física de 1936 a Hess.

²⁶⁴ RUTHERFORD (1899, p. 110). Vale notar que Rutherford ainda desconhecia a origem e a natureza da radioatividade, como ele deixa claro nas conclusões do trabalho citado: “A causa e a origem da radiação continuamente emitida pelo urânio e seus sais ainda continuam um mistério.”.

²⁶⁵ MARTINS (2003, p.35).

Para finalizar este tópico, vale citar²⁶⁶ que, no campo das investigações que levariam ao nascimento da física nuclear, era empregado outro tipo de detector: as telas de cintilação.²⁶⁷ O físico alemão Hans Geiger (1882-1945) e o neozelandês Ernst Marsden (1889-1970) conduziram, no final da década de 1900, os experimentos de bombardeamento de folhas finíssimas de ouro por partículas alfa provenientes de fonte radioativa. Esses dados levaram Rutherford a propor a existência do núcleo atômico.

Na década de 1920, controvérsia científica entre britânicos e austríacos, envolvendo o emprego das telas de cintilação, terá desdobramentos importantes para a história das emulsões nucleares, como veremos.

Mügge e Scheffer: olhar pela ocular

O emprego do método fotográfico no início do século passado deve ser entendido em contexto mais amplo e no qual se entrecruzam a padronização das chapas fotográficas e a descoberta da radioatividade. O uso de chapas fotográficas e microscópio está ligado às tentativas de entendimento da natureza desse fenômeno.

O final do século 19 e a primeira década do seguinte foram marcados pela descoberta da radioatividade, de elementos radioativos e da natureza das radiações alfa, beta e gama.²⁶⁸ Os avanços sobre o entendimento desses fenômenos são delineados brevemente a seguir:²⁶⁹

1898: Marie Curie descobre o tório²⁷⁰, o polônio e o rádio;

1899: Rutherford e Soddy descobrem as radiações alfa e beta;

1900: O físico francês Paul Villard (1860-1934) descobre a emissão gama;

1902: O físico alemão Walter Kaufmann (1871-1947) mostra que a radiação beta é formada por elétrons;

1909: Rutherford e o químico inglês Thomas Royds (1884-1955) mostram que a radiação alfa é formada por núcleos de hélio.

²⁶⁶ Não iremos nos aprofundar neste tema, mesmo considerando-o interessante.

²⁶⁷ As telas de cintilação geralmente empregavam sulfeto de zinco, que 'brilha' ao ser atingido por raios X, raios gama e radiações alfa e beta.

²⁶⁸ A emissão gama não é propriamente radioatividade. Trata-se de acomodação do núcleo depois de este emitir partícula alfa ou beta.

²⁶⁹ Com base em LONGAIR (2006, capítulo 7.2.1, pp. 130-132).

²⁷⁰ Segundo MARTINS (2003, p 37), Gerhard Carl Nathaniel Schmidt havia, poucas semanas antes, feito e publicado a mesma descoberta. Vale acrescentar que Sagnac empregou chapas fotográficas para estudar os efeitos da incidência de raios X sobre chapas metálicas. Ver MARTINS (2003, p. 34).

O método fotográfico, como aqui definido (chapas mais microscópio), nasceu não na física, mas na geologia, para o estudo da radiação emitida por rochas. Ele foi iniciado pelo mineralogista alemão Otto Mügge em 1909.²⁷¹ Nos experimentos, ao depositar sobre chapa fotográfica fragmento de rocha ou mineral, utilizou variação da autorradiografia,²⁷² semelhantemente ao que foi feito por pioneiros da radioatividade no final do século 19. A diferença é que Mügge empregou o microscópio para examinar as trajetórias deixadas pelas partículas alfa emitidas por elementos radioativos presentes na amostra.²⁷³ !!!



Imagem feita com ajuda do microscópio ainda 1908 por W. Scheffer (Crédito: *The British Journal of Photography*)

²⁷¹ Ver MÜGGE (1909).

²⁷² “A autorradiografia é uma técnica por meio da qual a emulsão sensível à ionização é posta em contato direto com a amostra para determinar a localização de seus componentes radioativos” Para mais detalhes, ver NORRIS e WOODRUFF (1955). Foi S. P. Alexandrov, em 1927, que empregou o método fotográfico aplicado à geologia, para a obtenção de autorradiografia de seções polidas – ver DUARTE e BONOTTO (2005, p. 204). A autorradiografia tem a capacidade de determinar a distribuição local dos elementos com sensibilidade de 0,01 a 1 ppm (parte por milhão), segundo (DUARTE e BONOTTO, 2005, p. 204).

²⁷³ Anterior ao artigo de Mügge, há o de Stöp e Becke – ver BRANDÃO 1984) –, considerados os pioneiros do uso da autorradiografia para o estudo da distribuição da atividade alfa em minerais. A dupla também é pioneira no emprego da autorradiografia para o estudo da atividade radioativa na pechblenda. Porém, não nos foi possível encontrar esse artigo e, portanto, não é possível afirmar se há nele o uso do microscópio.

Mügge ‘dopou’ (ou carregou, como preferem os físicos) a emulsão com cristais de zirconita.²⁷⁴ Para isso, umedeceu a emulsão com água e, em seguida, salpicou diminutos fragmentos do mineral sobre a superfície gelatinosa. Depois de 25 dias, observou as chapas ao microscópio, para nelas encontrar pontos enegrecidos, circulares, de cujas extremidades partiam radialmente linhas formadas por pontos pretos.²⁷⁵

Aspecto importante desse experimento: Mügge não chegou a relacionar aquelas linhas radiais a trajetórias de partículas alfa.²⁷⁶ Arriscamos aqui explicação para isso: os resultados de Rutherford e Royds que associam partículas alfa a núcleos de hélio foram publicados no mesmo ano (1909) e, talvez, não fossem de conhecimento do geólogo alemão.

A Mügge é atribuído o desenvolvimento do método que possibilitou o chamado carregamento da emulsão nuclear com elementos radioativos.²⁷⁷ Chamado método do grão disperso,²⁷⁸ esse desenvolvimento resolveu o problema de como se obter o registro em chapas fotográficas dos traços das partículas alfa e beta emitidas pelos elementos radioativos presentes nos grãos.

A autorradiografia foi descoberta em 1867 por Niépce de Saint-Victor²⁷⁹ ao observar o enegrecimento de chapas fotográficas à base de haletos (cloreto e iodeto) de prata causado por sais (nitrato e tartarato) de urânio.²⁸⁰ Mais tarde, Becquerel a empregou na descoberta da radioatividade, e ela também foi usada pelo casal Curie em estudos sobre elementos radioativos.

Há na história da autorradiografia entrecruzamento com o Brasil, com o qual nos defrontamos acidentalmente no percurso de nossas pesquisas. A técnica da autorradiografia, na qual a fonte de radiação é o objeto estudado (rochas, minerais, tecidos etc.), permaneceu como curiosidade até que o franco-canadense Charles-Philippe Leblond (1910-2007) a transformou em técnica científica, com artigo publicado em 1943, no qual demonstra a possibilidade de se estudar a distribuição de iodo radioativo em tecidos da glândula tireoide.

²⁷⁴ Os cristais de zirconita estão contaminados, por exemplo, com urânio e tório, ambos emissores alfa.

²⁷⁵ Emulsionistas brasileiros denominam esse tipo de imagem ouriço [-do-mar], em função da semelhança com o animal marinho.

²⁷⁶ SHAPIRO (1941, p. 58).

²⁷⁷ O carregamento de emulsões com elementos radioativos seria mais tarde amplamente empregado no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, em linha de pesquisa que se estenderia por quase 30 anos na instituição. O carregamento de emulsões foi posteriormente desenvolvido por YAGODA (1949) e por DE CARVALHO (1964) e, pouco antes, por TYLER e MARAIS (1941, p. 146) – este último fato é citado por STIEFF e STERN (1952, P. 185).

²⁷⁸ MÜGGE (1909, p. 114).

²⁷⁹ Para ampla discussão sobre Saint-Victor e a radioatividade, ver MARTINS (2008).

²⁸⁰ ROGERS (1967).

Leblond trabalhou curto período, por volta de 1943, no laboratório²⁸¹ de Carlos Chagas Filho. Foi lá que ele se encontrou com outra personagem importante de nossa história, o físico italiano Giuseppe Occhialini.²⁸² Este último, ao observar as pesquisas de Leblond,²⁸³ imaginou que técnica semelhante à autorradiografia poderia ser empregada no estudo de partículas elementares.²⁸⁴

“Nesse ínterim,²⁸⁵ Occhialini²⁸⁶ estava novamente em contato com pesquisadores brasileiros e trabalhou no laboratório de biofísica, dirigido por Carlos Chagas Filho (1910-2000). Lá, encontrou o pesquisador franco-canadense Charles Philippe Leblond, pioneiro da biologia celular que estava fazendo experimentos fisiológicos com tecidos cerebrais que haviam absorvido compostos radioativos. A trajetória deixada pelo material radioativo, onde ele havia sido absorvido, foi o fenômeno que chamou a atenção de Occhialini. Isso sugeriu a ele nova maneira de estudar partículas elementares. Por meio do uso de placas com emulsão nucleares espessas, poderia ser possível fixar a trajetória das partículas

²⁸¹ Em 1945, passaria a ser denominado Instituto de Biofísica, hoje pertencente à Universidade Federal do Rio de Janeiro.

²⁸² Pouco antes, Occhialini, em função de o Brasil ter declarado guerra à Itália, se refugiaria na região do pico das Agulhas Negras, em Itatiaia, produzindo lá interessante guia de alpinismo. Uma das raríssimas cópias desse livreto – nem mesmo no Arquivo de Occhialini, na Itália, há exemplar – está no Arquivo Guido Beck, localizado no Centro Brasileiro de Pesquisa Físicas no Rio de Janeiro (RJ), sob os cuidados do orientador desta tese, Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira.

²⁸³ O início da carreira de Leblond na Universidade McGill (Canadá) foi interrompido pela Segunda Guerra, na qual ele serviu na Frente França Livre. Depois de passar pelo Rio de Janeiro – os motivos são desconhecidos por nós –, ele foi para Londres, onde fazia exames médicos em voluntários para a guerra. Em 1946, ao voltar a Montreal, Leblond resolveu, juntamente com seu colega Leonard Bélanguier, aprimorar a técnica da autorradiografia, com a qual já trabalhava no Laboratório de Biofísica. Para isso, ambos buscaram os conselhos do físico canadense Pierre Demers. Ao final dos trabalhos, obteve-se resolução cerca de 10 vezes maior que a anterior. Para mais detalhes, ver WIKIPEDIA (verbete Charles Leblond). Até onde foi possível apurar, parece não ter sobrado vestígio histórico dessa passagem de Leblond pelo Instituto de Biofísica. Porém, há lá arquivo histórico que valeria ser investigado nesse sentido. Para uma história do Instituto de Biofísica da UFRJ, ver MARIANI (1982). PROTOPLASMA (1991) é obituário de Leblond.

²⁸⁴ GARIBOLDI (2006, s/p).

²⁸⁵ Segundo GARIBOLDI (2004b p. 79), entre setembro de 1943, quando Occhialini se oferece com voluntário para lutar contra as tropas do Eixo, e o final de 1944, quando ocorre a invasão da França pelos nazistas.

²⁸⁶ O trecho, citado em GARIBOLDI (2004b), é extraído de peça biográfica escrita pelo físico brasileiro Ennio Candotti – Candotti (Comunicação pessoal) –, em meados da década de 1960, em período de pós-graduação na Itália. Candotti escreveu verbete sobre a vida e obra de Occhialini para a editora italiana Mondadori, depois de várias horas de entrevista com Occhialini.

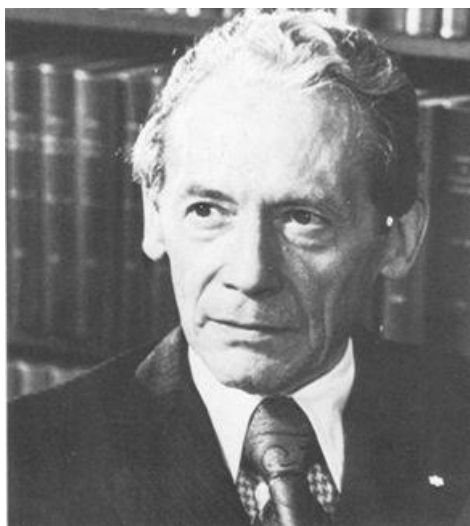
que, ao penetrarem a placa, excitariam os grãos da emulsões exposta, bem como estudar as propriedades físicas dessas partículas.”²⁸⁷

Depois desta breve discussão sobre a autorradiografia, voltamos ao tema deste subcapítulo. Como dissemos, nossas pesquisas indicaram haver outro trabalho pioneiro envolvendo o uso do microscópio para a observação de chapas fotográficas. No entanto, o objetivo de W. Scheffer,²⁸⁸ autor dos experimentos, era distinto do de Mügge. Como pesquisador da área de fotografia, então ciência nascente, Scheffer estudou o tamanho dos grãos dos haletos de prata e publicou imagens deles feitas com o auxílio de microscópio.²⁸⁹

²⁸⁷ Vale enfatizar, no entanto, pontos sobre a passagem, pois ela pode dar a falsa impressão de que a técnica das emulsões nucleares tenha sido idealizada naquele momento por Occhialini. Sabemos que não foi, como mostra este capítulo desta tese. Dois argumentos corroboram essa nossa hipótese: i) achamos muito improvável que Occhialini nunca, até aquele momento, tenha ouvido falar no método fotográfico aplicado à física, ou seja, dos resultados de Zhdanov, Blau e Wambacher, Taylor e mesmo nos de Powell, todos na década de 1930, época em que ele manteve colaborações e amizades na Inglaterra, onde a técnica também estava sendo desenvolvida; ii) supondo que Occhialini, por motivo desconhecido, não tenha conhecido o método fotográfico, o mínimo que esperaríamos dele, ao chegar a Bristol, seria reação de surpresa, ao ver que aquilo que havia imaginado antes no Brasil, ao observar a pesquisa de um neurocientista, estivesse sendo usado justamente para o estudo da física nuclear em Bristol. Até onde sabemos, não há documento, nem mesmo no Arquivo Occhialini, na Itália, que comprove ou mesmo indique essa surpresa. Perto da finalização desta tese, soubemos de outra interpretação para a passagem. Occhialini não teria imaginado a técnica de emulsões nucleares em si a partir da observação dos trabalhos de Leblond, mas apenas teria se inspirado nesses experimentos para idealizar emulsões mais espessas, pois Leblond, com o microscópio, podia rastrear os traços de iodo a grandes profundidades no tecido. Teria, então, partido daí a sugestão de Occhialini, para o Painel de Emulsões, de fabricar emulsões com essa característica. CANDOTTI (Comunicação pessoal).

²⁸⁸ Ver SCHEFFER (1907). Reforçam essa nossa conclusão os livros de MEES (1951) e de ROEBUCK (1920). Não nos foi possível checar com precisão a nacionalidade. Apesar do nome de origem alemã, assumimos Scheffer ser britânico com base em fatores indiretos: título dos artigos, locais de publicação, citações de outros pesquisadores da área, por exemplo.

²⁸⁹ Não podemos descartar a possibilidade de o próprio Maddox, prioneiro das chapas secas à base de gelatina e brometo de prata, ter utilizado o microscópio para a observação de placas fotográficas. Sugerimos isso por ele ter sido membro e fundador da Royal Microscopical Society no Reino Unido. Porém, a investigação dessa hipótese nos demandaria tempo e trabalho que não temos no momento.



Charles-Philippe Leblond, que trabalhou no Instituto de Biofísica da Universidade do Brasil na primeira metade da década de 1940 e cujas pesquisas parecem ter inspirado Occhialini a aumentar a espessura das emulsões nucleares (Crédito: desconhecido)

Não há evidências de que esse trabalho de Scheffer tenha sido influenciado por aqueles feitos anos antes pelos britânicos Charles Edward Kenneth Mees²⁹⁰ e Samuel Sheppard,²⁹¹ primeiros doutores em ciências fotográficas, ciência então nascente. Também não há em Mügge ou outros experimentos dessa fase pioneira menção a Scheffer.

A união de chapas fotográficas e microscópio, para formar o que definimos como método fotográfico, parece ter nascido quase concomitantemente na geologia e na fotografia, com objetivos distintos: respectivamente, estudar radioatividade de amostras minerais – portanto, com finalidade aplicada – e examinar características do grão de brometo de prata – portanto, com objetivo de entender a natureza do processo fotográfico.

Como veremos no próximo subcapítulo, método fotográfico e radioatividade se encontram. E os físicos entram em cena.

Kinoshita e a técnica: uma alfa, um grão revelável

O físico japonês S. Kinoshita²⁹² merece mais atenção do que recebeu até agora dos historiadores da física.²⁹³ Seu artigo de 1910²⁹⁴ tem implicações que tentamos apresentar neste subcapítulo.

²⁹⁰ CLARK (1961) é obituário de Mees.

²⁹¹ MEES (1949) fez o obituário de Sheppard, seu colega por quase meio século.

²⁹² Contactamos o Instituto para a História da Ciência, em Renjaku-cho, Kawagoe (Japão), por meio de sua diretora, Profa. Dra. Eri Yagi, que nos informou não haver arquivo de Kinoshita no Japão. Recebemos, na ocasião, breve biografia de Kinoshita, que aqui reproduzimos: S. Kinoshita (1877-1935), um dos discípulos do Professor Hantaro Nagaoka, graduou-se pela Universidade de Tóquio (Departamento de Física) em

Kinoshita é discípulo da primeira geração de físicos japoneses,²⁹⁵ que foi ao exterior para fazer pesquisa, como resultado da modernização do estado japonês no final do século 19.²⁹⁶

O resultado de Kinoshita que ficou para a história foi o de mostrar que um grão de haleta de prata²⁹⁷ se torna revelável ao ser atingido por partícula alfa. Portanto, relação de 1 (alfa) para 1 (grão revelável). Mas a leitura mais detalhada dos resultados indica que há aspectos interessantes no experimento, indicando que Kinoshita foi precursor de técnicas usadas e aprimoradas em décadas seguintes.

Kinoshita empregou – parece-nos, pela primeira vez – a chamada contagem de grãos de prata, procedimento que se tornaria essencial para caracterizar a energia da partícula que passa pela emulsão. Mas sua contagem não se deu de forma convencional – ou seja, empregada para calcular o comprimento (alcance) da trajetória da partícula. Ela ocorreu em relação a quantos grãos de prata havia por área. Esse tipo de ‘densidade’ de grãos teria aplicação em experimentos com radiação cósmica empregando a técnica das emulsões.

A explicação para essa especificidade no modo de contar os grãos está no fato de o desenho do aparato experimental de Kinoshita não permitir a visualização das trajetórias das partículas radioativas – alfa, no caso –, porque as chapas ficavam postadas ao final de um tubo de metal, sendo que, na outra extremidade, encontrava-se a fonte radioativa.²⁹⁸ Nesse arranjo, a

1902, foi para a Universidade de Göttingen [Alemanha] para estudar propriedades magnéticas de cristais sob a orientação de W. Voigt, de 1905 a 1907, e se transferiu para a Universidade de Manchester [Inglaterra], onde trabalhou sob a orientação de Rutherford, retornou ao Japão em novembro de 1909. O Dr. S. Kinoshita iniciou sua pesquisa em física sobre a ação fotográfica de partículas alfa também sob orientação de Rutherford e continuou nessa linha depois de haver retornado do Reino Unido.” Portanto, Kinoshita provavelmente não estava presente à leitura de seu artigo por Rutherford na Royal Society – o trabalho foi recebido em 25 de novembro de 1909 e lido em 9 de dezembro daquele ano. Não nos foi possível localizar outros trabalhos de Kinoshita depois daquele publicado em conjunto com H. Ikeuti em 1915. Supomos que as publicações tenham sido feitas em revistas japonesas.

²⁹³ Exceção para SHAPIRO (1941).

²⁹⁴ KINOSHITA (1910).

²⁹⁵ Três deles são Hantaro Nagaoka (1865-1950), propositore do modelo saturniano para o átomo no início do século passado, Yamagawa Kenjiro (1854-1931), Tanakadate Aikitsu (1856-1952), que formaram “a primeira geração de físicos japoneses que tiveram sua educação primária na tradição feudal de Confúcio da Era Edo e depois mudaram seus rumos para a educação e pesquisa em física moderna.” – ver OKAMOTO (2006, s/p). Vale também citar Ishigawa, que estudou teoria quântica na Alemanha com Sommerfeld.

²⁹⁶ Para discussão mais detalhada sobre a primeira geração de físicos no Japão, sugerimos OKAMOTO (2006, s/p).

²⁹⁷ Kinoshita empregou chapas fabricadas pela empresa Wratten & Wainwright, à base de brometo de prata. A empresa foi comprada em 1912 pela Eastman Kodak.

²⁹⁸ No caso, bismuto 214, denominado na época rádio C.

incidência da radiação se dava com ângulos muito próximos à normal,²⁹⁹ impossibilitando a observação de trajetórias ao microscópio – a projeção de cada trajetória apareceria como simples ponto enegrecido.³⁰⁰

A Kinoshita, devemos atribuir outro pioneirismo: usar emulsões extirpadas do suporte de vidro. Sua intenção era medir o fluxo das partículas radioativas – daí a contagem de grãos por área. Esse modo de exposição voltaria a ser usado na década de 1950, quando grandes volumes de emulsões extirpadas seriam embarcados em balões.³⁰¹ Também chamou a atenção para outro aspecto do método que só seria resolvido no final da década de 1940: emulsões espessas eram difíceis de serem reveladas.

Ao final do artigo, Kinoshita agradece a Rutherford a sugestão do emprego das chapas fotográficas para o estudo da radioatividade. Isso nos leva a concluir o óbvio: Kinoshita não foi o idealizador do experimento, mas sim quem o realizou. Como informação de fundo, devemos ressaltar que a fotografia já havia passado pela carreira de Rutherford – esses trabalhos, feitos cerca de cinco anos antes, para medir o poder de penetração no alumínio de partículas alfa,³⁰² são citados na primeira página do artigo.

Kinoshita voltaria ao Japão em novembro de 1909. Lá, prosseguiria seus estudos com o método fotográfico e a radioatividade, dessa vez com o auxílio do colaborador H. Ikeuti.³⁰³ Em artigo conjunto, publicado em 1915, há mais inovações: i) contaminação da emulsão com uso de ponta de agulha dopada com isótopo radioativo;³⁰⁴ ii) a emulsão contaminada era submetida a campo magnético intenso, de 10 mil gauss. A intenção de Kinoshita e Ikeuti era medir o desvio

²⁹⁹ A visão de trajetórias que incidem com ângulos maiores que 70 graus em relação à superfície da emulsão fica, em geral, prejudicada. Mesmo para físicos experientes na observação de emulsões nucleares ao microscópio, essas trajetórias são dadas como eventos ‘perdidos’, ou seja, não é possível seguir essas trajetórias e delas obter as medidas necessárias para a caracterização do evento.

³⁰⁰ SHAPIRO (1941, p. 58).

³⁰¹ Vale adiantar alguns aspectos aos quais voltaremos nesta tese. Um desses experimentos foi a chamada colaboração G-Stack [G de *Giant*, que reuniu seis universidades europeias (Bristol, Copenhague, Gênova, Dublin, Milão e Padova) para o estudo do decaimento dos mésons K (káons). Essa iniciativa está na origem da fundação da chamada ‘Grande Ciência’ no continente europeu, bem como, ainda que indiretamente, do Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN).

³⁰² RUTHERFORD (1906). Não encontramos nesses trabalhos nenhuma referência ao uso de microscópio para observar as chapas fotográficas, o que nos leva a deduzir que a técnica estava muito mais próxima da autorradiografia do que do método fotográfico. Há artigo anterior, de 1905, mas não nos foi possível encontrar sua referência.

³⁰³ Não nos foi possível obter mais dados sobre a vida desse físico japonês.

³⁰⁴ Vale adiantar que essa técnica seria muito empregada pelo grupo de emulsões nucleares liderado por Hervásio de Carvalho.

que as partículas alfa sofreriam nessas circunstâncias.³⁰⁵ Mas nada foi observado em função do diminuto alcance das trajetórias de alfas emitidas pela fonte.³⁰⁶

Depois desse artigo, Kinoshita desaparece da literatura científica ocidental,³⁰⁷ apesar de ter vivido mais 20 anos.³⁰⁸

Não há, nos artigos de Kinoshita, referência a Mügge ou Scheffer – portanto, parece não ter havido contato entre esses três pioneiros do uso da fotografia aliada ao microscópio. Kinoshita também não cita antecessores que empregaram a fotografia em experimentos, como Röntgen, J. J. Thomson, Becquerel, Crookes, o casal Curie, Soddy ou Sagnac, por exemplo. Somente Rutherford.

Podemos inferir que o método fotográfico interessava a Rutherford, que talvez – mais isso é apenas conjectura – estivesse buscando variedade nos detectores para entender fenômenos radioativos e atômicos.

Mayer e Sahni: espalhamento em folhas e câmaras

Técnicas empregadas por Kinoshita e Ikeuti voltariam a ser usadas por mais dois autores daquele período. No primeiro caso, Fritz Mayer³⁰⁹ mostrou que o espalhamento de partículas alfa por folhas finíssimas de alumínio – algo semelhante ao experimento de Geiger e Mardsen finalizado poucos anos antes – poderia ser estudado por meio de chapas fotográficas. A semelhança com técnicas de Kinoshita e Ikeuti fica por conta da contagem de pontos enegredidos em segmentos de área da emulsão, ou seja, o emprego da densidade de grãos de prata por área.³¹⁰

³⁰⁵ Partículas carregadas eletricamente, quando em movimento em campo magnético, sofrem a ação de força, a chamada força de Lorentz.

³⁰⁶ Segundo SHAPIRO (1941), essa distância era, em média, 0,05 mm. Por sua vez, o raio de curvatura das trajetórias, nas condições do experimento, era de 40 cm. Portanto, em poucos centésimos de milímetro não era possível observar nenhum sinal de curvatura.

³⁰⁷ Encontramos, no entanto, os resultados de Kinoshita citados pelo menos uma vez fora da comunidade de físicos que trabalhavam com o método fotográfico. Isso se deu em CHANOSZ (1917), em livro da área de fotografia, o que mostra interseção, ainda que tênue, entre essas duas comunidades.

³⁰⁸ Consulta a ampla biografia de Rutherford – WILSON (1984) – é igualmente desanimadora em relação ao paradeiro de Kinoshita. Há, naquela longa obra, só uma referência ao físico japonês, a saber: trecho de carta na qual Kinoshita reclama das más condições de pesquisa no Japão e dá a entender a Rutherford que gostaria de voltar a trabalhar na Inglaterra.

³⁰⁹ MAYER (1913).

³¹⁰ Aspecto interessante de MAYER (1913) é agradecimento, logo na página inicial, a Max Reinganum, que foi levado ao método fotográfico por influência das câmaras de nuvens, segundo SHAPIRO (1941).

Nossa segunda personagem é Ruchi Ram Sahni, que estava em Manchester em 1914 e lá publicou dois artigos.³¹¹ Valem mais palavras sobre esse físico indiano, que trabalharia com J. J. Thomson e Bohr. No primeiro de seus artigos, ele ‘infecta’ emulsões com agulha contaminada com emissor beta e descreve que as trajetórias eram tortuosas e, portanto, diferiam daquelas causadas por partículas alfa, mais retilíneas – portanto, ele parece ter sido o primeiro a observar trajetórias de radiação beta (elétrons) em chapas fotográficas.

No mesmo artigo, relata que fez incidir radiação gama sobre as emulsões, notando que, nesse caso, também surgiam trajetórias não retilíneas, oriundas das manchas causadas por esses fótons energéticos. A conclusão foi a de que essas trajetórias se deviam à produção de elétrons secundários pela radiação gama.³¹² Nesse arranjo experimental – também proposto por Rutherford –, podem ser vistas as raízes da técnica que passou a ser empregada para caracterizar, por exemplo, núcleos pesados que atravessavam as emulsões – é a chamada técnica dos raios deltas, que, no caso, significam elétrons energéticos. Quanto maior o número atômico do núcleo que atravessa a emulsão, maior será a quantidade de raios delta produzidos.³¹³

Por fim, vale ressaltar o que nos parece outra primazia desse período inicial: o fato de Sahni³¹⁴ ter estabelecido os princípios básicos do que mais tarde seria denominado câmara de espalhamento de emulsões. Vejamos passagem que detalha seu aparato experimental:

“[...] Sahni [...] estudou o espalhamento de partículas alfa por gases. A partir de ponta de agulha contaminada com rádio C,³¹⁵ partículas alfa eram emitidas e passavam por pequena abertura e entravam na câmara contendo o gás a ser espalhado. Depois de atravessar o gás, as partículas colidiam com a chapa fotográfica no lado oposto da câmara. A partir da distribuição de grãos de prata em áreas concêntricas sobre a placa, era possível ver que o gradiente de densidade radial dependia da pressão do gás. Os resultados foram, no entanto, inadequados, para medida precisa do ângulo de espalhamento mais provável.”

Vale adiantar aqui que as câmaras de espalhamento por emulsões seriam empregadas a partir da década de 1940,³¹⁶ incluindo experimentos de espalhamento de prótons por nêutrons ao

³¹¹ SAHNI (1917a) e SAHNI (1917b). Esses trabalhos com o método fotográfico foram os dois primeiros na área de física nuclear e radioatividade feitos por cientista indiano, segundo SAHNI (2004), que traz mais dados biográficos sobre seu parente.

³¹² SAHNI (1917a).

³¹³ Mais detalhes sobre raios delta em POWELL, FOWLER e OCCHIALINI (1959).

³¹⁴ SAHNI (1917b).

³¹⁵ É preciso lembrar que ainda não se tinha noção da estrutura atômica, e, portanto, os conceitos de massa atômica não estavam estabelecidos. A proposição da existência do núcleo seria feita por Rutherford naquele início do século, mas a descoberta experimental dos prótons só se daria ao final da década de 1910, com as primeiras transmutações nucleares, também por Rutherford, envolvendo átomos de nitrogênio bombardeados por partículas alfa, dando como produtos oxigênio e prótons.

³¹⁶ Mais detalhes sobre a técnica em BEISER (1952).

longo da Segunda Guerra Mundial realizados por Powell e Chadwick, como discutiremos mais adiante.³¹⁷

Reinganum e Michl: contaminação e precisão

A câmara de nuvens (ou câmara de Wilson) – nome dado em homenagem ao seu idealizador, o físico britânico Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959) – começou a funcionar em 1911.³¹⁸ É possível que esse outro detector visual tenha levado o físico experimental Max Reinganum a tentar observar trajetórias de partículas carregadas em chapas fotográficas.

Reinganum realizou seu experimento com emulsões em 1911, inspirado, segundo Shapiro,³¹⁹ por imagens da recém-nascida câmara de nuvens. Seu objetivo era tentar ver as mesmas trajetórias nas chapas fotográficas – podemos pensar que Reinganum tentava ‘eliminar intermediários’ entre o fenômeno e a sua visualização, pois a trajetória nas câmaras de nuvens devem necessariamente ser fotografadas para poderem ser analisadas.

É possível extrair do experimento de Reinganum conclusão relevante: a rapidez com que os primeiros resultados da câmara de nuvens chegaram a outro país.

A nosso ver, a técnica fotográfica começa a ganhar aspectos quantitativos com os trabalhos de Michl,³²⁰ que, por sua vez, parece ter sido estimulado a realizar esse experimento³²¹ pela leitura dos resultados de Reinganum – podemos notar que começa a se formar pequena rede de interessados no método fotográfico.

³¹⁷ No Brasil, o grupo de Elisa Frota-Pessôa, no CBPF, empregou técnica semelhante à câmara de emulsões nucleares.

³¹⁸ Também denominada câmara de Wilson, o aparelho foi idealizado e construído pelo físico britânico Charles Thomson Rees Wilson (1869-1959), que por isso ganhou o Nobel de Física de 1927. Idealizado no espírito da ciência vitoriana de reproduzir em laboratório fenômenos naturais (no caso, fenômenos meteorológicos, o da formação das nuvens), esse detector entrou em funcionamento pela primeira vez em 1911, sendo que seu desenvolvimento havia se dado ao longo da última década. Basicamente, é formado por vapor supersaturado de líquido (comumente, água) que, na passagem de partícula carregada, sofre condensação. Essa trajetória é fotografada, e a imagem, no caso macroscópica, empregada para a análise de propriedades da partícula. Pelas próximas quatro décadas, a câmara de Wilson seria detector amplamente usado pelos físicos, principalmente os da área de raios cósmicos. Com a ajuda dele, foram descobertas novas partículas e fenômenos: o pósitron, o decaimento do fóton em matéria e antimatéria, as partículas ‘V’, híperons etc. O último experimento com câmara de nuvens em aceleradores ocorreu em 1957, nos Estados Unidos – ver LEE-FRANZINI (2002, s/p).

³¹⁹ SHAPIRO (1941, p. 58).

³²⁰ Essa conclusão é reforçada, por exemplo, por SHAPIRO (1941), BLAU (1928) e BEISER (1952), DE CARVALHO e YAGODA (1952).

³²¹ MICHL (1912).

No artigo, Michl conta o número de grãos ao longo das trajetórias de partículas alfa de diferentes energias oriundas do polônio. Concluiu que, na média, oito grãos de prata na emulsão revelada equivaliam a 23 micrômetros. A partir desse resultado, concluiu que o alcance médio³²² dessas partículas no ar era de 3,8 cm – segundo ele, em boa concordância com medidas realizadas com contadores Geiger (3,77 cm).³²³

Porém, tão importante quanto esses primeiros resultados quantitativos foi o fato de Michl ter percebido e explicado fenômeno que, cerca de duas décadas mais tarde, atrairia a atenção dos físicos que trabalhavam com o método fotográfico: a distorção da emulsão depois de revelada. A solução desse problema – ou melhor, sua profunda compreensão – é crucial para a realização de medidas de precisão e, portanto, para a confiabilidade da técnica.

Reinganum já havia relatado pequenas distorções nas trajetórias observadas ao microscópio, porém foi Michl que concluiu – acertadamente – que essas anomalias se deviam à contração que a emulsão sofria ao longo do processo de secagem.³²⁴

Walmsley e Makower, que obtêm a primeira fotomicrografia de fundo preto, mostram que “muitas das partículas alfa ao atravessarem o filme em linha reta, por alguma distância, sofrem repentinamente deflexões, ilustrando assim o bem conhecido efeito do espalhamento”³²⁵. Surpreende o fato de a técnica, nesses primórdios, permitir essa observação, levando-se em consideração que a sensibilidade das emulsões fotográficas, naquele início do século, era bem inferior ao das emulsões nucleares fabricadas depois da Segunda Guerra. Isso demonstra, a nosso ver, certo refinamento tanto na revelação quanto na varredura óptica ao microscópio.

Por fim, para finalizar este subcapítulo, gostaríamos de enfatizar breve trecho do artigo de Walmsley e Makower, pois nele parece-nos estar embutida questão paradoxal: se a técnica se mostrava naquele início tão promissora – para os dois físicos, até mesmo com vantagens em relação à câmara de nuvens –, por que ela foi ‘abandonada’ por quase uma década, tendo que ser ‘redescoberta’ em local no qual não havia tradição em seu emprego?

³²² Para esse cálculo, é preciso levar em conta que o poder de freamento das emulsões fotográficas é cerca de 1,8 mil vezes o do ar.

³²³ Os chamados detectores Geiger foram idealizados pelo físico alemão Hans Geiger, em colaboração com Rutherford, em 1908. Inicialmente, o aparelho só podia detectar partículas alfa. Em 1928, Geiger, em colaboração com seu estudante Walther Müller, aprimorou esse instrumento, que passou a detectar qualquer tipo de radiação ionizante e a ser denominado contador Geiger-Müller.

³²⁴ O processo de secagem da emulsão fotográfica deve ser lento e feito sob condições controladas; caso contrário, pode causar distorções sérias, nas três direções (x, y, z). Vale aqui também enfatizar que, ao final do processo de revelação, após a secagem, as emulsões podem terminar com apenas 50%, em média, de sua espessura inicial. Isso se dá em função da retirada, no processo denominado fixação, dos grãos de brometo de prata não sensibilizados pela radiação ou partículas ionizantes que atingiram a emulsão.

³²⁵ MAKOWER e WALMSLEY e (1914, p. 262).

“Este método de estudar a projeção de partículas alfa que passam através da matéria **mostra muitas características demonstradas por C. T. R. Wilson** em suas belas fotografias de trajetórias de partículas alfa através do ar. **O método que acabamos de descrever, no entanto, tem a vantagem da grande simplicidade, e pode provar ser útil no estudo do espalhamento de partículas alfa produzidas por substâncias pesadas, como a prata.**”³²⁶ [Grifo nosso]

A resposta para a pergunta acima é múltipla, com veremos nas conclusões a seguir.

Conclusão (capítulo 3)

Vários aspectos quantitativos e qualitativos do método fotográfico foram desenvolvidos por esses primeiros pesquisadores comentados aqui. A lista de autores e trabalhos poderia se estender. Porém, nosso intuito foi apontar os principais desenvolvimentos realizados naquela primeira metade da década de 1910, quando surge cerca de uma dúzia de artigos empregando o método fotográfico – agora aplicado especificamente à física.

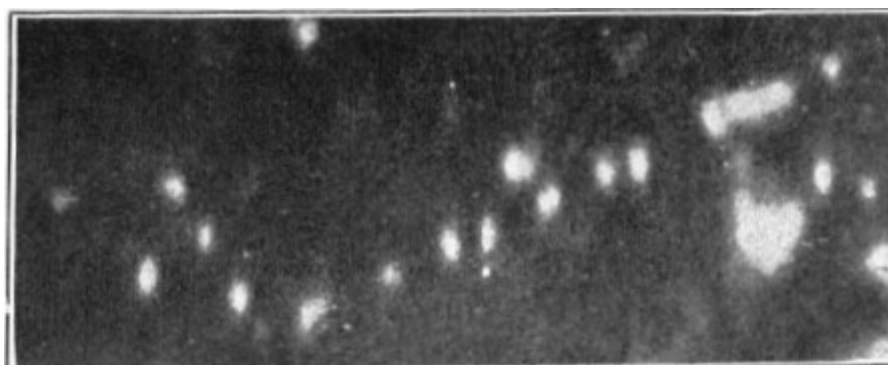
De forma itemizada, listamos esses avanços, enfatizando que muitos foram retomados ou mesmo ‘redescobertos’ em décadas posteriores:

- i) o carregamento das emulsões com elementos radioativos;
- ii) a exposição de emulsões estripadas;
- iii) a observação de elétrons secundários (raios delta);
- iv) a tentativa de observar a deflexão de partículas (carregadas) por campo magnético;
- v) o carregamento das emulsões com uso de agulhas contaminadas com elementos radioativos;
- vi) a atenção para o problema da distorção das emulsões depois do processo de revelação;
- vii) as primeiras fotomicrografias dos traços deixados pelas partículas (inclusive as de fundo preto);
- viii) princípios da câmara de espalhamento, e a observação do espalhamento em si;
- ix) a obtenção dos primeiros ‘ouriços’ (halos dotados de sem-número de traços que se projetam radialmente);
- x) a comprovação de que basta uma partícula alfa para que o grão se torne revelável;
- xi) a contagem do número de grãos de prata e o alcance da partícula ionizante tanto na emulsão quanto no ar;
- xii) a primeira comparação do método fotográfico com a câmara de nuvens.

Por que empregar o método fotográfico para estudar radioatividade naquele momento?

³²⁶ MAKOWER e WALMSLEY e (1914, p. 262-263).

Vejamos o cenário mais de longe. Como dissemos, a autorradiografia foi descoberta na segunda metade do século 19. Foi empregada por físicos e químicos no final daquele século e início do século passado, sem que, no entanto, o microscópio entrasse em cena. Ainda em 1902, Rutherford e Soddy³²⁷ já haviam revelado a natureza atômica das radiações alfa e beta e, pouco antes, em 1900, Villard³²⁸ havia mostrado que a emissão gama era de natureza eletromagnética.³²⁹ Em 1909, quando Mügge realizou seu experimento, Rutherford e Royds³³⁰ haviam identificado as partículas alfa como núcleos de hélio.³³¹



Fotomicrografia de fundo preto obtida por Walmsley e Makower em 1914 mostrando trajetórias de partículas alfa (Walmsley and Makower)

Nosso objetivo ao listar os feitos acima é o seguinte: enfatizar que o tema da radioatividade, no final da primeira década do século passado, era candente. E não só no meio científico. A radioatividade havia se tornado popular. Remédios à base de elementos radioativos eram vendidos muitas vezes como panaceias.³³²

³²⁷ RUTHERFORD e SODDY (1902).

³²⁸ VILLARD (1900).

³²⁹ Vale lembrar que a emissão gama não é uma forma de radioatividade, mas sim um fenômeno relacionado com o retorno do núcleo ao estado fundamental depois de uma excitação nuclear. Assim, ao longo deste trabalho, radioatividade será sinônimo de emissão alfa (núcleos do elemento químico hélio) e beta (elétrons energéticos).

³³⁰ RUTHERFORD e ROYDS (1909).

³³¹ Aqui, possível incoerência deve ser explicada. Tradicionalmente, o núcleo atômico foi proposto por Rutherford apenas em 1911, portanto dois anos depois de ele e Royds publicarem o artigo em questão. No entanto, o resultado de 1911 diz respeito à análise matemática dos resultados obtidos por Geiger e Marsden no famoso experimento que empregou fonte radioativa para bombardear tela de cintilação. Rutherford já havia formulado o modelo atômico antes, portanto, de 1911 (data da publicação do famoso artigo), e há evidências de que imagens de câmaras de nuvens vistas por ele ainda em 1908 – é preciso lembrar que Rutherford e Wilson trabalharam no Laboratório Cavendish – tenham influenciado nessa formulação.

³³² RENTETZI (2007) traz algo desse cenário.

Assim, imaginamos que as circunstâncias para o surgimento do número significativo de trabalhos a partir de 1909 – que classificamos como ‘surto’ de experimentos com chapas fotográficas em países europeus³³³ – tenha se dado por somatório de fatores, alguns externos à ciência:

- i) a disseminação do tema da radioatividade,³³⁴
- ii) a possibilidade de obtenção de emissores alfa e beta com alguma facilidade no meio científico;
- iii) as chapas fotográficas, depois de mais de duas décadas fabricadas em massa, ganharam alguma padronização,³³⁵
- iv) os resultados de Rutherford já recebiam atenção da comunidade internacional de físicos e químicos desde o final do século 19, sendo ele próprio grande divulgador dos temas da radioatividade;³³⁶
- v) a inspiração em outro detector visual (a câmara de nuvens);

Soa estranho, porém, que os experimentos que empregaram a fotografia (sem microscópio) como detector não tenham desempenhado papel mais relevante nos experimentos de 1910 em diante com o método fotográfico – como vimos, Kinoshita cita dois artigos do próprio Rutherford. Nesse sentido, a câmara de nuvens parece ter sido mais importante – poderíamos dizer que o método fotográfico sofre contaminação desta última.

Essa contaminação não ocorreu entre os três primeiros experimentos apontados aqui como pioneiros no uso do método fotográfico (agora, com microscópio). Não há evidências de que Scheffer, no campo da fotografia, tenha influenciado Mügge, na geologia, e este influenciado Kinoshita, na física. Rutherford, no entanto, teve papel destacado nesse início, sendo ele o proponente do uso da técnica tanto em Kinoshita quanto em Sahni – é possível pensar que tenha

³³³ Inicialmente, é fácil excluir, por exemplo, os Estados Unidos e o Japão desses cenários. A física nesses países era incipiente no início do século passado. Basta lembrar que o primeiro doutor em física norte-americano foi Josiah Gibbs, teórico que publicou seu trabalho seminal naquele início de século, sobre mecânica estatística, tendo como fonte as ideias de Boltzmann. Entre os japoneses, destaca-se Nagaoka, que propôs o modelo saturnal para o átomo na mesma época (mas isso ocorreu quando ele trabalhava na Inglaterra).

³³⁴ Em sua palestra do prêmio Nobel de Química de 1908, Rutherford afirma que, entre 1900 e 1908, o problema da natureza da radioatividade foi atacado com vigor. Ver RUTHERFORD (1908, s/p).

³³⁵ É possível que o surgimento da sensitometria no final do século 19 tenha desempenhado seu papel nessa padronização.

³³⁶ Nesse aspecto, ver WILSON (1984), em que se discute a passagem do então Ministro da Cultura japonês pela Inglaterra. Esse político se refere a Rutherford como um físico mundialmente famoso e o grande disseminador dos assuntos da radioatividade.

havido influência dele sobre os experimentos de Makower e Wamsley, já que o primeiro destes dois esteve em Cavendish e posteriormente em Manchester.

Levada em consideração a longa história do emprego da fotografia na física – principalmente para o estudo dos chamados novos fenômenos – é de estranhar que Galison tenha dito que as emulsões nucleares são “cria [*offspring*] da câmara de nuvens”³³⁷. Há, sim, influência desse detector sobre o método fotográfico, porém, para sustentar tal afirmação, seria preciso desconsiderar Mügge e Kinoshita – e até mesmo Scheffer. E também a longa relação dos físicos com a fotografia, que data desde a invenção ‘oficial’ desta, ainda em 1839.

O possível motivo para essa simplificação de Galison talvez esteja no fato de ele não citar em *Image & Logic*,³³⁸ a primeira grande revisão histórica do método fotográfico, de 1941, escrita por Shapiro, na qual há uma detalhada história da técnica – ainda que com viés fortemente internalista.

Outra questão pertinente: por que o método fotográfico não se desenvolveu a partir desse impulso inicial, do qual constam pelo menos 12 experimentos, feitos por pesquisadores de várias nacionalidades e, mais importante, nos quais foram obtidos avanços significativos para o emprego da fotografia como detector (e até comparação vantajosa para esta em relação à câmara de nuvens)?

Novamente, achamos não haver resposta única. E nela, mais vez, há fatores externos à ciência:

i) a popularidade entre físicos da câmara de nuvens;³³⁹

ii) a entrada em cena de outro detector, as chamadas telas de cintilação, que obteve resultado expressivo naquele período: a proposição da existência do núcleo atômico ainda em 1911, tido como o evento que iniciou a física nuclear como área autônoma;³⁴⁰

iii) a eclosão da Primeira Guerra Mundial certamente impôs obstáculo à pesquisa científica na Europa – praticamente não há artigos³⁴¹ lidando com o método fotográfico entre 1915 e 1922.³⁴²

³³⁷ GALISON (1997b, p. 20-21).

³³⁸ GALISON (1997b).

³³⁹ Para Occhialini, foi a câmara de nuvens e sua aceitação como detector pelos físicos que levou o método fotográfico a não se desenvolver propriamente até o fim da Segunda Guerra Mundial. Ver GARIBOLDI (2004b, s/p). Achamos que esse seria tema interessante a se investigar: até que ponto os resultados de Geiger, Marsden e Rutherford conferiram estatuto de detector ‘confiável’ às câmaras de cintilação a partir da década de 1910.

³⁴⁰ Como veremos adiante, uma controvérsia entre Cambridge e Viena envolvendo a precisão de dados obtidos por meio de telas de cintilação está na origem da ‘redescoberta’ do método fotográfico na década de 1920.

A entrada em cena do microscópio, o aparelho que em si é a *alma mater* do método fotográfico, deu-se em três áreas distintas: na fotografia, na geologia e na física nuclear. Como vimos, incomunicáveis entre si.

Finalizamos este capítulo com sugestão: a ‘retomada’ do microscópio pelos físicos naquele início de século seria tema interessante para se trabalhar do ponto de vista da história da ciência.

³⁴¹ Duas exceções são IKEUTI (1916) e SAHNI (1917a,b). O primeiro trabalho foi realizado no Japão e provavelmente tem a ver com a parceria estabelecida com a Kinoshita para o Japão. O artigo de Sahni de 1917 é o mais tardio feito na Europa naquele primeiro período.

³⁴² Em 1922, Mühlestein emprega nova técnica que possibilita obter imagem mais reduzidas dos halos radioativos (‘ouriços’), permitindo a medida do comprimento das partículas alfa com mais precisão. Mühlestein, depois de ‘dopar’ as emulsões com elementos radioativos (rádio C, ou seja, bismuto 214), mergulhou-as em mercúrio até o início do processo de revelação. Isso evitou que surgissem nas emulsões traços de partícula oriundos de diminutos fragmentos de ‘sujeira’ radioativa que geralmente se depositam sobre a superfície da emulsão. Mühlestein, assim, pôde obter valores distintos para o comprimento das partículas alfa do bismuto (média de 50 micrômetros) e do polônio (27,7 micrômetros) – este decorrente do decaimento do primeiro.

CAPÍTULO 4

CAIXA-PRETA PRETA REVELADA

Introdução

Por décadas, sem se importarem muito com os princípios físicos e químicos subjacentes ao processo fotográfico, físicos nucleares e de raios cósmicos (estes últimos, por vezes, denominados cosmicistas) empregaram a fotografia como detector, desenvolvendo procedimentos para melhorar esse uso. Em geral, esse processo se deu na base da ‘tentativa e erro’.³⁴³

A fotografia, para esse grupo de físicos, era como ‘caixa-preta’.

Paralelamente a essa história, há outra, envolvendo pesquisadores – físicos da área de estado sólido, químicos industriais e cientistas do campo da fotografia – cujo objetivo principal era desvendar o processo fotográfico – em nível molecular, atômico e subatômico – tanto nos grãos de brometo de prata quanto nos elementos e nas substâncias da gelatina.

Para contar essa história, vamos retroceder ao início do século 19, à “sinfonia submolecular” de Arago, bem como aos trabalhos de Daguerre e Talbot sobre uma das descobertas mais importantes do campo da fotografia: a da imagem latente.

As hipóteses iniciais, ainda no século 19, de que a prata metálica seria a reponsável pela formação da imagem latente (genericamente chamada teoria do núcleo da prata metálica) oscilaram ao sabor de um mar de outras conjecturas – muitas implausíveis e sem fundamentação científica, com base em análises de experimentos nem sempre cientificamente corretos.

A visão geral do século 19 quanto às interpretações da formação da imagem latente mostraria que praticamente ao longo daquele período acreditou-se que a natureza das reações do chamado processo fotográfico era totalmente química.

Daremos prosseguimento à nossa história neste capítulo com o trabalho publicado no final do século 19 por dois químicos industriais. Nesses resultados, está a base para uma nova ciência: a sensitometria. E finalmente trataremos da primeira teoria quântica da formação da imagem latente, quando a ‘caixa-preta’ começa finalmente a se revelar.

Essência latente: o acaso desperta a luz adormecida?

Uma das descobertas mais importantes na história da fotografia foi a da imagem latente. ‘Adormecida’ sobre os grãos dos sais de prata, na forma de diminutos pontos metálicos, ela foi descoberta quase simultaneamente tanto por Daguerre quanto Talbot.³⁴⁴

³⁴³ PERKINS (Comunicação pessoal).

³⁴⁴ HUNT (1844). Citado por GERNESHEIM e GERNESHEIM (1955, p. 14). Essa importância está exemplificada em breve passagem ainda dos primórdios da fotografia, feita por um de seus pioneiros: “A

A compreensão, ainda que limitada, desse fenômeno permitiu perceber que a imagem permanecia ‘gravada’, mesmo depois de breve exposição à luz. E isso fez com que o processo que tomava horas se reduzisse a poucos minutos (e, posteriormente, a segundos), viabilizando o emprego da fotografia para a feitura dos chamados retratos.

Tem-se atribuído caráter de serendipidade à descoberta da imagem latente. Por exemplo, ainda em 1865, ela é descrita pelo químico orgânico alemão barão Justus von Liebig (1803-1873) como resultado inesperado para Daguerre. Este, segundo Liebig, teria se surpreendido por encontrar chapas previamente expostas à luz e agora dotadas de imagens nítidas. Depois de excluir todos os objetos e compostos químicos do armário em que se encontravam as chapas, Daguerre teria chegado à conclusão de que o responsável pela revelação havia sido o vapor de mercúrio oriundo de vidro com esse elemento próximo ao armário.

A descrição de Liebig deve, no entanto, ser lida com cuidado.³⁴⁵ Há evidências que desmontam o acaso da descoberta da imagem latente.³⁴⁶ Relatos posteriores de Daguerre dão a entender que a percepção de que o vapor de mercúrio poderia trazer à visão imagem ainda latente teria sido processo árduo, que se estendeu por longos 11 anos de experimentos, tendo a decepção como fio condutor.

Há uma terceira versão, construída com base em carta de Daguerre, trazida a público em 1962, em encontro científico. Nela, Daguerre dá a entender³⁴⁷ que teria percebido a relação entre a ação da luz e a da corrente elétrica – ou mesmo do ar eletricamente carregado. Com base nessa associação, poderia ter ocorrido a ele que as partes da placa alteradas pela exposição à luz poderiam atrair substâncias do ar, como vapor de mercúrio. “Sua [de Daguerre] revelação então seria resultado mais da razão que do acaso.”³⁴⁸

No entanto, a versão do acaso perdurou por décadas e foi reforçada em revistas científicas populares, como a *Scientific American*.³⁴⁹

descoberta da imagem latente e de sua capacidade de revelação transformaram a fotografia de criança em gigante. É a base sólida sobre a qual está apoiada a totalidade de nossa magnífica superestrutura.”

³⁴⁵ LIEBIG (1865). Citado por GERNESHEIM e GERNESHEIM (1955, p. 15). O casal de historiadores, no entanto, pede cuidado com a versão de Liebig, pois seu relato sobre como Talbot descobriu a revelação não coincide com as memórias deste último.

³⁴⁶ JAMES (1987a, p. 15).

³⁴⁷ JAMES (1987a, p. 15).

³⁴⁸ JAMES (1987a, p. 15).

³⁴⁹ HOPKINS (1887, s/p). “Um feliz acidente levou à descoberta da revelação da impressão fotográfica por meio do vapor de mercúrio. Antes dessa descoberta, a imagem era revelada por longa e contínua exposição na câmara. Daguerre, em certa ocasião, colocou chapas subexpostas consideradas inúteis em armário no qual havia produtos químicos. Depois, ao observar as chapas, se surpreendeu ao ver imagens nelas. Depois de retirar todos os produtos químicos do armário, as imagens nas chapas eram ainda misteriosamente reveladas. Ele descobriu no chão recipiente de mercúrio que havia passado despercebido

No caso de Talbot, há concordância dos historiadores da área: a descoberta do processo de revelação ocorreu como obra do acaso – versão confirmada pelo próprio inventor.

O anúncio do processo de revelação descoberto por Talbot ocorreu em 31 de janeiro de 1839, em encontro da Royal Society. Nos meses seguintes, ele teria trabalhado com ácido gálico como sensibilizador e passado para certa mistura de substâncias que o teria entusiasmado bastante: ácido gálico, ácido acético e nitrato de prata. Talbot produziu várias chapas (suporte em papel) e as expôs por breve tempo à câmera escura, para testar a sensibilidade delas. Ao deixar uma delas sobre a mesa, em sala escura, percebeu, mais tarde, que na chapa havia se formado uma imagem.³⁵⁰

Talbot havia descoberto que a solução de nitrato de prata, mais ácido acético e ácido gálico, podia agir como revelador, tornando a imagem ‘fraca’ e invisível em ‘forte’ e visível. O acaso desse descobrimento custou sete anos de erros e acertos a Talbot na busca do aprimoramento e do entendimento do processo fotográfico.

Vale ressaltar brevemente o papel que as lentes tiveram para diminuir os tempos de exposição. A invenção da lente dupla com componentes distintos é atribuída ao matemático húngaro Josef Petzval (1807-1891). Sua abertura permitia exposições cerca de 20 vezes mais rápidas, com a vantagem de maior campo visual e menos aberração que as lentes tradicionais da empresa de Vincent (1777-1841) e Charles Chevalier (1804-1859) usadas até então.³⁵¹ Talbot, por exemplo, logo após o anúncio da descoberta de Daguerre, encomendou vários tipos de lentes acromáticas para um técnico em Londres para equipar câmaras que ele mesmo fabricaria.³⁵²

até então, e o mistério foi solucionado. Ele averiguou que os efeitos produzidos espontaneamente pelos vapores de mercúrio poderiam ser mantidos por meios adequados.” Ao pé da transcrição do artigo há nota, na página da Sociedade Daguerreiana (www.daguerre.org/resource/process/remin.html), em que se lê o seguinte: “Nota do transcritor: Esta versão popular da descoberta do mercúrio como revelador por Daguerre é geralmente considerada espúria por historiadores modernos da fotografia – Gary W. Ewer, 1995.”

³⁵⁰ Nas palavras de Talbot: “Observei [as chapas] antes e, portanto (mágica à parte), a única conclusão que podia ser tirada era a de que a imagem havia inesperadamente se revelado por si só, em função de ação espontânea. Por sorte, eu lembrava o modo como aquele papel [chapa] havia sido preparado e foi possível repetir o experimento imediatamente.”

³⁵¹ FUJIFILM do Brasil (2007, s/p). Inicialmente, a astronomia se aproveitou das lentes para retrato de Petzval, que tinham razão 1:5 entre o diâmetro delas e a distância focal. Mais tarde, a partir de 1900, lentes especialmente voltadas para a astronomia passaram a ser desenvolvidas. Para mais detalhes sobre a evolução da óptica fotográfica, ver WOLFSCHMIDT (2005) e JENKINS (1966).

³⁵² Para uma visão ampla do desenvolvimento e manufatura das lentes fotográficas, ver, por exemplo, KINGSLAKE (1987).

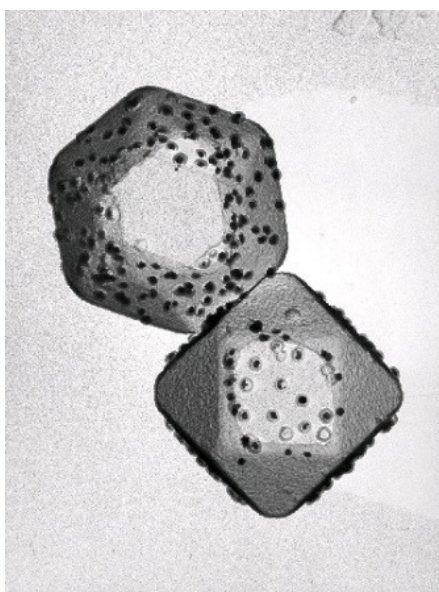
Um século e meio para se revelar: a prata metálica vem à luz

Não pretendemos nos estender muito neste subcapítulo. Até porque o tema aqui proposto já foi tratado em artigo soberbo,³⁵³ que nos serviu de guia para o esboço das ideias a seguir.

O entendimento do processo fotográfico, desde que a prata foi sugerida por Arago, sofreu modificações e foi motivo de debate intenso entre especialistas, não se resolvendo mesmo quando se esboçou, no final da década de 1930, a primeira teoria quântica da formação da imagem latente. Mas devemos lembrar que a primeira hipótese sobre a redução da prata a metal nos sais de cloreto de prata foi apontada por Scheele, ainda em 1777.³⁵⁴

Pioneiros da fotografia – caso emblemático é Frederick Guthrie – já defendiam que a imagem latente era formada pela prata metálica em contato íntimo com o cristal de haleto de prata.³⁵⁵ Entenda-se ‘íntimo’ como sobre a superfície do cristal.

Ao longo do século 19, inúmeras hipóteses surgiram sobre quais seriam os princípios físicos e químicos adjacentes à imagem latente. Gostaríamos de destacar apenas uma delas, de 1859, do químico e fotógrafo francês Alphonse Davanne (1824-1912), pela impressionante correção e simplicidade do modelo apresentado por ele para a formação da imagem latente.³⁵⁶ “Redução pela luz de diminuta parte do sal de prata para o estado de prata metálica”³⁵⁷



Grão de brometo de prata contendo sobre sua superfície grãos de prata metálica, formando a chamada imagem latente (Crédito: Wikimedia Commons)

³⁵³ JAMES (1987b).

³⁵⁴ Foge ao escopo desta tese investigar se Arago, em sua sinfonia submolecular, foi influenciado pelas ideias de Scheele.

³⁵⁵ BERG (1947, p. 255).

³⁵⁶ JAMES (1987b, p. 50)

³⁵⁷ DAVANNE (1859).

Ao final do século 19, grandes nomes da físico-química se envolveriam com a chamada teoria da imagem latente. Exemplos: o sueco Svante Arrhenius (1859-1927), o holandês Jacobus Van't Hoff (1852-1911) e alemão Wilhelm Ostwald (1853-1932), três ganhadores do prêmio Nobel.³⁵⁸ Marco importante desse período para a compreensão do processo fotográfico foi o trabalho do químico norte-americano Cley Lea (1823-1897),³⁵⁹ que apresentou suas ideias sobre a chamada prata coloidal.

Por que destacar os resultados de Lea?

Por ele ter, pela primeira vez, confirmado as suspeitas de pioneiros como Arago, ou seja, a de que a prata metálica teria papel fundamental para a formação da imagem.

No início do século passado, outro marco: Mees propõe sua teoria do germe de prata,³⁶⁰ na qual se aperfeiçoou a ideia de que a imagem latente teria sua origem em diminutos amontoados desse metal distribuídos sobre o grão de brometo de prata. Mees pode não ter oferecido provas cabais de que a prata metálica era elemento essencial para a formação da imagem latente, mas teve o mérito de reforçar essa ideia entre seus contemporâneos do ponto de vista mais apurado cientificamente.

Vale perguntar a esta altura: por que foi necessário passar quase cinco décadas para que se relacionasse a prata metálica com a formação da imagem final, ou seja, de Arago a Mees? Possível resposta: como foi dito, o debate sobre o chamado processo fotográfico tornou-se confuso a partir de meados da década de 1850, com a entrada em cena dos fotógrafos profissionais que praticavam química amadorística.³⁶¹

Por fim, uma afirmação que certamente parecerá surpreendente, principalmente para aqueles com formação em química: até 1941, não havia certeza de que a prata metálica estivesse envolvida na formação da imagem latente. Caso emblemático são as palavras de Mees:

“A natureza da imagem latente sempre foi um dos assuntos favoritos de especulação entre os fotógrafos. Não há necessidade de se aprofundar nas teorias que têm sido desenvolvidas, porque **não há consenso geral de opinião sobre o assunto**. Evidências de que a imagem produzida por longa exposição à luz consiste em prata metálica são dadas tanto por raios X quanto por microscópios eletrônicos, e a imagem latente produzida por curta exposição é

³⁵⁸ Ostwald propôs retomada da hipótese sobre a prata metálica como principal agente da imagem latente, porém sem que essas ideias prosperassem na comunidade científica.

³⁵⁹ Obituário de Lea está em BARKER (1903). Lea (1868) é um manual de fotografia destinado ao ensino dessa profissão para iniciantes e profissionais.

³⁶⁰ SHEPPARD e MEES (1907b). Ver também SHEPPARD e MEES (1907a).

³⁶¹ Sobre o cenário social e econômico que levou ao surgimento da profissão de fotógrafo, sugerimos JENKINS (1966) e JENKINS (1987). Para alguns dos principais desenvolvimentos da química fotográfica na segunda metade do século 19, ver JAMES (1987c).

quase certamente da mesma natureza que a imagem visível que resulta da exposição prolongada à luz.”³⁶² [Grifo nosso]

Mais surpreendente é notar que essa forte e longa suspeita só ganhou evidências incontestáveis do ponto de vista experimental em meados da década de 1960, com o surgimento de novas técnicas de análise.³⁶³

Hurter e Driffield: como obter bons negativos

A ciência da sensitometria nasceu em contexto em que a física se empenhava para aprimorar a precisão de suas constantes, programa de pesquisa que era seguido por vários laboratórios no mundo.³⁶⁴ Como citado, caso emblemático dessa preocupação está em discurso feito pelo físico britânico Lorde Kelvin, em 1900, na Royal Society. Por seu lado, a indústria fotográfica já fabricava em série as chamadas chapas secas.

É nesse contexto que deve ser inserida a publicação de um trabalho de dois químicos industriais da United Alkali: o químico suíço Ferdinand Hurter (1844-1898) e seu colaborador Vero Charles Driffield (1848-1915).³⁶⁵ O objetivo deles era responder à pergunta que se impuseram no início do artigo: Negativos podem ser produzidos tais como são definidos como perfeitos teoricamente? Para isso, definiram conceitos importantes, como opacidade, transparência, densidade do negativo.³⁶⁶

Com essas grandezas, mediram:

- i) a quantidade de imagem produzida pela exposição à luz seguida pela revelação;
- ii) a taxa de revelação da imagem exposta à luz.

Hurter e Driffield também ficaram conhecidos pela chamada curva D log E, ou seja, que representa a relação entre a densidade de grãos revelados em função da exposição (esta apresentada na forma de logaritmo).

Com Hurter e Driffield, surgia um modelo para atacar o problema do processo fotográfico.³⁶⁷ Essas ideias estão na origem da chamada sensitometria. Essas ideias seriam retomadas poucos anos mais tarde, por dois estudantes interessados em fotografia, que tratariam de dar arcabouço científico às agora denominadas ciências fotográficas.

³⁶² MEES (1951, p. 75). Nas décadas posteriores, encontram-se trabalhos sobre a natureza da imagem latente. Ver, por exemplo, JAMES (1966) e JAMES (1970).

³⁶³ Para ampla discussão do assunto, ver TANI (1995), TANI (2007a), TANI (2007b) e TANI (2007c).

³⁶⁴ Para uma discussão ampla desse contexto, ver HIEBERT (1979).

³⁶⁵ HURTER e DRIFFIELD (1890).

³⁶⁶ RAWLING (1943).

³⁶⁷ MEES (1954a, p. 50).

Mees, Sheppard e Hodgson: centros de revelação e sensibilidade

Os trabalhos de Hurter e Driffield sobre sensitometria foram retomados por Mees e Sheppard no início do século passado. Dois resultados importantes dos experimentos feitos por esses então jovens estudantes foram a teoria do germe de prata, de Mees, e a elevação do grão de brometo de prata a unidade básica do processo fotográfico.

Os experimentos feitos por Mees e Sheppard para suas teses de doutorado – ambos as concluíram em 1906 – foram publicados em livro que se tornaria um texto clássico na área de ciências fotográficas.³⁶⁸

Dez anos depois da publicação das teses de Mees e Sheppard, em 1917, Millard Hodgson, do Laboratório de Pesquisas da Eastman Kodak (Estados Unidos), constatou³⁶⁹ que a revelação começava a partir de poucos pontos na superfície do grão de brometo de prata. Ou seja, a imagem latente não era mais que ‘sementes’ de prata metálica. Esses poucos pontos se tornam bilhões pela ação do revelador (em geral, substância orgânica redutora de caráter básico). Tais pontos foram denominados centros de revelação. Eram a essência da imagem latente em si.

Há, no entanto, detalhe importante no artigo de Hodgson de 1917: o uso do microscópio de alta resolução para visualizar os centros de revelação. Os resultados de Hodgson deflagaram discussão sobre a pré-existência ou não desses centros de revelação antes da exposição à luz ou à radiação ionizante, questão só resolvida em meados da década de 1920.

No início da década de 1920, enquanto na física o tema candente era a desintegração nuclear,³⁷⁰ o assunto importante para as ciências fotográficas, seja na academia, seja na indústria, eram os chamados centros de sensibilidade.

Sheppard, em artigo de 1925, assinado por mais dois colegas,³⁷¹ daria resposta quase definitiva para essa questão. Experimentos desses autores os levaram a concluir que a sensibilidade da emulsão fotográfica depende da presença de diminutas quantidades de sulfeto de prata na superfície do grão de brometo de prata.

Sem esses centros de sensibilidade, a formação da prata metálica (centros de revelação) fica prejudicada, e a emulsão não tem sensibilidade fotográfica.

A fonte desse enxofre³⁷² é a própria gelatina, mostrando que esse substrato está longe de ter papel passivo no processo fotográfico.

³⁶⁸ MEES e SHEPPARD (1904).

³⁶⁹ HODGSON (1917).

³⁷⁰ RENTETZI (2007, capítulo 5).

³⁷¹ SHEPPARD, TRIVELLI e LOVELAND (1925). Todos do Laboratório de Pesquisa da Kodak (Reino Unido).

³⁷² Na década de 1940, Sheppard mostraria ainda que bastaria uma proporção de 1: 100.000 para que o enxofre naturalmente presente na gelatina fosse suficiente para formar o sulfeto de prata adsorvido na superfície dos grãos de brometo de prata.

A sinfonia submolecular de Arago, bem como as ideias visionárias de Davanne, começavam a ser orquestradas. Porém, não havia ainda teoria consistente com as ideias mais modernas da física quântica de estado sólido.

Mais de uma década teria que se passar para que isso se tornasse realidade.

Gurney e Mott: o *quantum* encontra a imagem latente

Treze anos depois da publicação do trabalho que mostrou a necessidade da existência dos centros de sensibilidade, viria a público a primeira teoria sobre a formação da imagem latente com elementos da física quântica, desenvolvida por R. W. Gurney³⁷³ e Nevil Mott (1905-1996).

A teoria de Gurney-Mott,³⁷⁴ como ficou conhecida, não pode ser desvinculada do fértil cenário i) da física da década anterior, no qual se desenvolveram as teorias matricial e ondulatória da mecânica quântica; ii) e da teoria, no início da década seguinte, sobre a banda de condução de semicondutores e isolantes.³⁷⁵

Mott teve papel importante no estabelecimento, no Reino Unido, das bases da teoria quântica do estado sólido (hoje, da matéria condensada),³⁷⁶ cujas origens remontam a 1906, com o trabalho seminal de Albert Einstein (1879-1955) sobre o calor específico dos corpos.³⁷⁷

Finalmente, temos que vincular essa teoria aos resultados obtidos por Sheppard e colaboradores na década anterior, pois Gurney e Mott empregaram a noção de centros de sensibilidade para a formulação de seu modelo quântico.

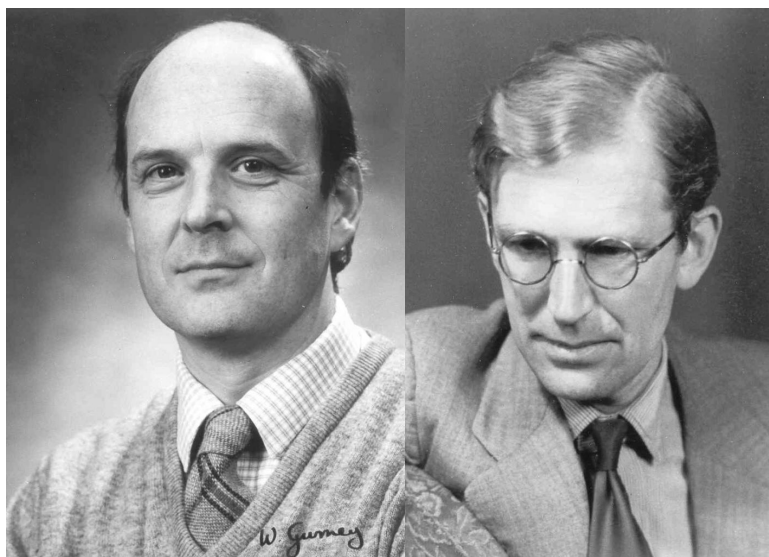
³⁷³ Físico britânico, morto em 1953, em Nova York, especialista em física da matéria condensada. Foi colaborador de longa data do britânico Nevill Mott, prêmio Nobel de Física de 1977. Para obituário de Gurney, ver MOTT (1953).

³⁷⁴ GURNEY e MOTT (1938).

³⁷⁵ Dois outros resultados importantes para alicerçar mecanismo satisfatório para a imagem latente: a comprovação da fotocondutividade do brometo de prata, com base nas ideias propostas pelo químico sueco Svante Arrhenius, no final da década de 1880, bem como a condução iônica desse sal. Para detalhes, ver JAMES (1989, p. 57).

³⁷⁶ Depoimento com viés mais histórico sobre o envolvimento de Mott com a física de estado sólido está em MOTT (1980).

³⁷⁷ EINSTEIN (1907). Para discussão desse artigo de Einstein, ver CONTINENTINO (2006), em português, ou STACHEL (2001).



W. Gurney (esq.), idealizador, juntamente com Nevil Mott, do primeiro modelo quântico para o processo de formação da imagem latente (Crédito: desconhecido)

No modelo de Gurney-Mott, as etapas até a formação da imagem latente são basicamente as seguintes:

- i) o fóton ou partícula com carga elétrica, ao passar pelo grão, arrancam elétrons dos átomos;
- ii) esses elétrons migram para os chamados centros de sensibilidade (sulfeto de prata) presentes na superfície do grão, tornando aquela região carregada negativamente;
- iii) os íons de prata (positivos), que podem se movimentar pela rede cristalina, migram para os centros de sensibilidade, absorvem elétron e tornam-se átomos de prata;
- iv) os reveladores químicos têm capacidade de aumentar consideravelmente o número de átomos de prata na superfície do grão.

A teoria de Gurney-Mott permaneceu como uma das principais ideias – talvez, a principal – no que se refere ao modelo quântico de formação da imagem latente³⁷⁸ até meados da década de 1950, quando J. W. Mitchell, do Laboratório H. H. Wills, da Universidade de Bristol, proporia que o papel das imperfeições no cristal do haleto de prata era fundamental para a formação da imagem latente.

³⁷⁸ Nossa pesquisa indicou que os primeiros artigos sobre esse tema parecem ser do começo da década de 1920. Ver, por exemplo, SILBERSTEIN (1922a) e SILBERSTEIN (1922b). Outros trabalhos em linha semelhante são EGGERT e NODDACK (1927) e SILBERSTEIN (1941), WEBB (1940), WEBB (1941), WEBB e EVANS (1941).

Os deslocamentos de Mitchell: imperfeições na rede

Em sua teoria, Mitchell destacou o papel dos ‘buracos’ positivos – novidade na época –, que podem ser entendidos como a ausência de cargas negativas. Esses buracos são aprisionados em imperfeições da rede cristalina. Com isso, a teoria da Mitchell explica algo que a de Gurney e Mott não podia fazer: a formação de prata metálica no interior do cristal, como já havia sido apontado em 1948.³⁷⁹

Em artigo de revisão de 1957, Mitchell reúne suas ideias sobre a sensibilidade fotográfica, enfatizando que a formação da prata metálica é antecedida pelo que denomina imagem pré-latente e subimagem latente.³⁸⁰ Pontos básicos do modelo de Mitchell:³⁸¹

1) um ‘buraco’ também é formado quando ocorre a fotoexcitação [ou ionização por fótons], sendo que a recombinação entre elétrons e buracos é evitada em função de estes últimos serem capturados por íons de haletos [brometos] na superfície;

2) os centros de sensibilidade $[Ag_2S]$ são formados preferencialmente onde há ‘imperfeições’ (deslocamentos) na superfície do cristal [de brometo de prata];

3) a imagem latente interna é formada pela separação de átomos de prata distribuídos ao longo das linhas de ‘imperfeições’ (deslocamentos);

4) a condição para a formação de imagem latente estável: quatro átomos de prata metálica por grão de brometo de prata.

Depois de Mitchell,³⁸² outros aperfeiçoamentos foram propostos e comprovados experimentalmente. Parte desse trabalho foi feito nos laboratórios fotográficos das grandes empresas fotográficas, dada a importância comercial do tema para esse ramo da indústria.³⁸³

Conclusão (capítulo 4)

Podemos remeter nossa história dos reveladores da caixa-preta aos pioneiros da fotografia que apontaram a prata metálica como elemento crucial no processo fotográfico. No século 19, com a saída de cena dos cientistas do campo da fotografia, deu-se a apropriação do campo pelos fotógrafos profissionais. Nesse momento, começaram a surgir hipóteses – muitas sem base científica ou comprovação experimental – para explicar o mecanismo subjacente à formação da imagem latente.

Foi preciso esperar o final do século 19, com o surgimento da sensitometria, e a entrada nesse campo dos primeiros doutores em ciências fotográficas, formados no Reino Unido. A partir

³⁷⁹ BERG (1948).

³⁸⁰ Para mais detalhes, ver MITCHELL (1957).

³⁸¹ Adaptado de WILLIAMS (2007).

³⁸² Depoimento com viés mais histórico escrito por Mitchell está em MITCHELL (1980).

³⁸³ Para trabalho detalhado sobre o tema, sugerimos TANI (2007a), TANI (2007b), TANI (2007c).

daí, a cada década, detalhes da formação da imagem latente foram sendo revelados, até que viesse a público o primeiro modelo quântico no final da década de 1930.

Essas duas linhas de pesquisa – de um lado, físicos de estado sólido, químicos e físicos industriais; de outro, físicos nucleares e de raios cósmicos – praticamente não se interseccionaram. Caso emblemático é a passagem de Donald Perkins, que trabalhou na Universidade de Bristol, no H. H. Wills, mesmo laboratório a que pertencia J. W. Mitchell:

“Os físicos de estado sólido em Bristol tinham pouco a ver com os de física de partículas. Mitchell era o principal físico interessado no mecanismo de processo fotográfico, e eu tive aquele tipo de conversa estranha com ele.³⁸⁴ Mas os físicos de partículas eram prioritariamente interessados na técnica e em como fazer o melhor uso dela, **por tentativa e erro**, e muito menos interessados em teoria do estado sólido. Os dois grupos trabalhavam em andares diferentes em Bristol e **havia muito pouca interação entre eles. Nós tínhamos muito mais interação com os químicos, Waller, da Ilford, e Berriman, na Kodak.**”³⁸⁵ [Grifo nosso]

A declaração de Perkins indica que a revelação dos segredos da ‘caixa-preta’ ficou a cargo de comunidade externa àquela que empregava a ‘caixa-preta’ como detector. Essa situação contrasta com o que ocorreu a outros detectores (eletroscópios, eletrômetros, espinteroscópio;³⁸⁶ câmaras de cintilação, câmara de nuvens, contadores Geiger-Müller, circuitos de coincidência), desenvolvidos e utilizados – alguns deles – paralelamente ao método fotográfico. Os processos físicos e químicos envolvidos em cada um desses aparelhos eram de conhecimento dos físicos que os inventaram, bem como dos que empregaram esses detectores.

³⁸⁴ Perkins aqui se refere à dificuldade de comunicação entre um experimental – ele próprio – e um teórico. Segundo o modelo de Galison, não havia entre eles pidgin, ou seja, linguagem crioula. A falta de contato entre experimentais e teóricos – agravada aqui pelo fato de ambos serem de áreas diferentes, Perkins de raios cósmicos, Mitchell, de estado sólido – era característica da física fora da *Big Science*. Como discutiremos adiante nesta tese, os grupos de emulsões do CBPF também não mantinham contato com teóricos e chegavam a desenvolver os próprios modelos para explicar seus resultados.

³⁸⁵ PERKINS (Comunicação pessoal). Foge ao escopo desta tese – até por ser, como foi dito, história paralela – investigar em que momentos se deu de modo mais intenso essa interação entre físicos de partículas e os de estado sólido. A nosso ver, isso ocorreu de modo mais intenso após a Segunda Guerra Mundial, mais ao final da década de 1940 e na seguinte, nos encontros sobre sensibilidade fotográfica. Exemplo do que era discutido e de quem participava desses encontros está em MITCHELL (1951). A lista de participantes mostra que havia membros da academia, da indústria e do estabelecimento nuclear reunidos no encontro. Vários outros desses encontros ocorreram nessa mesma época. Para breve discussão deles, ver GRILLI (1987).

³⁸⁶ Aparelho inventado no início do século por William Crookes e no qual é possível observar a cintilação causada em tela de sulfeto de zinco, por exemplo, por partículas alfa emitidas por elemento radioativo.



Espinteroscópio de Crookes (crédito: Theodore W. Gray)

No caso da fotografia, o fato de a indústria estar envolvida nesse cenário levou a relação segredosa entre esta e a comunidade que empregava a fotografia como detector – esses segredos eram principalmente sobre os métodos de fabricação das emulsões. Após a Segunda Guerra Mundial, as emulsões nucleares eram preparadas segundo pedido dos físicos, porém estes nunca ficavam sabendo como se dava esse processo. Em alguns casos, como o da Kodak Eastman, nos Estados Unidos, até mesmo a composição da emulsão permaneceu como segredo.

Porém, dizer que havia segredo industrial não explica o cenário apresentado aqui. Na verdade, o ‘como o detector funciona’ nunca seria preocupação dos físicos da área de raios cósmicos, nuclear ou de partículas elementares. Muitos se referiam às emulsões como ‘magia negra’.³⁸⁷ Por seu lado, os utilizadores da caixa-preta desenvolveriam novos métodos para revelar (principalmente, para emulsões espessas); para adequar as emulsões ao grande fluxo de partículas gerado pelos aceleradores; para adaptar microscópios à tarefa de tornar a varredura óptica das emulsões mais precisa, confiável e confortável; para a obtenção de ‘novas receitas’ de revelação. Muitos deles utilizados pela indústria.

Dois fatos reforçam a classificação de ‘magia negra’. O livro de Powell, Fowler e Perkins, tido como ‘Atlas’ definitivo sobre a técnica, chegou a ser batizado “livro de receita”.³⁸⁸ Folheto da Ilford enfatiza que cada grupo que lida com as emulsões nucleares tem sua própria receita para o processo de revelação. No Brasil, a Colaboração Brasil-Japão usava, por exemplo, glicerina e álcool na etapa relativa à lavagem final.³⁸⁹ A primeira substância evitava tanto a rachadura da gelatina quanto a proliferação de micro-organismos, mesmo efeito que o álcool ajudava a criar, também acelerando o processo de secagem.³⁹⁰

³⁸⁷ PERKINS (Comunicação pessoal).

³⁸⁸ KOCH (1960, p. 1.882).

³⁸⁹ No início da década de 1950, já se usava solução de resina e álcool na parte final do processo de revelação para evitar o reticulado das emulsões no Laboratório H. H. Wills, da Universidade de Bristol. Ver, por exemplo, DANYSZ e YEKUTIETI (1951).

³⁹⁰ SHIBUYA (Comunicação pessoal).

Ao longo das décadas de 1940 e na seguinte, encontros científicos ocorreriam para discutir questões mais ligadas à sensibilidade fotográfica.³⁹¹ Neles, vemos reveladores e usuários da caixa-preta interagindo. Porém, arriscamos dizer, sem muito proveito para ambos.

³⁹¹ Grandes conferências fotográficas: Liège 1948, Zurich 1949, Bristol 1950, Paris 1951, Hakone 1953, Londres 1953, Colônia 1953. Mais detalhes em GRILLI (1987).

CAPÍTULO 5

OS PRÓTONS REVELAM SUAS IMAGENS

Introdução

Vimos no capítulo anterior que uma história paralela ocorreu àquela do uso das emulsões como detectores. É a história da pesquisa feita por químicos e físicos, na academia e nos laboratórios industriais, para revelar as propriedades do processo fotográfico, com ênfase na formação da imagem latente.

Neste capítulo, retomamos a história do método fotográfico aplicado à física experimental.

Apontamos a Primeira Guerra Mundial como fator a interromper aquele emprego inicial do método fotográfico, que seria retomado por conjunção de fatores, entre eles: i) a busca de modelo para explicar a desintegração nuclear obtida em 1919 por Rutherford; ii) a controvérsia que se instalou entre Cambridge e Viena sobre a interpretação desses resultados; iii) a busca de um novo detector para tentar solucionar essa disputa científica.

É nesse cenário que o método fotográfico é ‘redescoberto’ por uma jovem física com doutorado em radiações e com experiência prévia no emprego da fotografia com detector. A década de 1920 veria aprimoramentos da técnica. Entre os resultados mais importantes, está a obtenção das primeiras trajetórias de prótons rápidos.

Cambridge versus Viena: o cenário da disputa

Em 1919, Rutherford, então diretor do Laboratório Cavendish, em Cambridge (Inglaterra), observou anomalias na desintegração de núcleos de nitrogênio por partículas alfa.³⁹² O que lhe chamou a atenção foi o alcance de núcleos de hidrogênio (prótons) resultantes dessa reação nuclear. Auxiliado pelo físico britânico James Chadwick (1891-1974), realizou experimentos que fizeram a dupla concluir que só certos elementos, quando bombardeados por alfas, emitiriam esses prótons de longo alcance.

Essas conclusões levaram, em 1921, ao modelo nuclear de Rutherford e Chadwick: o núcleo atômico era constituído por um ‘caroço’ formado por partículas alfas, que, por sua vez, era orbitado por prótons-satélites. Seriam desintegráveis apenas núcleos que obedecessem às estruturas nucleares $4N + 2$ e $4N + 3$, sendo N um número inteiro maior que zero. Esse esquema ficou conhecido como modelo de satélites.

³⁹² Em 1919, com seu artigo intitulado ‘Collisions of alpha particles with light atoms’, Rutherford mostrou, pela primeira vez, que o núcleo atômico podia ser desintegrado e que as partículas resultantes dessa desintegração (no caso, do núcleo de nitrogênio) eram núcleos de hidrogênio, ou seja, prótons, como foi batizada essa nova partícula.

Mas resultados de 1923 e 1924, em outro conceituado centro de pesquisas europeu, o Instituto do Rádio de Viena, contradiziam essas conclusões. Para o austríaco Gerhard Kirsch e o sueco Hans Pettersson, núcleos, como o de berílio, silício e magnésio, que não obedeciam à fórmula de Rutherford e Chadwick, eram também desintegráveis. Além disso, os prótons eram mais comuns como constituintes de átomos leves do que se imaginava.³⁹³

Empregando contadores de cintilação,³⁹⁴ Viena conclui que todos os núcleos leves seriam passíveis de desintegração – para Cambridge, carbono e oxigênio, por exemplo, não se desintegrariam no bombardeio por alfas. A questão foi bem colocada no resumo do artigo publicado naquele ano³⁹⁵ por Pettersson:

“Ao interpretar os resultados de seus experimentos sobre a desintegração de certos elementos leves pelo impacto de partículas alfa, Rutherford e Chadwick supuseram que as partículas alfa transferem seu momento por impacto direto a um próton que é satélite ao restante do núcleo. [Este] artigo fornece argumentos favorecendo hipótese alternativa, que assume que as partículas alfa comunicam sua energia para o núcleo como um todo, precipitando explosão que supostamente tem apenas estabilidade limitada no caso de cada elemento.”

O modelo de Pettersson ganhou o nome ‘explosivo’, como podemos depreender do resumo acima.

Essa disputa perdurou, basicamente, de 1925 a 1928, e as discussões se deram em torno de um detector: o contador de cintilação, que Rutherford já havia defendido como confiável.³⁹⁶ A acusação não recaía sobre o equipamento em si, mas no modo como ele era usado em Viena, onde ele havia sofrido alterações – vale dizer que o contador de cintilação não era instrumento fácil de se lidar.³⁹⁷

³⁹³ RENTETZI (2007, capítulo 5).

³⁹⁴ Os contadores de cintilação foram desenvolvidos no início do século passado, por Crookes, que notou que o sulfeto de zinco cintilava ao receber o impacto de uma partícula alfa. A partir dessa observação, Crookes idealizou e construiu o chamado espinteroscópio. No meio científico, o instrumento igualmente se popularizou e, a partir do Reino Unido, espalhou-se por laboratórios da Europa, incluindo Viena.

³⁹⁵ PETTERSSON (1923, p. 195).

³⁹⁶ Ver, por exemplo, RUTHERFORD (1908), discurso pelo recebimento do Nobel de Química, no qual afirma que os “contadores de cintilação são confiáveis”.

³⁹⁷ A precisão do contador de cintilação estava baseada totalmente na capacidade de o observador perceber os pontos luminosos e contá-los. Além disso, esse observador deveria saber diferenciar, por exemplo, a luz proveniente do próton daquela resultante da alfa, quando essas partículas atingiam a tela de cintilação. Cambridge já havia mostrado, por exemplo, que pesquisadores mais experientes obtinham maior precisão na contagem dos pontos luminosos. Além disso, havia todo o ritual que deveria ser obedecido, como o fato de o observador ter que ‘acostumar’ a visão à escuridão antes de iniciar a observação, permanecendo, para isso, em sala escura por minutos. Ver RENTETZI (2007, capítulo 5).

O debate entre os dois grupos chegou aos principais periódicos europeus, entre eles *Nature* e *The Proceedings of the Physical Society of London*, bem como se tornou tema de palestras públicas.³⁹⁸

Estava em jogo o modo de se fazer física; a escolha de métodos experimentais.³⁹⁹

Marietta Blau: a retomada da técnica

Como os argumentos de Cambridge contra Viena eram sobre o detector empregado, Kirsch e Pettersson buscaram alternativa para detectar o próton expelido nas reações. Entra em cena a figura de uma jovem física austríaca, com doutorado, obtido em 1919, sobre absorção de raios gama. Marietta Blau (1894-1970) tinha experiência industrial e acadêmica,⁴⁰⁰ em pesquisa sobre radiações ionizantes – em 1922, ainda em Frankfurt, ela havia publicado, em coautoria com Kamillo Altenburger, artigo sobre a ação de raios X sobre chapas fotográficas.⁴⁰¹ Mas no artigo – isso é importante – não há evidência de que os autores tenham empregado o microscópio para varrer opticamente as emulsões.

Em 1923, depois de período em Berlim e Frankfurt, Blau retornou a Viena, trabalhando no Instituto do Rádio, sem remuneração, fazendo-a depender da ajuda da família (de classe média alta) para seu sustento. Era uma das várias cientistas no instituto, cenário que contrastava com aquele de Cambridge.⁴⁰²

A tarefa atribuída a Blau foi buscar novo detector. As razões para isso nos parecem dúbias.⁴⁰³ Também não fica esclarecido o porquê de Blau ter optado pelo método fotográfico; nem

³⁹⁸ Ver STUEWER (1985).

³⁹⁹ RENTETZI (2007, capítulo 5) afirma que “considerando o contador de cintilação como documento histórico, pode-se ver que, para os dois grupos [Cambridge e Viena], ele refletia vários significados sociais e epistemológicos incorporados na construção e no uso desse detector.”

⁴⁰⁰ Marietta Blau havia trabalhado em empresa fabricante de tubos de raios X, bem como no setor de raios X de hospitais.

⁴⁰¹ BLAU e ALTENBURGER (1922). Esse artigo passou posteriormente a ser relativamente bem citado na área da medicina no que diz respeito aos danos causados às células pela radiação. Nesse sentido, Blau e Altenburger propõem a chamada teoria do impacto. Para mais detalhes, ver artigo original. Ver também BLAU e ALTENBURGER (1924).

⁴⁰² Cambridge era ambiente tipicamente masculino, que chegou a ser classificado por Heilbron – ver HEILBRON (2003) – como local “de machos”. O Instituto do Rádio, por sua vez, empregava pesquisadoras, muitas especializadas em lidar com os contadores de cintilação. Muitas dessas mulheres não eram remuneradas.

⁴⁰³ GALISON (1997a) afirma que o objetivo de Blau era repetir os resultados obtidos em Cambridge por Rutherford e sua equipe. A afirmação de Galison contrasta com o que é afirmado em SCHÖNFELD (2006), sobre a relação entre Blau e o desenvolvimento das emulsões nucleares. Para este último, a intenção de Blau era achar método menos trabalhoso que o dos então cintiladores sólidos (ou contadores de cintilação).

mesmo há certeza de essa atribuição ter sido dada a ela por Pettersson.⁴⁰⁴ Em meio a essas dúvidas, arriscamos o óbvio: Blau já havia trabalhado com chapas fotográficas – mas, repetimos, não com o método fotográfico como aqui definido (placas fotográficas + microscópio).



A física austríaca Marietta Blau, que daria contribuições seminais para o método fotográfico aplicado à física (Crédito: lise.univie.ac.at)

Em Viena, o método fotográfico passou a dividir lugar com dois outros detectores: i) a câmara de nuvens; ii) os detectores eletroacústicos.⁴⁰⁵

Sejam quais tenham sido os motivos de Blau ter optado pelo método fotográfico, há evidências de que essa técnica tenha sido ‘redescoberta’ por ela: basta uma passada de olhos pelas referências bibliográficas do primeiro artigo publicado por Blau, em 1925.⁴⁰⁶ Nele, ela cita apenas dois autores da fase pioneira do método fotográfico, Michl e Mühlestein.⁴⁰⁷ Isso mostra

⁴⁰⁴ As respostas para essas questões podem estar na autobiografia de Blau, que se encontra em arquivo na Alemanha. Nossas tentativas para obter cópia foram infrutíferas.

⁴⁰⁵ Esses aparelhos estavam baseados no fato de que era possível diferenciar os sons (‘cliques’) causados por prótons daqueles gerados pelo impacto de alfas. Mais detalhes em GREINACHER (1924).

⁴⁰⁶ BLAU (1925).

⁴⁰⁷ A citação de Michl nos parece facilmente explicável: foi ele que deu à técnica suas primeiras características quantitativas. Quanto a Mühlestein, a explicação é mais temerária: talvez, isso tenha ocorrido em função de ele ser temporalmente mais próximo ao momento em que Blau fazia seus experimentos. Vale lembrar que o trabalho de Mühlestein de 1922 citado por Blau é aquele em que ele mergulha as chapas

que, inicialmente, pelo menos, Blau desconhecia a maioria dos experimentos feitos cerca de uma década antes. Estranhamente, não cita Kinoshita, o mais reconhecido pela literatura entre os pioneiros da década de 1910.⁴⁰⁸

Nesse primeiro artigo, Blau obteve, pela primeira vez na história do método fotográfico, a trajetória de prótons lentos⁴⁰⁹ – ou, na época, raios H^+ . Esses resultados eram apenas qualitativos – a resolução das chapas não permitia a feitura de cálculos precisos –, o que não livrava o método das características atribuídas a ele na virada do século 20.



Blau no Instituto do Rádio de Viena por volta de 1925, época em que detectou a trajetória dos primeiros prótons lentos observados em chapas fotográficas (Crédito: Jewish Women's Archive)

fotográficas em mercúrio para evitar que elas sejam ‘contaminadas’ por traços vindos de elementos radioativos presentes na poeira que se deposita sobre a superfície da emulsão.

⁴⁰⁸ Citação quase completa dos autores daquela primeira fase viria, até onde nossa pesquisa nos permitiu ir, em 1928, em artigo em que Blau trata mais direta e amplamente do método fotográfico – ver BLAU (1928).

⁴⁰⁹ A ionização causada ao meio material por uma partícula carregada eletricamente é diretamente proporcional ao número atômico e inversamente proporcional à velocidade dela. Explicação relativamente simplificada para o fenômeno é a seguinte: com menor velocidade, as partículas permanecem mais tempo em contato com os átomos do meio, sendo assim maior a probabilidade de elas depositarem energia nessa matéria ao longo de suas trajetórias. O primeiro tratamento da interação de partículas carregadas eletricamente com meios materiais nos parece ter sido o de Bohr – ver BOHR (1913) e BOHR (1915) –, portanto, logo depois de esse físico dinamarquês chegar ao primeiro modelo quântico para o átomo. Assim, é justificável que Blau tenha capturado inicialmente prótons lentos, pois a sensibilidade das placas ainda não permitia que as trajetórias de partículas relativísticas (ou seja, com velocidades próximas à luz) fossem obtidas. Como veremos, a obtenção de partículas rápidas teria ainda que esperar pela próxima década.

As primeiras medidas quantitativas surgiriam em artigo de 1928,⁴¹⁰ quando Blau realizou medições do espaçamento médio entre os grãos das trajetórias de prótons e de partículas alfa. E relatou que o rendimento da técnica é inferior ao de outras.⁴¹¹ As críticas de Blau foram duas:

- i) as placas empregadas são ainda poucos sensíveis;
- ii) as emulsões são pouco espessas.⁴¹²

A solução para o problema apresentado no item i) viria da própria Blau. Quanto ao segundo tópico, ele já havia sido resolvido pela escola soviética de raios cósmicos, em artigo do ano anterior.⁴¹³

Ao final da controvérsia Cambridge-Viena, Rutherford percebeu que os contadores de cintilação precisavam de estudo pormenorizado sobre os fundamentos envolvidos na produção da energia luminosa da cintilação. No entanto – e, talvez, ainda mais importante⁴¹⁴ –, foi a percepção de que aquele contador visual deveria, em nome da precisão, ser substituído por um de natureza lógica (entenda-se, método de contagem elétrica para a cintilação). Esses contadores já estavam naquele momento em desenvolvimento, sendo o caso clássico o de Bothe e Franz, em Berlim.⁴¹⁵

Neste ponto, uma comparação não é só possível, mas necessária: no final do século 19, a fotografia, detector visual, foi, também em nome da ‘precisão’, substituída pelo eletrômetro. Como vimos, Marie Curie, por exemplo, achava que somente o método elétrico poderia conferir visão quantitativa do fenômeno da radioatividade.⁴¹⁶

Em Viena, o fator humano foi acusado de ser fonte do erro. A partir do final da década de 1920, os contadores Geiger-Müller acoplados a circuitos de coincidência ganham popularidade entre os físicos – caso clássico é o de Bruno Rossi, em Florença (Itália). Acreditava-se que esse novo equipamento poderia computar grande número de partículas sem que isso necessitasse da observação do homem.

Ousamos dizer que a história dos detectores de partículas é, de certa forma, a história da eliminação do fator humano ao longo de todo o processo.

Isso também ocorreria com as emulsões.⁴¹⁷

⁴¹⁰ BLAU (1928).

⁴¹¹ Acreditamos que Blau estivesse se referindo a dois outros detectores, também empregados no Instituto do Rádio de Viena: a câmara de nuvens e o método eletroacústico.

⁴¹² GRILLI (1986, p. 8).

⁴¹³ ZHDANOV e TSCHISHOW (1927).

⁴¹⁴ STUEWER (1985, p. 292).

⁴¹⁵ STUEWER (1985, p. 292).

⁴¹⁶ Para discussão mais aprofundada do assunto, sugerimos MARTINS (2003) e MARTINS (2008).

⁴¹⁷ Algo semelhante – a substituição do homem pela máquina (no caso, computadores e sensores de luz) – ocorreria na instalação da câmara de bolhas de hidrogênio em Berkeley. Voltaremos ao tema adiante.

Amarelo de pinacriptol: sem ruído de fundo

A controvérsia entre Cambridge e Viena terminaria em 1928, sem que as discrepâncias entre os resultados fossem resolvidas.⁴¹⁸ A hipótese da explosão de Pettersson – ou seja, a de que a desintegração seria fenômeno generalizado entre os núcleos leves – viria abaixo com a prova cabal de que o carbono não se desintegrava com a colisão de alfas naturais.⁴¹⁹ Ironicamente, o modelo satélite de Rutherford e Chadwick seria substituído por aquele com base na mecânica quântica, o tunelamento quântico, apresentado naquele ano pelo físico russo George Gamow (1904-1968),⁴²⁰ que explicava o decaimento alfa.

Portanto, o método fotográfico não contribuiu para decidir a disputa entre as duas instituições europeias. Mas acabou se desenvolvendo como técnica em si, mostrando-se promissora na área nuclear e, na década seguinte, de raios cósmicos.

Blau e sua colaboradora no Instituto do Rádio de Viena, Hertha Wambacher (1903-1950), obtiveram desenvolvimento importante do método fotográfico: a visualização de uma trajetória de prótons rápidos. Blau foi a orientadora do doutorado de Wambacher, em tese defendida em 1932, em que foram obtidos esses resultados em função da aplicação do dessensibilizador amarelo de pinacriptol.⁴²¹ Essa substância orgânica fez com que as chapas perdessem a sensibilidade para fótons, levando a um fundo mais ‘limpo’ e, por consequência, permitindo melhor visualização da trajetória de outras partículas.⁴²²

O acréscimo do amarelo de pinacriptol, bem como outros desenvolvimentos alcançados por Blau e Wambacher, emprestaram ao método fotográfico a possibilidade de realizar feito científico importante:⁴²³ a primeira comprovação experimental independente da existência do nêutron, ainda em 1932,⁴²⁴ por meio da observação dos chamados prótons de recuo.⁴²⁵ A análise

⁴¹⁸ STUEWER (1985, p. 289).

⁴¹⁹ Na segunda metade da década de 1930, com o aumento de dados vindos da espectroscopia de massa, já era possível afirmar – ver, por exemplo, LIVINGSTON e BETHE (1937) – que todos os núcleos leves até o cálcio seriam desintegráveis pela colisão de partículas alfa naturais, com exceção do hidrogênio (próton), hélio (partículas alfa), carbono e oxigênio. No caso, estes três últimos elementos têm energias de ligação consideravelmente altas, acima daqueles com que estão dotadas as alfas naturais. Para tabela sobre a energia média de ligação por núcleon, ver, por exemplo, TAVARES (2006b, s/p).

⁴²⁰ Gamow fez palestras no Brasil na década de 1930. Não encontramos artigo que tratasse dessa passagem.

⁴²¹ O amarelo de pinacriptol é um pigmento de pó amarelo (há também o verde de pinacriptol) usado para dessensibilizar emulsões fotográficas.

⁴²² Esse resultado de Blau e Wambacher pode ser visto dentro do modelo galisoniano como a própria função essencial do físico experimental: livrar-se do ruído de fundo.

⁴²³ De toda a bibliografia consultada para esta tese, apenas SCHÖNFELD (2006) cita esse fato.

⁴²⁴ BLAU e WAMBACHER (1932).

desses traços (por meio da contagem de grãos e de seu alcance) permitiu calcular a energia e a direção do nêutron incidente.⁴²⁶

Apesar de o emprego desse dessensibilizador não ser fácil,⁴²⁷ a possibilidade de capturar prótons energéticos abriu novas frentes para as emulsões. E, por sua vez, a comprovação do nêutron mostrou que seria possível estudar partículas sem carga elétrica.

Eram dois avanços importantes para a técnica.

Aquele começo da década de 1930, portanto, mostrou que o método fotográfico poderia ser empregado na física nuclear. Mas, como veremos, a aceitação dele pelos físicos dessa área não seria imediata. O método fotográfico seria visto com desconfiança.

As chapas comerciais disponíveis para os físicos ainda estavam longe de, por si só, terem sensibilidade para capturar trajetórias de prótons energéticos sem o artifício dos dessensibilizadores. Vimos que Blau⁴²⁸ aponta como problemas das placas a baixa sensibilidade e a pouca espessura.⁴²⁹

Blau e Wambacher, na segunda metade da década de 1930, obteriam a primeira desintegração nuclear registrada em chapa fotográfica – voltaremos ao assunto.

A ascensão do nazismo na Alemanha e a anexação da Áustria – com a consequente proliferação da ideologia antisemita neste último país – inviabilizaram a estada de Blau no Instituto do Rádio de Viena. Wambacher, por sua vez, aderiu ao movimento, tornando a convivência dessa dupla impraticável.⁴³⁰

Myssowsky e Tschishow: espessura e receita

⁴²⁵ Prótons que sofreram colisão de, no caso, um nêutron, sofrendo retrocesso, sensibilizando grãos de brometo de prata e, conseqüentemente, deixando traço na emulsão revelada.

⁴²⁶ Chadwick descobriu o nêutron ao bombardear núcleos de berílio com partículas alfa.

⁴²⁷ Powell, ao final da década de 1930, quando passa a lidar com o método fotográfico, enfatiza que um dos problemas do método é justamente a dificuldade em se repetir os resultados de Blau e Wambacher com o amarelo de pinacriptol. Powell mostrou desconhecer que, já em 1935, Zhdanov havia obtido chapas que capturavam prótons sem a necessidade de uso de pinacriptol. Ver SHAPIRO (1941, p. 60).

⁴²⁸ BLAU (1934).

⁴²⁹ Blau sempre demonstrou domínio amplo da literatura relativa à técnica das emulsões nucleares, tanto teórica quanto experimental. Exemplo disso fica claro com a revisão feita no início da década de 1960 – BLAU (1961a, b) –, que certamente impressiona pela amplitude e profundidade da discussão. Talvez, esse artigo possa ser classificado como a última das grandes revisões sobre o assunto. Em artigo entregue para publicação no final de 1927, porém publicado no ano seguinte – BLAU (1928, p. 51) –, a física austríaca citaria as chapas espessas de Myssowsky e Tschishow, tema de nosso próximo subcapítulo.

⁴³⁰ Para os que se interessarem sobre a vida e obra de Marietta Blau, indicamos duas obras: GALISON (1997a), bem como STROHMAIER e ROSNER (2004), STROHMAIER e ROSNER (eds) (2006). Uma história sobre Wambacher ainda está por ser escrita.

Antes de tratarmos dos entraves que o método fotográfico sofreu a partir de meados da década de 1930, devemos retroceder àquele final de década de 1920, para olhar, ainda que brevemente, para o que ocorria fora da Europa. Mais especificamente, nosso cenário agora é a União Soviética e sua escola de cosmicistas,⁴³¹ ou seja, de físicos que se dedicavam ao estudo dos raios cósmicos.⁴³²

Entre nomes importantes, alguns nos interessam mais de perto, em função da relevância de suas ideias e seus experimentos para o desenvolvimento do método fotográfico: L. Myssowsky, P. Tschishow,⁴³³ D. V. Skobeltzyn (1892-1990), N. A. Perfilov e A. P. Zhdanov.⁴³⁴ Neste subcapítulo, vamos nos deter aos dois primeiros.

Myssowsky e Tschishow eram pesquisadores do Instituto do Rádio em Leningrado, responsáveis pela fabricação e pelo emprego de emulsões espessas, com 50 micrômetros de espessura.⁴³⁵ Esse desenvolvimento foi o primeiro passo no sentido de ampliar o campo das emulsões, possibilitando que elas fossem empregadas para o estudo de partículas com longos tempos de decaimento. A maior espessura também aumenta a possibilidade de a partícula ser freada, o que permite medir sua energia – como vimos, o alcance da trajetória é proporcional a essa grandeza.⁴³⁶

Fato interessante é que essa dupla de físicos soviéticos preparou emulsões espessas nos laboratórios do Instituto do Rádio de Leningrado, antecipando assim tradição que, em geral, seria atribuição da indústria depois da Segunda Guerra – exceção para o físico-químico canadense Pierre Demers, o único pesquisador à época capaz de produzir emulsões com o mesmo grau de sensibilidade daquelas feitas por empresas comerciais e que empregava o termo ‘ionografia’ como sinônimo da técnica das emulsões nucleares – voltaremos a essa personagem.

Ao se ler as referências bibliográficas do artigo de 1927 de Myssowsky e Tschishow, nota-se que praticamente todos os principais artigos da fase pioneira do método fotográfico⁴³⁷ são citados. Isso, a nosso ver, mostra que a escola soviética de emulsionistas – se assim a podemos

⁴³¹ O livro ZHDANOV (1959a) foi feito, nas palavras do autor dele, para divulgar os feitos da escola soviética de raios cósmicos.

⁴³² Achamos haver duas dificuldades maiores em buscar informações sobre a União Soviética: i) a barreira da língua; ii) o relativo fechamento à época para o Ocidente.

⁴³³ As grafias Mysovskii e Chizhov (ou Tshichow) também foram encontradas. Ver LOZHKIN (1999).

⁴³⁴ Skobeltzyn foi pioneiro do uso da câmara de Wilson acoplada a contadores Geiger-Müller.

⁴³⁵ MYSSOWSKY e TSCHISHOW (1927). Na época, emulsões comerciais tinham espessura 10 a 20 vezes menores.

⁴³⁶ O padrão de emulsões com 50 micrômetros de espessura manteve-se por muitos anos. Mas o contínuo aumento da espessura das emulsões trouxe em si um problema que só seria resolvido no final da década de 1940: a revelação. Isso se dava em função da penetração irregular dos produtos químicos na emulsão.

⁴³⁷ KINOSHITA (1910), REINGANUM (1911), MICHL (1912), MAYER (1913), MAKOWER e WALMSLEY (1914), KINOSHITA e IKEUTI (1915), SAHNI (1917a,b), MÜHLESTEIN (1922).

denominar – não se desenvolveu de modo independente daquilo que ocorria na parte ocidental da Europa. Note-se também que essa dupla de físicos soviéticos publicou esses resultados em alemão, em prestigiosa revista da época, a *Zeitschrift für Physik*. Uma leitura desses fatos é a seguinte: é possível que Myssowsky e Tschishow soubessem da importância daquilo que haviam obtido – ou seja, emulsões espessas – e quisessem que o resultado fosse divulgado além das fronteiras da URSS.

No último parágrafo do artigo de 1927, Myssowsky e Tschishow fazem referência a duas publicações de Marietta Blau e a uma de Pettersson, mostrando conexão sobre o que estava ocorrendo no Instituto do Rádio de Viena e – mesmo que isso não seja explicitado – com a polêmica, ainda em andamento, entre esta última cidade e Cambridge. Não temos elementos para ir além.

Porém, há sutileza no artigo de 1927 que parece ter passado despercebida por aqueles que escreveram sobre as emulsões: a revelação da receita de como se preparar emulsões fotográficas. Arriscamos dizer que, depois de estabelecido o segredo industrial em torno da fabricação das emulsões por volta da década de 1880,⁴³⁸ essa é a primeira vez que essa ‘receita’ vem a público.⁴³⁹ Até onde sabemos, o trabalho de Burt Carroll⁴⁴⁰ é tido como o primeiro a revelar o método de fabricação.⁴⁴¹

Por que Myssowsky e Tschishow optaram por revelar uma receita que, até então, era vista como segredo industrial? Nossa hipótese: eles não viam nisso, sendo a União Soviética uma economia estatizada; assim, talvez, o segredo industrial não fizesse muito sentido para eles.⁴⁴² Por sua vez, a URSS passou a fabricar emulsões por meio da NIKFI (sigla, em russo, para Instituto de Pesquisa em Cinema e Fotografia).

A espessura de 50 micrômetros das placas de Myssowsky e Tschishow passaria a ser padrão para as primeiras emulsões nucleares fabricadas pela empresa Ilford, da Inglaterra.

Por fim, um artigo relativamente recente, de 1999,⁴⁴³ atribui a Myssowski e Tschishow outro feito: a produção de chapas com alta concentração de brometo de prata, outro

⁴³⁸ Isso ocorre concomitantemente com a fabricação em massa de placas secas (gelatina e brometo de prata),

⁴³⁹ Verificamos que o mesmo foi feito por soviéticos em encontro sobre fotografia em 1957. Ver BOGOLOMOV, SIROTINSKAYA, DEBERDEIYEV e OUVAROVA (1957).

⁴⁴⁰ CARROLL (1931).

⁴⁴¹ Carroll era pesquisador do Birô Nacional de Padrões (mais tarde, NIST, sigla, em inglês, para Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia). A publicação do artigo foi autorizada pelo diretor do Birô. É preciso lembrar que a Ilford, a Kodak, a Eastman Kodak e a Agfa, só para citar alguns fabricantes do pós-Segunda Guerra, não revelavam seus métodos de fabricação.

⁴⁴² Mais detalhes em MYSSOWSKY e TSCHISHOW (1927) e CARROLL (1931).

⁴⁴³ O relato é feito em LOZHKIN (1999), das poucas fontes, em alfabeto acessível, juntamente com ZHDANOV (1959a), sobre o uso do método fotográfico pelos físicos soviéticos. O texto tem, como um todo,

desenvolvimento só alcançado depois da Segunda Guerra pela indústria fotográfica.

Nossa leitura do original em alemão⁴⁴⁴ de Myssowsky e Tschishow não nos revelou passagem que pudesse corroborar a afirmação de que havia alta concentração de brometo de prata nas emulsões espessas. Achamos improvável que isso tenha ocorrido.

Na União Soviética, esse feito – alta concentração de brometo de prata – parece ter sido obtido apenas em 1948, quando Perfilov patenteia emulsões de grãos ultrafinos, bem como o método para produzi-las e para carregá-las com elementos estranhos à composição da gelatina e dos sais de prata.⁴⁴⁵

Conclusão (capítulo 5)

Vimos que, na década de 1920, o método fotográfico foi redescoberto e ganhou impulso em função de uma controvérsia entre dois importantes centros de pesquisa europeus em torno de um modelo que explicasse a desintegração nuclear. A polêmica finalizou-se em 1928, sem que resposta definitiva tenha sido dada às questões em torno das quais o debate se desencadeou.

Os trabalhos experimentais de Blau, em Viena, deram destaque – ainda que achemos que tenha sido de pouca monta – ao método fotográfico ao longo da década de 1920, em período em que dois detectores eram mais populares entre os físicos: a câmara de nuvens e os contadores Geiger-Müller, agora acoplados a circuitos eletrônicos.

O método fotográfico não resolveu a questão entre Cambridge e Viena. Porém, perdurou para além da controvérsia e ganhou desenvolvimentos importantes com o uso de dessensibilizadores químicos que permitiam ‘limpar’ a imagem de fundo das chapas, levando a uma visão mais nítida de prótons, inclusive dos rápidos.

O método fotográfico se livrava do ruído de fundo, essencial em qualquer detector.

O historiador da ciência Roger Stuewer, em artigo de 1985, sobre a disputa entre Cambridge e Viena, não enfatiza que um dos desdobramentos da controvérsia foi justamente esse impulso para o renascimento do método fotográfico – por sinal, esse autor praticamente não cita esse método no artigo. É justamente daí que parte Galison, em suas análises sobre Blau.⁴⁴⁶

caráter de homenagem e, portanto, laudatório sobre os feitos de físicos nucleares e de raios cósmicos. O autor é pesquisador da área, com trabalhos publicados em física nuclear a partir da década de 1950.

⁴⁴⁴ Agradeço ao Prof. Dr. Antonio Augusto Passos Videira, meu orientador, a leitura daquele artigo em alemão.

⁴⁴⁵ A informação está em LOZHKIN (1999). Supomos que o carregamento, no caso, seja com elementos radioativos.

⁴⁴⁶ GALISON (1997a) e GALISON (1997b, capítulo3).

Em última instância, a disputa era sobre detectores e gêneros:⁴⁴⁷ o ambiente masculino de Cambridge *versus* o feminino de Viena, onde mulheres faziam as medições das câmaras de cintilação.

Blau não iniciou o método fotográfico. Ela o redescobriu. Mas é fato que ela o desenvolveu e o popularizou consideravelmente, com a feitura de artigos de revisão (inclusive em francês), a introdução de dessensibilizadores, a obtenção de trajetórias de prótons lentos e rápidos. Esses resultados deram ao método fotográfico roupagem quantitativa. E, pela primeira vez, o método fotográfico ganhou visibilidade para além das paredes dos laboratórios dos pesquisadores que o empregavam – daí, muitas vezes, se atribuir a ‘invenção’ do método a Blau.⁴⁴⁸

Por fim, vale dizer que, na década de 1930, houve no Laboratório Cavendish, as primeiras tentativas de detectar o neutrino, então recém-proposto por Pauli e empregado com sucesso por Fermi em sua teoria do decaimento beta. No entanto, não há evidências de que o método fotográfico tenha sido empregado nesses experimentos.⁴⁴⁹

⁴⁴⁷ Uma obra interessante sobre o tema é RENTETZI (2007), principalmente o capítulo 5.

⁴⁴⁸ Era o caso de Lattes, por exemplo.

⁴⁴⁹ Para mais detalhes sobre essas primeiras tentativas, ver NAVARRO (2006).

CAPÍTULO 6

CETICISMO SOBRE UM RECÉM-NASCIDO

Introdução

Os avanços sofridos pelo método fotográfico ao longo da década de 1920 e início da seguinte vieram acompanhados dos problemas básicos que a técnica deveria enfrentar caso quisesse ser reconhecida como quantitativa e – mais importante – precisa. É em meados da década de 1930 que se estabelecem regras mínimas nesse sentido. É também naquele período que a técnica é descoberta pelos físicos de radiação cósmica.

Depois que o método ganhou algum reconhecimento, foi possível apreciar suas qualidades intrínsecas: custos baixos e relativa simplicidade. Some-se a isso o fato de um acelerador natural de grande potência – os raios cósmicos – estar gratuitamente disponível.

Na década de 1930, chapas fotográficas voarão a bordo de balões, ou foram levadas pelo homem ao topo das mais altas montanhas europeias, retomando-se tradição iniciada na primeira metade da década de 1910 pelos pioneiros da radiação cósmica.

Porém, é nesse momento, em que as emulsões começam a garimpar atenção e prestígio como método, que surge o ceticismo contra aquele recém-nascido.

Volta à cena o adjetivo do qual o método tentava se desvencilhar nas últimas três décadas: qualitativo.

Ordem na casa: as proposições de Zhdanov

Logo na primeira metade do século, Zhdanov, da escola soviética de raios cósmicos, trata de estabelecer ‘regras mínimas’ para que o método possa ser empregado com precisão adequada a um procedimento científico. Para usar uma expressão coloquial, essas normas vieram estabelecer certa ordem na casa.

A atitude de Zhdanov talvez tenha origem no fato de ele estar imiscuído em ambiente no qual as emulsões já tinham história – basta lembrar que Myssowsky e Tschishow, com as emulsões espessas. Também é possível pensar que um país como a então União Soviética ainda tivesse escassez de recursos financeiros para a ciência, o que tornaria o método – barato em si – interessante como detector experimental.

Em 1935, Zhdanov apresentou suas proposições, misto de vantagens e problemas:

- i) a melhoria da varredura com o uso de binoculares no microscópio;
- ii) a possibilidade de o novo método permitir a orientação espacial das partículas;
- iii) a necessidade de as emulsões serem mais espessas;
- iv) o grande distanciamento entre os grãos.

Zhdanov também compara o método com as câmaras de Wilson.

Façamos breve discussão de cada tópico acima. Quanto ao item (i), parece-nos a primeira vez que um pesquisador ligado ao método fotográfico tenha proposto (e percebido) que o uso de duas oculares tornaria o trabalho de varredura óptica das emulsões menos extenuante para o microscopista. No item (ii), Zhdanov enfatiza uma das boas qualidades do método: o de permitir saber a direção espacial do traço da partícula.⁴⁵⁰ No item (iii), trata de resultado já obtido pela escola à qual ele pertencia. Portanto, mais que proposição original, a citação da espessura nos parece como ênfase. Finalmente, no item (iv), toca-se em ponto crucial, que levaria pelo menos uma década para ser resolvido: a necessidade de haver maior concentração de brometo de prata nas emulsões.

Trabalhando com emulsões, juntamente com Perfilov, Zhdanov conseguiria um resultado importante no final de década de 1930: detectar os primeiros fragmentos de fissão do urânio em meio a um ‘ruído’ de fundo formado por trajetórias de partículas alfa emitidas por esse elemento radioativo. Esse resultado – reforçado por outro obtido por ele em 1947 – abriria nova e vasta frente de pesquisa com o método, na área de radioatividade de fissão nuclear, com desdobramentos importantes para o Brasil, como veremos.

Há um quinto ‘lema’: esmaecimento da imagem latente. Mas esse seria sugerido por Blau ainda em 1932, para quem o problema deveria ser estudado e corrigido para que o método pudesse ganhar mais confiança e precisão. A resposta para isso só viria no início da década de 1950.

Explosões nucleares: estrelas de desintegração

Na segunda metade da década de 1930, o método fotográfico vai ao encontro da radiação cósmica. Os primeiros experimentos nessa linha foram os dos norte-americanos Wilkins e St. Helens, que colocaram chapas fotográficas a bordo de balões Explorex I – por vezes, e erroneamente, essa primazia é atribuída a Blau e Wambacher, talvez pelo fato de elas terem obtido resultado importante nessa área, como veremos a seguir.

A partir da segunda metade daquela década, outros físicos nos Estados Unidos e na Europa passam a expor chapas fotográficas à radiação cósmica. Exemplos: Schopper (1937), Schopper and Schopper (1939), Rumbaugh e Locher (1936), Zhdanov (1936, 1939), Heitler, Powell e Fertel (1939). Um desses trabalhos apresentou não só resultado científico importante, mas também foi crucial para chamar a atenção para o método: a obtenção por Blau e

⁴⁵⁰ Há um ângulo-limite em relação à superfície da emulsão, a partir do qual a varredura óptica da trajetória fica comprometida. Para ângulos acima de 70 graus, esse procedimento começa a apresentar dificuldades para o microscopista. Partículas que penetram a emulsão com ângulos muito pequenos em relação ao normal não podem ter suas trajetórias varridas. TAVARES (Comunicação pessoal).

Wambacher, em 1937, da primeira imagem de desintegração nuclear em chapa fotográfica causada pela radiação cósmica. O trabalho está em forma de breve carta à *Nature*, com apenas uma imagem.⁴⁵¹

No parágrafo anterior, devemos prestar atenção ao trecho 'causada pela radiação cósmica'. Explica-se. Mesmo antes de Blau e Wambacher, as desintegrações nucleares já haviam sido registradas em chapas fotográficas, por Taylor e Goldhaber,⁴⁵² que buscavam reproduzir os resultados obtidos então recentemente pela equipe de Fermi, bem como os de Chadwick com o próprio Goldhaber. Esse ponto nos parece importante para esta tese, pois não é citado em nenhum dos autores consultados. Portanto, vale aqui reproduzir trecho desse artigo:

“Foi demonstrado recentemente por Chadwick and Goldhaber [...], e por Fermi e seus colaboradores [...] que alguns núcleos de elementos leves, particularmente lítio e boro, são desintegrados por nêutrons lentos. No caso do boro, as relações de massa-energia parecem ser mais bem satisfeitas ao se assumir a desintegração em três partículas [...]. A reação mais simples, em específico, deve lançar, segundo as massas aceitas das partículas, algo em torno de dois milhões de elétrons-volt a mais que o observado. A menos que a existência de novos isótopos, He^5 e Li^8 , de massa improvavelmente baixa seja assumida, nenhuma outra desintegração em duas partículas se encaixaria nas relações de massa-energia.”⁴⁵³

Para o método, os resultados de Blau e Wambacher foram mais importantes, pois revelaram a imagem de um novo fenômeno. As chapas foram expostas por cerca de seis meses no monte Hafelekar, 2,3 mil metros acima do nível do mar, nas proximidades de Innsbruck (Áustria). E, para isso, a dupla contou com a ajuda de pioneiro no estudo dos raios cósmicos, Viktor Hess, então diretor do Observatório de Hafelekar, criado por ele em 1931.⁴⁵⁴

Quando as chapas foram recolhidas, reveladas e observadas ao microscópio, Blau estava de férias no Tirol. Foi lá que recebeu comunicado de Wambacher, anunciando a descoberta de figura peculiar em uma das chapas: de um ponto central, partiam várias trajetórias.

Blau apressou Wambacher para que ela, de Viena, preparasse artigo curto para um periódico de prestígio: *Nature*. Os trabalhos de tradução foram encomendados e, caso não ficassem prontos a tempo, então o artigo seria publicado na *Naturwissenschaften*.

A escolha da *Nature*, bem como a pressa em tornar os resultados públicos, são evidências de que Blau e Wambacher haviam percebido rapidamente a importância do resultado. Os

⁴⁵¹ BLAU e WAMBACHER (1937a). Em nossas pesquisas, nos defrontamos com o artigo ZHDANOV (1959b) no qual o autor descreve desintegração nuclear com 100 partículas. A nosso ver, isso aponta para a grande sensibilidade obtida pela chapas fotográficas depois da Segunda Guerra Mundial.

⁴⁵² Para reminiscências de Goldhaber sobre seu tempo no Cavendish, ver GOLDHABER (1993).

⁴⁵³ TAYLOR e GOLDHABER (1935, p. 341).

⁴⁵⁴ Essas interações entre físicos nucleares e cosmicistas seriam estreitadas com a descoberta de nova partícula na década de 1930, o méson, assunto ao qual voltaremos.

resultados deveriam ter alcance amplo, para além daquele obtido por periódico especializado ou restrito ao país de origem delas.

Essas desintegrações ganharam o nome estrelas. Estrelas de desintegração.

Os limites de Taylor: a imprecisão do método

Pouco antes das ‘estrelas’ Blau e Wambacher, ainda em meados da década de 1930, o físico britânico H. J. Taylor, professor do Wilson College, em Bombaim (Índia), decidiu voltar à Inglaterra para fazer seu doutorado, depois de receber autorização para isso de Rutherford, para quem havia escrito.

Recém-chegado ao Cavendish, Taylor passaria, então, a investigar, sozinho ou em coautoria, as emulsões como técnica para a física nuclear.

Por que o método fotográfico?

É preciso lembrar que Taylor começou a trabalhar no Laboratório Cavendish logo após a descoberta do nêutron. Segundo ele, o entusiasmo era geral, e agora, com um modelo nuclear ‘definitivo’,⁴⁵⁵ um dos principais tópicos de pesquisa era a busca de novos detectores desse novo constituinte da matéria.⁴⁵⁶

Em suas memórias,⁴⁵⁷ Taylor não chega a fazer relação entre escolha das emulsões e o nêutron. Mas podemos suspeitar que, pelas circunstâncias (temas escolhidos por ele para os trabalhos), a ideia era investigar a possibilidade de o método fotográfico ser útil para a detecção (indireta) da nova partícula.

Um dos trabalhos de Taylor desse período tornou-se marco na história do método fotográfico, por mostrar – e concluir de modo quase taxativo – que a técnica era inapropriada para uso científico, em função de sua grande imprecisão em medidas quantitativas.⁴⁵⁸ Essa imprecisão, segundo Taylor, chegava a 30% em alguns casos.

Blau parecia que já havia estabelecido domínio – aqui no sentido de posse – para si da área do método fotográfico. A física austríaca manifestou-se incisivamente⁴⁵⁹ contra os resultados de Taylor, apontando, no arranjo experimental dele, o que para ela era sério problema do experimento: a fonte de radiação alfa empregada por Taylor para a desintegração dos núcleos

⁴⁵⁵ É preciso lembrar que, por muitos anos, na década de 1930, imaginou-se que os elétrons eram partículas nucleares. Foi a proposição do neutrino por Pauli, em 1930, e principalmente a idealização da teoria do decaimento beta, por Fermi, incorporando essa partícula ainda hipotética, que ajudou a construir uma imagem do núcleo sem elétrons. Mais sobre o tema em PAIS (1986).

⁴⁵⁶ TAYLOR (1990). Para uma história de Taylor na Índia, ver PETERS (2007).

⁴⁵⁷ TAYLOR (1990).

⁴⁵⁸ TAYLOR (1935b).

⁴⁵⁹ Para detalhes da passagem, ver SCHÖNFELD (2006). Ver também BLAU e WAMBACHER (1937b) para os resultados experimentais.

de boro – no caso, presentes na emulsão⁴⁶⁰ – era pouco energética, o que levava as partículas decorrentes dessa desintegração a percorrerem uma distância proporcional à energia com que eram emitidas. Ou seja, as trajetórias eram curtas. E, em trajetórias curtas, a imprecisão no cálculo da energia mostra-se maior, pois o número de grãos é também menor.⁴⁶¹

Blau estava correta em suas críticas.⁴⁶² Mas os resultados de Taylor tiveram a capacidade de influenciar uma das grandes revisões sobre a física nuclear do período, feita por pesquisadores já renomados, o alemão Hans Bethe (1906-2005) e o norte-americano Stanley Livingston (1905-1986) – este último havia desenvolvido com Lawrence o projeto do primeiro ciclotron.⁴⁶³



Ernest Orlando Lawrence, ganhador do Nobel de Física de 1939 pelo desenvolvimento do primeiro ciclotron (Crédito: Berkeley Lab On-line Photo Archive)

Os resultados de Taylor, somados à visão de teóricos de prestígio, fizeram com que físicos nucleares experimentais vissem o método com desconfiança naquele final da década de 1930,⁴⁶⁴ devolvendo à técnica algo do qual ela tentava se livrar desde a virada do século: seu caráter qualitativo.

⁴⁶⁰ A presença do boro nas emulsões merecerá longa discussão de nossa parte.

⁴⁶¹ Situação aqui merece explicação física: em trajetória com, digamos, apenas quatro grãos de brometo de prata, um grão representa 25% do total; em trajetória com 100 grãos, um grão é apenas 1% do total.

⁴⁶² Talvez, se nos fosse possível listar os maiores especialistas na técnica de emulsões nucleares, é certo que Blau e Occhialini mereceriam posições bem próximas ao topo, se não as duas primeiras, pelo fato de terem não só contribuído para seu desenvolvimento, mas também por serem incansáveis pensadores do método.

⁴⁶³ LAWRENCE e LIVINGSTON (1932).

⁴⁶⁴ ROTBLAT (1950).

Paralelamente a esses resultados, surgem outros, agora da comunidade de físicos de raios cósmicos, que arrancam o método fotográfico desse limbo, graças principalmente a trabalhos de Powell e colaboradores, no Reino Unido, e Wilkins e St. Helens, nos Estados Unidos. Com o primeiro, a técnica ganhou mais uma comparação (favorável) em relação à câmara de Wilson; com o outro e, tão importante quanto, o poder de discriminar entre prótons, dêuterons e alfas.⁴⁶⁵

Ao final da década de 1930, os comicistas pareciam convencidos de que tinham nova – e promissora – técnica em mãos. Exemplo disso está nas comparações feitas por Powell entre o método fotográfico e a câmara de nuvens. O aparente entusiasmo de Powell parece que o incentivou a fazer contato com a Ilford, para o desenvolvimento de emulsões com maior concentração de brometo de prata. No entanto, outra guerra de proporções mundiais havia começado, e esses trabalhos de colaboração foram interrompidos.

As chapas carregadas: Goldhaber e Taylor

A colaboração entre Goldhaber e Taylor levou-os a empregar chapas carregadas com boro em experimentos realizados em meados da década de 1930. Como dissemos, a ideia do emprego desse elemento químico foi motivada por controvérsia entre Fermi e Chadwick em torno da desintegração nuclear do boro, que se tornaria clássica na literatura – Lattes a empregaria na década seguinte, com desdobramentos importantes para a detecção do méson pi.

Dada a importância do tema para esta tese – e para a história da física no Brasil –, vamos reproduzir um trecho mais longo de entrevista de Goldhaber,⁴⁶⁶ para esboçar sua visão histórica dos fatos na década de 1930 e como eles, na visão desse físico austríaco, tiveram repercussão no que foi feito pelo grupo de Bristol uma década mais tarde – todos os grifos são nossos:

Goldhaber:

Descobri esse método das emulsões com [H. J.] Taylor⁴⁶⁷ [...] Veja, Fermi e nós tivemos uma pequena discussão na literatura, porque ele, então, também havia feito a reação com o boro, e escreveu a reação correta: lítio 7 mais alfa; mas, como eu estava no Cavendish, onde Aston havia medido as massas, eu “sabia” que a energia da reação estava completamente errada para uma reação de dois corpos. Então, inventei uma reação complicada – duas alfas e um H^3 [trítio], a qual se ajustava às massas. Então, a questão era: quem estava certo?

⁴⁶⁵ Chama a atenção o fato de os trabalhos de Wilkins – principalmente o feito em coautoria com St. Helens – terem sido negligenciados por autores que se propuseram a fazer revisões sobre a técnica das emulsões. São exceções GRILLI (1986) e SHAPIRO (1941).

⁴⁶⁶ WEINER e LUBKIN (entrev.) (1967).

⁴⁶⁷ TAYLOR (1935a).

Eram duas ou três partículas [que formavam o produto da desintegração]. **Eu estava almoçando com [J.] Taylor, inglês que havia trabalhado na Índia por muito tempo e voltado por um breve período para fazer sua tese de doutorado. Ele era muito mais velho que eu, e ele havia trabalhado com emulsões nucleares, colidindo prótons e nêutrons rápidos e havia chegado à conclusão de que as emulsões eram inúteis para a pesquisa nuclear.** Ele estava acabando sua tese no Cavendish. E, então, no almoço com ele, eu disse: “Olhe, nós tivemos essa discussão [com Fermi]. São duas ou três partículas? **Por que não colocamos boro dentro [das emulsões] e vemos [o que acontece]?**”

Lubkin:

Boro na emulsão?

Goldhaber:

Sim. **Então, ao voltarmos do almoço, mergulhamos as emulsões em ácido bórico, as secamos e as bombardeamos por semanas com nêutrons. Quando elas foram reveladas, havia milhares de traços, e cada um era traço simples. Então, eu estava convencido de que eram duas partículas, mas isso me custou outras seis semanas para convencer Rutherford e Chadwick, porque não podíamos mandar um artigo de nossa autoria – tinha que vir do prof[essor].**⁴⁶⁸ Esta foi a razão pela qual, acho eu, fui até Chadwick para ter meu primeiro trabalho publicado. Alguém tinha que mandá-lo para a *Nature*.⁴⁶⁹

Em outro trecho da mesma entrevista, Goldhaber enfatiza que a ideia desenvolvida por ele e Taylor – ou seja, de empregar emulsões carregadas com boro – chegou a Powell, e foi justamente esse conhecimento que possibilitou a descoberta do méson pi. Depois do trecho abaixo da entrevista, voltaremos a comentar as declarações de Goldhaber.

Lubkin:

Você mencionou que estava usando emulsões já em 1935 [...] Isso não era incomum para aquele período?

Goldhaber:

Sim, era. Posso contar a vocês toda a história das emulsões. Já se sabia muito cedo – acho que já por volta de 1911 ou 1912 –, em função de um [físico] japonês, que as emulsões eram sensíveis a traços simples. Mas as pessoas costumavam apenas disparar partículas para dentro das emulsões. E, então,

⁴⁶⁸ Não havia restrições em enviar artigo para a *Nature*, diferentemente do que ocorre, por exemplo, em academias, como a Royal Society, que o artigo deve ser necessariamente comunicado por membro da instituição – como foi o caso do artigo, por exemplo, de KINOSHITA (1910), comunicado por Rutherford. Talvez, fosse, então, regra interna do Cavendish, ou seja, artigos só podem ser enviados para publicação com a aprovação de membro sênior. Dada a personalidade centralizadora de Rutherford e o fato de Taylor e Goldhaber não serem membros efetivos do Cavendish, é provável que a segunda hipótese seja a correta.

⁴⁶⁹ TAYLOR e GOLDBER (1935).

quando os nêutrons foram descobertos, acredito que foram Blau e Wambacher que viram pela primeira vez prótons sendo atingidos por nêutrons. **Mas nós fomos os primeiros a ver uma desintegração específica de um elemento específico,**⁴⁷⁰ e isso teve grande influência histórica, de duas maneiras. Primeiro, alguém em algum encontro disse “Por que não podemos usar [as emulsões] agora para raios cósmicos?” E isso iniciou todo o trabalho sobre as estrelas [desintegração].⁴⁷¹ E, então, Powell pegou essas emulsões e as desenvolveu e achou os mésons pi, porque ele deliberadamente pegou uma de nossas emulsões com boro.

Ele [Powell] queria uma emulsão na qual ele soubesse que estava definitivamente para acontecer em um núcleo, e, naquelas emulsões – elas eram muito sensíveis –, ele encontrou o méson pi. Nos primeiros artigos [com o emprego das emulsões], bem como em seu livro, ele nos dá esse crédito.⁴⁷² E, então, acho que [os resultados com as emulsões carregadas com boro] tiveram grande influência. E, novamente, se vocês prometerem manter isso [em segredo] por 50 anos, posso revelá-lo. Vejam vocês, essas foram pequenas sementes das quais brotaram grandes árvores, mas vocês não se lembram. Espero que eu não esteja exagerando. Powell, você pode falar com ele, [ele] poderá confirmar isso para vocês.

Weiner:

Isso já era [19]47.

Goldhaber:

Veja, o que aconteceu foi que a Ilford estava desenvolvendo essas emulsões especiais, e eles eram muito bons nisso; **não importava o que de especial pedíssemos, eles fariam. Nós conseguimos a maioria das emulsões de graça, porque era algo novo. Nós dizíamos, por exemplo, “Podem colocar boro?” “Sim.” “Podem colocar lítio?”**⁴⁷³ Então, essas emulsões são agora vendidas comercialmente. E eles tentaram então muitos outros elementos. Eles colocaram tudo, até o manganês, acho, de uma vez.”

⁴⁷⁰ BLAU e WAMBACHER (1937a), no qual é apresentada a estrela de desintegração, não citam esses resultados.

⁴⁷¹ Outra observação que precisa ser lida com cuidado, pois Blau já havia imaginado – porém, sem sucesso na concretização da ideia – expor chapas fotográficas à radiação cósmica desde 1932. Como sabemos, isso só foi feito cerca de cinco anos mais tarde, com a exposição, por meses, de chapas no Observatório de Hafelekar (Áustria), graças à colaboração de Hess, então diretor daquela instituição. Ver, por exemplo, BLAU e WAMBACHER (1937a).

⁴⁷² Não nos foi possível encontrar esses créditos, nem nos artigos escritos por Powell – ver BURHOP, LOCK e MENON (1972) –, nem no livro citado por Goldhaber – POWELL, FOWLER e PERKINS (1959). Há apenas citações dos artigos de Goldhaber e Taylor nas referências bibliográficas, mas nenhum agradecimento ou menção especiais.

⁴⁷³ Apesar de a pergunta estar se referindo à década de 1930 – época em que começaram as primeiras interações entre os físicos e a empresa Ilford e resultaram na feitura das primeiras emulsões adaptadas à pesquisa nessa área, as chamadas R1 e R2 –, Goldhaber parece estar se referindo ao período após a Segunda Guerra em que os carregamentos das emulsões com elementos estranhos a ela se tornaram mais comuns. Fica, portanto, a questão em aberto: checar se ainda na década de 1930 esses contatos relatados por Goldhaber – caso realmente tenham ocorrido na época – levaram a desenvolvimento específico das chapas fotográficas. Nessa época, já é possível notar interesse da indústria, mais especialmente da Kodak, sobre a fotografia com o uso do microscópio – ver EASTMAN KODAK COMPANY (1935).

Lubkin:

Quando você começou sua cooperação com a Ilford? Isso foi depois de 1935?

Goldhaber:

Espere um minuto. Preciso contar a vocês toda a história. Esse companheiro, Taylor, que estava fazendo sua tese, já tinha obtido da Ilford emulsões para teste, mas ele mais ou menos chegou à conclusão de que as emulsões não eram especialmente úteis. **E então foi que ocorreu essa reviravolta, quando achamos que, ao se colocar algo [nas emulsões], podíamos realizar reações específicas; e as emulsões foram ressuscitadas, e isso foi um incentivo [shot in the arm] que fez com que a Ilford seguisse desenvolvendo emulsões cada vez melhores.** Saí da Inglaterra, como disse, em 1938. Powell pegou a partir desse ponto, e obteve grande sucesso. Não quero dizer que eu tive mais a ver com essa história do que de modo indireto.” [Grifo nosso]

Todas essas declarações precisam ser comentadas à luz das provas históricas que conhecemos. Primeiramente, é preciso ressaltar que não há evidências de que a ideia do carregamento de emulsões com boro tenha perpassado a Segunda Guerra e chegado até Powell. Mais: é improvável que Powell tenha usado “uma” das emulsões de Goldhaber, que saiu do Cavendish ainda em 1938. Portanto, devemos interpretar esse “uma” como “semelhante”. Para Goldhaber, portanto, Powell teria sido influenciado pelas ideias de Goldhaber e Taylor. Porém, também parece não haver qualquer evidência nesse sentido.

Sabemos, de depoimentos de Lattes,⁴⁷⁴ que este encomendou em 1946 um ou mais lotes de emulsões carregadas com boro por telefone à Ilford.⁴⁷⁵ Não há na empresa, como nossa

⁴⁷⁴ Por exemplo, isso foi dito em comunicação pessoal de Lattes para o autor desta tese.

⁴⁷⁵ A intenção era estudar nêutrons cósmicos. Mas o resultado desse carregamento foi o fato de o esmaecimento da imagem latente ter diminuído significativamente nesses lotes. Lattes corrobora que essa diminuição foi casual – ver, por exemplo, NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995); ASSIS (1999). A frase que dá título a esta tese, “... um mundo inteiramente novo se revelou”, extraída da autobiografia de Powell, mostra a surpresa que as emulsões carregadas com boro trouxeram ao serem reveladas. Perkins corrobora nossa hipótese de que a relação ‘carregamento com bórax *versus* diminuição do esmaecimento’ foi casual e reforça a ideia de que o método fotográfico tinha muito de tentativa e erro naqueles primórdios ou, como ele mesmo prefere, “magia negra” – PERKINS (Comunicação pessoal). Consultamos a própria Ilford sobre essa possível relação e, para nossa surpresa, a resposta veio igualmente na forma de dúvida, sugerindo que buscássemos a resposta em JAMES (ed.)(1977), livro dos mais respeitados sobre o processo fotográfico (e inicialmente editado por C. E. K. Mees). Um dos primeiros artigos a atacar o problema de forma mais ampla e incisiva é BEISER (1951): “A magnitude da regressão da imagem latente produzida por partículas carregadas que incidem sobre a emulsão nuclear é, em geral, função das **características da emulsão**, do fluxo, do tipo e da energia das partículas, bem como do tempo e das condições de armazenamento no intervalo entre a irradiação e a revelação.” [Grifo nosso]. JAMES (ed.)(1977) lista os fatores que podem causar o esmaecimento da imagem latente. Entre eles, está a

pesquisa constatou, qualquer documento que comprove o pedido de Lattes. Mas é preciso ressaltar que a própria Ilford informa⁴⁷⁶ que grande parte dessa documentação foi destruída. Porém, na documentação que sobreviveu e à qual, em parte, tivemos acesso, nota-se que a empresa acompanhava de perto os descobrimentos do uso das chapas depois da Segunda Guerra Mundial.⁴⁷⁷ E nesses relatórios da empresa há citação de trabalhos feitos por Lattes, e não há referência ao nome de Goldhaber.⁴⁷⁸

alteração do pH. É interessante notar que mesmo Lattes nunca chegou a citar, em textos ou entrevistas, as causas que, para ele, estariam por trás do esmaecimento da imagem latente. Porém, sempre desconfiou de que o pH realmente pudesse ser uma das causas dessa relação. Segundo Lattes, em depoimento dado cerca de 30 anos mais tarde, a inclusão do boro deu às chapas o pH correto. Na comemoração dos 80 anos de Hervásio de Carvalho, na Academia Brasileira de Ciências, Lattes, participante da mesa, perguntou ao homenageado sobre a definição de pH, alegando que nunca havia entendido bem esse conceito. Há também referência ao pH em PINTO e FRANKEN (1976, s/p). Ainda na década de 1950, o acréscimo de boro é indicado como redutor do pH das emulsões, mas essa diminuição não é associada ao esmaecimento da imagem, mas sim à melhoria da imagem – essa relação é atribuída ao físico italiano E. Piccioto. Por fim, vale citar as observações de Occhiliani, presentes em GARIBOLDI (2004b): “Quando as placas com boro surgiram e pareceram ser proveitosas, a ideia que se seguiu foi a de que isso era devido à presença do boro, que diminuía o esmaecimento. Essa visão tem sido repetida por outros e agora talvez seja o momento de acabar com ela. A única evidência à nossa disposição sobre a ação do boro é a de que, com o [revelador] ID19, pelo menos, a imagem é, com o mesmo tempo de revelação, mais robusta que aquela em placas não carregadas. As placas com boro parecem ser mais difíceis de fixar, e isso se deve provavelmente, em revelação normal, à ação do revelador, que continua a agir no processo de fixação. Se a visão ingênua de que o esmaecimento afeta primeiramente os grãos pequenos está correta, poderíamos então esperar que uma revelação intensa, agindo sobre esses grãos, viesse a compensar o esmaecimento, e isso foi provado por Camerini e Lattes, pelo menos para a primeira fase de desaparecimento das trajetórias.” Desconhecemos o trabalho de Camerini e Lattes citado. A fonte dessa citação está na nota de rodapé 429 de GARIBOLDI (2004b, s/p), porém sem citação do ano em que foi escrita. Pela resposta recebida de técnicos da Harman Technology (então, Ilford), arriscamos dizer que talvez até hoje não haja resposta definitiva para a relação entre boro e esmaecimento da imagem. A ação do oxigênio e da umidade sobre a sensibilidade de chapas fotográficas foi motivo de investigação ainda na década de 1970. Ver, por exemplo, JAMES (1972).

⁴⁷⁶ SAMSON (Comunicação pessoal).

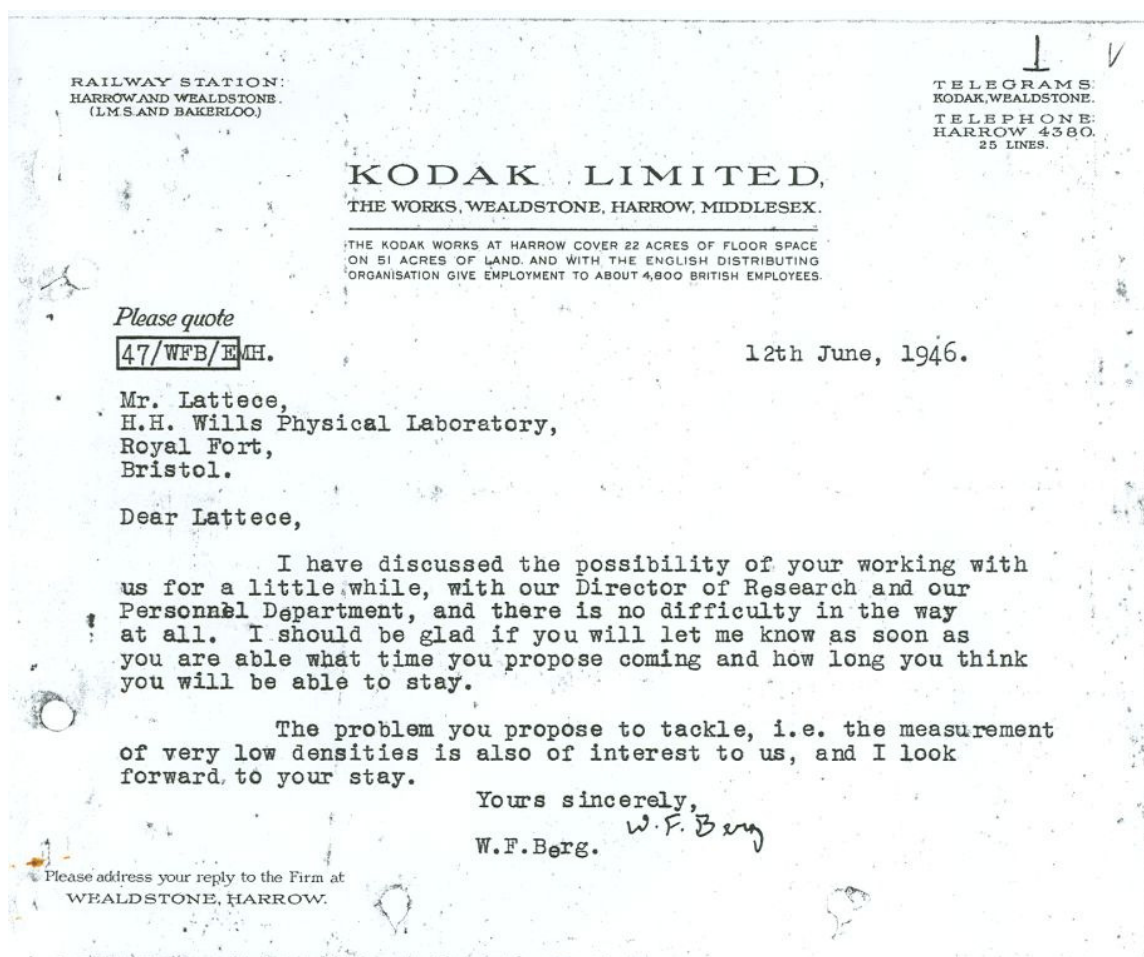
⁴⁷⁷ Ver GREENBERG (1947). Ver também ILFORD (1946).

⁴⁷⁸ Como dissemos, não resta na Ilford documento histórico sobre dessa encomenda de Lattes à empresa; porém, a Ilford nos alertou de que parte dos papéis daquela época foram destruídos. Como prova disso, vale citar que o autor desta tese chegou a enviar à Ilford parte de documentação que estava em nossa posse, relativa à década de 1940 e relativa ao Painel de Emulsões Nucleares, que não constavam dos arquivos da empresa.

Portanto, é preciso cautela ao ler as palavras de Goldhaber. Até mesmo sua “toda a história das emulsões” contém simplificações e malentendidos sobre as relações entre seus trabalhos e aqueles feitos em Bristol uma década mais tarde.

Tendo Goldhaber deixado a Inglaterra em 1938,⁴⁷⁹ se torna ainda mais difícil que seus trabalhos tenham influenciado o grupo de Bristol, que trabalhava isolado mesmo logo depois do final do conflito. O que talvez pudéssemos aceitar do ponto de vista histórico é o fato de Goldhaber ter contribuído de modo indireto para o progresso das emulsões. Porém, mesmo nesse sentido, os resultados de Taylor, Livingston e Bethe, Blau e Wambacher e Zhdanov são bem mais citados na literatura que trata da técnica das emulsões nucleares e nas breves introduções históricas das revisões.

Conclusão (ou, mais apropriadamente, lição) possível que se pode extrair deste subcapítulo: nem sempre se pode confiar na memória dos entrevistados, como já bem apontou Heilbron em relação à entrevista entre o historiador da ciência Thomas Khun e o físico James Franck (1882-1964).⁴⁸⁰



⁴⁷⁹ Ele foi para os Estados Unidos.

⁴⁸⁰ HEILBRON (1989).

Carta de W. F. Berg para Lattes, de 12 de junho de 1946, mostra que logo após sua chegada a Bristol o físico brasileiro manteve interação com a empresa fotográfica, para aprimorar o método das emulsões nucleares (Crédito: Arquivo Lattes/ Siarq/Unicamp)

A fotografia enfrenta a câmara: as comparações de Powell:

No final da década de 1930, Powell e G. E. F. Fertel ressaltam⁴⁸¹ que o método fotográfico havia sido usado para a área de raios cósmicos, mas – estranhamente, a nosso ver – alegam que isso ainda não havia sido feito para a física nuclear – basta lembrar de Blau e Wambacher, Taylor e Golhaber. Eles enfatizam que o método havia, até então, apresentado resultados contraditórios, citando basicamente três trabalhos: Taylor; Blau (o único favorável ao método); e Livingston e Bethe (assim com Taylor, desfavorável).

A atenção de Powell para o método fotográfico foi chamada por Heitler, quando este, em 1938, defrontou-se⁴⁸² com artigo de Blau e Wambacher em uma das bibliotecas da Universidade de Bristol. Segundo o físico teórico, a técnica lhe pareceu simples.⁴⁸³



O físico teórico alemão Walter Heitler, que deu contribuições importantes para a teoria do méson
(Crédito: desconhecido)

⁴⁸¹ HEITLER, POWELL e FERTEL (1939). No ano seguinte, foi publicado outro artigo empregando chapas fotográficas expostas à radiação cósmica. Ver HEITLER, POWELL e HEITLER (1940). O segundo Heitler, no caso, é Hans Heitler, engenheiro, irmão de Walter Heitler, físico teórico.

⁴⁸² É possível que essa descoberta dos trabalhos de Blau seja mais do que simples coincidência. Blau e Heitler se encontraram em Göttingen, na década de 1930, onde Heitler trabalhava. Blau assistiu a cursos de Heitler na época e classificou-o como “amistoso, bem humorado, comunicativo e dotado de curiosidade”. Mais detalhes do encontro em STROHMAIER e ROSNER (eds.) (2006).

⁴⁸³ HEITLER (1985, p. 210).

A iniciativa levou Powell, juntamente com Heitler e Fertel, a expor emulsões do tipo *Half-tone*⁴⁸⁴ da Ilford nas alturas do Jungfrauoch (cerca de 2,5 mil metros). Passados meses, as chapas foram reveladas.

Os resultados impressionaram Powell e seus companheiros, que escreveram⁴⁸⁵ que o método era superior ao da câmara de nuvens (lembramos que essa comparação foi proposta anos antes por Zhdanov ainda em 1935). No caso de Powell, a comparação seria quase natural, com base no fato de ele ter obtido seu doutorado com Wilson ainda na década de 1920, em Cambridge.⁴⁸⁶

O método fotográfico parece ter impressionado Powell. Em 1942, ele escreveria passagem incisiva sobre o futuro da técnica: “[...] que na física nuclear há ainda novos mundos a se conquistar. Parece claro que o método fotográfico tem papel importante a desempenhar nessas investigações.”⁴⁸⁷

A entrada de Powell em cena abriria novo capítulo na história do método fotográfico. Powell nunca mais abandonaria o método, dando a ele contribuições importantes.

Conclusão (capítulo 6)

A técnica adentrou a década de 1930 com impulso advindo dos trabalhos realizados em Viena e em Leningrado, para logo depois ser cercada de ceticismo devido a resultados experimentais que acabaram por influenciar uma importante revisão teórica sobre a física nuclear do período.

As objeções ao método fotográfico – principalmente, em relação aos seus limites de precisão – foram contestadas. Mas, para se popularizar, a técnica teve que esperar pela assimilação dela por físicos de raios cósmicos – ou, pelo menos, daqueles que a expuseram à radiação cósmica, pois muitos desses pioneiros não tinham tradição na área, como foi o caso de Powell, Heitler, Blau e Wambacher.

A técnica terminou a década de 1930 em situação que pode ser dita paradoxal: vista com desconfiança pelos físicos nucleares e adotada por físicos que eram ou se arriscaram na área da radiação cósmica – cosmicistas de última hora.

As estrelas de desintegração obtidas por Blau e Wambacher – e pouco depois por outros pesquisadores – tiveram o mérito de despertar a atenção para as potencialidades do método fotográfico – a entrada de Powell em cena se deveu a esses resultados.

⁴⁸⁴ Parece-nos que eram emulsões para a produção de diapositivos (ou seja, *slides*).

⁴⁸⁵ HEITLER, POWELL e FERTEL (1939).

⁴⁸⁶ Ao chegar a Bristol, vindo de Cambridge, Powell passou a se dedicar à construção de acelerador Van de Graaf com centenas de keV (milhares de elétron-volts).

⁴⁸⁷ POWELL (1942, p. 152). Artigo dessa mesma época e com tom igualmente otimista em relação ao método fotográfico está em POWELL (1943).

Se por um lado a Segunda Guerra interrompeu as primeiras tentativas de obtenção de emulsões fotográficas com mais concentração de sais de brometo de prata, por outro teve o mérito – como veremos – de manter a técnica em uso ao longo do conflito, em função de trabalhos relacionados – ainda que indiretamente – com a fissão nuclear e a energia de nêutrons em aceleradores no Reino Unido.

As quatro proposições de Zhdanov, bem como a quinta delas, de Blau, começaram a esboçar os contornos de como deveria ser um detector e de como resolver seus problemas, para que esse ‘equipamento’ ganhasse precisão científica e, conseqüentemente, confiabilidade.

Muitas das personagens do período tratado neste capítulo investigaram as propriedades do método fotográfico por razões distintas:⁴⁸⁸ Blau testou a confiabilidade da técnica; Zhdanov, a formação das trajetórias e sua respectiva observação; Taylor, os limites do método; Powell, as vantagens dele em relação às câmaras de Wilson. Vale citar também Goldhaber e Taylor, que buscaram na técnica uma forma de resolver a controvérsia sobre um possível modo de desintegração nuclear do boro. Nos Estados Unidos, Wilkins e Saint Helens mostraram que a técnica permitia discriminação entre prótons, dêuterons e partículas alfa.

Os primeiros contatos com a indústria se deram ainda nesse período. E a consequência deles foi a fabricação pela Ilford de chapa fotográfica com adaptações para a pesquisa em física, as R1 e R2 (no caso, ‘R’ de *research*), desenvolvidas por dois químicos da Ilford (Block e Smith), sob medida para os anseios de Taylor, então em Cambridge naqueles meados da década de 1930. Pouco depois, as chamadas ‘meio tom’ (*Half-tone*) passaram a ser empregadas, dadas as suas propriedades físico-químicas. O interesse da indústria por esse possível novo nicho voltaria com o final da Segunda Guerra Mundial, quando os contratos de guerra haviam se acabado e a busca de novos mercados se fazia necessária, assunto ao qual voltaremos.

Como dissemos, duas causas evitaram maior popularização da técnica na década de 1930:⁴⁸⁹

- i) dificuldades em reproduzir os resultados alcançados pouco antes por Blau e Wambacher com o corante amarelo de pinacriptol;
- ii) a falta de padronização das chapas fotográficas da época.

Devemos somar mais dois itens à lista acima:

- i) a distância entre os grãos era ainda grande, o que impossibilitava que fosse relacionada com a energia das partículas – em última instância, esse problema deveria ser resolvido com maior concentração de grãos de brometo de prata na emulsão;
- ii) havia muito nevoeiro (*fog*) de fundo, dificultando a distinção das trajetórias;

⁴⁸⁸ Segundo bela síntese feita por GRILLI (1991).

⁴⁸⁹ POWELL, FOWLER e PERKINS (1959, ver principalmente capítulo I, com a breve história do método fotográfico).

Em resumo: na década de 1930, notou-se que as emulsões precisavam de maior sensibilidade, maior estabilidade, maior espessura, maior quantidade de brometo de prata.⁴⁹⁰

Quanto a Goldhaber, é possível que ele tenha uma visão linear de como a ciência se desenvolve, isto é, a de eventos encadeados, sem sobressaltos, como se a prática científica e seus resultados pudessem ser visualizados como uma rede íntegra, sem rupturas, de textura interconectada na qual um fio leva a outro.

Por fim, vale notar importante inversão de opinião entre duas comunidades de físicos. Ao final da década de 1900, físicos nucleares adotaram o método fotográfico para o estudo da radioatividade – mesmo que a técnica houvesse sido classificada como ‘qualitativa’. No mesmo período, os pioneiros da investigação sobre a origem e a natureza dos raios cósmicos optaram por um método lógico, estatístico, o eletrômetro.

Ao final da década de 1930, físicos nucleares veem o método com ceticismo. São os novos cosmicistas que o adotam, atribuindo a ele confiabilidade.

⁴⁹⁰ SACTON (1998, p. 1).

CAPÍTULO 7

O MÉSOTRON ENTRA EM CENA

Introdução

Não seria exagero dizer que pilhas de livros e artigos já foram escritos sobre a história, a natureza e a origem dos raios cósmicos.⁴⁹¹ Portanto, seria tarefa não só ingrata, mas de pouca sensatez, tentar aqui refazer essa empreitada humana, dando a ela contribuição pessoal. Porém, para nossos propósitos, se faz necessário um breve cenário sobre a história desse campo de pesquisa, pois o desenvolvimento e a aplicação da técnica das emulsões nucleares estão intimamente ligados a ele. Nossa intenção aqui é só enfatizar o que nos parecem aspectos mais importantes para esta tese.

A pesquisa em raios cósmicos ganhou repercussão significativa na imprensa – principalmente, na norte-americana – da década de 1920 e na seguinte, com repercussões em outros países, inclusive Brasil,⁴⁹² demonstrando que problemas sobre essa radiação tinham apelo popular.⁴⁹³ Caso emblemático dessa repercussão está nas constantes aparições do físico norte-americano Robert Millikan nas páginas do *New York Times*.⁴⁹⁴ Ao longo da década de 1920, esse jornal estampou manchetes sobre a natureza dos raios cósmicos e o embate de Millikan com pesquisadores que desafiavam suas ideias sobre a origem e a natureza dessa radiação. Arriscamos dizer que nenhum outro tema científico ao longo da década de 1920 teve igual repercussão⁴⁹⁵ – exceção talvez para a comprovação da teoria da relatividade geral, porém mais restrita aos primeiros anos daquela década.

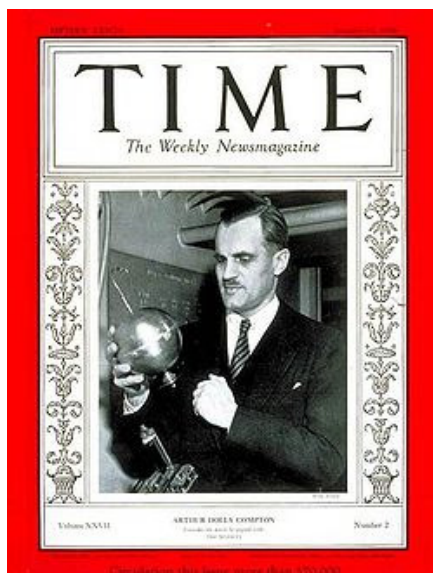
⁴⁹¹ Entre os muitos títulos, sugerimos XU e BROWN (1986) e SEKIDO e ELLIOT (1985) e YUKAWA (2007).

⁴⁹² Em nossas pesquisas, conseguimos cópia de artigo de Luiz Freire de 1938 sobre os raios cósmicos, mostrando que o tema também chamou a atenção de pesquisadores brasileiros fora do eixo Rio-São Paulo, no qual já havia alguma atividade de pesquisa na área de raios cósmicos com Wataghin e colaboradores, na capital paulista, e Bernhard Gross, no início da década de 1930, no Rio de Janeiro (RJ).

⁴⁹³ O tema a nosso ver valeria tese em separado.

⁴⁹⁴ Por exemplo, NEW YORK TIMES (1932).

⁴⁹⁵ Para análise do início da física de raios cósmicos no Brasil, VIDEIRA e BUSTAMANTE (1991).



Capa da revista *Time* de 1932 com o prêmio Nobel Arthur Compton, trazendo reportagem sobre raios cósmicos (Crédito: *The Time Group*)

A descoberta de nova partícula, o então chamado méson, no chuveiro cósmico na segunda metade da década de 1930, teve a capacidade de unir duas comunidades de físicos, experimentais de raios cósmicos e teóricos nucleares, em torno da natureza e do modo de produção desse constituinte da matéria. Por exata uma década, estabeleceu-se controvérsia sobre se o méson seria ou não a partícula proposta ainda em 1935 para exercer o papel de ‘carregadora’ da força forte, ou seja, a responsável por manter coeso o núcleo atômico; sobre se haveria um ou dois mésons.

Esse debate – para nós, esclarecido por resultados obtidos pelo uso das emulsões nucleares – nos interessa.



Capa do jornal norte-americano *New York Times*, de 1932, com reportagem de polêmica envolvendo Millikan e Compton sobre a natureza dos raios cósmicos (Crédito: *New York Times*)

A natureza dos raios cósmicos: de fótons a partículas com carga

A natureza extraterrestre dos raios cósmicos já estava bem estabelecida no início da década de 1930. Experimentos, como o do holandês J. Clay e Compton, mostraram que a radiação cósmica era formada por partículas carregadas, pois havia variação do fluxo delas com o campo magnético terrestre. Esses resultados acabaram por derrubar a tese de Millikan – por sinal, autor do termo raios cósmicos – de que essa radiação era formada por fótons energéticos originados pelo decaimento de elementos químicos do universo.⁴⁹⁶

Os raios cósmicos passaram a ser motivo de pesquisa mais intensa no início da década de 1910, quando Hess e Kolhörster empregaram balões para voos em altas altitudes. Esses resultados levaram Hess⁴⁹⁷ a concluir que a origem dessa radiação era extraterrestre, o que lhe valeu o Nobel de 1936.

A origem extraterrestre esclareceu parte da questão sobre a natureza dessa radiação, que se estendia desde os tempos de Coulomb, em que o fenômeno fazia com que eletroscópios se descarregassem, ainda que isolados do ambiente. No final do século 19 e do passado, essas observações ganharam mais estudos, sendo um deles do jesuíta e físico alemão Theodor Wulf (1868-1946), que levou, em 1909, eletrômetros para o alto da torre Eiffel, observando que a radiação aumentava com a altura.⁴⁹⁸

Na década de 1930, o físico francês Pierre Auger (1899-1993) descobriu os chamados chuviscos aéreos extensos, mostrando que a radiação cósmica podia se estender por vastas áreas. Outro tipo de chuva, o chamado penetrante,⁴⁹⁹ foi descoberto pelos físicos brasileiros Gleb Wataghin (1899-1986), Marcello Damy de Souza Santos e Paulus Aulus Pompéia (1911-1992), com resultados publicados no final da década de 1930. Pouco depois, experimento semelhante, com o uso de contadores Geiger, foram feitos na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e em Campos de Jordão, por Wataghin e por seu assistente Oscar Sala.⁵⁰⁰

⁴⁹⁶ Essa tese, curiosamente influenciada pela visão religiosa de Millikan, foi denominada ‘choro de nascimento do universo’ e tinha a ver com a formação de elementos químicos, em processo de fusão que geraria, então, fótons energéticos (radiação gama), que, por sua vez, chegariam à Terra.

⁴⁹⁷ Ver, por exemplo, HESS (1936) para relato dessas pesquisas com radiação cósmica.

⁴⁹⁸ Para mais detalhes sobre a história dos raios cósmicos, sugerimos CLOSE, MARTEN e SUTTON (1986) e SHELLARD e ANJOS (2004).

⁴⁹⁹ O adjetivo ‘penetrantes’, no caso, deve-se ao poder de penetração na matéria de componentes dos chuviscos cósmicos.

⁵⁰⁰ Ver, por exemplo, SALA e WATAGHIN (1945) e SALA e WATAGHIN (1946). Sobre esses experimentos, Lattes alega que Sala e Wataghin estavam, já no início da década de 1940, capturando píons, mas não tinham condição de vê-los, pois usavam detector lógico, no sentido galisoniano.

A natureza dos raios cósmicos ganhou esclarecimentos adicionais com outros trabalhos ao longo das décadas seguintes, valendo ressaltar um, de 1948,⁵⁰¹ no qual se mostrou que os primários⁵⁰² poderiam ser núcleos com $Z > 1$, isto é, mais pesados que o de hidrogênio.⁵⁰³

A chamada primeira Era de Ouro dos raios cósmicos se iniciou na década de 1940, com a detecção do méson pi e das partículas denominadas estranhas.⁵⁰⁴ O surgimento dos aceleradores fez com que, a partir de meados da década seguinte, enorme quantidade de dados vinda dessas máquinas – primordialmente, dos Estados Unidos – passassem a afogar a física de raios cósmicos,⁵⁰⁵ relegando-a a uma posição de fundo de cenário até o surgimento, há cerca de uma década, do chamado Observatório Pierre Auger de Raios Cósmicos, já classificado como precursor da segunda Era de Ouro da pesquisa em raios cósmicos. Entre as duas eras, detectores terrestres de grande área continuaram a capturar eventos altamente energéticos (alguns chegando à casa de 10^{20} eV), porém de forma isolada.⁵⁰⁶

Também nesse ínterim das duas eras, os raios cósmicos foram estudados, a partir do início da década de 1960, pela Colaboração Brasil-Japão, sobre a qual voltaremos a falar nesta tese em função do emprego por ela das chamadas câmaras de emulsão.

⁵⁰¹ Ver FREIER *et al.* (1948).

⁵⁰² Designação para o núcleo atômico que realiza o impacto inicial contra um núcleo atmosférico, dando assim início ao secundário, ou seja, a ‘chuveirada’ de partículas criada por essa colisão. O chuveiro pode conter bilhões de partículas, espalhando-se por quilômetros quadrados, dependendo da energia do primário.

⁵⁰³ Hoje, sabemos que esses núcleos podem ser tão pesados quanto o ferro.

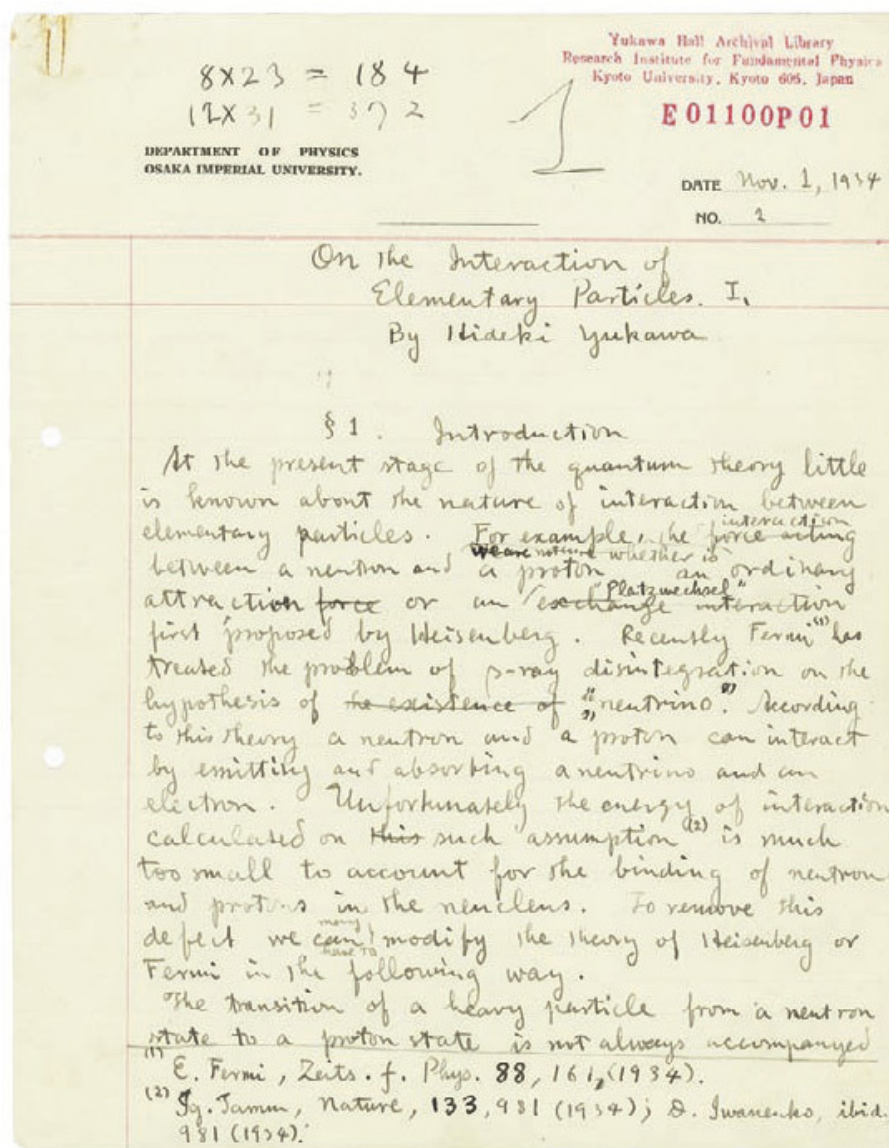
⁵⁰⁴ Hoje, denominadas mésons K ou simplesmente káons. Segundo STEINBERGER (2001, s/p), o nome estranha vem do fato de elas serem produzidas copiosamente (o que é indicativo da chamada interação nuclear forte), mas decaírem com tempos longos (indicativo da força nuclear fraca). No início da década de 1950, o físico holandês Abraham Pais observou que haveria uma regra na interação forte que permitiria a produção dessas partículas por meio dessa interação, mas impediria seu decaimento por meio dela. Essa regra é chamada produção associada, ou seja, essas partículas teriam que ser produzidas em pares. Pouco depois, o físico norte-americano Murray Gell-Mann estendeu essa regra e chegou à conclusão de que a produção em pares deveria ser de partículas formadas por quark estranho e antiquark estranho. Para mais detalhes, ver, por exemplo, PAIS (1986).

⁵⁰⁵ Basta lembrar que o encontro de Pisa em 1955, por vezes, é resumido como aquele em que os norte-americanos chegaram com suas enxurradas de estatísticas sobre partículas. “[...] aquele onde apareceram os norte-americanos com toneladas de mésons obtidos nos aceleradores, marcando o fim do uso de RC [raios cósmicos] para o estudo de partículas elementares!” ROEDERER (Comunicação pessoal).

⁵⁰⁶ LINSLEY (Comunicação pessoal).

Mésotron: união de duas comunidades

Em novembro de 1934, o físico japonês, um dos mais importantes integrantes da escola de físicos de partículas do Japão, conhecida como 'Clube do Méson', finalizaria teoria na qual propunha uma nova partícula como 'carregadora' da força forte nuclear, responsável por manter a coesão do núcleo atômico e evitando que a força de repulsão entre os prótons fizessem o núcleo se desintegrar.⁵⁰⁷ Por ter massa intermediária entre a do elétron e a dos núcleons (algo em torno de 200 massas eletrônicas), a partícula ganhou o nome 'méson' (do grego, médio, intermediário).



Manuscrito de Yukawa do artigo publicado em 1935 no qual ele propõe a ideia de partícula que seria responsável pela força que manteria o núcleo atômico coeso (Crédito: Yukawa Hall Archival Library)

⁵⁰⁷ Para uma discussão mais ampla sobre a teoria do méson de Yukawa, ver, por exemplo, BROWN (1985), BROWN, KONUMA e MAKI (1980), BROWN (1995), BROWN (1996?).

Logo depois da publicação desse seu trabalho, no início de 1935,⁵⁰⁸ Yukawa desinteressou-se pelo assunto, buscando novos temas, só voltando a ele em 1937, quando foi anunciada⁵⁰⁹ a descoberta na radiação cósmica de uma nova partícula com massa semelhante àquela proposta por ele. Em 1939, a partícula ganhou a denominação méson, por influência de Millikan.

Com o anúncio, Yukawa resgatou suas ideias de 1935, trabalhando, dessa vez, grande parte do tempo, com Sakata, que, poucos anos depois, daria uma contribuição seminal – porém, de pouca repercussão inicial – para a distinção entre o méson e o méson da força forte, confundidos por quase dez anos como uma única partícula.

A polêmica em torno de qual era a natureza do méson – se era ou não o méson de Yukawa – estendeu-se por cerca de uma década e, a nosso ver, resolveu-se com os resultados do grupo de Bristol.

A descoberta do méson teve a capacidade de unir duas comunidades até então separadas: a dos teóricos da física nuclear com a dos experimentais da área de raios cósmicos.⁵¹⁰ A partir dos dados obtidos por estes últimos, físicos teóricos, como o alemão Werner Heisenberg e o italiano Enrico Majorana, passaram a fazer física nuclear com viés mais fenomenológico – ou seja, produzir modelos a partir de dados experimentais.

Vários modelos para o núcleo atômico surgiram, desde aqueles em que o elétron era uma partícula integrante dele até os que tinham o fóton como mediador da força nuclear, como foi o caso do físico francês Louis de Broglie.

Depois da descoberta do méson, a teoria do méson foi desenvolvida basicamente com quatro descrições diferentes para o campo mesônico: escalar, pseudoescalar, vetorial e pseudovetorial.⁵¹¹ Inicialmente, ficou claro que o méson teria a mesma carga elétrica que a de

⁵⁰⁸ YUKAWA (1935).

⁵⁰⁹ Em geral, atribui-se a descoberta do méson a Anderson e Neddermeyer; menos comumente, a Street e Stevenson. Também de 1937, os resultados de Nishina, Tanikawa e Ichimiya no Japão. Para Pais, o descobridor é Powell. Skobletzyn atribui a ele mesmo essa descoberta. Oppenheimer teria feito a primeira previsão teórica. Como apontado por GALISON (1983), primazias são tão ricas quanto polêmicas, daí evitarmos indicar um só autor para a descoberta.

⁵¹⁰ MONALDI (2005) e BUSTAMANTE (1990) discutem amplamente a descoberta e a natureza do méson.

⁵¹¹ Cada um desses campos tem a ver com as hipóteses assumidas sobre o spin e a paridade. Hoje, sabemos que o méson de Yukawa, denominado méson pi ou pión, é uma partícula pseudoescalar graças a experimentos realizados no acelerador de Berkeley por Steinberger e colegas. Para uma versão histórica desses acontecimentos, ver STEINBERGER (1997), versão condensada de STEINBERGER (2005).

prótons e elétrons. O *spin* 1 foi descartado no início da década de 1940, sendo o *spin* 0 e *spin* $\frac{1}{2}$ considerados os mais prováveis.

Do lado experimental, os físicos de raios cósmicos buscavam determinar, principalmente, o tempo de vida e o modo de produção da nova partícula, ficando a massa em segundo plano, geralmente suposta por hipóteses *ad hoc*.⁵¹² Até o final de 1945, não foi dada muita importância para a questão da massa dos dois mésons.

Até que houvesse a comprovação da existência de dois mésons por Perkins e pelo grupo de Powell, várias teorias vieram à tona. Para se deter nas que, a nosso ver, ganharam mais projeção na época, citaremos a do físico dinamarquês Christian Møller (1904-1980) e do belga Leon Rosenfeld (1904-1974), conhecida como teoria mista dos mésons. Nela, os autores adotavam dois mésons, um vetorial e outro pseudoescalar (este último de origem cósmica), porém tendo as duas partículas massas iguais, pois isso pareceu a eles a hipótese menos complicada, não havendo evidência experimental a favor de um méson mais pesado que outro.⁵¹³ Em seguida, o físico norte-americano Julian Schwinger diferenciou esses dois mésons, atribuindo ao vetorial maior massa. Físicos japoneses, como discutiremos no próximo subcapítulo, deram contribuições importantes nesse sentido.

A interpretação dos dados vindos dos raios cósmicos sofria da chamada ‘doença teórica’:⁵¹⁴ a visão do méson era mais moldada pela teoria que pelos experimentos, com os quais se buscava acordo em relação à carga, ao *spin* e ao tempo de vida.

A detecção dos primeiros decaimentos do méson – Yukawa os previu em seu artigo inicial – ocorreram no início da década de 1940, nos Estados Unidos, com a ajuda de câmaras de nuvens.⁵¹⁵

Dez anos de controvérsia: um ou dois mésons?

A teoria das forças nucleares começou com modelos teóricos que propunham a troca, entre os núcleons, de diversas partículas (elétrons, fótons) ou pares delas (elétrons e pósitrons; pares de mésons). Mas uma teoria mesônica das forças nucleares só ganhou estrutura teórica mais robusta a partir principalmente da década de 1950.⁵¹⁶

⁵¹² Artigo interessante que trata da massa do méson na história da teoria de Yukawa é MUKHERJI (1974).

⁵¹³ MUKHERJI (1974, p. 148).

⁵¹⁴ O termo está em BROWN e RECHNERBERG (1996).

⁵¹⁵ Ver WILLIAMS e ROBERTS (1940). Para discussão sobre o cálculo da vida média do méson, sugerimos DAS GUPTA e BHATTACHARYA (1940). Blackett e Rossi discutem o assunto ainda em 1938 – ver BLACKETT (1938) e ROSSI (1938).

⁵¹⁶ Para uma discussão bem detalhada da evolução das ideias sobre as forças nucleares, sugerimos MUKHERJI (1974) e BROWN e RECHNERBERG (1996). Para o leitor interessado em fatos ocorridos nos dez anos entre a descoberta do múon e a do pión, sugerimos a leitura de XU e BROWN (1986), GALISON

A assimilação por parte de muitos físicos de que o méson cósmico fosse a partícula de Yukawa iniciou um dos momentos mais fecundos da física teórica e experimental do século passado.⁵¹⁷ O fato de a teoria do méson de Yukawa originalmente incluir o decaimento beta⁵¹⁸ dessa partícula ajudou a alimentar consideravelmente essa controvérsia.⁵¹⁹

As primeiras ideias sobre a existência de dois mésons surgiram no início da década de 1940.⁵²⁰ Por exemplo, Sakata e Inoue, integrantes do ‘Clube do Méson’, vislumbraram modelo⁵²¹ que só se esclareceria cerca de cinco anos depois. Nele propuseram, de modo claro, a existência de dois mésons, um deles férmion e o outro bóson.⁵²²

Para podermos apreciar as ideias de Sakata e Inoue, devemos confrontá-las com modelos de outros dois físicos: o japonês Tanikawa e o de Schwinger. A diferença básica entre as ideias destes dois últimos e aquelas de Sakata e Inoue são:

- i) Tanikawa propõe que os dois mésons tenham tempos de vida distintos, mas o méson cósmico (múons) seria bóson com spin igual a zero;
- ii) Schwinger propõe que os dois mésons têm massas diferentes, mas os dois interagiriam fortemente com os núcleons;

(1983), bem como BUSTAMANTE (1990). Para uma visão mais teórica do desenvolvimento da mecânica quântica, sugerimos DARRIGOL (1982). LEE (1994) traz versão condensada da história do múon, com destaque para a reprodução dos principais artigos.

⁵¹⁷ Para uma discussão mais ampla do assunto, sugerimos MUKHERJI (1974); BUSTAMANTE (1990); BROWN e RECHENBERG (1996); DARRIGOL (1982); MONALDI (2005); MEHRA e RECHENBERG (2001).

⁵¹⁸ Teoria que explica o chamado decaimento beta, processo pelo qual o nêutron nuclear decai em próton mais elétron e antineutrino do elétron. O neutrino havia sido proposto teoricamente pelo físico austríaco Wolfgang Pauli ainda em 1930. O neutrino (do elétron) foi detectado experimentalmente apenas em meados da década de 1950, mas foi largamente empregado por teóricos e experimentais – talvez, caso único na história da física de partículas, segundo PAIS (1986).

⁵¹⁹ A volta de teoria de Fermi para a explicação do decaimento beta do méson se deu apenas cerca de dez anos mais tarde, na segunda metade da década de 1940. Damy, ainda em 1942, ressaltou que a lei que regeria o decaimento do méson lento e a do decaimento beta tinham semelhanças, o que mostra que os físicos brasileiros não estavam alienados dessa discussão. Para isso, ver SOUZA SANTOS (1942, p. 179).

⁵²⁰ O Professor Doutor Alfredo Marques, do CBPF, nos chamou a atenção para o fato de artigo ainda de 1941 de Marcello Damy de Souza Santos e Mário Schenberg – apresentado naquele ano no Symposium sobre Raios Cósmicos, ocorrido no Rio de Janeiro (RJ) – sugerir, ainda que subliminarmente, a possibilidade de haver dois mésons em vez de um. No entanto, nossa leitura não encontrou evidências de que, pelo menos naquele artigo, a proposta tenha sido insinuada. Ver SYMPOSIUM SOBRE RAIOS CÓSMICOS (1943).

⁵²¹ Essas ideias só chegaram ao Ocidente depois do término da Segunda Guerra Mundial.

⁵²² Férmions são partículas com spin fracionário; bósons, de spin inteiro.

iii) Sakata e Inoue fazem a distinção entre os dois mésons, dando a eles tempos de vida distintos e atribuindo ao méson cósmico spin $\frac{1}{2}$ – portanto, férmion – e ao méson de Yukawa spin inteiro (bóson), sendo que este último decairia em méson cósmico e partícula neutra.⁵²³

Sakata e Inoue atribuíam uma diferença significativa à vida média desses dois mésons: da ordem de 10^{-6} s para o méson π e de 10^{-8} s para a partícula de Yukawa.

Assim, notamos profunda agudez na análise desses dois físicos japoneses. No entanto, essas ideias sofreram o problema da falta de comunicação durante a Segunda Guerra⁵²⁴. Cinco anos mais tarde, não sem certa dose de injustiça, a história daria destaque a outra teoria dos dois mésons, a de Marshak e Bethe, que viria a público no encontro de Shelter Island, nos Estados Unidos, um dos muitos feitos para, em essência, reunir um número pequeno de físicos consagrados e discutir poucos temas por vez.⁵²⁵

Ainda no início da década de 1940, nasceu certa desconfiança em relação ao fato de a partícula de Yukawa ser a mesma que a encontrada na radiação cósmica. Isso se deu quando os resultados experimentais não se mostravam de acordo com a chamada teoria de Bethe e Heitler,⁵²⁶ segundo a qual elétrons com mais de 100 MeV deveriam perder praticamente toda sua energia na forma de fótons energéticos ao atravessar a matéria. No entanto, experimentos com raios cósmicos mostravam que o méson π tinha grande poder de penetração⁵²⁷ – daí o termo ‘chuveiros penetrantes’.⁵²⁸ Essa discrepância chegou ao ponto de levar os físicos – principalmente, teóricos – a suspeitar da validade da eletrodinâmica quântica para além de certos

⁵²³ Para mais detalhes sobre cada uma das três hipóteses, ver, por exemplo, MUKHERJI (1974, p. 83).

⁵²⁴ O grupo de Bristol não conhecia os resultados de Sakata e Inoue, como citado em PINTO e FRANKEN (1976, p. 8): “Não saíamos que, durante a guerra, os japoneses já tinham publicado o resultado da absorção dos mésons leves. Um japonês – Sakata, grande físico teórico – já tinha publicado o trabalho, mostrando que não podiam ser os mésons da interação forte. Isso não sabíamos. Sabíamos os resultados dos italianos [CONVERSI, PANCINI e PICCIONI (1945) e CONVERSI, PANCINI e PICCIONI (1947)].” Vale ressaltar que Conversi e Pancini haviam publicado, ainda em 1944, os resultados de dois outros experimentos. Ver CONVERSI e PANCINI (1944a) e CONVERSI e PANCINI (1944b). O último dos quatro artigos foi recebido pela revista em 21 de dezembro do ano anterior e publicado em 1 de fevereiro de 1947. Portanto, é provável que o grupo de Bristol conhecesse até mesmo este último artigo, que, juntamente com os outros três, são denominados ‘Os quatro experimentos de Roma’.

⁵²⁵ O esquema de pequenas reuniões, com público seleto de pesquisadores, foi reação ao ‘gigantismo’ imposto pelo Projeto Manhattan à física no pós-guerra. Outros encontros desse tipo foram o de Pocono e de Oldstone. Há um capítulo interessante sobre o tema em SCHWEBER (1994).

⁵²⁶ BETHE e HEITLER (1934). Para tema correlado, ver também BHABHA e HEITLER (1936).

⁵²⁷ A seção de choque do múon é cerca de 100 vezes menor que a do pión, para a mesma faixa de energia, 10^{-28} m² e 10^{-26} m², respectivamente.

⁵²⁸ Ver, por exemplo, POMPÉIA, SOUZA SANTOS e WATAGHIN (1940).

limites de energia⁵²⁹ e a afirmar que talvez os fenômenos observados na radiação cósmica não pudessem ser explicados por essa teoria.

Wataghin e Janossy: produção múltipla ou plural?

Outra questão que desafiava os físicos na década de 1930: de que modo se daria a produção de mésons? Ela nos interessa não pelo fato de envolver experimentos com o método fotográfico, mas sim por ter recebido contribuição importante de físicos brasileiros.

Havia dois modelos para explicar como os mésons eram produzidos por meio do choque de núcleons. O primeiro era a chamada produção plural: o choque de um núcleon contra outro leva à produção de apenas um méson. Os principais defensores desse modelo eram W. Heitler e Janossy. O segundo modelo – produção múltipla – defendia que o choque entre dois núcleons produz vários mésons e tinha Heisenberg como um de seus propositores.

No final da década de 1930, Wataghin, Souza Santos e Pompéia (1911-1992) publicaram artigo no qual defendiam – com base em dados obtidos com experimentos à base de contadores Geiger, circuitos de coincidência e absorvedores de alto número atômico⁵³⁰ – que a produção de mésons era múltipla. Poucos meses depois, outros resultados afirmavam que a produção era plural – entre eles, estava um artigo de Janossy.

Esses dois modelos poderiam ser testados com a colisão de prótons contra núcleos de hidrogênio, por exemplo, ou seja, prótons contra prótons. Mas a tecnologia da época – no final da década de 1930 – tornava esse tipo de reação nuclear difícil.⁵³¹

Para finalizar esta breve contextualização, vale dizer que o desenrolar dos fatos mostrou que o primeiro modelo, o da produção múltipla, era o correto.

Conclusão (capítulo 7)

A controvérsia pión-múon, como ficou conhecida, levou exatos dez anos para ser esclarecida. Começou com a identificação do mésotron como a partícula proposta por Yukawa. As primeiras desconfianças em relação ao fato de o méson cósmico não ser de mesma natureza que o de Yukawa começaram ainda no início da década de 1940, com a chamada teoria dos dois mésons. Sakata e Inoue, no Japão, apresentaram o quadro mais completo e cristalino da situação: o méson cósmico (mésotron) era um férmion, enquanto o de Yukawa, um bóson.

⁵²⁹ Para mais detalhes sobre a descoberta do múon e a eletrodinâmica quântica, ver, por exemplo, GALISON (1983), BUSTAMANTE (1990), MONALDI (2005).

⁵³⁰ Absorvedores de alto número atômico servem para frear partículas e termalizadas (ou seja, diminuir sua energia cinética) ou até mesmo evitar que elas os atravessem. Comumente são chumbo e ferro, mas também se pode usar ouro, platina, por exemplo.

⁵³¹ CAMERINI e MUIRHEAD (1950).

Também no início da década de 1940 foram observados os primeiros decaimentos do méson em experimentos com câmaras de nuvens – é preciso lembrar que, pela primeira vez, os físicos estavam lidando com uma partícula radioativa, ou seja, que sofria decaimento.⁵³² Esses resultados, de certa forma, corroboravam as ideias de Yukawa – influenciadas pelo modelo de decaimento beta de Fermi, de 1934 – de que seu méson de massa igual a 200 massas eletrônicas sofria o decaimento beta. Só 13 anos mais tarde seria restabelecido, de forma inequívoca, que o decaimento beta era assunto exclusivamente do modelo de Fermi.

A descoberta do méson teve como resultado a união de duas comunidades que comumente não interagiam: a dos físicos nucleares teóricos com a de raios cósmicos experimentais. A partir disso, modelos foram apresentados, buscando um acordo, em geral, com os dados experimentais, como carga, *spin* e tempo de vida. Os chamados ‘Quatro Experimentos de Roma’⁵³³ mostraram que o méson não poderia ser a partícula de Yukawa, pois ela interagia fracamente com o núcleo atômico.⁵³⁴

A controvérsia foi resolvida com os resultados de Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell, publicados em 24 de maio de 1947,⁵³⁵ em experimento com emulsões nucleares expostas no Pic-du-Midi. As duas imagens do artigo – mostrando um pión decaindo em um múon – foram suficientes, a nosso ver, para mostrar a existência de dois mésons de natureza distinta, um como produto do decaimento do outro.

Por fim, vale comentar sobre o contexto em que Yukawa propôs sua partícula e na qual o méson foi descoberto. Era um período marcado pela resistência por parte dos físicos em relação à criação de novas partículas – a exceção foi o neutrino,⁵³⁶ que passou a ser amplamente

⁵³² Essa observação está em MONALDI (2005).

⁵³³ Ver CONVERSI *et al* (1944a,b), (1945) e (1947).

⁵³⁴ Uma relação completa de trabalhos teóricos e experimentais até 1950 sobre a teoria do méson, quando se comemorou o 15º aniversário da publicação do artigo de Yukawa no qual propõe uma partícula como carregadora da força forte, está em KOBAYASI (1950). Para uma história sucinta dos raios cósmicos, ver SWANN (1961) e SHELLARD e ANJOS (2004), BROWN (1991), FOWLER (1993), SCARSI e LINSLEY (1998), DE MARIA, IANNIELLO e RUSSO (1991). Para obras mais extensas, sugerimos ZHDANOV (1959a), BEISER e BEISER (1964), CRANSHAW (1963), JANOSSY (1948), CLAY e DAWSON (1997), OTAOLA e VALDEZ-GARCIA (1992) – estes dois últimos em linguagem para o grande público –, HEISENBERG (1946).

⁵³⁵ LATTES, MUIRHEAD, OCCHIALINI e POWELL (1947).

⁵³⁶ PAIS (1986).

empregado tanto por teóricos quanto por experimentais logo depois de Pauli o sugerir em 1930 e Fermi o incorporar à sua teoria do decaimento beta.⁵³⁷

Caso emblemático da resistência está no fato de Bohr, em sua visita ao Japão, em meados da década de 1930, ter repudiado as ideias de Yukawa sobre a criação de uma nova partícula.

Esse cenário, depois da Segunda Guerra, mudaria drasticamente na década seguinte, quando se passou a ter expectativa em relação à criação de novas partículas, fato impulsionado, por exemplo, pela primeira evidência de um méson pesado e instável, pela equipe do físico francês Louis Leprince-Ringuet (1901-2000),⁵³⁸ na França, ainda em 1944,⁵³⁹ e das partículas V (ou estranhas), com Rochester e Butler, no Reino Unido, e os píons em Bristol e Londres.

Henry Small, em nota de rodapé em revisão sobre a teoria mesônica das forças nucleares,⁵⁴⁰ destaca que a física de partículas antes e depois da Segunda Guerra poderia ser dividida, respectivamente, em dois cenários:

- i) o da resistência, em que havia um pequeno número de partículas e aversão por parte dos teóricos em criar novas ou em se basear em argumentos de partículas ainda não observadas;
- ii) o da expectativa, no qual havia um número considerável de partículas, principalmente a partir da década de 1950, com vários mésons surgindo.

É interessante lembrar o que parece ser um período de transição entre essas duas fases no discurso⁵⁴¹ do Nobel de 1955 do físico norte-americano Willis E. Lamb (1913-2008):

“Quando os Prêmios Nobel começaram a ser dados em 1901, os físicos sabiam pouco sobre dois objetos os quais são agora denominados ‘partículas elementares’: o elétron e o próton.⁵⁴² Enxurrada de outras partículas ‘elementares’ apareceu depois de 1930; nêutron, neutrino, méson μ , méson π , mésons mais pesados e híperons. Tenho escutado que o ‘descobridor de nova partícula elementar costumava ser recompensado com o prêmio Nobel, mas tal descoberta agora deveria ser punida com multa de \$ 10.000 [dólares].”

⁵³⁷ Exemplo interessante é o próprio caso do grupo de Bristol, que incluiu o neutrino como um dos possíveis decaimentos do pión ainda nos trabalhos publicados em 1947. Outra opção do grupo, para satisfazer o balanço energético, seria incluir partícula neutra de massa equivalente à do então méson π .

⁵³⁸ Pouco depois, com o uso de emulsões, seriam descobertas evidências para mésons instáveis com massa próxima à de mil massas do elétron. Ver BROWN *et al.* (1949b.).

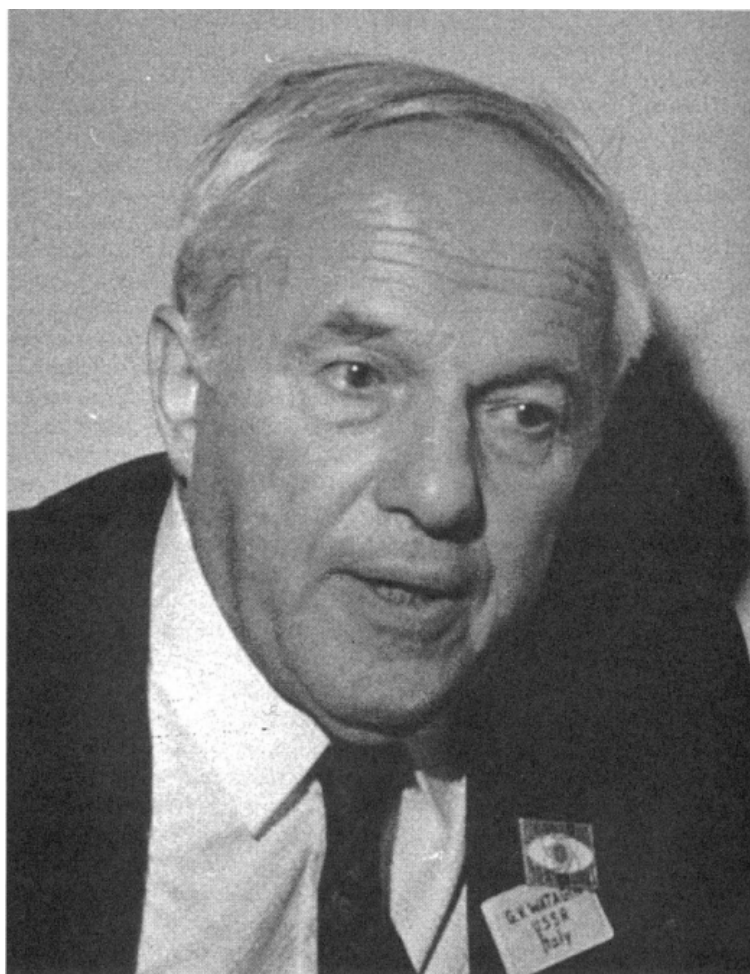
⁵³⁹ LEPRINCE-RINGUET e LHÉRITIER (1944). No caso, pesado significa com massa entre a do pión e a do próton, ou seja, algo entre 300 e 1.800 vezes a massa do elétron.

⁵⁴⁰ MUKHERJI (1971, 96).

⁵⁴¹ LAMB, JR. (1955, s/p)

⁵⁴² Na virada do século, o próton era apenas conjectura para tornar o átomo neutro em função da descoberta, pouco antes, do elétron, cuja carga é negativa.

Essa resistência também se mostrou em relação à proposição do pión neutro,⁵⁴³ bem como à relativa a dois mésons de natureza diferente para explicar as discrepâncias entre resultados teóricos e experimentais.



O físico ítalo-russo Gleb Watagin (1899-1986), que trabalhou no Brasil nas décadas de 1930 e 1940 na Universidade de São Paulo, foi o descobridor, juntamente com Marcello Damy e Paulus Pompéia, dos chamados chuveiros penetrantes; suas ideias sobre a produção de mésons (a chamada produção múltipla) se mostraram corretas (Crédito: <http://oldsite.to.infn.it/activities/schedules/storia/>)

⁵⁴³ O pión neutro foi proposto ainda no início da década de 1940 por físicos japoneses em 1943 por físicos japoneses. Porém, esses resultados só foram publicados em 1948, em função do isolamento do Japão na Segunda Guerra. SAKATA e TANIKAWA (1940) chegaram a propor, com exatidão, o tempo de vida do pión neutro como sendo da ordem de 10^{-16} s e um modo de detectar essa partícula em emulsões, com a materialização dos fótons por absorvedores de alto número atômico. TAKETANI (1943) também propôs a existência do pión neutro no início da década de 1940 – ver TAKETANI (1943) e TAKETANI (1948).

CAPÍTULO 8

RUMO AO AMADURECIMENTO E AUGE

Introdução

Depois dos experimentos iniciais em que se convenceu de que a resolução das emulsões fotográficas era superior à da câmara de nuvens, Powell continuou trabalhando com o método fotográfico, adentrando os anos da Segunda Guerra. Nesses trabalhos, as emulsões foram usadas para o estudo da colisão de prótons contra nêutrons. O arranjo experimental envolvia o uso do acelerador de Liverpool, e um objetivo era – ainda que indireto – estudar o comportamento de nêutrons lentos, que são mais eficientes para a fissão nuclear controlada, pois isso interessava ao programa nuclear do Reino Unido, o Tube Alloy.

Essa linha de pesquisa, na qual Powell passou a colaborar com Chadwick,⁵⁴⁴ era, ao final do conflito e do ponto de vista científico, considerada convencional.⁵⁴⁵ Ou seja, infrutífera. Nesse período de guerra, Powell deu uma contribuição importante para outro aspecto da técnica: modificações no microscópio, para facilitar a varredura óptica.

As emulsões nucleares propriamente ditas passam a ser fabricadas. Eram chapas mais espessas e com maior concentração de brometo de prata, duas características que eram anseio dos físicos que lidavam com o método fotográfico desde a década de 1930 – basta lembrar de Zhdanov e Blau.

⁵⁴⁴ Por exemplo, ver CHADWICK, MAY, PICKAVANCE e POWELL (1944). É possível conjecturar que o convite para esses trabalhos sobre a aplicação do método fotográfico ao espalhamento próton-nêutron tenha partido de Chadwick, e que Powell, mesmo declarando-se pacifista, tenha se sentido obrigado a participar desses trabalhos em função do prestígio de Chadwick, que já era prêmio Nobel desde 1935. Muitas questões sobre Powell continuarão sem poderem ser respondidas, pois grande parte de seu arquivo foi destruído por membros da família. No Arquivo Niels Bohr, lê-se a seguinte observação: “Exceção para poucas cartas relativas a publicações, não há correspondência pessoal ou profissional. Documentos (incluindo correspondências) lidando com o trabalho de Powell para organizações internacionais foram destruídos depois de sua morte. A atuação de Powell em assuntos nacionais e internacionais permanece pobremente documentada, apenas por uns poucos registros das conferências Pugwash e poucas cartas [...] **sobrevivendo ao que se acredita ser maciça destruição de sua correspondência e papéis depois de sua morte.**” [Grifo nosso]

⁵⁴⁵ Lattes diz que o espalhamento próton-nêutron era física convencional, sem promessa de grandes descobertas para a época – ver NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995, cópião da entrevista). Foi a interação de Lattes com Occhialini que retomou a física de raios cósmicos em Bristol. Porém, é preciso lembrar que Powell já havia feito exposições de chapas Half-tone no final da década de 1930, quando comparou a técnica à câmara de nuvens. Ver, por exemplo, HEITLER, POWELL e FERTEL (1939).

Ocorre também a retomada de procedimento que, apesar da simplicidade, parece ter sido posto de lado ao longo dos anos de guerra: a exposição de chapas fotográficas à radiação cósmica.

As emulsões nucleares foram criadas como resultado do Painei de Emulsões,⁵⁴⁶ no qual interagiram academia, estabelecimento nuclear britânico⁵⁴⁷ e indústria – esta última interessada em buscar novos mercados com o fim do conflito. Foram a teste ainda em 1946, demonstrando bons resultados e entusiasmando os pesquisadores de Bristol. Houve interação – pouco comentada – entre a academia e a indústria de microscópios.

A união de fatores, como interesse industrial, novas chapas, exposição à radiação cósmica, entrada em cena de jovens pesquisadores, levaria a técnica ao seu auge.

O painel de emulsões: indústria, academia e bomba

O químico austríaco Friederich Paneth (1887-1958), pioneiro da radioquímica, enfatiza, em revisão de sua autoria da década de 1930,⁵⁴⁸ que a colaboração entre físicos e químicos foi decisiva nos primeiros tempos da radioatividade, que se estenderam do final do século 19, quando o fenômeno foi descoberto, até a primeira década do século passado.⁵⁴⁹

Uma colaboração entre essas duas classes de cientistas ocorreria logo após a Segunda Guerra Mundial: os físicos trariam à mesa de negociação suas ideias e necessidades, cabendo aos químicos, da indústria, pô-las em prática em seus laboratórios. Com isso, os físicos delegaram a feitura de um novo detector a outra comunidade científica.

Talvez, seja caso único na história dos detectores até então.

Havia, no entanto, exceção nesse cenário: o físico-químico canadense Pierre Demers, capaz de fabricar, em seu laboratório, emulsões nucleares com altas quantidades de brometo de prata e sensibilidade equivalente àsquelas feitas pela indústria da época.⁵⁵⁰ Demers publicou

⁵⁴⁶ Para os relatórios desse painei, ver PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1945; 1947a,b,c; 1948).

⁵⁴⁷ Para uma visão geral da física nuclear no Reino Unido, ver BURCHAM (1989).

⁵⁴⁸ PANETH (1936, p. 560).

⁵⁴⁹ Segundo PANETH (1936, p. 560), o método empregado nessa colaboração foi o da radioquímica, que reunia a técnica da química analítica aplicada a fenômeno invisível, a radioatividade. Mais tarde, na década de 1930, ocorreram outras colaborações entre físicos e químicos, expressas nos casos emblemáticos do casal Joliot-Curie, bem como no grupo de Enrico Fermi, em Roma. Ahamos que essas várias colaborações ainda estão por ser estudadas.

⁵⁵⁰ Estranhamente, pouco se escreveu sobre a vida e a obra de Pierre Demers. Até mesmo as datas de nascimento e morte não pudemos encontrar. Além de GALISON (1997b), há breve trecho em GRINGAS (1991, p. 80) sobre Demers, que o situa no quadro de modernização da Universidade de Montreal, que, em 1945, havia contratado o físico Marcel Rouault, especialista em análise por raios X. Pouco depois, Rouault

esses resultados em 1946, mas os descreveu, ainda no ano anterior, em relatórios internos de sua instituição.⁵⁵¹

Ao final da guerra, o chamado Gabinete de Assessoramento sobre Energia Atômica estabeleceu dois painéis: um voltado para aceleradores de partículas e outro para o desenvolvimento de emulsões apropriadas ao estudo da física.

Depois de deliberações iniciais, as novas chapas fotográficas, segundo os anseios dos físicos do painel, deveriam:

- i) ter menos nevoeiro de fundo causado por radiação gama;
- ii) ter pouca variação do número de grãos por traços;
- iii) resistir à fadiga sob o longo tempo que passavam sob o microscópio.

Aspecto importante deve ser adiantado logo neste início: a ideia inicial para a montagem do Painel de Emulsões⁵⁵² era o desenvolvimento da técnica de emulsões para a área de energia nuclear⁵⁵³ e para o desenvolvimento de bombas nucleares. Porém, o interesse principal do painel era outro:

“O Painel de Emulsões foi montado em 1946⁵⁵⁴, instigado pelo Professor Blackett, com a ideia de dar apoio ao programa de energia nuclear (e provavelmente a armas nucleares). Obviamente, nenhum dos membros do painel tinha o menor interesse nesses dois tópicos, e nós [físicos experimentais] queríamos apenas um bom detector para a física de partículas.”⁵⁵⁵

Além da lista de três itens apontada acima, havia duas outras propriedades que deveriam ser modificadas nas chapas convencionais, para que elas se tornassem adequadas ao uso em física nuclear e raios cósmicos: a) uma espessura maior da camada de gelatina;⁵⁵⁶ b) uma maior

passa a se interessar por raios cósmicos e constrói câmara de nuvens para ser carregada por balão. Junta-se a ele Demers, que havia sido treinado em Paris, no Instituto Joliot-Curie e trabalhado com emulsões durante a guerra, nos Laboratórios Nacionais de Pesquisa do Canadá.

⁵⁵¹ DEMERS (1946a,b). Segundo SHAPIRO (1956, p. 342), Demers fez duas comunicações sobre seus trabalhos na confecção de emulsões nucleares: i) relatório do Laboratório de Montreal, Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, PM-I, julho de 1945; ii) relatório do Laboratório de Montreal, Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá, PM-II, setembro de 1945.

⁵⁵² Relatórios dos encontros do Painel de Emulsões estão em GLASSET (1946a,b,c).

⁵⁵³ Devemos lembrar que a primeira usina atômica começou a funcionar em 1956, em Calder Hall, Inglaterra – ver TAVARES (2005).

⁵⁵⁴ Na verdade, foi estabelecido no final de 1945, mas teve a primeira reunião no início do ano seguinte.

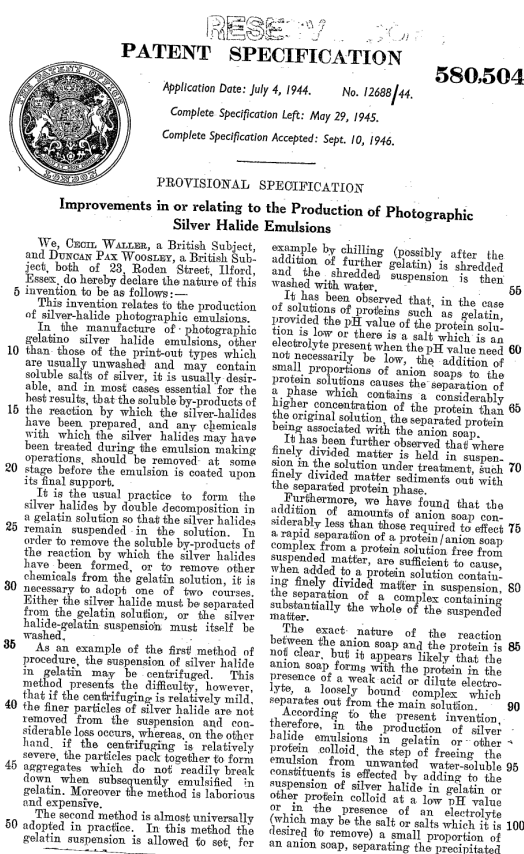
⁵⁵⁵ PERKINS (Comunicação pessoal).

⁵⁵⁶ Como citamos, ainda em 1927 Myssowsky e Tschischow já haviam produzido emulsões com a camada de gelatina na casa dos 50 micrômetros de espessura e já no início da década de 1930 a maior espessura das emulsões era anseio dos físicos.

quantidade de grãos de brometo de prata – isso garantiria o segundo item da lista acima e também menor espaçamento entre os grãos, permitindo consequentemente maior número de grãos por unidade de distância.

O item a) permitiria que partículas com tempos de vida mais longos pudessem ser estudadas pelas emulsões nucleares; o item b), mais precisão para a determinação do alcance e, consequentemente, da energia.

O item relativo à maior concentração de brometo de prata só foi possível de ser cumprido graças a uma patente 'de gaveta'⁵⁵⁷ que dois químicos da Ilford, Cecil Waller, chefe do Laboratório de Pesquisa em Emulsões da Ilford, e seu colega D. P. Woosley, haviam requerido poucos anos antes, ainda durante a guerra. O pedido de patente foi feito, além do Reino Unido, nos Estados Unidos, na Alemanha e na França. Esse novo método de fabricação de emulsões possibilitava aumentar significativamente a quantidade de brometo de prata por unidade de volume na gelatina.



Patente requerida por Waller e Woosley na Grã-Bretanha em 4 de julho de 1944 (Crédito: The Patent Office – London)

⁵⁵⁷ Ver WALLER e WOOSLEY (1944).

E aqui é preciso destacar o papel que a Segunda Guerra teve para fazer deslanchar o interesse pelo desenvolvimento e pela fabricação de novas emulsões. Ao final daquele conflito, a Ilford sabia que parte de seus contratos de guerra iria acabar. Assim, era preciso buscar novos nichos de mercados. Um deles foi justamente o da fabricação de chapas fotográficas especiais para a física nuclear,⁵⁵⁸ campo que, para a empresa, prometia prosperar.



Etiquetas de emulsões nucleares fabricadas pela Ilford (Inglaterra) na década de 1940 (Crédito: Berkeley Lab On-line Photo Archive)

Antes do sucesso do método de Waller-Woosley, pelo menos uma tentativa – como já apontamos – foi feita no sentido de aumentar a quantidade de brometo de prata. Isso se deu ainda em 1939, em colaboração de Powell com a Ilford. A ideia era obter chapas com maior sensibilidade e menor nevoeiro de fundo. Mas a guerra interveio, e os trabalhos não foram adiante:

“Para solucionar esse problema [nevoeiro], foram feitas tentativas em 1939 por um de nós (CFP), em colaboração com o finado Dr. O. F. Bloch, da Messrs. Ilford Ltd, para produzir emulsão contendo quantidade aumentada de brometo de prata. Essa tentativa, na qual a densidade de grãos de brometo de prata na emulsão foi dobrada em relação àquela usualmente empregada, não apresentou melhoria substancial, e experimentos posteriores tiveram que ser postergados por causa da guerra.”⁵⁵⁹

As primeiras novas emulsões com alta concentração de brometo de prata – na verdade, quatro vezes mais que aquela encontrada em chapas fotográficas comerciais – foram entregues

⁵⁵⁸ Vale ressaltar que a física de raios cósmicos parece não ter desempenhado papel algum nesse sentido.

⁵⁵⁹ POWELL, OCCHIALINI, LIVESEY e CHILTON (1946. p. 102).

ao grupo de Bristol e ao grupo de Cambridge. Os resultados foram publicados ainda em 1946, em revista especializada em instrumentação científica.⁵⁶⁰

As emulsões nucleares foram classificadas por letras e números: A, B, C e D, que determinavam o tamanho do grão, e 1, 2 e 3, a sensibilidade. A mais popular para os físicos de raios cósmicos seria a C2, que se mostrou ideal para esse tipo de estudo.

Cerca de três anos depois, outra empresa, a Kodak, depois de contratar físicos especializados em radiação, ganharia a corrida em busca de emulsões sensíveis à ionização mínima, ou seja, a elétrons energéticos (relativísticos). Com essas emulsões, seria capturado o decaimento quase completo dos píons, bem como descobertos novos mésons pesados.⁵⁶¹

Os químicos da Ilford não estavam familiarizados com termos como ‘sensibilidade ao elétron’ e ‘ionização mínima’.⁵⁶²

O método e o projeto Manhattan: tedioso na aplicação

O relatório Smyth⁵⁶³, de 1º de julho de 1945, trazendo um balanço das atividades que levaram à construção da bomba atômica, discute tanto no capítulo 12 quanto no Apêndice 1, o método das emulsões nucleares. Isso demonstra que algum prestígio a técnica havia ganhado entre os físicos e o estabelecimento militar nos Estados Unidos. No entanto, o trecho enfatiza o tédio da varredura e a utilidade limitada:

“O método fotográfico – As trajetórias de partículas individuais passando através da matéria podem também ser observadas em emulsões fotográficas, mas os comprimentos desses traços são tão pequenos que devem ser observados com a ajuda de microscópio, onde essas trajetórias aparecem como séries de grãos revelados, marcando a passagem da partícula. Esse método de observação não requer praticamente nada de adicional, **mas é tedioso e de utilidade limitada**. É possível, no entanto, usar o escurecimento do filme fotográfico como medida da exposição total à radiação,⁵⁶⁴ procedimento que tem sido usado para complementar ou substituir o eletroscópio por questão de segurança em várias partes do projeto [de construção da bomba atômica].” [Grifo nosso]

No Capítulo XII, itens 13 e 36, sobre o trabalho propriamente dito para a construção da bomba, o Relatório Smyth cita o método fotográfico na detecção de nêutrons, entre outras técnicas (eletroscópios, câmaras de ionização, contadores Geiger-Muller, câmaras de Wilson). Porém, destaca que “enquanto a mera detecção de nêutrons não é difícil, a medida das

⁵⁶⁰ POWELL, OCCHIALINI, LIVESEY e CHILTON (1946).

⁵⁶¹ Ver BROWN *et al.* (1949a,b).

⁵⁶² GALISON (1997b, p. 192).

⁵⁶³ Atomic Energy for Military Purposes (The Smyth Report) The Official Report on the Development of the Atomic Bomb Under the Auspices of the United States Government. By Henry De Wolf Smyth.

⁵⁶⁴ Note-se que a fotografia estava sendo usada como medidor de níveis de radiação, procedimento ainda comum em usinas nucleares ou laboratórios que lidam com radioatividade.

velocidades do nêutron é bem mais complexa. A câmara de Wilson e o método fotográfico dão os resultados mais diretos, mas são tediosos⁵⁶⁵ em sua aplicação.”

Como vimos, o tédio⁵⁶⁶ seria característica da qual o método só tentaria se livrar na década de 1950, com o uso da chamada varredura automática ou semiautomática, empregando fotomultiplicadoras, computadores etc., seguindo tendência que estava então sendo aplicada à câmara de bolhas nos Estados Unidos.

Lentes e microscópios: breve interação com a indústria

Antes mesmo da contribuição de Powell e Champion para o aprimoramento da platina do microscópio – para facilitar o posicionamento das chapas –, já havia a preocupação com a parte óptica do método fotográfico. Zhdanov, com vimos, havia, ainda em 1935, chamado a atenção para o fato de o uso de microscópios com binoculares favorecer a observação das chapas.⁵⁶⁷

Porém, o maior desenvolvimento da óptica dedicada às emulsões se daria logo após a implantação do Painel das Emulsões Nucleares, no Reino Unido, portanto a reboque dos desenvolvimentos das emulsões. Alguns modelos de microscópios se tornariam padrão para a tarefa de varrer as emulsões.

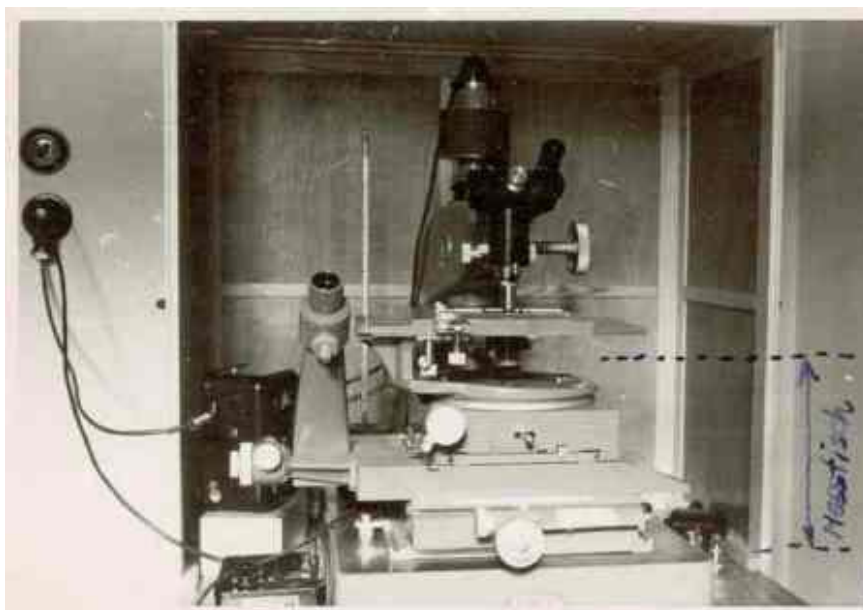
A empresa britânica de instrumentos ópticos Cooke, Troughton & Simms (CTS) respondeu a pedidos do Painel de Emulsões e produziu equipamentos adaptados à observação de emulsões nucleares.⁵⁶⁸ Acreditamos que o modelo M 4005 foi resultado dessa interação. Mais tarde, surgiriam modelos fabricados por empresas alemãs e japonesas.

⁵⁶⁵ Interessante notar que, pela primeira vez, encontramos referência à câmara de nuvens ser tediosa. Em geral, esse qualificativo é aplicado apenas ao método fotográfico.

⁵⁶⁶ A concepção de ‘técnica tediosa’ é subjetiva. Por exemplo, grande especialista na área de emulsões nucleares, o físico Odilon Antônio Paula Tavares, pesquisador do CBPF, ressaltava que a permanência ao microscópio, por horas, era extremamente agradável, pois servia como ‘fuga’ do ambiente ao seu redor e dos problemas do cotidiano. TAVARES (Comunicação pessoal).

⁵⁶⁷ ZHDANOV (1935).

⁵⁶⁸ Alguns modelos fabricados pela CTS: M1005/1025 – modelo para estudantes; M1000 – para uso geral; (introduzido 1946); M2000 – microscópio para a pesquisa e investigação rotineira; (introduzido em 1942); M3000 – assim como o M2000, com estágio de ajuste vertical (introduzido em 1946); M4000 – o ‘padrão universal’ para a visualização e exame fotográficos (introduzido em 1944); M6000 – microscópio estereoscópico (introduzido em 1946); M7000 – microscópio de polarização, série com modelos que vão do M1000 ao M7000 (introduzido em 1947). Para mais detalhes sobre microscópios usados na técnica das emulsões nucleares, ver, por exemplo, ROTBLAT (1950) e GARIBOLDI (2004b).



Microscópio projetado pela empresa Leitz especialmente para varredura de emulsões nucleares; usado em meados da década de 1950 pela equipe de pesquisadores e microscopistas do Instituto Max Planck de Física de Göttingen, que denominava o modelo 'Nukleosaurus' (Crédito: Arquivo pessoal de Juan G. y Beatriz Roederer)

Até a iniciativa de Powell, pouca atenção parece ter sido dada ao microscópio.⁵⁶⁹ É preciso relembrar as palavras de Occhialini: esse equipamento havia permanecido, até pelo menos a primeira década do século passado, quase que exclusivamente no domínio da biologia e da medicina, área em que não era necessário um poder de resolução tão alto como o agora exigido pelas observações das trajetórias de partículas:

“O [microscópio] está em posição desafortunada. É desgraça, e o lado feio dessa situação mostra seus limites em adaptar esse equipamento para esse trabalho [de varredura das chapas reveladas]. O microscópio foi abandonado por muitos anos nas mãos de biólogos e médicos, que não precisavam de medidas precisas. **Mas agora que os físicos têm-no de novo em suas mãos, é possível se certificar da insuficiência desse equipamento.**”⁵⁷⁰ [Grifo nosso]

Os físicos, além de resolução, precisam de movimentos certos. Ou seja, era essencial que o passo com que se deslocava a platina – e, conseqüentemente a emulsão examinada – fosse pequeno e preciso. Esse deslocamento tem que ser extremamente delicado, pois, no caso, as medidas deveriam chegar à precisão da casa do micrômetro ou mesmo frações dessa unidade.

Nos primeiros trabalhos com as emulsões nucleares,⁵⁷¹ o problema da observação já era discutido. Note-se que a varredura também exige calibração individual:

⁵⁶⁹ Esse desenvolvimento foi feito com F. C. Champion, com quem Powell trabalhou na Segunda Guerra Mundial. Ver CHAMPION e POWELL (1944).

⁵⁷⁰ GARIBOLDI (2004b, s/p).

⁵⁷¹ LATTES, FOWLER e CÜER (1947b, p. 887-888).

“As placas foram examinadas com várias objetivas e oculares, com diferentes microscopistas observando as mesmas placas com diversos graus de ampliação. Chamamos a atenção para o fato de que, quando se empregam microscópios com binoculares, a ampliação geral depende da distância interocular empregada e, portanto, varia com observadores diferentes. A calibração individual da escala do micrômetro para cada observador é, assim, essencial. Empregamos como distância-padrão um reticulado de 1 mm fabricado pela Cooke e dividido em cem partes.”

De todos os envolvidos com a técnica na década de 1940, talvez Occhialini tenha sido o que mais se preocupou com o desenvolvimento dos microscópios. Ainda em 1948, desenvolveu o chamado microscópio de reflexão,⁵⁷² que permitia observar as emulsões nucleares através do vidro de suporte, invertendo assim o procedimento normal desses equipamentos.



O físico experimental italiano Giuseppe Occhialini, que se preocupou com o desenvolvimento de microscópios apropriados para a técnica das emulsões nucleares (Crédito: desconhecido)

Na década de 1950, Occhialini e seu grupo em Milão (Itália) haveriam de estabelecer outra interação importante com a indústria. Dessa vez, foi com a italiana Koritska, que também produziu microscópios adaptados aos trabalhos com emulsões nucleares.⁵⁷³ O dono dessa empresa era Mario Cantù, amigo de longa data de Occhialini. Este último solicitou à Koritska que desenvolvesse modelo de microscópio que permitisse pequenos deslocamentos do objeto observado e a consequente medida desses deslocamentos. O modelo ganhou o nome MS2

⁵⁷² BATES e OCCHIALINI (1948). Ver também BURCH (1947).

⁵⁷³ O CBPF chegou a ter um Koritska, mas que, juntamente com dois Cooke, Throughton & Simms, acabou destruído pelo incêndio de 1959 da biblioteca no pavilhão Mário de Almeida, no *campus* da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Koritska, e os testes com o novo equipamento permitiram realizar uma das medidas mais difíceis na técnica das emulsões nucleares: a variação da largura do traço.⁵⁷⁴

“Com um dispositivo desse tipo, fizemos uma série de medidas preliminares tanto do diâmetro de grãos isolados quanto de distâncias entre os grãos. Os resultados foram tão satisfatórios tanto pela rapidez quanto pela precisão que fomos levados a testar o método em uma das medidas mais delicadas nas placas nucleares, aquela que diz respeito à espessura do traço deixado por partículas com carga elétrica unitária no fim de suas trajetórias.”⁵⁷⁵

Depois da iniciativa da Cooke, Troughton & Simms e, mais tarde, da Koritska, outras empresas⁵⁷⁶ passaram a fabricar microscópios adaptados à técnica das emulsões nucleares. Por exemplo, as alemãs Leitz e Zeitz e as japonesas Nitaka, Nalume e Dyoda.⁵⁷⁷

⁵⁷⁴ À medida que a partícula vai perdendo energia ao atravessar a emulsão, ela tende a ‘depositar’ mais energia no meio, o que faz com que seu traço se alargue no final da trajetória. Os físicos usavam esse alargamento como evidência do sentido percorrido pela partícula na emulsão.

⁵⁷⁵ BONETTI, DILWORTH, LADÙ e OCCHIALINI (1954, p. 311). Citado em GARIBOLDI (2006, p. 485).

⁵⁷⁶ É possível levantar a hipótese de que essas empresas de equipamentos ópticos viram, na física nuclear e de raios cósmicos, um nicho de mercado interessante, assim como parece ter sido o caso da indústria fotográfica. Essa motivação também parece estar presente na Cooke, Troughton & Simms, a primeira fabricante de microscópios a se engajar na adaptação desse equipamento para a varredura de emulsões nucleares. Talvez, as outras empresas citadas tenham tido motivação semelhante, apesar de a investigação desse tema não ter sido foco específico desta tese. No Japão, houve interação entre a escola de raios cósmicos e a indústria de equipamentos ópticos, que viu aí, sim, um nicho para a venda de microscópios – SHIBUYA (Comunicação pessoal).

⁵⁷⁷ No CBPF, a equipe liderada por Hervásio de Carvalho empregava modelos Leitz Ortholux. Na Colaboração Brasil-Japão, trabalhava-se com Koritska, Leitz, Zeitz, bem como com os japoneses Dyoda, Nitaka e Nalume, sendo que o Dyoda tinha boa distância entre a platina e as objetivas, permitindo a varredura das câmaras de emulsão, com dimensões (largura e comprimento) na casa das dezenas de centímetros. O Nitaka, que trabalhava acoplado a um motor de passo e a uma fotomultiplicadora (esta última ocupando a terceira ocular), servia para a varredura automática das placas de raios X que faziam parte do ‘sanduíche’ que formava as câmaras de emulsões nucleares.



Powell (esq.) e Occhialini, com duas microscopistas, no Laboratório H. H. Wills, em Bristol (Inglaterra); ao centro da imagem, vê-se microscópio de projeção (Crédito: H. H. Wills Memorial Library)

Em relação às lentes, até onde nos foi possível apurar, houve poucas adaptações delas no sentido de melhorar a técnica das emulsões nucleares. Esses avanços, no entanto, foram significativamente maiores para lentes adaptadas para o campo da fotografia, o que se tornou ciência à parte e para a qual havia cursos de formação na Europa.⁵⁷⁸

Conclusão (capítulo 8)

O estabelecimento de um painel de emulsões no Reino Unido foi fundamental para que as novas emulsões fotográficas – agora, chamadas emulsões nucleares – fossem desenvolvidas segundo os anseios dos físicos nucleares. Mas não foi o único motivo. Temos que juntar ao estabelecimento desse comitê outros fatores, como a busca de novos mercados pela indústria; o interesse pela física de partículas; os propósitos do estabelecimento nuclear britânico; a existência de novos métodos para a fabricação de emulsões concentradas etc. Em resumo: foi a conjunção de fatores científicos, políticos e econômicos que levaram ao desenvolvimento dessas chapas fotográficas especiais.

Ao longo da Segunda Guerra, a técnica das emulsões permaneceu praticamente restrita ao estudo das colisões de prótons por nêutrons, linha de pesquisa considerada ‘convencional’

⁵⁷⁸ Para grandes contribuições para a óptica de lentes, ver KINGSLAKE (1987).

logo após o final do conflito, mas que naquele momento atendia a propósitos do estabelecimento nuclear britânico, mesmo que indiretamente. Também foi classificada como tediosa e de aplicação limitada por um relatório do Projeto Manhattan.

Assim, foi necessário retomar uma tradição iniciada na década de 1930 – expor emulsões à radiação cósmica – para que os primeiros resultados importantes viessem a público, como veremos no próximo capítulo.

Gostaríamos de finalizar esta conclusão com aparente contradição: a atitude de Powell em relação ao esforço de guerra. Já foi dito que Powell era pacifista e que havia se recusado a trabalhar no esforço de guerra e, por isso, estava “encostado em Bristol”.⁵⁷⁹ Mas, ainda que indiretamente, seus trabalhos nos anos de conflito tinham a ver com tema que interessava ao estabelecimento nuclear britânico: nêutrons lentos, úteis para a fissão controlada. Entendemos que a associação dele a essa linha de pesquisa põe em xeque afirmações de que ele se recusava a participar do esforço de guerra. A ampliação dessa questão do ponto de vista histórico esbarra em problema incontornável: a destruição proposital de parte do arquivo de Powell.⁵⁸⁰

Por fim, valeria dizer que o mesmo tratamento de cultura material do laboratório poderia ser dado ao microscópio, que tem papel importante na técnica das emulsões nucleares. Afinal, como disse Powell, a técnica nada mais é que chapas fotográficas e microscópio. Mas esse é trabalho ainda por se realizar.



Saint Rosário, navio cargueiro em que Lattes embarcou do Brasil para Liverpool em 1946 rumo a Bristol; segundo Lattes, a primeira embarcação a transportar passageiros do Brasil para a Europa depois do final da Segunda Guerra Mundial; o embarque provavelmente se deu do porto de Santos (SP) (Crédito: Photoship.UK)

⁵⁷⁹ Lattes no copião da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁵⁸⁰ Acreditamos que isso tenha sido feito para ocultar, das gerações futuras, as simpatias políticas de Powell pelo socialismo e pelo então regime da União Soviética.

CAPÍTULO 9

A PRODUÇÃO NATURAL DO MÉSON PI

Introdução

Nas palavras bem colocadas de Alvarez, com a descoberta do pión pelo grupo de Bristol e por Perkins, em 1947, “A sanidade foi restaurada na física de partículas [...]”.⁵⁸¹ Uma forma de interpretar essa declaração é entender que as duas imagens mostrando o decaimento do pión em múon, bem como aquelas mostrando desintegrações nucleares causadas pela absorção da primeira dessas partículas, acabaram com uma controvérsia que se estendeu por exatamente uma década na física nuclear e de raios cósmicos.

Havia um ou dois mésons? Qual a natureza deles? Como eram produzidos?

Essas duas questões básicas – como vimos – reuniram os mais proeminentes teóricos e experimentais da física naqueles dez anos, de 1937 a 1947.

A detecção do decaimento pi-mi fez deslançar técnica que havia passado a década anterior e os anos da Segunda Guerra como algo que poderia ser classificado como não mais que um detector auxiliar, tedioso e de utilidade limitada.

Ao mesmo tempo – e paradoxalmente –, a detecção do decaimento pión-múon representou, logo nesse início, o ponto alto das emulsões nucleares. Bristol se transformaria na meca da técnica, com uma série de jovens físicos, de várias nacionalidades, migrando para lá, para serem treinados na ‘arte’ de expor, revelar e observar emulsões nucleares.

Entre eles, estavam dois brasileiros.

As modificações realizadas pela indústria nas emulsões fotográficas – maior concentração de brometo de prata e maior espessura – garantiram imediato sucesso da técnica. Mas foi a volta da associação do método fotográfico à radiação cósmica que trouxe a público resultados importantes.

Com as novas chapas em mãos, dois grupos ingleses passaram a competir na exposição das emulsões à radiação cósmica. Dois fatores parecem ter favorecido o grupo de Bristol: o tipo de emulsão com que trabalharam e o carregamento delas com novos elementos químicos.

Ao final da década, a sensibilidade das emulsões nucleares atinge seu auge: a ionização mínima.

⁵⁸¹ ALVAREZ (1985).

O método vai a teste: Powell, Occhiliani, Livesey e Chilton

“Talvez, o maior triunfo do método fotográfico tenha sido a descoberta de partículas instáveis”. Blau, em visão pessoal dos fatos⁵⁸², cita como exemplos dessas partículas a detecção do méson pi negativo por Perkins, em trabalho publicado no início de 1947, e do méson pi positivo pelo grupo de Powell, publicado em 24 de maio daquele ano.⁵⁸³ Até aquele momento, as emulsões ainda carregavam a pecha de serem técnica meramente auxiliar, que havia apenas demonstrado fenômenos descobertos por outras técnicas (câmara de nuvens, contadores etc.), como os nêutrons, os prótons, as desintegrações nucleares etc.

Terminada a Segunda Guerra, Powell ainda se dedicava ao espalhamento próton-nêutron, quando se deu a chegada de Occhiliani a Bristol. Lattes relata que Powell era conservador e que, ao chegar ao Laboratório H. H. Wills, o físico inglês ainda continuava empregando chapas fotográficas convencionais.⁵⁸⁴

“Quando Occhialini chegou a Bristol, Powell fazia um tipo de física convencional, espalhamento próton-nêutron. Em cima da mesa dele, ainda podíamos ver as chapas fotográficas antigas. Quer dizer, ele era um sujeito conservador.”⁵⁸⁵

Foi a chegada de Lattes e sua associação com Occhialini que parecem ter retomado a exposição de chapas à radiação cósmica. Acreditamos haver razões anteriores para essa iniciativa:

i) Occhialini já havia trabalho com Rossi e Blackett nessa área,⁵⁸⁶ bem como apresentado trabalhos sobre radiação cósmica em sua estada no Brasil, no Symposium de Raios Cósmicos, de 1941, no Rio de Janeiro.⁵⁸⁷

⁵⁸² Para mais detalhes, ver PERLMUTTER (2006).

⁵⁸³ BLAU, M. (1961. p. 210). É interessante notar o viés de Blau, ao dar a Perkins a primazia da descoberta do pión negativo e ao grupo de Bristol a do pión positivo. Isso pode ser entendido quando se lê o artigo de PERLMUTTER (2006), no qual ele afirma ter escutado de Blau essa divisão de primazias. Nesse mesmo texto, o autor diz que Blau considerava Lattes o “prodígio” do grupo de Bristol. Essas classificações devem ser entendidas em contexto mais amplo: Blau, segundo Perlmutter, apesar de seu estilo lacônico, deixava transparecer ressentimento por não ter ganhado o Nobel de 1950 juntamente com Powell.

⁵⁸⁴ Provavelmente, Ilford do tipo Half-tones.

⁵⁸⁵ Lattes em cópia da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁵⁸⁶ Lattes, por várias vezes, em entrevistas, ressaltava ter sido Occhialini o responsável por acrescentar um circuito de coincidência à câmara de nuvens que estava sendo empregada no início da década de 1930 por Blackett – sendo que dessa parceria resultaria a confirmação da descoberta do pósitron e a detecção de fótons decaindo em matéria (elétron) e antimatéria (pósitrons). Blackett já trabalhava, desde meados da década de 1920, no Laboratório Cavendish, sob supervisão de Rutherford, com câmara de nuvens; Occhialini tinha experiência com os circuitos de coincidência, técnica que aprendeu em Florença com Bruno Rossi, do qual foi aluno pouco antes de partir para a Inglaterra. No entanto, trabalho historiográfico recente,

ii) Lattes, que por influência de Occhialini, seu professor na USP, já havia colocado para funcionar uma câmara de nuvens deixada por este último no Brasil.⁵⁸⁸

Aqui, o termo ‘retomado’, citado acima, merece explicação. As primeiras exposições de chapas fotográficas aos raios cósmicos se deram em 1935, em voos de balões Explorer II, que levaram esse detector a cerca de 23 km de altitude, permanecendo lá por horas. A primeira análise dessas chapas⁵⁸⁹, em 1936, encontrou apenas evidências de partículas alfa resultantes da emissão dessa radiação por elementos radioativos das próprias emulsões. Porém, pouco depois,⁵⁹⁰ outros artigos afirmaram ter detectado desintegrações e trajetórias longas de partículas, apesar de muitas das conclusões serem controversas. Mas é fato que essas foram as primeiras exposições de chapas fotográficas à radiação cósmica – algo que, desde 1932, é preciso lembrar, Blau já vislumbrava.

As emulsões nucleares foram testadas logo depois de finalizados os primeiros lotes pela Ilford. O primeiro trabalho que atesta a adequação das emulsões foi publicado em 1946. Na abertura, os autores já demonstram otimismo em relação às novas chapas, enumerando avanços obtidos em relação à chapa Half-tone:

- i) a ‘resolução de energia’ é muito melhor que a obtida anteriormente com o método;
- ii) a visibilidade dos traços e a ausência de fundo permitem nova forma de abordar os problemas técnicos de a) procurar novos eventos, b) contar e medir um grande número de traços, c) carregar as emulsões com outros átomos para experimentos específicos.

Os autores terminam a abertura com as mesmas palavras da conclusão:

cujo foco é exatamente o equipamento empregado por esses dois pesquisadores, não afirma que a iniciativa do controle automático tenha partido de Occhialini. A documentação histórica aponta no sentido de a iniciativa ter sido conjunta. Outros autores, em extenso artigo de revisão sobre a câmara de nuvens, afirmam que “Blackett e Occhialini (1933) e Anderson (1933) introduziram quase simultaneamente a câmara [de nuvens] controlada por contadores”. Ver DAS GUPTA e GHOSH (1946, p. 242). Para versão do próprio Blackett sobre o tema, ver BLACKETT (1948). Para uma discussão história da invenção da câmara de nuvens controlada por circuitos de coincidência, ver LEONE e ROBOTTI (2008). Para a relação de Occhialini com a física de raios cósmicos na década de 1930, ver BUSTAMANTE (2006).

⁵⁸⁷ Ver SYMPOSIUM DE RAIOS CÓSMICOS (1943).

⁵⁸⁸ Lattes, depois de trabalhos teóricos com Wataghin, bem como Schenberg e Schutzer – ver LATTES, SCHÖNBERG, SCHULTZER (1947) e LATTES e WATAGHIN (1945) e LATTES e WATAGHIN (1945) – optou pela física experimental, indo trabalhar com a câmara de nuvens de disparo automático deixada por Occhialini, em São Paulo. Nesse trabalho, Lattes se juntou a Ugo Camerini e Andréa Wataghin. Segundo Lattes, a decisão de ir para a Inglaterra se deveu às más condições na USP para a física experimental – ver PINTO e FRANKEN (1976).

⁵⁸⁹ RUMBAUGH e LOCKER (1936).

⁵⁹⁰ WILKINS e ST. HELENS (1938).

“[...] os resultados com as novas emulsões são agora suficientemente bons para remover as objeções de alguns físicos em relação ao(s) método(s) e levar ao vasto uso dele.”⁵⁹¹

A técnica das emulsões nucleares dava o primeiro passo para se livrar das objeções atribuídas a ela pelos físicos nucleares na década anterior. Isso fica mais uma vez patente na finalização do artigo:

“As grandes melhorias nas propriedades das emulsões que têm sido alcançadas pelo simples expediente de aumentar a quantidade de haletos de prata sugerem fortemente que será possível, pela variação de outros fatores, assegurar futuras melhorias. Nesse sentido, fomos informados pelo Dr. Rotblat que o Sr. Demers, do Conselho Nacional de Pesquisas Canadenses, em pesquisas independentes e com método diferente do nosso, produziu emulsões altamente superiores às convencionais Half-tone. As emulsões de Demers têm, no entanto, grãos menores que as nossas, e fomos informados de que isso, desse modo, torna possível apresentar características dos traços em detalhes até mesmo superiores.”

É interessante notar que as objeções – citadas na referência 5 do artigo⁵⁹² – são as do estabelecimento nuclear norte-americano, apresentadas no relatório Smyth⁵⁹³ e não as de Taylor ou as de Livingston e Bethe, da década anterior.

Em todo caso, para usar as palavras do próprio artigo, a técnica ganhou seu impulso inicial; logo depois, na sequência de experimentos de Bristol, viria um trabalho muito citado, porém pouco conhecido pela historiografia da técnica. Esses resultados deram ao método o que talvez seja seu primeiro contorno quantitativo.

Calibração: citada na física, desconhecida pela história

Nesse pré-cenário da detecção do méson pi, é preciso citar um trabalho que nos parece fundamental para o desenvolvimento da técnica, apesar de ter seus resultados pouco enfatizados na literatura histórica sobre as emulsões. Trata-se da calibração das emulsões da Ilford por três

⁵⁹¹ POWELL, OCCHIALINI, LIVESEY e CHILTON (1946, p. 106). Nesse primeiro artigo é possível ver um reflexo da constituição do Painel de Emulsões: Powell e Occhialini representando a academia; Chilton, a indústria (Ilford, no caso); e Livesey, o Laboratório Cavendish, no qual havia pesquisas financiadas pelo Departamento de Energia Atômica do Ministério do Suprimento [Ministry of Supply]. Outro caso emblemático de pesquisa básica financiada pelo Departamento de Energia Atômica é BRODA (1946).

⁵⁹² Ver SMYTH (s/d, p. 232).

⁵⁹³ De autoria do físico norte-americano Henry DeWolf Smyth.

jovens físicos: Lattes, Fowler e Cüer. Isso se deu ainda em 1946, com resultados publicados no ano seguinte.⁵⁹⁴

Porém, antes, vale um contexto mais amplo, anterior e posterior aos trabalhos em Bristol.

Na França, Tsien San-Tsiang⁵⁹⁵ e colegas já haviam calibrado chapas fotográficas Half-tone, da Ilford, para partículas alfa provenientes do polônio. Nos Estados Unidos, começavam os trabalhos de calibração das chapas fabricadas pela Eastman, sendo que uma das conclusões desse estudo⁵⁹⁶ foi apontar para o fato de que os lotes precisariam ser calibrados um a um – o que praticamente inviabiliza a padronização do método. Esse resultado causou desânimo no Grupo de Emulsões do Laboratório de Radiação da Universidade da Califórnia, que, naquele momento, tentava, sem sucesso, reproduzir os resultados do grupo de Bristol do início de 1947.

De 1946 até 1958, cerca de uma dúzia de experimentos de calibração foram feitos. Entre eles, vale destacar, por sua conexão com a história da física no Brasil, o do físico brasileiro Hervásio de Carvalho (1916-1999), tendo como assistente o norte-americano Jerome I. Friedman,⁵⁹⁷ feito em 1955, com emulsões G5,⁵⁹⁸ no síncrotron de Chicago.

A última das calibrações parece ter sido o de Walter Barkas, em (1958), em Berkeley.⁵⁹⁹

O artigo de Lattes, Fowler e Cüer⁶⁰⁰ ganhou pouco destaque nas revisões históricas sobre a técnica das emulsões. Mas foi muito citado em trabalhos das décadas posteriores. E a razão para isso é simples: um detector, qualquer que seja, precisa ser necessariamente calibrado. As emulsões nucleares Ilford tinham mais brometo de prata que as chapas fotográficas convencionais (quatro vezes mais que as chapas comerciais). E isso alterava seu poder de freamento da matéria. Dito de modo mais técnico, era preciso obter novas curvas de calibração para as novas emulsões, ou seja, aquelas que relacionam o comprimento do traço com a energia da partícula que a atravessa.

⁵⁹⁴ LATTES, FOWLER e CÜER (1947b).

⁵⁹⁵ Acreditamos se tratar do mesmo físico que interagiu com Guido Beck na estada deste último na França. Ver SAN-TSIANG, CHASTEL, FARAGGI e VIGNERON (1946).

⁵⁹⁶ PECK JR. (1947).

⁵⁹⁷ Ver DE CARVALHO e FRIEDMAN (1955). Friedman ganhou o Nobel de Física de 1990, juntamente com Henry Kendall (1926-1999) e Richard Taylor, por experimentos envolvendo a colisão de prótons e nêutrons essenciais para o desenvolvimento do modelo de *quarks* na física de partículas.

⁵⁹⁸ As emulsões G5 já eram sensíveis à ionização mínima, ou seja, detectavam elétrons relativísticos.

⁵⁹⁹ Ver BARKAS *et al.* (1958). Para mais detalhes sobre esses experimentos, ver GRILLI (1987). Rotblat, chefe do Painel de Emulsões, também se dedicou ao assunto no início da década de 1950. Ver ROTBLAT (1951).

⁶⁰⁰ LATTES, FOWLER e CÜER (1947a). Uma observação é necessária: os resultados do trabalho de calibração foram enviados para a *Proceedings of the Physical Society of London*, sendo recebidos para publicação em 2 de janeiro de 1947 (portanto, os experimentos ocorreram ainda em 1946). No entanto, a publicação desses resultados atrasou, o que levou os autores a publicarem resumo deles em *Nature*, em 1º de março de 1947.

Os resultados desse primeiro artigo foram usados por anos para relacionar o tamanho da trajetória de uma partícula de carga elétrica unitária (próton, píons, múons etc.) com a energia delas.

“Pela análise dos traços, obtivemos relação de alcance-energia para prótons até cerca de 10 MeV **que foi utilizada por anos, em pesquisas nas quais uma única partícula carregada era detectada (por exemplo, píons e múons).**”⁶⁰¹ [Grifo nosso]

O trabalho mostra prestígio dos três jovens físicos: a tarefa de calibrar as emulsões,⁶⁰² no contexto do surgimento das novas chapas, era, sem dúvida, importante e implicava responsabilidade na obtenção e análise dos resultados – afinal, esses resultados serviriam como ‘padrão’ para outros experimentos e trabalhos teóricos. A tarefa foi atribuída a eles por Powell.

Há, no artigo, equações ‘clássicas’ da física nuclear. Uma delas é de nosso interesse: a desintegração do boro 11 por dêuterons, dando como resultado carbono 12 e um nêutron (com energia por volta de 13 MeV). A inclusão dessa reação ao conjunto delas parece ter sido iniciativa de Lattes e nos parece quase como experimento à parte em relação à calibração.

Por quê?

Sua intenção era estudar os nêutrons cósmicos⁶⁰³ e, para isso, solicitou o carregamento das emulsões nucleares com o bórax (tetraborato de sódio). Esse é um dado importante para a pergunta que tentaremos responder. Note-se também que a ideia de Lattes era expor as chapas à radiação cósmica.

Vemos com isso que Lattes – para nos determos à personagem que mais nos interessa – foi aos poucos se aproximando de seu objetivo inicial: lidar com as emulsões em temas ligados a raios cósmicos.

Na exposição de chapas com boro à radiação cósmica, a reação seria algo diferente daquela obtida no acelerador (de Cambridge): o choque do nêutron cósmico com o boro 10

⁶⁰¹ LATTES (1947b, p.1).

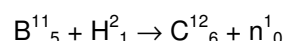
⁶⁰² Lattes, em artigo – ver Lattes (1984) –, alega que a motivação para esse experimento foi o de calcular o fator de encolhimento das emulsões, ou seja, quanto as emulsões encolhem ao perderem boa parte das moléculas de brometo de prata que não foram sensibilizadas pela partícula que atravessou a emulsão; em outras palavras, que não formaram imagem latente. No entanto, estranhamente, não nos pareceu haver nos dois artigos (LATTES, FOWLER e CÜER 1947a e LATTES, FOWLER e CÜER 1947b) qualquer menção ao estudo desse fator. Há, sim, referências ao poder de freamento das novas chapas, bem como ao poder de resolução e ao poder de discriminação. Porém, admitimos que a questão merece exame mais detalhado.

⁶⁰³ Esses resultados foram publicados em LATTES e OCCHIALINI (1947), artigo pouco citado pela literatura histórica do período, em função, nos parece, de ter sido ofuscado pelos resultados relativos à detecção da desintegração nuclear por píons negativos e o decaimento do pión positivo em Bristol. Mais uma vez, essa linha de pesquisa não era inédita: Powell e Fertel, no final da década de 1940, usando o método fotográfico, haviam estudado a velocidade de nêutrons rápidos.

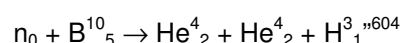
produziria duas partículas alfa (hélio 4) e um trítio (hidrogênio 3), que, por serem carregadas, deixariam traços na emulsão. Esse experimento ‘particular’ demonstra um início de independência de Lattes em relação ao programa do grupo de Bristol.

Vejamos a passagem nas palavras de Lattes:

“No mesmo experimento, **coloquei** placas tratadas com bórax, que a Ilford tinha **preparado a meu pedido**, na direção do feixe de nêutrons produzidos na reação:



que dá um pico de nêutrons em aproximadamente 13 MeV. A ideia, que funcionou bem, era obter a energia e o momento dos nêutrons, independentemente de sua direção de chegada (que não era conhecida), pela reação:



Tanto o carregamento das emulsões (com boro) quanto a ideia de detectar nêutrons cósmicos estão na base de eventos importantes que iriam ocorrer no H. H. Wills em 1947, a saber: a detecção das primeiras desintegrações nucleares obtidas pela absorção de píons negativos, bem como a detecção do primeiro decaimento píon-múon – e, naquele mesmo ano, o cálculo da razão das massas destas últimas partículas.

O carregamento com boro também seria responsável por livrar as emulsões da pecha de não serem úteis ao estudo dos nêutrons, como imputado ao método por Taylor.⁶⁰⁵ O estudo dos nêutrons cósmicos renderia artigo – pouco conhecido – de Lattes e Occhialini naquele início de 1947, no qual eles mostram que a técnica é bem adaptada para o estudo dessas partículas neutras:

“Concluimos que as determinações da energia e do momento de nêutrons rápidos podem ser feitas com placas carregadas com boro. [...] parece ser possível, com emulsões espessas, aplicar o método em experimentos com nêutrons de energia até 100 MeV e possivelmente mais altas”.⁶⁰⁶

⁶⁰⁴ A tradução do texto se deve ao Prof. Dr. Roberto A. Martins, do Instituto de Física da Unicamp. Grifo nosso.

⁶⁰⁵ TAYLOR (1935a).

⁶⁰⁶ LATTES e OCCHIALINI (1947).

Por fim, vale ressaltar uma sutileza desse artigo de Lattes e Occhialini que parece ter passado despercebida nas revisões históricas sobre a técnica das emulsões: a interação⁶⁰⁷ entre físicos experimentais e teóricos, incomum, nos parece, na época.

Competição nas alturas: Bristol *versus* Imperial College

Na Inglaterra, dois grupos competiam pela detecção de píons em meados da década de 1940: a Universidade de Bristol e o Imperial College. O termo 'grupos', talvez, seja exagerado, pois em Londres o trabalho era feito, de forma isolada, pelo físico Donald Perkins, que havia recebido a incumbência de investigar o tema por seu orientador, George Thomson (1892-1975).⁶⁰⁸ Portanto, mais justo seria dizer que um homem competia com um grupo, pois em Bristol, contando com pesquisadores, visitantes e microscopistas, o número de pessoas devia chegar à casa de 20 integrantes.



O físico britânico Donald Perkins, que em 1947 detectou o pión negativo, em emulsões nucleares
(Crédito: desconhecido)

⁶⁰⁷ Isso se mostra no agradecimento a J. W. Mitchell, pela preparação dos alvos de berílio. A interação, portanto, não era a 'convencional', ou seja, com teóricos fornecendo teorias ou modelos; no entanto, a citação mostra que algum contato havia entre essas duas subculturas da física.

⁶⁰⁸ George Paget Thomson (1892-1975), filho de Joseph John Thomson (1856-1940), ganhou o Nobel por trabalhos experimentais que mostraram o fenômeno da difração obtido por meio de elétrons atravessando cristais, o que comprovou ideia teórica de alguns anos antes do físico francês Louis de Broglie, que havia mostrado que essas partículas poderiam se comportar como ondas. Depois da Segunda Guerra, seu interesse se voltou para as possibilidades de se empregar deutério para a obtenção de energia nuclear.

A estratégia de Perkins foi expor as novas emulsões em voos de grande altitude (entre 11 e 14 km), por cerca de uma hora, em aviões da Unidade de Reconhecimento Fotográfico da Real Força Aérea Britânica, a RAF. Apesar da desigualdade em termos numéricos, foi essa estratégia que levou à primeira detecção de desintegração nuclear com base na captura do pión negativo termalizado,⁶⁰⁹ como previa a teoria de Tomonaga e Araki de poucos anos antes.⁶¹⁰

Vale se estender sobre a iniciativa de Perkins.

No Imperial College, em Londres, ele, então recém-formado e em busca de tema para seu doutorado, defrontou-se com artigo que desfilava as características da pesquisa com radiação cósmica:

“O acaso também teve seu papel sobre minha escolha em trabalhar em 1945 com raios cósmicos como tópico de pesquisa para o grau de doutorado no Imperial College. Eu havia acabado de ler uma declaração de Karl K. Darrow, ex-presidente da Sociedade Norte-americana de Física, na qual era descrito o estudo de raios cósmicos, com destaque marcante ‘para o detalhamento dos fenômenos, a delicadeza do aparato, as excursões aventureiras dos experimentadores e a grandeza das inferências.’ Pensei que aquilo soava muito promissor. [...]”⁶¹¹

Perkins passa a expor emulsões da Ilford à radiação cósmica em voos em outubro de 1946. Sabemos que, em novembro daquele ano, ele recebe de volta essas chapas, que eram do tipo B1. Vejamos depoimento de Perkins:

“As emulsões do tipo B1 que eu usei foram expostas em aviões da unidade de reconhecimento da RAF [Royal Air Force] Bensom, em Oxfordshire, em outubro de 1946. Recebi as chapas de volta em novembro e achei o pión negativo naquele mês. Eu levei poucas semanas para analisar o evento e escrever artigo para publicação na *Nature*. O que eu não enfatizei é que, já que o evento era em núcleo leve (C, N ou O), em função de os prótons ejetados serem de baixa energia (3-4 Mev), esse evento era completamente diferente daqueles obtidos em Roma [por Conversi, Pancini e Piccioni] ao nível do mar, nos quais os mésons negativos todos decaíam quando chegavam ao repouso no carbono. O artigo de Conversi e Pancini [e Piccioni] estava na [edição da] *Physical Review*, que havia sido publicado nos Estados Unidos naquele mesmo período [1945], mas não havia chegado à Inglaterra até abril de 1947 (pois os periódicos eram todos enviados por via marítima naqueles dias). Tudo o que eu sabia sobre o trabalho dos italianos vinha de rumores.”⁶¹²

A publicação das primeiras desintegrações nucleares obtidas por Bristol foram publicadas cerca de duas semanas depois da publicação do artigo de Perkins. No entanto, há pelo menos um documento histórico que joga o descobrimento dessas desintegrações achadas nas emulsões expostas no Pic-du-Midi para algo como novembro de 1946 – portanto, quase simultaneamente ao

⁶⁰⁹ PERKINS (1947).

⁶¹⁰ TOMONAGA e ARAKI (1940).

⁶¹¹ PERKINS (2005, p. 3).

⁶¹² PERKINS (Comunicação pessoal).

achado de Perkins. Os quase três meses para a publicação do artigo assinado por Occhialini e Powell se deveram, segundo esse documento, ao tempo necessário para a equipe de Bristol se certificar de que os traços relativos ao decaimento pión-múon pertenciam ao mesmo evento, ou seja, não eram mera sobreposição, ocorrida por acaso, de dois eventos não relacionados.

Vale aqui reproduzir esse documento, pois ele esclarece janelas temporais que até agora se mantiveram obscuras. O documento a seguir é uma carta de Peter Fowler:

“Eu estou certo de que os primeiros dois eventos de ‘mésons duplos’ [decaimento do pión em múon] foram achados com uma semana de diferença entre eles, e acho que isso foi em novembro de 1946. Esses são os dois eventos, cujas imagens são mostradas no artigo publicado em *Nature* em maio de 1947 (*Nature* 159, 694-697, (1947)). Você bem pode se perguntar sobre o porquê do atraso na publicação.

Por longo período, esses foram os únicos dois exemplos que eles [Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell] tinham, e apenas um deles era completo. No primeiro exemplo, o méson secundário [múon] deixava a superfície da emulsão fotográfica, talvez uns 20 micrômetros antes do verdadeiro fim de seu alcance. Eles estavam preocupados também com as chances de coincidência, i. e., que cada uma das trajetórias dos pares não estivessem relacionadas entre si. Eles, portanto, queriam obter outros exemplos. Eles estavam também preocupados com o fato de o secundário poder ser ou não [da mesma natureza que] o primário [pión] [...]. Por essas razões, Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell postergaram a publicação inicial, na esperança de encontrar mais eventos para confirmar (ou não) o alcance peculiar do méson secundário.”⁶¹³

Artigo assinado apenas⁶¹⁴ por Occhialini e Powell traz os primeiros resultados obtidos com as chapas expostas no Pic-du-Midi – principalmente, aquelas contendo boro. Esse artigo traria cerca de meia dúzia de desintegrações nucleares pela captura de píons negativos.

⁶¹³ Reproduzido de GARIBOLDI (2004b). Carta de Peter Fowler (Bristol) para N. McWhirter (Londres), datada de 2 de setembro de 1990. Documento depositado em Fowler Papers, Bristol University Special Collections DM 1946/J.55.

⁶¹⁴ OCCHIALINI e POWELL (1947). Há duas questões que devem ser ressaltadas em relação a esse artigo. A primeira delas é: por que Lattes não o assinou? O autor desta tese teve a chance de fazer esse questionamento ao físico brasileiro, com base no fato de ele, Lattes, afirmar ter sido o responsável pelo pedido de carregamento das emulsões com bórax junto à Ilford e pela solicitação a Occhialini de levar as chapas para exposição no Pic-du-Midi nas férias deste último no final de 1946. A resposta de Lattes foi a seguinte: “Eu protestei [junto a Occhialini]”. Uma forma de interpretar essa resposta é entendendo que Lattes se sentia merecedor da autoria do trabalho. É preciso lembrar, no entanto, que a ideia inicial do brasileiro, ao inserir bórax nas emulsões, era a de estudar os nêutrons cósmicos. A diminuição do esmaecimento foi um desdobramento inesperado dessa inclusão. Um trabalho com esses resultados, assinado por Lattes e Occhialini, foi publicado logo em seguida ao primeiro daquele ano, de Occhialini e Powell. O porquê de Occhialini não ter incluído o nome do Lattes não está ainda bem esclarecido. O segundo aspecto que nos parece importante é relativo à versão de Lattes sobre a confecção desse artigo. Segundo Lattes, Occhialini teria dito “nestas o Powell não bota as mãos” e passado a noite inteira

O grupo de Bristol tinha outra vantagem – além da numérica – em relação a Perkins: as emulsões C2, da Ilford, que se mostrariam as melhores para o trabalho com raios cósmicos. Perkins, cerca de 60 anos depois desses eventos⁶¹⁵, ainda atribuiria a vantagem do grupo de Powell ao acesso antecipado a esse tipo de emulsão.



Neto de Rutherford, o físico britânico Peter Fowler colaborou com Lattes na calibração das primeiras emulsões nucleares produzidas pela empresa Ilford em experimento feito em 1946 (Crédito: University of Bristol Special Collections)

Perkins trabalhou inicialmente com as do tipo B1 e B2, menos sensíveis que as primeiras. Para Perkins, as C2 só chegariam no verão de 1947:

“Powell em Bristol estava usando emulsões Ilford (as do tipo *half-tone*) por vários anos (de fato, desde 1939). Eu cheguei ao Imperial College apenas no final de 1945. Então, seria natural que Cecil Waller mandasse as melhores emulsões (C2) para Bristol, e em 1946 eu pude apenas obter emulsões do tipo B1 e B2, as

trabalhando nas chapas expostas no Pic-du-Midi e, na manhã seguinte, enviado artigo – com o nome de Powell também como autor, mas sem o conhecimento deste – para a *Nature*. Há incoerências nesse relato. Primeiramente, o processo de revelação não é simples, principalmente quanto à última etapa, a lavagem das chapas reveladas, que leva em geral horas para se finalizar. Além disso, Occhialini teria ainda que observar as emulsões reveladas ao microscópio, fotografar os eventos importantes, escrever carta (*letter*) para o periódico. Em vista do tempo tomado por essa sequência de tarefas, é mais provável que a expressão de Lattes relativa ao artigo ter seguido na manhã seguinte para publicação deve ser vista como força de expressão para dar dramaticidade ao relato. Segundo nossos cálculos, seria necessário passar pelos menos 48 horas, praticamente ininterruptas, para que essa tarefa fosse completada. Para outras visões da detecção do pión em Bristol, ver LOCK (1990), LOCK (1997a,b) e O’CHEALLAIGH (1982), OCCHIALINI (1981), PERKINS (1997), SHIBUYA (1997), VIDEIRA (1997), VIDEIRA e VIEIRA (1999), VIEIRA (2005a,b).

⁶¹⁵ PERKINS (Comunicação pessoal).

quais eram muito menos sensíveis. Eu não consegui lote de C2 até o verão de 1947. O pessoal de Cambridge (Livesey e Gibson) estava interessado em detectar a fissão quaternária do urânio,⁶¹⁶ e, para isso, a Ilford os supriu com emulsões A, que eram ainda menos sensíveis. Acho que a Ilford também queria testar os diferentes tipos de emulsões com os físicos experimentais para avaliar precisamente as reações deles. Havia muita ‘magia negra’ nos trabalhos iniciais. Por exemplo, Giulio Lattes descobriu que, ao carregar as emulsões com sais de boro, a sensibilidade aumentava e reduzia o esmaecimento da imagem latente – apesar de não ser claro por que isso funcionava.”⁶¹⁷

Pesou, portanto, o fato de Powell já ter contato com a Ilford desde o final da década de 1930, colaboração em que tentou desenvolver emulsões com alta concentração de brometo de prata.

Mas há mais, nos parece, nessa história. Primeiramente, Powell era mais velho e mais bem relacionado que Perkins, então um jovem estudante que trabalhava praticamente isolado no Imperial College e que tinha um orientador que, apesar de prestigioso (era Nobel de Física), não se mostrava muito interessado nos desdobramentos da pesquisa de seu orientado.⁶¹⁸ Powell mantinha amizade – em função de sua longa estada em Cambridge – com físicos então de renome no pós-guerra, como Chadwick e Blackett. Para a Ilford, do ponto de vista financeiro – e devemos pensar nesse aspecto também –, Bristol e suas relações pareciam ‘mercado’ mais atrativo para se investir, principalmente no momento em que os contratos de guerra haviam cessado para a indústria e se dava a busca por novos nichos de venda.

Lattes sempre deixou claro que havia competição. E o que mais chama a atenção é o fato de Perkins, apesar de desfavorecido na disputa, ter chegado primeiramente às desintegrações nucleares por captura de píons negativos, primazia que – não muito raramente – acaba ofuscada em função da descoberta, pouco depois, do primeiro decaimento píon-múon por Bristol.

Chapas com bórax: a retomada de algo ‘deconhecido’

Vimos, neste capítulo, que Lattes, Fowler e Cüer⁶¹⁹ publicaram em 1947 artigo sobre a transmutação de elementos leves com o método fotográfico. Nele, as agora chamadas emulsões nucleares foram calibradas para partículas de carga elétrica unitária. Vimos também que um lote de emulsões havia sido carregado com boro, no que parece ser um subexperimento idealizado pelo próprio Lattes, para estudar nêutrons cósmicos.

Queremos agora tentar lançar luz sobre o carregamento das emulsões. Começemos com uma questão simples:

⁶¹⁶ Fenômeno raro, a fissão quaternária, como o nome indica, é a desintegração do núcleo de urânio em quatro fragmentos. Há também a fissão terciária e a binária, esta última sendo a mais comum.

⁶¹⁷ PERKINS. (Comunicação pessoal).

⁶¹⁸ Mais detalhes em PERKINS (2005).

⁶¹⁹ LATTES, FOWLER e CÜER (1947a).

Lattes conhecia os trabalhos de Taylor e Goldhaber?

Muito provavelmente, não. Porém, antes de seguir com essa questão, vale citar trecho de comunicação pessoal feita a nós por Perkins: “[...] Giulio Lattes descobriu que carregar emulsões com sais de boro melhorava a sensibilidade e reduzia o esmaecimento da imagem latente – apesar de não ser claro por que isso funcionava”.⁶²⁰

Vemos, na declaração de Perkins, que a ‘descoberta’ do carregamento com boro é atribuída a Lattes – vale ressaltar que Lattes sempre se atribuiu esse feito.

Para responder à pergunta proposta aqui, é preciso adentrar terreno externo ao da história da ciência: o da psicologia humana (ainda que o façamos de forma temerária, sem o treinamento e o conhecimento para tal). Para os que tiveram a chance de conhecer Lattes – como foi o caso do autor desta tese –, foi possível notar que um dos traços de sua personalidade era o de minimizar seu papel nas descobertas – ele costumava dizer, por exemplo, que não havia descoberto o pión em Berkeley, mas apenas detectado algo que o acelerador já produzia desde o final de 1946, quando entrou em funcionamento. Também nunca se atribuiu papel de destaque na chamada produção natural do pión.⁶²¹ A não ser por um aspecto: o carregamento das chapas e, por vezes, a iniciativa de ter pedido a Occhialini que levasse as emulsões para serem expostas no Pic-du-Midi, nos Pirineus franceses.⁶²²

Portanto, ousamos – e o verbo aqui é bem apropriado – dizer que Lattes desconhecia os artigos da década de 1930 que empregavam emulsões carregadas com boro. Os motivos nos parecem ser:

- i) não foram trabalhos de grande impacto na época (ainda mais por terem sido feitos com método pouco popular, visto com desconfiança pelos físicos nucleares da época);
- ii) entre a publicação dos artigos de Taylor e Goldhaber e a realização dos experimentos em Bristol, houve um conflito de proporções mundiais, no qual a divulgação em larga escala dos resultados ficou significativamente comprometida.

Conta a favor de Lattes o fato de ele já ter tido a iniciativa de carregar emulsões nucleares com boro no experimento com Fowler e Cüer, ainda em 1946, para estudar propriedades de nêutrons cósmicos. Portanto, o boro não foi resultado de tomada de decisão pouco anterior à saída de Occhialini de férias. A entrega de chapas para seu ex-professor foi a conclusão de plano estabelecido antes: estudar nêutrons cósmicos.

A questão da primazia de Lattes não nos parece tão importante quando comparada com questão com a qual podemos notar ao longo da história da técnica das emulsões nucleares: a

⁶²⁰ PERKINS (Comunicação pessoal).

⁶²¹ BASSALO (1990) e DOBRIGKEIT (1997), por exemplo, discorrem sobre esse tema.

⁶²² Voltaremos a esse tema, pois ele tem a ver com a volta da exposição de chapas fotográficas à radiação cósmica.

redescoberta de métodos e procedimentos. O carregamento de chapas já havia sido empregado por Mügge, ainda em 1909; na década de 1930, empregaram-se chapas com bórax em Cambridge;⁶²³ anos depois, isso foi feito por exemplo, por Schopper e Schopper;⁶²⁴ em Bristol, a mesma iniciativa surge a Lattes.

Ao final desta tese, discutiremos com mais extensão a questão das reinvenções e redescobertas.

NT4 e G5: tornando visíveis mundos que não existiam

Ao final de 1948, a Kodak, que havia entrado no Painele de Emulsões com atraso, conseguiu dar resposta comercial à concorrente Ilford. No caso, tratava-se das emulsões que poderiam capturar traços de partículas de ionização mínima.

Para se chegar à mais alta sensibilidade fotográfica – o que na prática significa capturar trajetórias de elétrons muito energéticos – foi essencial a colaboração entre físicos e químicos. Repete-se, assim, em certo sentido, o cenário de colaboração do final do século 19 em relação à descoberta da radioatividade a que Paneth se refere.

Mas por que a Ilford perdeu a ‘corrida’ para as emulsões nucleares sensíveis aos elétrons relativísticos? Ou, posto de outro modo, por que a Kodak, que começou essa competição em desvantagem, a ganhou?

A resposta para a questão parece estar na justificativa de Waller.⁶²⁵ Segundo ele, os químicos da Ilford não tinham a menor ideia do que fosse ionização mínima. A Kodak, por sua vez, contratou, para seus laboratórios de pesquisa, físicos especialistas em radiação, o que possibilitou o desenvolvimento das chamadas NT4 ainda no final de 1948. Foi com esse tipo de emulsão que o primeiro decaimento pión-múon-elétron foi detectado em Bristol,⁶²⁶ segundo os decaimentos abaixo:

$\text{Pión} \rightarrow \text{múon} + \text{neutrino do múon}$

$\text{Múon} \rightarrow \text{elétron} + \text{neutrino do elétron} + \text{neutrino do múon}$ ⁶²⁷

A reação da Ilford viria, no ano seguinte, com a G5.

A G5 passaria a ser a mais utilizada pelos físicos. Razão: ela ser fabricada em série, o que lhe conferia padronização de lote para lote. Quanto às NT4, elas eram produzidas sob encomenda

⁶²³ TAYLOR e GOLDBERGER (1935).

⁶²⁴ Mais detalhes sobre o emprego de boro no final da década de 1930 em SHAPIRO (1941).

⁶²⁵ WALLER (1953).

⁶²⁶ BROWN *et al* (1949).

⁶²⁷ Nelas, não levamos em conta o sinal do pión e, portanto, não entramos no mérito de os produtos dos decaimentos serem partículas ou antipartículas, desconsiderando, portanto, o número leptônico.

– ou seja, em escala de bancada – e apresentavam diferença significativa entre lotes.

Isso fez com que os físicos da época considerassem a G5 mais confiável.⁶²⁸

Foi com as G5 que se mostrou que, no decaimento pi-mi-e, esta última partícula era realmente o elétron,⁶²⁹ bem como, por meio de voos de balão, a 23 km, se detectou o pión neutro,⁶³⁰ em experimento que estabeleceu a vida média do pi zero, mostrando que a componente mole dos raios cósmicos era resultado do decaimento dos píons neutros e que estes eram produzidos praticamente na mesma taxa que os carregados.⁶³¹

Com o desenvolvimento das NT4 e das G5, praticamente nada mais precisaria ser feito em relação à sensibilidade das emulsões nucleares. Havia, naquele final de década, um espectro bem amplo de emulsões, para as mais diversas aplicações. Do catálogo da Ilford, por exemplo, constavam emulsões do tipo A até G, sendo as primeiras empregadas para o estudo, por exemplo, de fragmentos atômicos com alto número de massa (como a fissão quaternária do urânio), e as últimas na captura de elétrons relativísticos, por exemplo.

Outro feito das emulsões sensíveis à ionização mínima foi tornar visível um novo mundo: o dos káons, mésons que deram origem ao famoso ‘quebra-cabeças teta-tau’.⁶³²

“Fecho esse ano em Princeton com uma observação sobre partículas que me impressionou. Ela apareceu no quadro de avisos, e ficou lá por algum tempo: a figura de um evento de emulsão nuclear observado no Laboratório de Powell em Bristol. Ela mostrava uma partícula chegando ao repouso na emulsão, e decaindo em três píons carregados ou partículas de massa similar. Tudo isso estava claro e era inegável. Era um dos primeiros exemplos de um mundo inteiramente novo e excitante, mais tarde chamado estranho, e da mais alta importância no desenvolvimento de nosso entendimento das partículas. **Mas, naquele tempo, esse mundo não existia.** O evento não se encaixava em nossa física, não havia espaço para ele, e então, da melhor forma que podíamos, nós o ignoramos. Lembro-me de pouca discussão sobre o que aquele evento poderia significar.”
[Grifo no original]⁶³³

Uma (única) imagem; um novo e desconhecido mundo.

⁶²⁸ Para detalhes, ver FOSTER e FOWLER (1988, p. 60).

⁶²⁹ DAVIES, LOCK e MUIRHEAD (1949a).

⁶³⁰ CARLSON, HOOPER e KING (1950).

⁶³¹ GRILLI (1991, p. 22).

⁶³² O quebra-cabeça teta-tau foi a controvérsia que se deu em torno de resultados de dois decaimentos diferentes do que se acreditava ser a mesma partícula. Hoje, sabemos que se trata de káons (ou méson K) que têm vários modos de decaimento.

⁶³³ STEINBERGER (1997, p. xxxii).

Conclusão (capítulo 9)

O desenvolvimento das emulsões nucleares trouxe não só maturidade ao método, mas também a confiabilidade que não pôde ser construída – ou, talvez, finalizada – na década de 1930. Os primeiros testes a que foram submetidas mostraram que as novas emulsões eram promissoras e que podiam desempenhar, a custos muito inferiores, papel até mesmo superior ao de outro detector visual: o da câmara de nuvens. Mas isso se deu basicamente entre os cosmicistas.

O desenvolvimento das emulsões nucleares naquele momento, logo após o fim da Segunda Guerra, deu-se em função do empenho dos químicos industriais, em colaboração entre academia e indústria motivada por objetivos distintos: a indústria visava a novos mercados; os físicos de partículas, a um novo detector. O estabelecimento nuclear britânico, nos parece, teve apenas o papel de amalgamar essas duas comunidades, e seus objetivos relativos à energia nuclear e aos armamentos, tudo indica, não sensibilizou as outras duas partes. Portanto, a zona de troca estabelecida envolvia *ethos* distintos; envolvia objetivos distintos, e, desse modo, se diferencia das zonas de troca de Galison, nas quais havia uma meta comum: a construção de uma bomba; a construção de um detector; a construção de um acelerador etc.

Chama a atenção o fato de os primeiros experimentos de calibração terem sido feitos por jovens físicos. Essa delegação de poder pode ser entendida por duas perspectivas:

- i) Powell enxergou em Lattes, Folwer e Cüer a competência para um trabalho que era complexo do ponto de vista da montagem do experimento e da análise e interpretação dos dados;
- ii) havia carência de físicos no H. H. Wills, a ponto de um experimento de tal importância ter sido dado a jovens físicos.

Acreditamos que o item (i) é mais provável, até porque nunca ficou provado que havia realmente falta de físicos experimentais nas universidades britânicas no pós-guerra, como Lattes chegou a afirmar.⁶³⁴ O fato é que esses trabalhos foram muito usados por outros emulsionistas a partir daquele momento.

A falta de colaboração entre experimentais e teóricos nesse período chega a ser um *ethos* da física daquela primeira metade do século passado. Caso emblemático com o qual nos defrontamos ao longo de nossas pesquisas é o do Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços, no CBPF. Naquela instituição, teóricos de física nuclear trabalhavam dentro de um laboratório experimental de física nuclear que empregava a técnica das emulsões, dividindo espaços comuns do prédio. Porém, a interação entre esses dois grupos era praticamente nula, ao ponto de uma equipe não saber o que a outra fazia em termos de linhas de pesquisa.⁶³⁵ A interação entre esses dois grupos não se dava nem mesmo em momentos em que os

⁶³⁴ Lattes em cópião da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

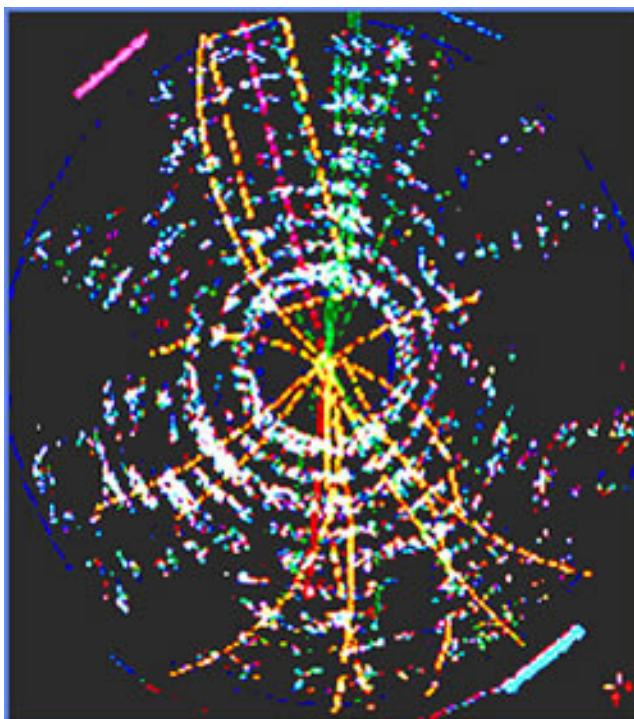
⁶³⁵ DUARTE (Comunicação pessoal).

experimentais precisavam de apoio teórico para a avaliação de eventos, análise de dados ou emprego ou construção de modelos.⁶³⁶

Finalizamos este capítulo com duas observações que nos parecem importantes:

i) a descoberta do decaimento do pión em múon ajudou a fortalecer a ideia da realidade física do neutrino,⁶³⁷ que só seria detectado cerca de uma década mais tarde;⁶³⁸

ii) as emulsões sensíveis à ionização mínima abriram uma nova área na física: a do estudo de astropartículas, com experimentos pioneiros sobre um binário de estrelas com partículas relativísticas.⁶³⁹



Ainda hoje, a 'comprovação' da existência de partícula é mostrada na forma de trajetórias, obtidas com o auxílio de computadores, como é o caso do quark top; a imagem ainda continua sendo a forma pela qual a ciência tem se definido (Crédito: LBL)

⁶³⁶ Aspecto emblemático dessa não-interação. A tese de mestrado de Odilon Antônio Paula Tavares, então pesquisador do Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços, no CBPF, defendida em meados da década de 1970, ter sido a primeira a usar o método Monte Carlo aplicado à física nuclear no Brasil. Ninguém conhecia o método no CBPF, apesar de haver, ocupando uma sala do laboratório, o grupo teórico de física nuclear.

⁶³⁷ SACTON (1998).

⁶³⁸ Várias tentativas foram feitas no Laboratório Cavendish para se detectar o neutrino de 1930 a 1936. Basicamente, três experimentos foram montados, mas nenhum deles empregou o método fotográfico. Mais detalhes em NAVARRO (2006).

⁶³⁹ Ver, por exemplo, COSYNS, DILWORTH, OCCHIALINI e SCHÖNBERG (1949).

CAPÍTULO 10

A PRODUÇÃO ARTIFICIAL DO MÉSON PI

Introdução

Powell, antes da publicação do artigo em *Nature* de 24 de maio de 1947, fez duas palestras em que anunciou os resultados obtidos por seu grupo em Bristol: em Manchester e outra em Dublin, junho e julho, respectivamente. Isso serviu para disseminar o que estava ocorrendo em Bristol, a ponto de a imprensa regional noticiar a partida de Lattes rumo a Chacaltaya.⁶⁴⁰



Vista do Laboratório de Raios Cósmicos de Chacaltaya (Crédito: Edison Shibuya)

A repercussão da detecção do decaimento pi-mi e a consequente demonstração de que havia dois mésons, um deles de Yukawa e outro parte da componente dura (penetrante) dos chuviscos de raios cósmicos, despertaram a atenção dos físicos. E os motivos aqui são mais do que óbvios: as duas imagens na edição de 24 de maio da *Nature* eram ‘fortes’ o suficiente para por fim à controvérsia de uma década.⁶⁴¹

⁶⁴⁰ Provavelmente, o artigo de POWELL (1948), escrito em francês, tratando das recentes descobertas em Bristol, tenha sido resultado do anúncio desses primeiros resultados.

⁶⁴¹ Ao ver as imagens de *Nature*, Bethe, propositore da teoria dos dois mésons juntamente com Marshak, afirmou, no encontro de Shelter Island (Estados Unidos), naquele ano de 1947, que o problema da existência de um ou dois mésons estava totalmente resolvido. Ousamos dizer que os detectores visuais contam ainda com poder de convencimento maior do que os baseados em lógica/estatística. Ainda hoje, novas partículas, apesar de terem sua existência baseada em estatística (ou seja, grande número de eventos), são apresentadas visualmente, na forma de, por exemplo, trajetórias coloridas ou gráficos com ‘picos’. Repetimos uma das epígrafes desta tese: “Imagens são a matéria-prima da ciência e importante

Nesta introdução, vale apresentar contexto histórico mais amplo. Os resultados dos famosos ‘Quatro experimentos de Roma’, liderados pelo físico italiano Marcello Conversi (1917-1988), abalaram a crença de que o méson anunciado em 1937 fosse a partícula proposta por Yukawa para mediar a força forte nuclear. Um dos resultados dessa série de experimentos mostrou que o méson cósmico não interagiu fortemente com o núcleo atômico. Nos experimentos – parte feita em Roma, sob forte bombardeio dos Aliados, empregando circuitos de coincidência e absorvedores –, os físicos italianos mostraram que os mésons eram absorvidos em materiais com Z (número atômico) alto (ferro, por exemplo), mas decaíam quando o Z era baixo (carbono).⁶⁴²

Ainda em fevereiro de 1947 – portanto, três meses antes da publicação daquelas duas imagens –, Fermi, o físico húngaro Edward Teller (1908-2003) e o austríaco Victor Weisskopf (1908-2002),⁶⁴³ com base nos resultados de Roma, mostraram que havia discrepância gigantesca (da ordem de 10^{12}) entre os cálculos teóricos e os resultados experimentais no que se refere à interação dos mésons com os núcleos. Diferença tão brutal entre teoria e experimento seria suficiente para desqualificar o méson cósmico como carregador da força forte nuclear.

No entanto, nem os resultados de Roma, nem os cálculos apontando essa discrepância, foram decisivos para o convencimento de que havia dois mésons.

Esse poder de persuasão ficou por conta da imagem.

modo por meio do qual a ciência tem se definido (e sido definida ou percebida por outros) por centenas de anos.” Ver TUCKER (2006, p. 114).

⁶⁴² A explicação para isso nos parece ser a seguinte: a perda de energia de uma partícula carregada eletricamente em passagem pela matéria é função direta do quadrado do número atômico do material atravessado. O méson (ou múon) ao atravessar os absorvedores de alto Z perde quantidade significativa de energia em tempo inferior ao de seu tempo de vida (10^{-6} s) e acaba capturado pelo núcleo atômico (a chamada captura K). Já em materiais de baixo Z, a perda de energia é menor, o que dá tempo suficiente de a partícula (no caso, o múon) decair.

⁶⁴³ FERMI, TELLER e WEISSKOPF (1947).

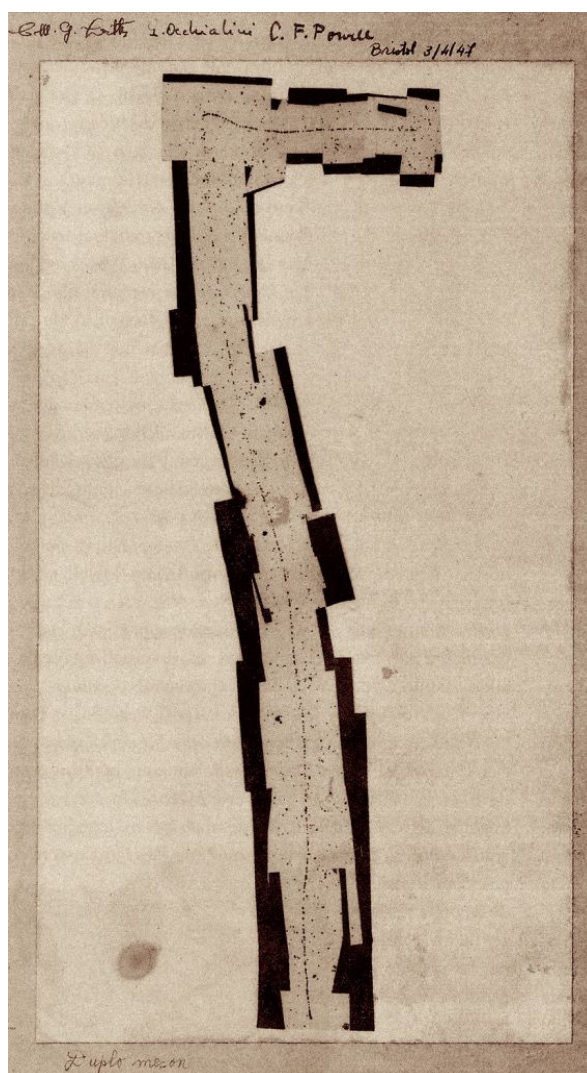


Imagem do decaimento de pión (traço horizontal, acima) em múon, publicada na edição de 24 de maio de 1947 da revista *Nature* (Crédito: Alfredo Marques/CBPF)

Mensageiros de Bohr: o que está acontecendo em Bristol?

Não sabemos como as notícias da detecção dos mésons carregados, bem como do decaimento do pión positivo em múon, chegaram a Bohr. O fato é que, segundo Lattes,⁶⁴⁴ o físico dinamarquês mantinha-se bem informado sobre o que ocorria na física. E os resultados de Bristol chegaram a ele, em Copenhague.

É possível pensar que a própria existência da partícula de Yukawa tenha chamado sua atenção, pois, uma década antes, em sua passagem pelo Japão, Bohr, depois de escutar as ideias de Yukawa, descartou a necessidade de uma nova partícula. Essa atitude de Bohr deve ser entendida em dois contextos mais amplos:

⁶⁴⁴ Lattes em cópia da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

i) sua própria história de ceticismo em relação a novas ideias (fóton; princípio da incerteza de Heisenberg; neutrino de Pauli, chegando a propor que a conservação de energia tinha validade limitada);

ii) a declaração de Bohr no Japão se dá em época na qual havia relutância em se criarem novas partículas – basta lembrar que o próprio méson foi recebido com ceticismo.⁶⁴⁵

Bohr, segundo Lattes, enviou dois físicos⁶⁴⁶ a Bristol ainda em meados de 1947 para saber o que estava ocorrendo por lá. E esse fato teve desdobramentos importantes, principalmente para a história da física no Brasil, daí nos alongarmos nele aqui. Segundo o brasileiro, os dois físicos perceberam que “quem estava metendo a mão na massa”⁶⁴⁷ era ele, Lattes – isso justifica por que um jovem membro da equipe de Powell tenha sido convidado para dar palestras na Dinamarca e Suécia.

A expressão “mão na massa” significa que Lattes analisava as chapas obtidas em Chacaltaya, nas quais foram obtidas centenas de eventos, entre eles cerca de 30 decaimentos completos do pión em múon. A análise desses dados seria publicada, em outubro daquele ano, na revista *Nature*,⁶⁴⁸ mostrando, entre outros resultados, a relação entre as massas do pión e do múon.

Lattes chegou a Copenhague no início de dezembro daquele ano.⁶⁴⁹ Faria palestras também em Lund. Havia outra também em Estocolmo, mas ele a cancelou.⁶⁵⁰ O encontro com Bohr⁶⁵¹ o motivou levar adiante um plano já havia estabelecido para si próprio: sua ida aos

⁶⁴⁵ Este ceticismo pode ser resumido na frase do físico norte-americano Isidor Rabi (1898-1988): “Quem encomendou isso?”

⁶⁴⁶ Nossas pesquisas indicam que esses dois físicos do Instituto de Física Teórica de Copenhague poderiam ser J. E. Hooper e M. Scharff. Reforçam essa nossa hipótese dois fatos: i) eles pertenceram ao instituto em questão até o final da década de 1950; ii) eram ligados à área de raios cósmicos, escrevendo um livro sobre esse tema no final da década de 1950 – ver HOOPER, J. E.; SCHARFF, M. (1958).

⁶⁴⁷ Lattes em cópião da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁶⁴⁸ LATTES, OCCHIALINI E POWELL (1947a) e LATTES, OCCHIALINI E POWELL (1947b).

⁶⁴⁹ Lattes fez a palestra em Copenhague e, na mesma noite, foi convidado por Bohr para uma conversa na Mansão Carlsberg, residência oficial da família Bohr. A estada de Lattes na Dinamarca, segundo o livro de convidados do Instituto Niels Bohr (então, Instituto de Física da Universidade de Copenhague), foi de 6 a 16 (?) de dezembro de 1947.

⁶⁵⁰ Lattes alegou que a cancelou porque queria passar o Natal no Brasil. Ver cópião da entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁶⁵¹ Havia mais uma personagem presente ao encontro, Niels Arley (1911-1994). “Fiz uma forcinha e ainda passei por Copenhague. Niels Bohr, o papa da Física, me convidou para contar as últimas novidades. Acho que ele ficou convencido. Mas o assistente dele, o Arley, que escreveu livro sobre [e]statística, [ARLEY e BUCH (1950)] queria teimar num negócio errado. Ele estava confundindo dispersão de medidas de massas com o erro da média. O erro da média tinha que dividir pela raiz quadrada. Tinha que pegar a dispersão, e

Estados Unidos para tentar detectar mésons produzidos no então maior acelerador de partículas do mundo, o sincrociclótron de 184 polegadas na Universidade de Berkeley.⁶⁵²



O prédio com a cúpula abrigava o sincrociclótron de 184 polegadas do Laboratório de Radiação de Berkeley, da Comissão de Energia Atômica dos Estados Unidos e gerenciado pela Universidade da Califórnia (Crédito: Berkeley Lab On-line Photo Archive)

O plano de Lattes deve ser analisado com mais detalhamento. Primeiramente, mostra amadurecimento profissional e certa independência em relação ao grupo de Bristol – entenda-se, em relação a Powell e Occhialini, seu ex-professor em 1943 na Universidade de São Paulo. Outro

dividir pela raiz quadrada, do número de medidas, sendo 3,5 vezes menor do que o Arley queria que fosse. Tínhamos demonstrado que a gente estava quatro desvios padrões fora. Para o Arley, nós não tínhamos demonstrado, porque não estávamos nem dois desvios padrões fora. Estive também na Suécia, também a convite.” Ver PINTO e FRANKEN (1976, p. 8). A passagem em que ele relata a discussão com Arley mostra algo sobre a personalidade e a formação de Lattes, então com 23 anos de idade. É certo que o ‘enfrentamento’ com o assistente de Bohr só foi possível pelo conhecimento que Lattes tinha sobre a técnica das emulsões nucleares, bem como pela formação que havia adquirido ainda no Brasil, onde o curso de graduação em física era baseado praticamente em ‘aulas particulares’, dado o baixíssimo número de alunos. Além disso, enquanto o quadro de professores em muitas universidade europeias estava desfalcado em função da guerra – principalmente, nos países envolvidos no conflito –, no Brasil, Lattes e Camerini haviam tido aulas com Wataghin, Damy, Schenberg – e Lattes também com Occhialini. Fowler afirma ter tido formação extremamente superficial – depois de formado, tornou-se técnico em radiocomunicações na Segunda Guerra –, e Muirhead diz que a primeira vez que ouviu falar sobre a equação de Dirac foi com Lattes e Camerini.

⁶⁵² O acelerador não pertence à Universidade de Berkeley. É administrado e operado por ela. O Laboratório de Radiação (hoje, Laboratório Nacional Ernest Orlando Lawrence em Berkeley), onde o acelerador de 184” estava instalado, é do Departamento de Energia (DOE), sendo o mais antigo dos laboratórios nacionais do DOE nos Estados Unidos.

aspecto: a finalização de um ciclo de aprendizado que ele havia estabelecido para si mesmo: o domínio da técnica das emulsões nucleares, i) seja ela aplicada à radioatividade, como no caso de seu primeiro experimento em Bristol,⁶⁵³ sobre a emissão radioativa do elemento químico samário; ii) seja ela empregada como detector em aceleradores, como foi o caso dos artigos feitos em companhia de Fowler e Cüer; iii) seja ela aplicada aos raios cósmicos – este último parecia ser seu objetivo inicial, dada sua experiência ainda no Brasil com o tema.

Na conversa com Bohr,⁶⁵⁴ Lattes citou seu interesse em ir para Berkeley. Inicialmente, Bohr teria estranhado os planos do brasileiro, pois o rendimento do grupo de Bristol estava em seu auge depois dos trabalhos de 1947. O argumento de Lattes foi o de que seria possível produzir mésons na máquina que acelerava partículas alfa a 380 MeV.⁶⁵⁵ Bastaria contar com eventos favoráveis, ou seja, seriam os 95 MeV de cada núcleon (no caso, próton ou nêutron), mais a chamada energia de Fermi, isto é, a energia relacionada ao movimento interno dos núcleons do feixe e dos núcleos dos alvos, sendo que o mais favorável desses eventos seria aquele em que esses núcleons se movem na mesma direção em sentidos contrários.

⁶⁵³ LATTES e CÜER (1946) e LATTES, SAMUEL e CÜER (1947).

⁶⁵⁴ Nesse aspecto, há apenas a documentação relativa à história oral desse fato, ou seja, a versão de Lattes sobre o encontro. Porém, conseguimos documento no Arquivo Niels Bohr comprovando a passagem de Lattes por Copenhague na primeira quinzena de dezembro de 1947. Ver PORS (Comunicação pessoal).

⁶⁵⁵ Ponto que consideramos crucial nesta tese: no copião da entrevista para o projeto que levou à publicação de *A formação da comunidade científica no Brasil*, organizado por Simon Schwartzmann – ver PINTO e FRANKEN (1976) e SCHWARTZMANN (1979) –, Lattes dá a entender que havia tido contato com chapas que foram irradiadas no acelerador do Laboratório de Radiação, em Berkeley, com partículas alfa de 380 MeV. “Em todo caso, a ideia de ir para Berkeley era óbvia. Tinham chegado fotografias, mostrando partículas alfas de 380 milhões de volts, e eu tinha conseguido, já há tempo, através do Wataghin, bolsa da fundação Rockefeller.” É muito provável que essas chapas tenham sido enviadas por Gardner, que costumava distribuir esse material para outros laboratórios, principalmente para pesquisadores na Inglaterra – ver GALISON (1997b, p. 212). Powell reconheceu essa generosidade em outro momento – ver HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, s/p).



Documento da Embaixada da Dinamarca no Rio de Janeiro com a notícia de jornal brasileiro que comenta o encontro de Lattes com Bohr em dezembro de 1947 em Copenhague (Crédito: Niels Bohr Archive)

Lattes, em sua conversa com Bohr, apresentou ao dinamarquês a ideia de incluir a energia de Fermi nas colisões das partículas aceleradas pelo sincrociclótron de Berkeley. O próprio Lattes sempre contou essa história, dando a entender que a ideia havia ocorrido a ele – não sabemos, no entanto, em que momento, apenas que esse assunto teria aflorado na conversa com Bohr em Copenhague. No entanto, nossas pesquisas mostram que esse cálculo já havia sido publicado por W. G. McMillan e Edward Teller, ambos então na Universidade de Chicago, no início de 1947. Esse artigo foi recebido para publicação em março daquele ano, portanto cinco meses depois de o acelerador produzir seus primeiros feixes. Porém, esses cálculos não parecem consensuais quando o assunto é a primazia da ideia de incluir a energia de Fermi nas colisões. O físico norte-americano Robert Serber (1909-1997), assistente de Oppenheimer no Projeto Manhattan, se atribui parte dessas ideias e cálculos:

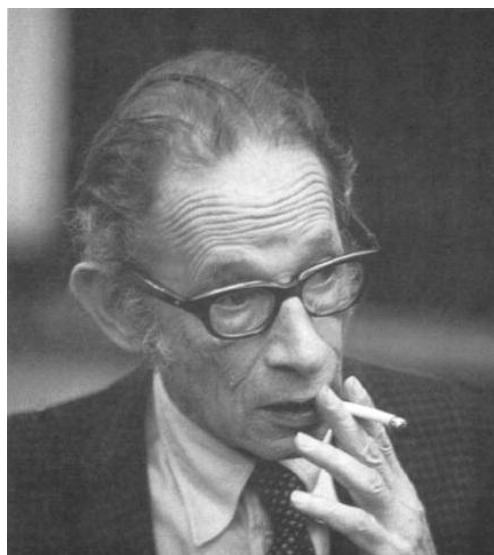
“[Edward] Teller indicou que a distribuição de momento dos núcleos do alvo reduziria o patamar efetivo de energia. Eu me lembro de Edward perguntando a mim em encontro no Leste [dos Estados Unidos] se eu acreditava que o ciclotron de Berkeley estava produzindo mésons pi. Eu disse que sim, mas o problema era achá-los. Ed[ward] havia desenhado e instalado um alvo e suporte para as placas de emulsões nucleares. **Eu estimei que, usando a distribuição do momento tanto nas partículas alfa quanto no núcleo, nós ainda assim teríamos apenas uma desintegração de pión na emulsão para cada milhão de outras trajetórias.**”⁶⁵⁶ [Grifo nosso]

⁶⁵⁶ SERBER (1994, p. 22). Para longa entrevista com Serber, ver WEINER, LUBKIN e RICHMAN (entrev.) (1967).

Apesar de certo pessimismo em relação à probabilidade de se capturar píons nas emulsões, vemos que Serber também pensou no assunto.⁶⁵⁷ A energia de Fermi é citada em artigo em que Gardner e Lattes mostram os resultados da primeira detecção de píons em acelerador.⁶⁵⁸

O que está em jogo aqui não é dar a um ou a outro a primazia da inclusão da energia de Fermi nas colisões do sincrociclótron, mas sim mostrar que esse tipo de preocupação já estava presente entre físicos da época. No caso de Lattes, é preciso lembrar que ele teve boa formação teórica ainda no Brasil, e assim é possível que conhecesse esse trabalho de Fermi. Mas não o de McMillan e Teller.

Encerramos este subcapítulo com o desfecho do encontro entre o físico brasileiro e o dinamarquês: Bohr, ao ouvir a proposta de Lattes, o teria, então, incentivado a levar adiante seus planos.⁶⁵⁹



O físico teórico Robert Serber, assistente de Oppenheimer (Crédito: *Annual Reviews*)

⁶⁵⁷ Pouco depois, o limite de energia para a produção de píons foi o tema de artigo de BARKAS (1949). Isso, a nosso ver, mostra que o assunto ainda era preocupação dos pesquisadores em Berkeley e parece não ter se resolvido com os eventos obtidos por Gardner e Lattes.

⁶⁵⁸ GARDNER e LATTES (1948). Esses foram mésons negativos, detectados por meio da desintegração nuclear que causam ao serem absorvidos por um núcleo atômico ao serem freados na emulsão. Naquele mesmo ano, em companhia de John Burfening, então tenente-coronel do exército norte-americano, Gardner e Lattes detectam o pión negativo, por meio do decaimento deste em múon. Tentamos levantar dados sobre a vida e obra desse militar, mas apenas conseguimos saber – se é que a informação confere – que ele se formou em West Point na turma de 1940 – ver WEST POINT ASSOCIATIONS GRADUATES (s/d). Para este último caso, ver BURFENING, GARDNER e LATTES (1948a,b) – e trabalhou nos Laboratórios Sandia, no estado norte-americano do Novo México. O item b citado anteriormente é versão pré-publicação do artigo, cuja divulgação foi aprovada pelos órgãos de segurança – os trabalhos feitos em Berkeley passavam pelo crivo da Comissão de Energia Atômica daquele país.

⁶⁵⁹ NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

Olhar treinado ao microscópio: mésons à vista

O sincrociclótron, máquina de US\$ 1,7 milhão, havia começado a produzir os primeiros feixes em 1º de novembro de 1946, no Laboratório de Radiação, cujo grupo de emulsões era liderado por Eugene Gardner, que havia se doutorado com Lawrence poucos anos antes. Gardner, até o início de 1948, não havia obtido sucesso em detectar mésons. Essa busca havia começado em outubro do ano anterior, bombardeando-se alvos de carbono com os feixes do sincrociclótron (alfas e dêuterons). Os produtos dessas colisões eram capturados em pilhas de emulsões.

Mésons, no entanto, estavam sendo produzidos na máquina. E, provavelmente, desde os primeiros feixes.⁶⁶⁰ Os motivos para o insucesso de Gardner nos parecem de natureza variada:

i) suas emulsões nucleares eram inicialmente fornecidas pela Kodak norte-americana, que mantinha segredo sobre a composição química das chapas – o que fez Gardner escrever carta de conteúdo incisivo⁶⁶¹ para a empresa, relatando que não conseguia reproduzir os resultados obtidos pelo grupo de Bristol, para o qual costumava enviar emulsões expostas ao sincrociclótron de 184 polegadas.⁶⁶² Gardner atribuía isso ao sigilo da empresa em relação à composição das emulsões e reafirmava que esse conhecimento era fundamental para o emprego da técnica e que, sem ele, não seria possível calcular propriedades das partículas, ressaltando que, no Reino Unido, as fabricantes de chapas fotográficas cediam esse tipo de informação aos físicos;⁶⁶³

ii) o sincrociclótron de 184 polegadas em Berkeley, apesar de empregar emulsões nucleares como detector, não tinha equipe de microscopistas⁶⁶⁴ à la Powell, para fazer a

⁶⁶⁰ SOUZA-BARROS, NUSSENZVEIG E VIEIRA (1995).

⁶⁶¹ GALISON (1997b, p. 210). A carta, escrita em 05 de janeiro de 1948, endereçada a Julian Webb, da Estman Kodak, está no National Archives and Records Administration – Pacific, Sierra Region, San Bruno, Califórnia, no Eugene Gardner Papers, Meson Experiments Files, com o código AEC RG 326. A data é próxima à da coletiva de imprensa (9 de março de 1948) na qual essa dupla de físicos, acompanhados de Serber e McMillan, anunciaria a descoberta. Mais detalhes sobre a coletiva ver *Nucleonics* (1948).

⁶⁶² Powell reconheceu e elogiou a atitude de seu colega norte-americano em enviar, graciosamente, ao grupo de Bristol, chapas irradiadas no sincrociclótron de Berkeley. “Enquanto desenvolvia a técnica de emulsões, Gardner havia preparado placas para serem analisadas por físicos de fora de Berkeley, e ele continuou essa prática mesmo quando se tornou mais provável que as emulsões continham algo interessante. Powell, que as recebia, mais tarde, chamou a atenção para essa generosidade incomum; “Muitos laboratórios no mundo todo devem ser muito gratos a nossos colegas norte-americanos de Berkeley, Califórnia, por sua generosa maneira, por meio da qual, prontamente e sem condições, eles têm exposto placas fotográficas a partículas fornecidas por sua máquina.” Mais detalhes em HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, s/p).

⁶⁶³ Gardner se refere à interação da indústria com os físicos no Paine de Emulsões.

⁶⁶⁴ Vale comentário sobre a presença e o trabalho dos chamados técnicos nos laboratórios. Em artigo clássico, Steve Shapin ressalta que há pouca inclinação dos historiadores da ciência em estudar o papel

varredura óptica das chapas expostas; esse era trabalho dos próprios membros da equipe do Grupo de Emulsões – Gardner, vale notar, não podia ficar muito tempo ao microscópio, em função de beriliose⁶⁶⁵ contraída no esforço de guerra;

iii) O grupo de emulsões de Berkeley não havia visto até então trajetória de méson em emulsão nuclear. E, se as viram, possivelmente não as reconheceram.

“Nos primeiros seis meses de operação do grande sincrociclótron, o grupo de emulsões achou algumas poucas trajetórias, estranhas, diferentes entre si e daquelas de prótons, alfas e dêuterons, as quais eles assumiram ser de mésons. Sob inspeção cuidadosa, essas trajetórias se mostraram artefatos dos filmes da Kodak. “Toda vez que expomos um conjunto de placas no ciclotron, buscamos por trajetórias dos mésons”, escreveu Gardner para James Chadwick, “Mas, até agora, não achamos nenhuma.”⁶⁶⁶

Os primeiros mésons foram vistos por Lattes em 21 de fevereiro de 1948, cerca de dez dias depois de sua chegada a Berkeley. Olhar ao microscópio e reconhecer essas partículas era a última – e aparentemente mais simples, porém mais importante – etapa da técnica das emulsões nucleares, que havia se desenvolvido nas últimas três décadas e meia.

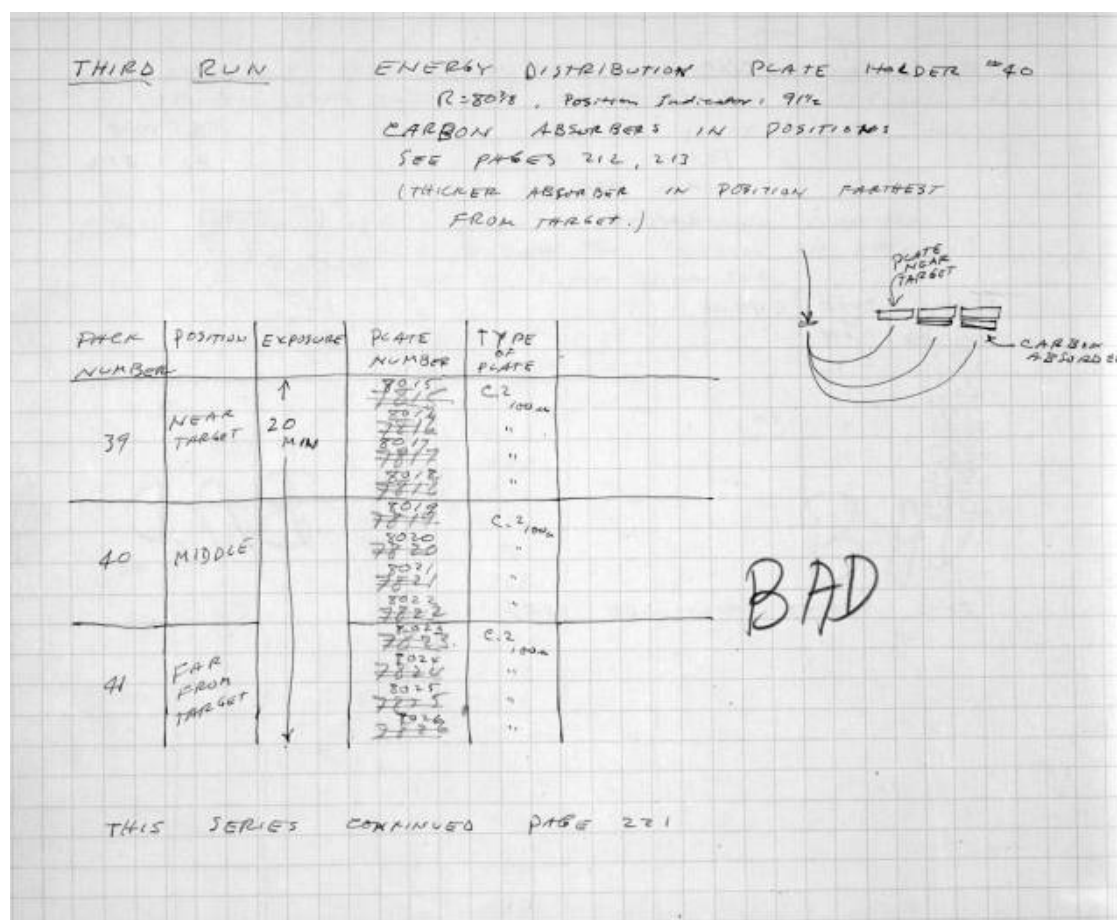
Lattes, em certo sentido, para usar expressão de Galison, representava a transferência dessa tecnologia da Europa, onde ela havia se desenvolvido, para os Estados Unidos, onde seu crescimento havia sido mais modesto.

Essa transferência, no entanto, havia se iniciado anteriormente.

dos técnicos, bem como de outro pessoal de apoio, envolvidos em produzir e registrar o conhecimento científico. “No contexto do laboratório, o trabalho dos técnicos era geralmente considerado como envolvendo esforço físico ou habilidade manual, mas, com poucas exceções, pouca demonstração de conhecimento.” Ver SHAPIN (1989, p. 555-556). O grupo de Bristol, nesse aspecto, tem diferencial interessante. As microscopistas inicialmente assinavam os artigos, como foi o caso de Rosemary Fowler (então, Brown), a primeira das microscopistas na equipe de Powell com graduação em física (e das primeiras mulheres a ganhar grau de primeira classe em física na Universidade de Bristol). Ela foi coautora de artigos importantes, entre eles o do decaimento pión-múon-elétron em 1949, com as novas emulsões NT4, da Kodak, sensíveis à ionização mínima, e o da descoberta da partícula tau (hoje, káon). Na década de 1950, as microscopistas deixaram de assinar os artigos, sendo que o crédito ao trabalho delas era dado na legenda das fotomicrografias. No Brasil, as microscopistas dos três grupos do CBPF nunca chegaram a assinar artigos, recebendo, em geral, os devidos agradecimentos ao final do texto. Por fim, vale enfatizar que, sem a visão dos técnicos, obviamente, a história – inclusive esta, que nós estamos aqui contando – fica, certamente, empobrecida, para usar expressão de Shapin.

⁶⁶⁵ Inflamação pulmonar, com consequente perda da elasticidade do órgão, causada pela inalação do elemento químico berílio.

⁶⁶⁶ HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, capítulo ‘Machine made mesons’).



Extrato do diário de laboratório de Eugene Gardner, mostrando a palavra ruim (*bad*) em referência a eventos de baixa qualidade obtidos no acelerador de Berkeley antes da chegada de Lattes ao laboratório no início de 1948 (Crédito: Berkeley Lab On-line Photo Archive)

Inglaterra-Estados Unidos: receitas vêm e vão

Antes da chegada de Lattes à Califórnia, houve intensa troca de correspondência entre Bristol e Berkeley, iniciada provavelmente com o conhecimento por parte do laboratório norte-americano das detecções dos mésons carregados na Inglaterra. Gardner, porém, não conseguia reproduzi-los no sincrociclótron.

Neste início, é preciso corrigir o que achamos ser equívoco histórico, disseminado desde então, a saber:

- i) o de que Lattes, ao chegar a Berkeley, havia levado consigo chapas da Ilford, ou o de que essas chapas houvessem sido despachadas anteriormente por Bristol;
- ii) o de que o físico brasileiro teria influenciado na 'receita' de revelação empregada pelo Grupo de Emulsões, de Gardner.

Vejamos depoimentos e relatos do período.

Galison⁶⁶⁷, por exemplo, afirma que Lattes teria alterado de quatro minutos para 40 minutos o tempo no qual chapas expostas deveriam permanecer no revelador.

“Lattes chegou a Berkeley portando o segredo que seria repassado; um de seus primeiros atos foi rever o processo de revelação empregado pelo grupo de Gardner. Era óbvio que algo não estava correto, o que, no entanto, permanecia um mistério.”

Afirmção semelhante está em Heilbron e colegas, em *Lawrence and his laboratory*. O trecho em questão:

“Logo depois do Ano Novo, G. C. M. [*sic*] Lattes escreveu para Lawrence solicitando permissão para trabalhar no Laboratório. Ele viria com Bolsa Rockefeller e com a aprovação da AEC [Comissão de Energia Atômica] para ensinar ao grupo de filmes o que ele havia aprendido por dois anos de colaboração com Powell. Ele chegou em fevereiro de 1948, **precedido por um pacote de placas Ilford**. Elas foram expostas no equipamento de Gardner e **reveladas segundo a receita de Lattes**, que diferiria daquela empregada em Berkeley. Então, Lattes, que sabia o que procurar, descobriu o que o grupo de Berkeley não havia sido capaz de achar. O resultado foi assim comunicado por Gardner: quase imediatamente depois de sua chegada, **Lattes havia feito a técnica de Bristol bem sucedida na detecção dos primeiros mésons produzidos pelo homem.**”⁶⁶⁸ [Grifo nosso]

É possível que a fonte de Galison tenha sido uma carta de Powell para C. Möller, em 5 de março de 1948:

“**Aparentemente**, Lattes, quando chegou lá [Berkeley], viu que [Gardner e seu colegas] estavam revelando as placas por quatro em vez de 40 minutos. Quando eles adotaram o procedimento normal [isto é, o de Bristol], muitos mésons foram achados” [Grifo nosso].

Aqui, é preciso reflexão sobre esses relatos. As duas versões, tanto a de Galison quanto a de Heilbron, podem ter sido influenciadas pela carta de Powell. No entanto, vejamos o relato do próprio Lattes, feito publicamente em conferência em comemoração aos 40 anos do descobrimento do méson pi, em Bristol:

“Depois de ouvir e ler tantas vezes que Gardner não sabia como revelar emulsões, talvez vocês tenham me convencido disso, mas eu devo dizer a vocês que **não mudei nada na revelação das emulsões**. Eu mudei a taxa de varredura [óptica]. O Professor Gardner era um homem doente, não tinha microscopistas e não podia observar muito [tempo] ao microscópio. **Não houve mudanças na técnica de revelação. Eu também escutei ou li que Gardner tinha placas da Eastman e que eu trouxe ou enviei placas da Ilford. Isso não é verdade.** As

⁶⁶⁷ GALISON (1997b, p. 212).

⁶⁶⁸ HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, s/p)

placas da Ilford estavam disponíveis já havia dois anos,⁶⁶⁹ e Gardner era um físico muito atento.”⁶⁷⁰ [grifo nosso]

Primeiramente, é preciso observar que Lattes fez esse depoimento na presença dos principais atores envolvidos direta ou indiretamente nas pesquisas que levaram à detecção do méson pi e das partículas estranhas. Portanto, há fortes razões para se dar crédito ao que ele afirmou – não há réplica à fala de Lattes.

Temos aqui, no Brasil, dado extra – porém, conflitante –, surgido muitos anos depois do depoimento acima, mas que revela mais um detalhe à história contada neste subcapítulo. Em depoimento⁶⁷¹ para o que talvez tenha sido sua última grande entrevista, publicada posteriormente em livro,⁶⁷² Lattes afirma que a única alteração feita por ele nos procedimentos de Berkeley foi a retirada de um pouco de papel preto das emulsões,⁶⁷³ pois este estava barrando a passagem dos píons.

Portanto, o cenário que achamos poder construir é o seguinte:

- i) Lattes nem levou as emulsões, nem alterou a receita de revelação delas;
- ii) Gardner, em função da beriliose, tinha grande dificuldade de permanecer por mais de meia hora ao microscópio.⁶⁷⁴

Quanto à alteração relativa à retirada de papel preto, ela deve ser lida com cuidado, pois foi revelada por Lattes quase meio século depois dos acontecimentos e em apenas uma de suas entrevistas.⁶⁷⁵

⁶⁶⁹ No experimento em que foram detectados os píons produzidos artificialmente, foram usadas emulsões nucleares da Ilford do tipo C2 com 50 micrômetros de espessura.

⁶⁷⁰ FOSTER e FOWLER (1988).

⁶⁷¹ Vale ressaltar que o autor desta tese tem a posse do copião desta última grande entrevista de Lattes, bem como das mídias nas quais ela foi gravada. O copião está corrigido, em parte, com caligrafia de Lattes e, em parte, com letra de outra pessoa, para a qual, acreditamos, essas correções foram ditadas por Lattes. Nesse copião, bem como naquele da entrevista para a *Ciência Hoje*, é interessante notar a diferença entre a fala espontânea do Lattes e sua posterior racionalidade, a do cientista, com a qual costumava se ‘censurar’.

⁶⁷² ASSIS (2001).

⁶⁷³ Era comum que as emulsões, armazenadas em caixa de papelão, em geral com 12 chapas, viessem embrulhadas, individualmente, em papel preto, para protegê-las da luz.

⁶⁷⁴ Copião entrevista NUSSENZVEIG, SOUZA-BARROS e VIEIRA (1995).

⁶⁷⁵ Esperamos reconstruir com mais detalhes a história relativa à produção artificial a partir do conteúdo de três cadernos de laboratório de Lattes relativos ao período de um ano (1948-49) que o físico brasileiro passou no Laboratório de Radiação em Berkeley. Cópia desses documentos foram recentemente doados ao Instituto de Física Gleb Wataghin da Universidade de Campinas (SP).



Caixas de emulsões nucleares fabricadas pelas Ilford e pela Kodak; as duas com rótulos semelhantes (centro) são provavelmente da década de 1940 ou 1950 (Crédito: Cássio Leite Vieira)

Isso, para nós, não faz menor a contribuição de Lattes, ou seja, a observação dos píons artificiais ao microscópio. Isso se deu em função de ele ter sido treinado em Bristol, naqueles dois anos que antecederam a produção artificial, na técnica das emulsões nucleares, trabalho que havia começado ainda no curso de raios X que Lattes havia feito ainda em 1943 na USP com Occhialini. Ressalte-se que Lattes já havia visto aquilo que Gardner e o Grupo de Emulsões do Laboratório de Radiação buscavam desde o outono de 1947.⁶⁷⁶

Portanto, concordamos, em parte, com a tese de Galison: a de que Lattes representou transferência de tecnologia da Europa para os Estados Unidos. Tecnologia, talvez, seja termo inapropriado. Acreditamos ter havido, sim, transferência de conhecimento, pois o “aparato experimental estava correto”; faltava apenas “alguma experiência relevante” no assunto.⁶⁷⁷

O termo ‘transferência de tecnologia’ pode, a nosso ver, ser aplicado com mais propriedade ao que passou nos meses anteriores, quando houve significativa troca de correspondência entre Gardner e físicos e químicos britânicos, entre eles Powell, Waller, Chadwick e Rotblat.⁶⁷⁸ A ideia era chegar a ‘receita’ de revelação das emulsões que solucionasse os problemas encontrados pelo Grupo de Emulsões de Berkeley.

Vale a análise da passagem de relatório escrito por Gardner, no qual o norte-americano escreve que Lattes havia “feito a técnica de Bristol exitosa na detecção, pela primeira vez, de

⁶⁷⁶ O desenho do experimento (alvos expostos ao feixe de partículas alfa, bem como o posicionamento da pilha de emulsões de forma que os píons negativos penetrassem as chapas, depois de passarem por campo magnético) já havia sido feito ainda em 1947. Gardner e Lattes atribuem o desenho do experimento que os levou a detectar píons negativos a McMillan. Ver NUCLEONICS (1948, p. 74).

⁶⁷⁷ HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, ver capítulo ‘Machine made mesons’).

⁶⁷⁸ Esta troca de correspondência está detalhada em GALISON (1997b, p. 211).

mésons criados pelo homem.” Acreditamos que a expressão “técnica de Bristol” nessas palavras – sem dúvida, diplomáticas – referem-se muito mais ao fato de Lattes saber olhar ao microscópio do que a um conjunto de procedimentos (chapas, receitas de revelação etc.) que, como vimos, Lattes nega ter sido feito. Mas achamos que no termo “técnica” de Gardner devem ser incluídos os métodos de análise (contagem de grãos, principalmente, e momento) que forneceram uma relação entre a massa do pión e do múon acima daquela que havia sido prevista pelo próprio Lattes, em dois artigos em coautoria com Occhialini e Powell, naquele último mês de outubro.

Os resultados de Berkeley poriam em dúvida a tal “técnica de Bristol”. E, conseqüentemente, os resultados obtidos pela equipe de Powell.



À frente, Gardner (esq.) e Lattes; ao fundo (esq. para dir.), Lamb (?), Lawrence, Serber, não identificado e McMillan, em foto feita logo depois da produção artificial do pión negativo no sincrociclótron de 184 polegadas do Laboratório de Radiação em Berkeley (Crédito: *The Time Group*)

Máquinas *versus* natureza: contagem de grãos na berlinda

Vimos que a controvérsia entre Cambridge e Viena está na raiz do que achamos ser a retomada do método fotográfico para uso na física nuclear em meados da década de 1920. A produção artificial não causou controvérsia – pois a palavra, aqui, talvez seja qualificação extremada –, mas certamente trouxe preocupação para Bristol. Afinal, lançava dúvida sobre resultados de Bristol, obtidos pela contagem de grãos.

A enxurrada – e aqui a palavra parece apropriada – de píons e múons obtida no acelerador de Berkeley gerou quantidade nunca antes obtida dessas partículas. Vejamos trecho do relato em que Gardner e Lattes anunciam seus feitos:

“A primeira placa exposta, em 21 de fevereiro deste ano, por 30 segundos, permitiu obter 100 vezes mais mésons por placa do que [essa mesma razão

obtida] nos Andes [com a exposição das placas à] radiação cósmica por 45 dias. Isso é 10.000.000 vezes mais mésons por segundo no ciclotron do que no alto da montanha. Na primeira noite [de exposição de placas na máquina], um em cada 10.000 traços era méson; agora, com o método aprimorado, um em cada 10 traços é méson”⁶⁷⁹

A questão da produção direta ou não dos múons foi tema levantado com os resultados de Berkeley.⁶⁸⁰ No entanto, mais importante que ela ou que a razão relativa a mésons citada acima, é o fato de Lattes e Gardner terem obtido inicialmente para o pión negativo uma massa de 313 massas eletrônicas (m_e), com erro de 16 m_e para mais ou para menos.⁶⁸¹ Com base no valor do campo magnético aplicado sobre a partícula era possível saber o momento, e este, em conjunto com o alcance da partícula na emulsão, levava à massa. O resultado contrastava bastante com os de Bristol publicados cerca de seis meses antes: cerca de 260 m_e com erro de 30 m_e para mais ou para menos.⁶⁸²

Estava em jogo a precisão da “técnica de Bristol”, usada para o cálculo da relação entre as massas do pión e do múon, publicada em dois artigos de outubro do ano anterior em *Nature*.⁶⁸³

Essa disparidade foi motivo de preocupação em Bristol. Prova disso são as respostas que vieram ao longo daquele ano e do seguinte – ainda em 1948, Powell e Occhialini publicam

⁶⁷⁹ SCIENCE NEWS LETTERS (1948b, p. 182).

⁶⁸⁰ Duas outras questões foram levantadas pelos resultados de Gardner e Lattes: i) os píons produzidos por desintegração nuclear seriam o decaimento de uma partícula mais pesada?; ii) o múon poderia ser produzido diretamente no acelerador? Ou apenas como resultado de desintegração nuclear? Múons não são produzidos diretamente em aceleradores. Eles são produto do decaimento dos píons – por sinal, já se perguntou para que servem os múons além do fato de serem produto de decaimento de píons. Houve, logo após a produção artificial do pión em Berkeley, o surgimento de questão sobre se ou não o múon seria produzido diretamente nas colisões. Lattes afirmou que não. No entanto, pareceu a Hans Bethe o contrário. E essa questão perdurou algum tempo entre os físicos de partículas e nucleares da época. Depoimento de Lattes nos anais de encontro realizado em Bristol em 1987, para comemorar 40 anos da detecção do pión e das partículas estranhas, traz luz ao episódio: “Agora, em relação aos múons vindo [sendo produzidos] diretamente, acho que isso é questão de semântica. Eu disse a McMillan que os múons estavam também sendo produzidos, e Bethe entendeu que aquilo significava “arrancados diretamente [do núcleo]”. Mas ‘produzidos’ significa que estávamos detectando-os, e eles vinham dos píons que estavam sendo parados nos alvos.” Essas duas questões são discutidas, por exemplo, em FOSTER e FOWLER (1988, p. 51), bem como GRILLI (1991, p. 190).

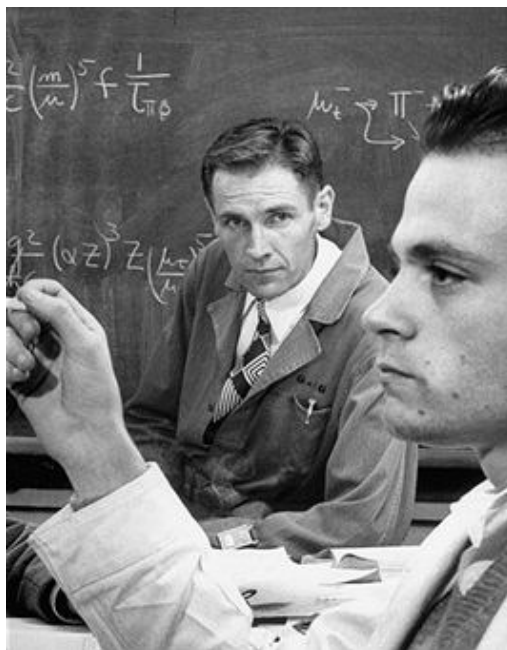
⁶⁸¹ Ver também BARKAS, GARDNER e LATTES (1948), no qual se estima a massa do pión positivo pela contagem de grãos em eventos obtidos no sincrociclotron de 184 polegadas de Berkeley. Os resultados mostram significativa diminuição no valor da massa do pión: 305 m_e . Para o múon, obtiveram-se 202 m_e .

⁶⁸² Ver GOLDSCHMIDT-CLERMONT *et al.* (1948, p. 188).

⁶⁸³ LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947a) e LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947b). Para artigo detalhado sobre os aspectos técnicos envolvidos na detecção do méson π em Bristol, ver GARIBOLDI (s/d).

artigo⁶⁸⁴ no qual discutem a natureza dos mésons produzidos artificialmente e defendem os resultados de Bristol. No ano seguinte, os dois, agora em artigos diferentes,⁶⁸⁵ respondem aos resultados de Berkeley nos anais⁶⁸⁶ de um encontro sobre sensibilidade fotográfica. Powell, nesse aspecto, é incisivo: faz comparação dos resultados obtidos por Bristol com aqueles de Berkeley e defende o que seu grupo havia feito até então.⁶⁸⁷

Essa disparidade de dados toma contornos mais dramáticos quando lembramos que o momento podia ser delicado para Powell: ele provavelmente já estava sendo indicado para o Nobel.⁶⁸⁸ E, talvez, soubesse disso.



Lattes (primeiro plano) e Gardner, logo após a detecção do pión no acelerador de Berkeley (Crédito: *The Time Group*)

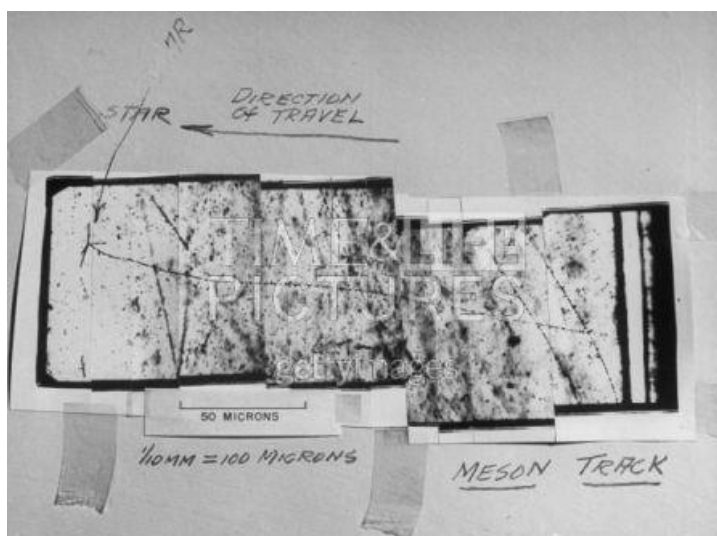
⁶⁸⁴ OCCHIALINI e POWELL (1948).

⁶⁸⁵ POWELL (1949) e OCCHIALINI (1949).

⁶⁸⁶ Nesse encontro, as duas histórias das emulsões – delas aqui denominada ‘história paralela’ – se juntam: físicos experimentais (sejam nucleares, sejam de raios cósmicos), físicos de estado sólido (como costumavam ser chamados), bem como membros da indústria fotográfica e da pesquisa militar. Para nós, isso é indicativo de que a técnica havia ampliado significativamente seu escopo de atuação.

⁶⁸⁷ Os resultados de Bristol estavam mais perto dos valores hoje adotados para o pión. Não sabemos dizer por que Lattes e Gardner, com estatística tão relevante de píons, chegaram a valor maior para a massa dessa partícula. Talvez, tenha sido um problema de erro sistemático. Acreditamos que essa questão pode ser esclarecida com a análise das cópias de três cadernos de laboratório de Lattes que encontramos em arquivo público nos subúrbios de San Francisco, Califórnia. Hoje, os valores aceitos são 139 MeV (cerca de 278 massas eletrônicas) para os píons carregados, e 105 MeV (cerca de 210 massas eletrônicas) para o múon.

⁶⁸⁸ É possível pensar que, caso comprovada a imprecisão dos resultados de Bristol sobre o pión e o múon, a candidatura de Powell poderia sofrer revés.



Mosaico de fotomicrografias de emulsões nucleares mostrando a trajetória de pión negativo, que, ao chegar ao final de sua trajetória (esq.), é absorvido por núcleo, que se desintegra, dando origem à chamada 'estrela'; a letra à mão é de Gardner (Crédito: *The Time Group*)



Capa da revista *Science News Letter* (mais tarde, *Science News*), de 20 de março de 1948, que também noticiou a detecção do pión artificial no acelerador de Berkeley na edição de 13 de março daquele ano (Crédito: *Science News*)

Estatística e eventos de ouro: estatística de eventos de ouro?

Com o surgimento dos aceleradores, a diferença postulada por Galison entre evento de ouro (tradicional nos raios cósmicos) e estatística fica nublada. Outros autores chegaram mesmo a defender que essas duas tradições experimentais postuladas – a visual e a lógica – empregam, ambas, a mesma forma estatística de argumento.⁶⁸⁹

Nossa questão aqui é a que dá título a este tópico: seria possível pensar agora em estatística de eventos de ouro? No caso de um só evento achado em acelerador, ele seria considerado 'de ouro'?⁶⁹⁰

⁶⁸⁹ O autor no caso é STALEY (1999). Não entraremos nessa discussão, que nos parece um tanto quanto epistemológica. No entanto, reproduzimos aqui o objetivo de Staley, segundo suas próprias palavras: “Eu mostro que descobertas em ambas as tradições [visual e lógica] empregaram a mesma forma estatística de argumento, mesmo quando as descobertas estão baseadas em eventos simples, de ouro. Onde Galison vê divisão epistêmica entre duas comunidades que podem apenas ser ligadas por “interlinguagem crioula, como um pidgin, há, de fato, compromisso com forma estatística de argumento experimental.”” (p. 196). Há muitos exemplos, mas um dos mais emblemáticos citados por Staley é o da descoberta do méson η (eta), por Alvarez, na câmara de bolhas de hidrogênio, em colaboração com a Universidade Johns Hopkins e a Universidade Northwestern. Foram 233 eventos, que, segundo a equipe, mostravam o decaimento desse méson em três píons.⁶⁸⁹ Para Staley, “[i]magens foram usadas como argumentos estatísticos na descoberta do η (eta), bem como em outras inúmeras descobertas, particularmente na era da câmara de bolhas.” Para discussão mais aprofundada, ver STALEY (1999, p. 206-207). Para a contra-argumentação, ver GALISON (1999b).

⁶⁹⁰ Seria interessante averiguar se um único evento obtido em acelerador por meio de detector visual (emulsão nuclear, por exemplo) teria sido suficiente para dar por comprovada a existência de uma partícula. Esse é caso que, para nós, tem a ver com a detecção do antipróton, como discutiremos adiante. Como ressaltam Heilbron e colegas – ver HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981) –, a interpretação de um único evento podia ser motivo de disputa. No caso do antipróton, parece-nos que essa dicotomia entre raios cósmicos *versus* máquinas se manteve. Outro caso que nos parece interessante é o do pión neutro: Bristol detectou alguns poucos eventos, enquanto Berkeley apresentou, como forma de comprovação dessa partícula, estatística de eventos. Semelhantemente ao caso do múon, a pergunta ‘Quem descobriu o pión neutro’ não tem resposta simples, porque a partícula surgiu em vários experimentos e em trabalhos teóricos.



Lattes (esq.) e Gardner na sala de controle do sincrociclótron de 184 polegadas de Berkeley, onde os dois físicos detectaram o pión negativo no início de 1948

Lattes afirmou poder capturar, em minutos de máquina, quantidade de mésons que levaria meses na radiação cósmica:

“Dr. Lattes⁶⁹¹ disse que, nos experimentos britânicos em que o laboratório era a própria natureza, oito pessoas trabalharam por um ano para obter 100 trajetórias de mésons negativos. Na Universidade da Califórnia, uma pessoa observou 27 trajetórias em 10 minutos de observação.

As primeiras placas expostas pelos Doutores Lattes e Gardner, por período de 30 segundos, forneceram 100 vezes mais mésons por placa do que a quantidade observada nos Andes por 45 dias. Isso representa 10 milhões de vezes mais mésons por segundo no ciclotron do que no alto da montanha.”⁶⁹²

O laboratório artificial, assim, permitiu o controle sobre a natureza – e a ausência desse controle foi fator que contribuiu para que as pesquisas com raios cósmicos perdessem, ao longo das cinco décadas seguintes, o prestígio de sua então ‘Era de Ouro’.⁶⁹³ Em certo sentido, podemos ver nos aceleradores a recriação da natureza, muito comum entre cientistas da era vitoriana, cenário no qual nasceram as ideias iniciais de Wilson sobre a câmara de nuvens.⁶⁹⁴

⁶⁹¹ Lattes, à época, não tinha doutorado. Tornou-se doutor, mais tarde, por meio de título de notório saber.

⁶⁹² NUCLEONICS (1948, p. 74).

⁶⁹³ Essa ‘Era de Ouro’ retornou em meados da década de 1990, com o início da construção do Observatório de Raios Cósmicos Pierre Auger, na Argentina, no qual, semelhantemente aos grandes laboratórios de partículas nos Estados Unidos e na Europa, trabalham centenas de físicos, engenheiros e técnicos.

⁶⁹⁴ Para discussão mais aprofundada, ver GALISON (1997b, capítulo 2).

Em menos de 10 anos, o controle suplantaria o acaso da natureza, mesmo que esta última ainda oferecesse eventos várias ordens de magnitude mais energéticos. Na queda de braço entre controle e energia, o primeiro sairia vencedor. As máquinas ainda teriam a seu favor a detecção do píon neutro⁶⁹⁵ – mesmo que essa partícula tenha sido concomitantemente detectada em emulsões expostas aos raios cósmicos –, bem como obtiveram rumo resultado pelo qual os físicos teóricos e experimentais esperavam desde o final da década de 1930: o píon é pseudoescalar.

Nos encontros dos anos seguintes na Europa, os físicos norte-americanos inundaram as conferências com suas ‘estatísticas de eventos de ouro’, vindas das grandes máquinas. O encontro de Pisa, em 1955, talvez tenha sido o divisor de águas entre a física de raios cósmicos e a de aceleradores.



Os físicos argentinos Beatriz Roederer, Pedro Waloschek, Juan G. Roederer e Daniel Amati (ao fundo, apontando) na Conferência de Pisa, em 1955 (Crédito: Arquivo pessoal de Juan G. y Beatriz Roederer)

Naquele momento, a física de partículas deixava o continente europeu, que se recuperava de uma guerra, para se instalar em ambiente propício a ela, em que havia prestígio da ciência junto ao governo e aos militares; abundância de dinheiro; quantidade significativa de recursos humanos (teóricos e experimentais); e, na concepção galisoniana, a terceira vertente das três subculturas, os construtores de máquinas.

Depois dessa transferência, a primeira grande descoberta em física de partículas no continente europeu só ocorreria cerca de duas décadas mais tarde, com a detecção das partículas W^+ , W^- e Z^0 , reponsáveis pelo ‘carregamento’ da força fraca nuclear, envolvida em certos tipos de radioatividade.

⁶⁹⁵ STEINBERGER, PANOFKY e STELLER e (1950) e BISHOP, STEINBERGER e COOK (1950).

Fotoprodução de píons: o fim das chapas de McMillan

Lattes, no início de 1949, pouco antes de retornar ao Brasil, examinou, a pedido de McMillan, chapas expostas a feixes de raios gama no síncrotron de elétrons de 335 MeV em Berkeley. Lattes alega que os píons que encontrou nessas chapas certamente foram os primeiros fotoproduzidos⁶⁹⁶ na história, o que confere a esse material valor tanto científico quanto histórico.

O que teria ocorrido com essas chapas?

Essa nos parece uma pergunta realmente importante. Vejamos as palavras de Lattes sobre o assunto:

“Em torno de fevereiro de 1949, eu estava me preparando para deixar Berkeley e retornar ao Brasil. Naquela época, Edwin McMillan, que tinha colocado em operação seu síncrotron de elétrons de 300 MeV, pediu-me para olhar algumas chapas que tinham sido expostas a raios gama de sua máquina. Em uma noite, encontrei cerca de uma dúzia de píons, tanto positivos quanto negativos, e, na manhã seguinte, entreguei a McMillan as chapas e os mapas que permitiam encontrar os eventos. Não sei que uso McMillan fez dessa informação, mas não há dúvidas de que aqueles foram os primeiros píons fotoproduzidos artificialmente a serem detectados.”⁶⁹⁷

Em outra entrevista,⁶⁹⁸ Lattes dá mais detalhes sobre a mesma passagem, alegando que McMillan queria os resultados com rapidez, porque iria apresentar os dados em reunião no dia seguinte.⁶⁹⁹

“Na noite em que consegui detectar a primeira meia dúzia de foto-mesons [*sic*] (Janeiro de 1949), produzidos por fótons, trabalhei a noite toda, porque o Mac Millan, [*sic*] que tinha tido a ideia de construir o síncrotron de elétrons, tinha que apresentar alguma coisa no dia seguinte: tinha um congresso. Quando chegou de madrugada, tocou o telefone. Era o João Alberto chamando do Brasil para comunicar que tinha havido a Assembleia Geral, e o CBPF estava fundado.”⁷⁰⁰

Primeiramente, é preciso destacar a importância desses resultados. O síncrotron de McMillan havia começado a funcionar no final do ano anterior (1948). Portanto, o que foi visto por

⁶⁹⁶ No caso, fotoproduzidos significa produzidos por meio da incidência de feixes de raios gama contra um alvo.

⁶⁹⁷ Tradução de Roberto de Andrade Martins.

⁶⁹⁸ Cópia corrigida à mão por Lattes da entrevista PINTO e FRANKENS (entrev.) (1976).

⁶⁹⁹ Inicialmente, suspeitamos que o encontro poderia ser o promovido pela NAS (Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos) entre 25 e 27 de abril de 1949 em Washington. Perguntamos a essa instituição sobre o prazo para a entrega dos resumos dos trabalhos. No entanto, não foi possível, segundo a NAS, localizar essas datas.

⁷⁰⁰ A primeira assembleia do CBPF ocorreu em 15 de janeiro de 1949. Buscamos nos anais de vários encontros científicos ocorridos naquela época, mas não nos foi possível obter nenhuma citação desses resultados.

Lattes, significava duas primazias: i) a máquina estava, pela primeira vez, produzindo mésons; ii) esses mésons eram os primeiros da história fotoproduzidos.

Isso nos levou a fazer pesquisa relativamente detalhada sobre a possibilidade de os dados dessas chapas terem sido publicados ou mesmo apresentados em encontros científicos posteriores à partida de Lattes. No entanto, nada encontramos.

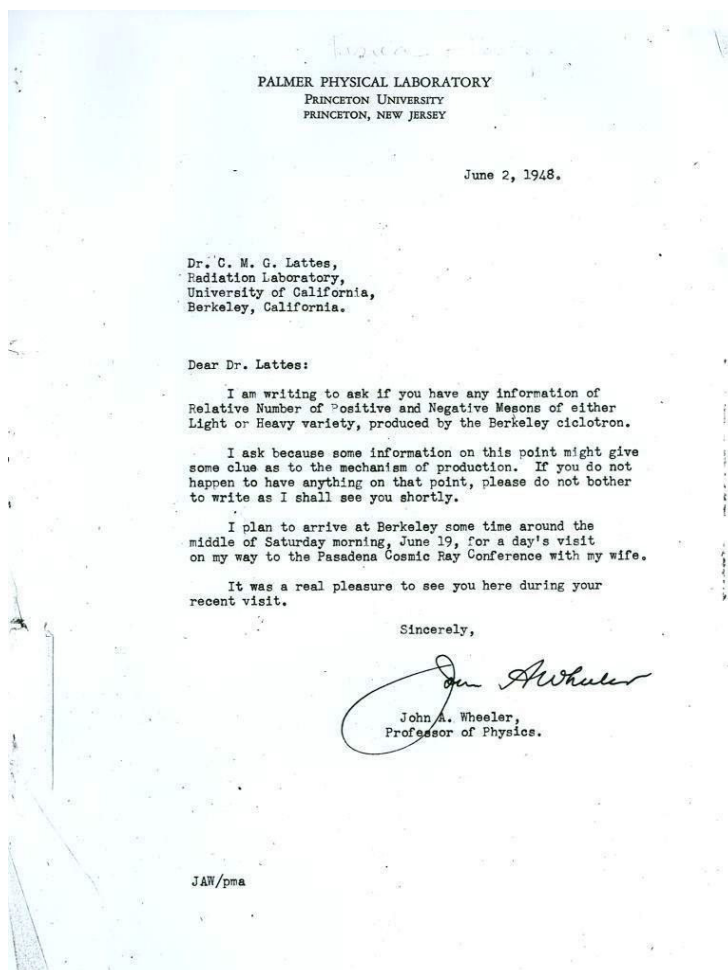
A bibliografia da época aponta para dois artigos de McMillan. Em um deles,⁷⁰¹ publicado na forma de resumos apresentados no Encontro Anual da Academia Nacional de Ciências (Estados Unidos), entre 25 e 27 de abril daquele ano, em Washington (DC), os autores escrevem: “O primeiro programa experimental a ser realizado pelo síncrotron de Berkeley é o estudo da produção de mésons”. Não há referência ou agradecimento a Lattes. Os autores citam estimativa da seção de choque dos mésons (píons) e afirmam que a relação entre a produção de píons negativos e píons positivos nas chapas é de 10:1. O segundo artigo⁷⁰² inicia-se dizendo que uma apresentação preliminar dos resultados já havia sido feita no Encontro da Academia Nacional de Ciências daquele ano.

Inicialmente, desconfiamos que os resultados de McMillan haviam sido apresentados em encontro que ocorreu em Pasadena, Califórnia,⁷⁰³ no Instituto de Tecnologia da Califórnia, logo depois da observação dos píons fotoproduzidos por Lattes. No entanto, não há menção alguma às placas.

⁷⁰¹ MCMILLAN e PETERSON (1949).

⁷⁰² MCMILLAN, PETERSON e WHITE (1949).

⁷⁰³ Ver PROCEEDINGS OF THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY (1948).



Carta de John Wheeler para Lattes perguntando sobre o número relativo da produção de píons e múons no acelerador de Berkeley (Crédito: Arquivo César Lattes/Siarq/Unicamp)

O físico Jack Steinberger passou a trabalhar em Berkeley praticamente nessa época,⁷⁰⁴ fazendo experimentos que levaram à detecção do pión neutro e à prova de que píons eram partículas pseudoescalares. Enviamos a Steinberger a passagem de Lattes sobre a fotoprodução apresentada no encontro para a comemoração de 40 anos da física de partículas. Recebemos a seguinte resposta:

“Obrigado por sua nota e informação sobre as emulsões em que Lattes viu a produção de píons por fótons do síncrotron de McMillan. Sinto dizer que você não achará mais informações sobre esse trabalho, o qual, tanto quanto sei, não levou a qualquer progresso interessante no entendimento dos píons naquele tempo. Eu não sabia desse trabalho quando, no início de 1950, medi a distribuição angular de píons positivos produzidos no mesmo feixe de fótons e pude assim deduzir que os píons eram pseudoescalares.”⁷⁰⁵

⁷⁰⁴ Ver, por exemplo, STEINBERGER e BISHOP (1950a) e STEINBERGER e BISHOP (1950b), em que estão os resultados – alguns preliminares – da produção de píons por fótons.

⁷⁰⁵ STEINBERGER (Comunicação pessoal).

Fica, portanto, a pergunta sem resposta: por que material tão valioso do ponto de vista científico, como a primeira fotoprodução de píons em acelerador não foi tornado público nem na forma de artigo, nem na forma de comunicação em encontro científico?

Talvez, as chapas não tenham apresentado boa resolução; talvez, McMillan e equipe não tenham conseguido, mesmo com os mapas deixados por Lattes, localizar os píons – nesse momento, o da partida de Lattes, Gardner já estava hospitalizado, permanecendo deitado em cama recoberta com tenda de oxigênio; Lattes o visitou pouco antes de voltar ao Brasil.



O físico norte-americano Jack Steinberger e colegas obtiveram resultados importantes em Berkeley, entre eles a fotoprodução de píons, a demonstração de que essas partículas são pseudoescalares e a produção de píons neutros (Crédito: *Annual Review*)

Conclusão (capítulo 10)

Os resultados obtidos pelo grupo de Bristol em 1947 foram aos poucos chamando a atenção de outros grupos de dentro e de fora da Inglaterra. Bohr, como vimos, manteve-se atento ao que estava ocorrendo naquela universidade inglesa. A teoria do méson, que havia mobilizado, desde a década de 1930, grandes nomes da física nuclear, teóricos e experimentais, começava, a partir de Bristol, a ganhar seus primeiros dados experimentais importantes para mostrar a existência de dois mésons de natureza distinta, um sendo lépton e outro bóson.

Quanto à visita de Lattes a Copenhague, há dois aspectos que valem ser ressaltados aqui. O primeiro é sobre a autoconfiança na discussão que travou, na presença de Bohr, com especialista em estatística. Outro é sobre a primazia até agora atribuída a ele sobre o cálculo da energia de Fermi. Como vimos, Lattes não foi o primeiro a pensar no assunto. Antes deles, outros físicos nos Estados Unidos haviam discutido e publicado sobre o tópico.

Mas o fato aqui não é sobre a primazia ou o ato de desafiar a opinião de um especialista – esse é apenas um olhar sobre a questão, que também pode ser interpretada da seguinte maneira: mostra como Lattes tinha boa formação teórica, a ponto de debater questões estatísticas com um pesquisador da área e de levantar a hipótese sobre a energia de Fermi concomitantemente com pesquisadores que estavam diretamente envolvidos com aceleradores de partículas.

Acreditamos que esses dois pontos revelam algo não apenas quanto à personalidade daquele jovem físico de 23 anos, mas também sobre a base teórica que ele havia obtido no Brasil e a experimental em Bristol⁷⁰⁶ – neste último caso, relativo à técnica das emulsões nucleares.

Já afirmamos que a ida de Lattes aos Estados Unidos foi mais do que simples cooperação entre dois pesquisadores. Ela representou o estágio final de transferência de tecnologia que havia se iniciado pelo menos um ano antes, quando Gardner passou a enviar chapas expostas no sincrociclótron de 184 polegadas e a trocar cartas com físicos que lidavam com a técnica no Reino Unido. E nesse aspecto é interessante lembrar que esse intercâmbio de ideias não ocorreu com físicos norte-americanos, até onde sabemos.

O fato de Gardner não ter buscado esse tipo de intercâmbio com pesquisadores de seu país talvez se deva ao motivo de que lá, nos Estados Unidos, a técnica das emulsões não ter até então sido muito disseminada – obviamente, os resultados de Bristol devem ter contado na hora de Gardner estabelecer seus interlocutores.

Também achamos que, com as evidências apresentadas, conseguimos, pelo menos, enfraquecer a versão de que Lattes havia chegado com chapas da Ilford em Berkeley e mudado a receita de revelação de Gardner. Há fortes evidências de que isso não tenha ocorrido. Portanto, nesse sentido, a versão de Galison nos parece equivocada. A fonte disso talvez tenha sido a carta de Powell, na qual o advérbio “aparentemente” parece ter sido desprezado.

Os resultados de Gardner e Lattes em Berkeley colocaram aqueles obtidos por Bristol⁷⁰⁷ na berlinda. Havia discrepância entre os valores das massas. E isso, achamos, ameaçou a contagem de grãos de Bristol para a obtenção das massas. Powell, ao explicar essa diferença, parece ter se preocupado com a questão – afinal, ela colocava em dúvida procedimentos usados até então por seu grupo. É possível que sua candidatura ao Nobel já houvesse sido lançada, e o próprio Powell soubesse disso.⁷⁰⁸ Porém, como já afirmamos, quase tudo o que diz respeito a Powell do ponto de vista da reconstituição histórica de suas ideias ficou tremendamente

⁷⁰⁶ Lattes afirmou ao autor desta tese que não havia aprendido física em Bristol; apenas inglês.

⁷⁰⁷ Ver, por exemplo, LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947a), LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1947b), LATTES, OCCHIALINI e POWELL (1948).

⁷⁰⁸ Suspeitamos que a ampla revisão sobre mésons feita em 1950 por Powell – que, por sinal, revela profundo conhecimento da literatura sobre o assunto – tenha sido parte de estratégia para a candidatura dele ao Nobel. Ver POWELL (1950).

prejudicado, pois grande parte de sua correspondência parece ter sido deliberadamente destruída pela família.⁷⁰⁹ Mas, como foi dito, isso é apenas suposição.

No embate entre a máquina e a natureza, esta última parece ter saído em desvantagem. A primeira dava aos pesquisadores algo que a radiação cósmica nunca daria: o controle. Além disso, com as máquinas, era possível obter, na mesma escala de tempo, várias ordens de magnitude a mais de eventos.

Para nós, a controvérsia entre Galison (eventos de outro *versus* estatística) e Staley (apenas argumentos estatísticos) continua em aberto. A essa discussão, acrescentamos apenas o fato de que tanto os físicos nucleares do CBPF quanto os cosmicistas da Colaboração Brasil Japão desenvolveram seus trabalhos com base tanto em eventos isolados (por exemplo, decaimento exótico e eventos centauro) quanto de estatísticas. Talvez, para entender o caso brasileiro, os dois modelos tenham que ser flexibilizados, deixando de lado o ‘visual ou lógica’ (no modelo de Galison) e o apenas lógica (no de Staley).

Por fim, acreditamos que não temos elementos históricos para responder à seguinte pergunta: o que aconteceu com as chapas nas quais Lattes achou os primeiros píons produzidos por fótons? Não nos foi possível identificar para qual encontro McMillan precisaria dos resultados. Isso seria crucial. No entanto, o assunto poderá ser retomado como trabalho em separado. Para Steinberger, as chapas não resultaram em nada importante. Mas cabe a questão: por que não divulgar dados que dariam à máquina recém-inaugurada a primazia de um novo modo de produção de píons? – basta lembrar que Lawrence, pouco depois dos resultados de Gardner e Lattes, pleiteou máquina de 9 GeV justamente com base no argumento de que seria preciso entender por que o pión havia sido produzido no sincrociclótron de 380 MeV. Some-se a isso o fato de Steinberger⁷¹⁰ alegar que, ao chegar em Berkeley, McMillan buscava físicos que quisessem trabalhar no síncrotron do elétron, que estava ocioso.

A fotoprodução ficaria por conta de dois outros experimentos, um deles feito no sincrociclótron de 184 polegadas com feixes de prótons e, pouco depois, no próprio síncrotron de Berkeley.

A questão não se encerra aqui e certamente mereceria busca mais apurada.

Por fim, outra ousadia: para nós, a produção artificial do pión em Berkeley, ao mostrar que a tecnologia empregada na máquina (a estabilização de fase) funcionava, o que permitiria a construção de aceleradores ainda maiores, está na origem da transferência da física de partículas

⁷⁰⁹ Talvez – e aqui é apenas conjectura – isso tenha sido feito pelo agravamento da Guerra Fria e a intenção de seus familiares de não associar o nome de Powell a movimentos e ideias da esquerda. Paradoxalmente, Lattes, em conversas reservadas com o autor desta tese, sempre afirmou que Isobel Powell, mulher de Powell, era membro do Partido Comunista (supomos que seja o inglês) e que ela desempenhou papel importante nas indicações recebidas pelo marido ao Nobel. Espera-se que mais dados sobre a questão venham à luz com a publicação de artigo por GARIBOLDI (Comunicação pessoal).

⁷¹⁰ STEINBERGER (1997, p. xxxiv).

do continente europeu para os Estados Unidos, onde permaneceria incólume – sem competição – por quase três décadas, só retornando à Europa com a decisão do Senado norte-americano pela não construção do SSC (sigla, em inglês, para Superconductor-SuperCollider).⁷¹¹

Hoje, a física de partículas, está praticamente centrada no CERN.

Physicists, at least, will agree with this department that the outstanding scientific achievement of 1948 was the production of mesons by means of the great cyclotron of the University of California by Drs. Eugene Gardner and Cesare M. G. Lattes. Mesons are ordinarily seen only when cosmic rays wreck atoms in the atmosphere; they die almost as soon as they are born—in millionths of a second.

Primeiro parágrafo de matéria publicada pelo jornal *New York Times* em 26 de dezembro de 1948, elegendo a produção artificial do pión como o evento de maior destaque daquele ano na área da física

(Crédito: *The New York Times*)

⁷¹¹ Aspectos mais sociopolíticos e epistemológicos da tentativa de construção do SSC está em DOMONDON (2009).

CAPÍTULO 11

A DÉCADA DO ENTUSIASMO

Introdução

No início da década de 1950, a técnica das emulsões nucleares havia adquirido novo estatuto, além daquele de detector para a área de física de partículas e física nuclear. Era o de instrumento científico – ou seja, para medições precisas. A técnica havia resolvido praticamente seus ‘reveses’, defendido seus resultados frente àqueles obtidos por aceleradores e acumulado feitos respeitáveis (detecção de píons, múons, káons etc.). Havia permitido que os físicos adentrassem o misterioso e novo mundo da matéria.

Some-se a isso o recente Nobel dado a Powell, pelo desenvolvimento da técnica das emulsões.

Naquele momento, a técnica já havia ganhado pelo menos três novos métodos para a revelação de emulsões espessas, em Bristol, Bruxelas e nos Estados Unidos – este último graças ao retorno de Blau às suas atividades com a técnica.

Novo desafio, no entanto, surgia no horizonte: a técnica teria que se adaptar à era das máquinas, ou seja, ao cenário de grandes quantidades de eventos produzidos em reduzido espaço de tempo. A ‘natureza artificial’ agora demandava pressa, e as emulsões requeriam tempo.⁷¹² A imagem única e isolada ainda serviria como prova cabal de descoberta?

Como volta aos primórdios da experimentação com raios cósmicos, as emulsões agora vão ao espaço, fazendo o papel dos eletrômetros que Bergwitz, Wulf, Hess, Kölhorster, entre outros, usaram naquele início do século. Não era mais o caso de esperar pela radiação cósmica no chão ou até mesmo a ‘pequenas’ altitudes como as das montanhas. O objetivo agora era buscá-la mais perto da fonte, o espaço. E, nesse aspecto, quanto mais alto melhor. E, para isso, a técnica foi ao encontro do que havia de mais avançado em termos de tecnologia aeronáutica.

Novo estatuto: de detector a instrumento de medida

Começamos este subcapítulo com declaração de importante personagem envolvida no uso e no desenvolvimento da técnica das emulsões na Europa. Nas palavras da física italiana Milla Baldo-Ceolin, hoje na Universidade de Pádua (Itália), no resumo de revisão feita recentemente por

⁷¹² Curioso notar que EZHELA *et al.* (1996) atribui o início da física de partículas à produção artificial do pión em Berkeley. Como a obra tem vários físicos como coautores, é possível pensar que haja certo consenso nesse sentido, apesar de o assunto ser controverso, por cair no campo das primazias, como discutimos nesta tese.

ela, podemos identificar os motivos que levaram a técnica das emulsões nucleares a ser adotada logo após a Segunda Guerra:⁷¹³

“Por volta dos anos de 1950, a Europa estava se recuperando da destruição humana e material da Segunda Guerra Mundial. O renascimento fundamental da física de partículas nesse período foi especialmente devido ao desenvolvimento e à difusão da técnica de emulsões nucleares, que eram adequadas para a colaboração internacional. Grupos de pesquisa emergindo da catástrofe da guerra tinham pouco mais do que seu entusiasmo para contribuir para a fronteira da pesquisa em física, mas, ao usar a técnica de emulsões nucleares, eles foram capazes de revelar fenômenos de cuja existência ninguém havia até então suspeitado.” [Grifo nosso]

O tom da declaração é o da técnica adequada, no local adequado, no momento adequado. Para Baldo-Ceolin, as emulsões nucleares eram apropriadas para a Itália, país que, como outros participantes europeus da Segunda Guerra, se encontrava desestruturado em praticamente todos os setores, incluindo obviamente a ciência. Nesse cenário, prossegue Baldo-Ceolin, as emulsões eram ideais para quem havia tido graduação deficiente, pois não necessitava de grandes conhecimentos de física.



Milla Baldo-Ceolin, física experimental italiana que começou a trabalhar com a técnica das emulsões nucleares logo após o final da Segunda Guerra Mundial (Crédito: *Annual Reviews*)

Passada essa fase de descoberta e adequação, descrita por Baldo-Ceolin, bem como a das grandes descobertas (decaimento e desintegração dos píons, detecção dos káons etc.), a técnica, no final da década de 1940, começou a ser pensada como um todo. Era a preparação para o que parecia ser a década (a de 1950) das emulsões nucleares. Emulsionistas passaram, a exemplo do que havia feito Zhdanov 20 anos antes, a ditar proposições gerais⁷¹⁴ para estabelecer

⁷¹³ BALDO-CEOLIN (2002, p. 1).

⁷¹⁴ Por exemplo, Marietta Blau. Neste último caso, as três proposições de Blau: 1) determinar com precisão a relação entre o alcance e a energia; 2) determinar com precisão a contagem de grãos; 3) determinar a

critérios com os quais a técnica deveria conviver para finalmente conquistar ‘corações e mentes’ dos experimentais.

Praticamente todos os problemas relacionados a aspectos físico-químicos e da técnica em si haviam merecido atenção dos emulsionistas, dos químicos industriais, bem como dos físicos de estado sólido:⁷¹⁵

i) o esmaecimento da imagem latente, apontado ainda em 1932 e tratado de forma mais ampla no início da década de 1950;⁷¹⁶

ii) o nevoeiro de fundo, resolvido com o tamanho e a sensibilidade dos grãos de brometo de prata;

iii) a revelação, mesmo de emulsões espessas, problema levantado ainda por Kinoshita em 1910 e aperfeiçoado por pesquisadores como Dilworth, Occhialini e Payne, em Bristol; Blau e De Felice, nos Estados Unidos; Dilworth, Occhialini e Vermaesen, em Bruxelas, no final da década de 1940;

iv) o fator de encolhimento, que ocorre devido à extração dos grãos de brometo de prata não revelados das emulsões no processo de fixação;

v) a contagem de grãos, que também começou⁷¹⁷ com a fase pioneira iniciada na década de 1910;

vi) o método de espalhamento coulombiano a pequenos ângulos, cuja base teórica foi estabelecida no final da década de 1930,⁷¹⁸ e a primeira aplicação se deu no início da seguinte;⁷¹⁹

vii) calibração das emulsões nucleares, que começou em Cambridge e Bristol logo após o fim da Segunda Guerra Mundial;

viii) a instrumentação óptica para a varredura por meio de microscópios binoculares, como apontado ainda por Zhdanov no início da década de 1930.

relação entre o espalhamento coulombiano e a energia e a massa das partículas. Mais tarde, Connie Dilworth fez algo semelhante. Ver, por exemplo, DILWORTH (1949).

⁷¹⁵ Não queremos com isso afirmar que esses problemas tenham sido solucionados em sua totalidade, nem mesmo que as técnicas para a obtenção de propriedades das partículas (espalhamento coulombiano e contagem de grãos) haviam atingido o máximo de seu aprimoramento. O que queremos dizer é que todos os tópicos acima haviam merecido atenção desses três grupos de pesquisadores e que se conhecia em boa medida qual o grau de imprecisão causado por cada um deles nos resultados.

⁷¹⁶ Ver, por exemplo, BEISER (1951).

⁷¹⁷ Esta é interpretação nossa dos fatos. Ao longo de nossas pesquisas, não foi possível apontar, com certeza, quem teria sido o responsável pelo início da contagem de grãos. Encontramos esse método, ainda que usado de forma rudimentar, nos trabalhos do que denominamos fase pioneira da técnica, principalmente, a nosso ver, em Michl. CASTAGNOLI, CORTINI e MANFREDINI (1955) afirmam que a contagem de grãos é tão antiga quanto a própria técnica das emulsões nucleares.

⁷¹⁸ WILLIAMS (1939). Nos dois anos seguintes, outros trabalhos do mesmo autor sobre o mesmo tema foram publicados.

⁷¹⁹ BOSE e CHOWDHURY (1941).

O prestígio da técnica havia sido coroado com o Nobel de Física de 1950, dado a Powell. E havia agora novos ‘alvos’ para as emulsões: as partículas estranhas e os méson pesados. Esse estado de espírito é encontrado em revisão de meados da década de 1950 sobre mésons pesados e tendo como autor um dos maiores especialistas na técnica. Vale reproduzir trecho mais longo do artigo:

“A EMULSÃO FOTOGRÁFICA – As imperfeições desse detector de partículas têm sido superadas com tal rapidez que talvez seja **perda de tempo se estender longamente sobre elas**. A falta de sensibilidade que em 1946 limitava o estudo de partículas instáveis a aquelas cujo produto de decaimento é de baixa velocidade (por exemplo, o méson π) foi remediada em 1948 com a introdução de emulsões sensíveis à ionização mínima. O resultado imediato foi a descoberta de decaimento do méson τ). **A elaboração da técnica de revelação melhorou de modo tão fundamental as qualidades do instrumento que o que era em 1945 não muito mais do que indicador bidimensional de eventos tornou-se por volta de 1950 instrumento de precisão**. Mais recentemente, a introdução da técnica de emulsões em pilha aumentou em mais de 20 vezes a espessura disponível das emulsões e assim deu ao instrumento uma verdadeira terceira dimensão.

Portanto, é possível conceber que o que nós descrevemos aqui como as presentes limitações já tenham sido eliminadas no momento em que o artigo é publicado.”⁷²⁰ [Grifo nosso]

A técnica havia espalhado para além de países que tradicionalmente iniciaram as pesquisas com emulsões nucleares,⁷²¹ chegando a outros, como Brasil, Argentina, Espanha,⁷²² Índia, Suécia, Austrália, Itália, México,⁷²³ Polônia, Austrália, Bélgica, Dinamarca, Irlanda e Noruega. Acreditamos que isso tenha a ver não só com a simplicidade e os custos da técnica, mas também com a maturidade atingida por ela já no início da década seguinte. Grande parte dessa expansão – exceção, certamente para Argentina, Brasil e México⁷²⁴ – ocorreu em função de

⁷²⁰ SHAPIRO (1956).

⁷²¹ Lista desses países pioneiros deveria incluir Áustria, Alemanha, Inglaterra, França, Japão, Estados Unidos, Canadá, Suíça e União Soviética. Por sinal, é interessante notar que a técnica parece ‘retornar’ à Alemanha, que está sendo reconstruída depois da derrota na guerra. Caso emblemático dessa volta nos parece estar no artigo de revisão – com tom de apresentação da técnica – escrito por MEYER (1948). Vale ressaltar que, na primeira fase do desenvolvimento das emulsões, cientistas alemães deram contribuições importantes para o tema, como vimos nos primeiros capítulos desta tese. Outra revisão feita na Alemanha – nesse caso por uma física argentina, Beatriz Roederer, do primeiro grupo de pesquisa a lidar com emulsões nucleares naquele país, como veremos pouco mais adiante – está em ROEDERER (1955).

⁷²² Para uma história do nascimento da física de partículas na Espanha, ver NAVARRO-BROTÓNS, GONZÁLEZ e TORRES (2005).

⁷²³ Blau trabalhou naquele país ao longo da Segunda Guerra Mundial. Vasta discussão desse período está em STROHMAIER e ROSNER (eds) (2006).

⁷²⁴ Nesses países, a introdução da técnica tem suas peculiaridades. No Brasil, ela se deu em função do contato de Lattes com o grupo de Bristol e os bons resultados obtidos pelo próprio Lattes com a exposição

voos de balão que levariam grandes volumes de emulsões para o estudo de partículas estranhas e mésons na primeira metade da década de 1950 na Itália.⁷²⁵

“[A]s razões que levaram a estabelecer essas grandes colaborações podem ser resumidas em quatro diferentes, porém relacionados, aspectos: razão econômica, devido aos mirrados recursos dos laboratórios europeus no final da guerra; razão científica, devido à enorme quantidade de dados coletados nos voos que precisavam ser analisados com brevidade; razão ideológica, devido à fé que Powell tinha no internacionalismo científico como grande força transformadora; razão humana, devido ao forte relacionamento nascido nas visitas ao exterior de jovens pesquisadores, principalmente italianos.”⁷²⁶

de emulsões nucleares à radiação cósmica e aos aceleradores. Na Argentina, a introdução se deu por meio do que denominamos aqui ‘contaminação’. No final da década de 1940, a física Estrella de Mathov esteve no Brasil (não foi possível esclarecer se em São Paulo ou Rio de Janeiro, pois a documentação é discrepante nesse aspecto) e tomou contato com a técnica. Entusiasmada com as características do método (custo, simplicidade etc.) e de seus feitos, montou, em Buenos Aires, pequeno grupo de estudantes de física (Juan Roederer, Pedro Waloschek, Beatriz Cougnet e Hans Kobrak, este último estudante de química, que se separou do grupo no final de 1950) que passou a trabalhar com emulsões expostas à radiação cósmica em grandes altitudes. Caso emblemático dessa ‘contaminação’ é o trabalho de Damián Canals Frau sobre a técnica de emulsões publicado concomitantemente com a formação do grupo de emulsões em Buenos Aires. O trabalho de Canals Frau foi certamente motivado pelo físico austríaco Guido Beck, que, na época, estava na Argentina e o tinha como assistente. Em setembro de 1948, Beck faz palestra na Sociedade Científica Argentina – publicado na forma de artigo no ano seguinte – em que apresenta fotomicrografia de desintegração nuclear resultante de exposição de chapas NTA, da Kodak, à radiação cósmica. Isso, de certa forma, subverte a história comumente contada sobre o início do estudo das radiações cósmicas na Argentina e na qual a primeira exposição de emulsões fotográficas aos raios cósmicos se deu em julho de 1949, como resultado da formação daquele pequeno grupo – conhecido como *El Cuartito*, em função da pequena sala que passaram a ocupar, a partir de março de 1949, no endereço Peru 222, da Faculdade de Ciências Exatas da Universidade de Buenos Aires. Para mais detalhes sobre esses tópicos, ver BECK (1949), CANALS FRAU (1949), ROEDERER (2002), ROEDERER (2003). O assunto será tratado pelo orientador desta tese e por este orientando em artigo que está em preparação. Sobre Guido Beck, ver VIDEIRA (2000). Chegou às nossas mãos, poucos dias antes da finalização desta tese, artigo que parece detalhar esse início do uso das emulsões nucleares na Argentina. Ele está citado como ROVERO (2009), mas poderá ser lido apenas para a defesa desta tese, dada a exiguidade de tempo para finalizá-la.

⁷²⁵ OLIVOTTO (2006) faz discussão ampla do assunto. É possível pensar que os chamados voos do Mediterrâneo e o G-Stack estão na origem das ideias que levariam ao Centro Europeu de Pesquisas Nucleares. Yoichi Fujimoto defende que essa grande e primeira colaboração científica do pós-guerra na Europa tem alcance ainda mais amplo: está na base da formação da União Europeia. SHIBUYA (Comunicação pessoal).

⁷²⁶ OLIVOTTO (2006, p. 495).

As emulsões espessas: novos métodos de revelação

Vimos que as primeiras emulsões espessas (50 micrômetros) foram obtidas ainda em 1927 por físicos soviéticos. No entanto, a revelação dessas chapas sempre foi parte sensível do método fotográfico.

A revelação era tão essencial à técnica das emulsões nucleares que não seria exagero afirmar que cada grupo no mundo desenvolvia seu próprio método de revelar as emulsões. Em outras palavras, sua própria receita. Em um de seus catálogos comerciais sobre emulsões nucleares – o público-alvo eram os pesquisadores –, a empresa Ilford se abstém de descrever qualquer método padrão para a revelação, enfatizando que isso era inerente a cada laboratório.⁷²⁷ Muitas dessas instruções eram fixadas na parede nas salas onde a revelação era executada, como receituário que deveria ser seguido à risca, em nome da tão fundamental padronização do método. Mas há outro motivo para isso: os físicos – com raras exceções – não chegaram a se aprofundar na química envolvida com a técnica – e isso em parte explicaria o termo aqui usado por nós de ‘usuários da caixa-preta’.

Vejam as preocupações dos emulsionistas quando o método ganhava seus primeiros contornos quantitativos, logo depois da Segunda Guerra. O trecho, mais longo, é emblemático de período em que o processo de revelação estava amadurecendo:

“A espessura das emulsões empregadas no presente experimento era de 40 μ [m]. Não há dificuldades especiais na revelação dessas placas, mas o seguinte procedimento, ao qual somos gratos ao Dr. G. P. S. Occhialini, é adotado como prática padrão e é importante ao se lidar com emulsões mais espessas, da ordem de 100 μ [m]. As placas são reveladas [no revelador] Ilford I. D. 19 (revelador de [placas] de raios X), em diluição de 1 de revelador para 3 de água, para 35 minutos a 18° celsius, em constante movimento. Para esse proposto, artefato mecânico⁷²⁸ foi empregado, o qual provoca mudanças regulares na inclinação do prato [onde está o revelador] e fornece fluxo laminar do revelador sobre a placa. Depois da revelação, a placa é lavada por 1 min[uto], banhada por 1 min[uto] em ácido acético a 2% e fixada. Nova etapa de fixação, a qual apresenta as dificuldades técnicas mais sérias com essas emulsões, é que é importante [...]. As emulsões contêm aproximadamente uma centena de vezes mais prata por unidade de área do que emulsão comum [comercial], e isso se torna importante para que se certifique de que [um volume] suficiente de sal de fixação seja empregado. Achemos que é vantajoso empregar solução hipo [tiosulfato de sódio] recém-preparada com a seguinte composição: duas partes saturadas de tiosulfato de sódio e parte de ácido para fixação da Kodak, esta na concentração padrão, adicionada a seis partes de água. O banho é renovado a cada poucos

⁷²⁷ Ver, por exemplo, HARMAN TECHNOLOGY LIMITED (2005). Os grupos de emulsionistas no Brasil, como no Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços e na Colaboração Brasil-Japão, também tinham suas receitas próprias. Acreditamos que nesse laboratório o conhecimento de química entre os emulsionistas era maior, em função de esse laboratório ser dirigido por pesquisador com formação em química, Hervásio de Carvalho.

⁷²⁸ Segundo Lattes, desenvolvido por Occhialini, para que este, no longo processo de revelação, pudesse ficar fumando e lendo. Visitamos a sala de revelação do Laboratório H. H. Wills, e a história semelhante foi contada a nós por um pesquisador da época, Rodney Hillier, da Universidade de Bristol.

minutos na fixação, a placa sendo lavada por um minuto, enquanto a solução é mudada. É vantajoso manter a superfície da emulsão com a face para baixo no banho, para facilitar a remoção dos pesados sais de prata da emulsão, e, para isso, a placa deve ser presa por ventosa, anexada a haste de metal, grudada ao vidro. Considerável variação de tempo na revelação pode ser tolerada sem apreciáveis variações na qualidade visual da imagem sob o microscópio. À medida que a revelação ocorre, os grãos de fundo se tornam numerosos, mas os traços [das partículas] se tornam mais densos. A experiência ensina que é melhor que o tempo de revelação seja longo do que curto, especialmente para trabalhos com prótons, quando é importante que o início do traço seja bem definido. Certa concentração de grãos de fundo é útil, por permitir que as superfícies da emulsão sejam facilmente distinguíveis, pois isso permite tomada rápida de decisão sobre se ou não determinado traço ultrapassou [a superfície] da emulsão. Se uma boa discriminação entre diferentes partículas é importante, então a sub-revelação é vantajosa.”⁷²⁹

O problema da revelação de emulsões ganhou, com mais intensidade, a atenção dos emulsionistas ainda no final da década de 1940, logo após os sucessos da técnica em Bristol e Berkeley. Como dissemos, essa questão já havia sido apontada por Kinoshita ainda em 1910: a revelação de emulsões espessas torna-se desigual em função da diferença de penetração do revelador. Porém, o físico japonês lidava com emulsões bem pouco espessas comparadas com as que surgiram naquela metade da década de 1940, com camadas de gelatina às vezes superiores a 100 micrômetros, chegando a 1 mil micrômetros (1 mm) ou 2 mil micrômetros (2 mm).

Em emulsões espessas, o revelador penetrava mais rapidamente pelas bordas, e muitas vezes nem chegava ao centro da emulsão. Decorre desse processo o fato de esse revelador permanecer mais tempo em contato com as regiões fronteiriças da emulsão, levando a uma revelação desigual.

Basicamente, dois grupos enfrentaram esse problema de forma mais enfática: o de Occhialini e Dilworth,⁷³⁰ ainda em Bristol – e mais tarde em Bruxelas – e o de Blau, agora nos Estados Unidos.⁷³¹

O chamado método da temperatura foi publicado em 1948,⁷³² garantindo não só revelação mais uniforme de emulsões espessas, mas também solução para o problema do encolhimento nesse processo.⁷³³ O método consistia basicamente em baixar a temperatura dos reagentes – a cerca de 5 graus celsius, situação em que o revelador praticamente não age sobre a imagem latente –, permitindo que a solução penetre bem a gelatina. Feito isso, a temperatura é elevada aos poucos, até cerca de 25 graus, quando a ação dos reagentes volta à normalidade.

⁷²⁹ LATTES, FOWLER e CÜER (1947b, pp. 886-887).

⁷³⁰ Para obituário de Cosntance Dilworth, mulher de Occhialini, ver GARIBOLDI (2004a).

⁷³¹ DILWORTH, OCCHIALINI e VERMAESSEN (1950), DILWORTH, OCCHIALINI e PAYNE (1948). BLAU e DE FELICE (1950), RUDIN, LINDENBAUM e BLAU (1950).

⁷³² DILWORTH, OCCHIALINI E PAYNE (1948).

⁷³³ FITCH (1999, p. S29)

Quanto ao método de Blau e De Felice,⁷³⁴ conhecido como o método dos dois banhos, ele consiste, de forma resumida, a expor a emulsão à água por 10 minutos. Depois disso, o primeiro banho é feito em mistura de revelador, sulfito de sódio e brometo de potássio; e o segundo, com revelador acrescentado de substância alcalina. Ambos duram 30 minutos. Depois, o processo é praticamente igual ao de outros métodos: ácido acético para frear a ação do revelador; fixador por longas horas; e finalmente a lavagem em água, também por horas.

Segundo os autores, Blau e De Felice, os dois banhos, além de tornar a revelação mais uniforme⁷³⁵, evitava a reticulação,⁷³⁶ bem como diminuía o nevoeiro de fundo.

O método foi influenciado não só pelo método da temperatura, mas também – e principalmente – por técnica de revelação usada na indústria cinematográfica, a partir de 1933,⁷³⁷ para revelar, de modo uniforme, grandes quantidades de filmes.

Desses dois métodos, o de Occhialini e Dilworth tornou-se o mais popular e padrão para grande parte dos laboratórios que trabalhavam com emulsão depois da década de 1950 no mundo, inclusive no Brasil.⁷³⁸

Para finalizar, citaremos que o problema do encolhimento das emulsões após o processo de revelação também recebeu atenção no pós-guerra. Nessa área, podemos destacar os trabalhos do próprio Rotblat,⁷³⁹ por exemplo.

Fios, chumbo e raios X: a economia em jogo

Na década de 1950, inovações foram acrescentadas às emulsões. Uma delas, principalmente pelos desdobramentos que tiveram a ver com a física no Brasil, mais especificamente a Colaboração Brasil-Japão, vale ser destacada. São as câmaras de emulsão, cuja essência é expor grandes áreas de emulsão à radiação cósmica, sem, no entanto, ter que fazer a varredura óptica de toda sua superfície – o que tornaria o método inviável.

A origem desse equipamento pode ser atribuída a Kaplon e colegas,⁷⁴⁰ que o desenvolveram no início da década de 1950 nos Estados Unidos. Esse aparato experimental diferia significativamente daquele desenvolvido posteriormente pelos japoneses. Era formado pelo empilhamento de cerca de 20 emulsões G5, retangulares (seis polegadas por quatro polegadas), com 100 micrômetros de espessura, sobre camada de vidro com pouco mais de 1 mm. Entre as

⁷³⁴ BLAU e DE FELICE (1948).

⁷³⁵ Blau e De Felice trabalharam com emulsões Ilford do tipo C2, com 200 micrômetros de espessura.

⁷³⁶ Reticulação, no caso, é a superfície da emulsão ganhar o aspecto ‘quebradiço’.

⁷³⁷ CRABTREE, PARKER e RUSSEL (1933).

⁷³⁸ Referimo-nos à Colaboração Brasil-Japão, iniciada no começo da década de 1960.

⁷³⁹ ROTBLAT e TAI (1949).

⁷⁴⁰ KAPLON, PETERS e RITSON (1952).

emulsões, havia placa de latão com 3 mm de espessura. Esse equipamento foi usado, por exemplo, para o estudo de propriedades dos chamados primários dos raios cósmicos.

No entanto, acreditamos que podemos retroceder a ideia de se evitar a varredura total da área da emulsão – por economia de tempo e recursos humanos e financeiros – a um trabalho conjunto de Meulemans, Occhialini e Vincent.⁷⁴¹ É nele que está a ideia de inserir, nas emulsões, fios muito finos (como os de náilon, platina, com poucos micrômetros de espessura), dispostos paralela e perpendicularmente, a distância de aproximadamente 1 milímetro um do outro, formando malha. O propósito era basicamente banhar esses fios com elementos radioativos e assim carregar as emulsões com elementos estranhos à composição dela.

As colisões entre os elementos do fio e a radiação cósmica podiam ser facilmente varridas opticamente. Quando se encontrava um evento nas proximidades do fio, era quase certo de que era resultado da interação de uma partícula do chuveiro cósmico com um elemento do fio. “A varredura óptica era muito rápida, especialmente quando feita ao longo dos fios.”⁷⁴²

Mais tarde, essa mesma ideia de economia no trato com as emulsões ressurgiria entre físicos japoneses, que passariam a usar o método de colocar, sobre grandes placas de emulsões nucleares, filme de raios X, para localizar, a olho nu, onde se encontravam os eventos mais energéticos.⁷⁴³ Essas câmaras de emulsão, com áreas de aproximadamente 0,2 m², eram basicamente formadas por filme de raios X que recobria uma emulsão nuclear, sendo que esse ‘sanduíche’ era separado do próximo por uma placa de chumbo de área equivalente. Com esse

⁷⁴¹ MEULEMANS, OCCHIALINI e VINCENT (1951).

⁷⁴² GARIBOLDI (2004, s/p).

⁷⁴³ Pela declaração de Yoichi Fujimoto – ver FUJIMOTO (1993) –, a decisão de incluir as chapas de raios X parece ter surgido depois das observações de Powell, em viagem ao Japão, na década de 1950, de que seria necessário grande número de microscopistas para fazer a varredura da grande área das câmaras. Segundo Fujimoto: “Ainda no estádio de preparação do experimento com as câmaras de emulsões, em algum período da primavera de 1956, recebemos a visita do Professor Powell de Bristol. [...] Ele vê o ponto fraco das câmaras no fato de elas requererem trabalho muito intenso para a varredura dos chuveiros de elétrons nas placas de emulsões nucleares, especialmente para os casos de incidência muito horizontal, sem contar o fato de o equipamento não nos permitir ver a interação em si [...] Ele estava certo naquelas críticas, porque a varredura óptica para os chuveiros de elétrons exigiria realmente trabalho árduo, e teríamos que arrumar voluntários para esse laborioso trabalho. [...] Sabíamos que não poderíamos prosseguir com esse tipo de processo trabalhoso para sempre, e, para a escala do experimento com câmaras, teríamos que achar um jeito de evitar essa dificuldade, o que nos levou à introdução de filmes de raios X para a varredura a olho nu. [...]” [Observação: por vezes, os tempos verbais do original, em inglês, apresentam certas peculiaridades que dificultaram a tradução.]. Para as relações entre a descoberta do pión e do múon e o início da CBJ, ver FUJIMOTO (1997).

método, no entanto, é possível apenas estudar as chamadas cascatas eletromagnéticas resultantes do decaimento do pión neutro.⁷⁴⁴

Essas câmaras de emulsões foram empregadas por cerca de três décadas na chamada Colaboração Brasil-Japão.⁷⁴⁵ Seus principais resultados foram a detecção de eventos exóticos chamados centauros, em que há produção múltipla de píons.⁷⁴⁶

Blau em Brookhaven: rumo à automatização:

Até o final da década de 1950, a técnica das emulsões nucleares, apesar do grande desenvolvimento e agora sua capacidade de não só descobrir, mas também de medir com precisão, havia ganhado apenas uma obra abrangente (um atlas,⁷⁴⁷ na verdade) sobre ela.⁷⁴⁸ Ou seja, ainda não havia – além, obviamente, da enorme quantidade de artigos publicados⁷⁴⁹ – publicação que descrevesse o *modus operandi* daquele instrumento científico,⁷⁵⁰ exceção para o livro escrito ainda em 1947 por Powell e Occhialini,⁷⁵¹ que pode ser visto como introdução à

⁷⁴⁴ A cascata eletromagnética é gerada pelo decaimento dos píons neutros em elétrons e pósitrons. Obviamente, ficam registrados nas emulsões eventos relativos aos decaimentos de píons eletricamente carregados, mas que só poderiam ser localizados com a varredura óptica detalhada, o que se tornaria o trabalho praticamente impossível, dada a grande área das placas e o tempo que isso exigiria, mesmo com uma grande equipe de microscopistas.

⁷⁴⁵ Relato detalhado do experimento está em LATTES *et al.* (1971) e LATTES, FUJIMOTO e HASEGAWA (1980), BJORKEN e MCLERRAN (1979). Artigo com viés mais histórico está em SHIBUYA (1981). Outros experimentos que também utilizavam câmaras de emulsões, como o Pamir (Rússia), SYS (das universidades japonesas Saitama e Yamanashi e a Universidade Mayor de San Andres, na Bolívia) foram descontinuados. SHIBUYA (Comunicação pessoal). Não nos foi possível verificar se a Colaboração do Monte Kanbala, entre grupos japoneses e chineses, continua em andamento.

⁷⁴⁶ Os vários tipos de eventos centauro (guaçu, açu, mirim) são ainda mal compreendidos. Experimento (CASTOR, *Centauro and Strange Object Research*, subdetector do detector ALICE) será realizado no acelerador LHC, do CERN, para investigar o fenômeno. Mais detalhes em ANGELIS *et al.* (2001), BJORKEN e MCLERRAN (1979). Para uma discussão técnica e ampla sobre os eventos exóticos, sugerimos LATTES, FUJIMOTO e HASEGAWA (1980), LATTES *et al.* e AKAHI *et al.* (1971), OHSAWA, SHIBUYA e TAMADA (2004), bem como LATTES *et al.* (1962), LATTES *et al.* (1963), LATTES *et al.* (1964), LATTES *et al.* (1965).

⁷⁴⁷ Discussão interessante sobre o papel do atlas para a objetividade da ciência está em DASTON e GALISON (1992) e DASTON e GALISON (2007). Ver também GALISON (2000).

⁷⁴⁸ POWELL, FOWLER e PERKINS (1959).

⁷⁴⁹ SHAPIRO (1956, p. 343) afirma que a bibliografia sobre o assunto já era tão vasta em meados da década de 1950 que se ia impossível escrutinar todas as referências ao método.

⁷⁵⁰ YAGODA (1964, p. 63).

⁷⁵¹ POWELL e OCCHIALINI (1947).

técnica que estava até então apenas despontando. Naquele livro, as emulsões são vistas como um método tão fácil que, vislumbram os autores, poderiam ser implementadas em centros de pesquisa mundo afora – até mesmo em escolas secundárias poderiam fazer física nuclear, sendo a técnica simples e barata.

Quanto ao atlas sobre a técnica, ele que levou cerca de dez anos para ser feito, chegou tardiamente e não teve o impacto esperado. A essa altura, as emulsões nucleares se ressentiam de não ter se adaptado ao processo quase industrial com que as equipes dos aceleradores passaram a trabalhar. O entrave era o tempo de varredura óptica das emulsões e, conseqüentemente, o número de microscopistas necessário para isso.

A ‘lentidão’ da técnica já havia sido motivo de preocupação com os primeiros emulsionistas, como mostra a curta passagem de um dos primeiros trabalhos de calibragem das emulsões nucleares: “Nós, portanto, preferimos sacrificar um pouco da precisão em favor de uma vantagem muito importante, a velocidade da medida.”⁷⁵²

Com o grande fluxo de dados originários dos aceleradores, a varredura óptica se tornava trabalho hercúleo. O problema era a profusão de dados por placa que os aceleradores passaram a produzir. E esse novo ritmo de produção de partículas já havia sido notado como problema ainda na época da produção artificial de méson em Berkeley:

“As placas se tornaram prolíficas, e as equipes [de microscopistas] bem treinadas; um bom microscopista poderia encontrar até 50 mésons em uma só placa em uma hora. Eles achavam tanto múons quanto píons. **Eles tinham mais dados do que a quantidade com a qual podiam lidar.**”⁷⁵³ [Grifo nosso]

Em pouco tempo, esse modo de trabalhar, porém, passaria a contrastar bastante com a estratégia adotada na análise de dados nas câmaras de bolhas, principalmente em Berkeley, onde a automatização⁷⁵⁴ do processo de varredura das fotografias era feita com a ajuda de computadores e programas especializados, organização em parte inspirada pelo Projeto Manhattan.

Vale uma comparação, ainda que breve, entre dois detectores visuais: de um lado, as emulsões nucleares, quase artesanais, demandando tempo para a revelação e mais ainda para a varredura óptica, lidando com verbas de bancada. De outro, estavam as câmaras de bolhas, com verbas milionárias, organização industrial, com equipes de programadores de computador, cientistas da computação, físicos experimentais e teóricos, bem como engenheiros, todos tendo que se comunicar, para usar termo galisoniano, com linguagem crioula (pídgín), para poderem se entender, tamanha a diversidade de formações.

⁷⁵² LATTES, FOWLER e CÜER (1947b, p. 888).

⁷⁵³ HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, capítulo 3).

⁷⁵⁴ Preferimos automatização a automação.

Nessa época, a ideia do técnico deixaria de ser a de uma pessoa sem formação específica. O famoso 'coro de Powell' cessaria em 1957, depois de dez anos de atividades.⁷⁵⁵ Em Berkeley, Barkas entraria na década de 1960 com seus microscopistas, mas esse tipo de equipe era quase um 'fóssil' do padrão europeu de se fazer pesquisa: pequenos grupos, técnicas baratas, baixos orçamentos, ainda mais se constrastado com a organização do Laboratório de Radiação, onde nascia a câmara de bolhas de hidrogênio, cuja construção pode ser considerada, como afirmamos, um Projeto Manhattan em escala menor.



Grupo de microscopistas do Instituto Max Planck para a Física, então em Heidelberg; em Bristol, eram denominadas 'popsies' ou 'coro de Powell', onde permaneceram em atividade de 1947 a 1957 (Crédito: arquivo pessoal Juan G. y Beatriz Roederer)

Em uma época em que o técnico se profissionalizava, não havia mais sentido em contratar mão de obra não especializada. Nos grandes laboratórios da Europa e dos Estados Unidos, a figura do técnico sem formação acadêmica, instruído quase individualmente pelos cientistas para a realização das tarefas, seria substituída pelo engenheiro ou cientista da computação. Prefencialmente, com doutorado.

Tendo esse cenário de fundo, as primeiras tentativas de automatização da varredura – que incluíam até o uso de cartões perfurados – vieram à tona em meados da década de 1950. Mas não foram suficientes para reservar grandes nichos para as emulsões na área de altas energias.

⁷⁵⁵ Lattes, em seus dois anos (1955 e 1956) de permanência na Universidade de Chicago, quando assumiu o grupo de emulsões de Enrico Fermi, reclamava do fato de os alunos – mesmo os de doutorado – terem que fazer a varredura óptica das emulsões. Para ele, isso era desperdício de tempo e trabalho que deveria ser feito por microscopistas.

Exemplo dessas tentativas pioneiras está nos trabalhos de Blau na Universidade de Colúmbia. Nele, tentou-se a varredura dita semiautomatizada, que exigia a presença de um motor de passo controlado por pedal pelo operador do microscópio:

“Um aparato é descrito cujo elemento básico é um microscópio e um motor de passo. O operador controla a direção e a velocidade de movimento por meio de volante e pedal de aceleração e com isso direciona o movimento [do aparato] sobre a trajetória que deve ser analisada. Alcance, densidade de grão e orientação geométrica das trajetórias etc. são automaticamente gravadas em mapas. Método de medidas e resultados são discutidos.”⁷⁵⁶

Nem esses resultados, nem outras tentativas da época foram suficientes para manter as emulsões como detector da física de partículas em aceleradores. As primeiras iniciativas que levariam à automatização total do processo de varredura só se iniciaram duas décadas mais tarde dos resultados de Blau e colaboradores. Elas seriam desenvolvidas na Universidade de Nagoia (Japão) e, cerca de 20 anos depois, possibilitariam a automatização – agora sim plena – de experimentos, como o Chorus e, posteriormente, o Ópera.

Voltaremos ao processo de ‘desumanização’ da varredura óptica em subcapítulo mais adiante nesta tese.

Balões, foguetes e satélites: emulsões ao espaço

A partir da década de 1960, as emulsões retomaram estratégia que se iniciou três décadas antes, quando as primeiras chapas fotográficas foram enviadas a grandes altitudes, com o auxílio de balões, para a exposição a raios cósmicos. Cerca de 30 anos depois daqueles voos pioneiros, entrariam em cena outros meios de transporte para esse detector leve: os foguetes e satélites, bem como balões, porém estes agora mais sofisticados.⁷⁵⁷

Essa nova frente de pesquisa foi motivada principalmente pelo crescente interesse na década de 1960 por temas ligados a programas espaciais e aeronáuticos, bem como à geofísica espacial – essa linha de pesquisa com as emulsões nucleares chegou a merecer extensa revisão.⁷⁵⁸ Um desses programas ocorreu no início de 1960 – e ele diz respeito à história da física no Brasil. O experimento ICEF (sigla, em inglês, para Cooperação Internacional para o Voo de Emulsões)⁷⁵⁹ levou, a cerca de 30 km de altitude, 100 litros de emulsões, reunindo de 30 a 40

⁷⁵⁶ Esses resultados foram publicados, por exemplo, em RUDIN, BLAU e LINDENBAUM (1950).

⁷⁵⁷ Ainda no final da década de 1940, foram desenvolvidos em Bristol balões feitos de polietileno, enchidos com hidrogênio, que podiam voar por horas, a grandes altitudes, levando grandes volumes de emulsões. Em função da retomada do tráfego aéreo no Reino Unido após a guerra, eles acabaram transferidos para a Itália, dando origem a grandes colaborações internacionais, as primeiras do pós-guerra.

⁷⁵⁸ YAGODA (1962).

⁷⁵⁹ Para discussão técnica sobre o ICEF, ver LATTES (1963).

laboratórios do mundo, inclusive o Brasil, que recebeu aproximadamente 5%⁷⁶⁰ do volume das emulsões. A varredura óptica, no caso, ainda foi feita por microscopistas.⁷⁶¹

Outro exemplo, ainda em meados da década de 1950, foi o do grupo de emulsões nucleares do Instituto de Estudos Nucleares, coordenado simultaneamente pela Universidade de Tóquio e pela de Kobe. Nessa iniciativa, foram feitos voos de balões carregando câmaras de emulsões. Cerca de dez anos mais tarde, a tecnologia das câmaras de emulsões seriam empregadas em larga escala pela Colaboração Brasil-Japão entre as décadas de 1960 e 1990.

Conclusão (capítulo 11)

A década de 1950 assiste ao fim da câmara de nuvens, que, depois de quatro décadas, havia acumulado grande número de descobertas, começando, por exemplo, ainda em meados da década de 1920, em Cambridge, com Blackett, quando este confirmou a transmutação nuclear obtida por Rutherford poucos anos antes. Outros feitos desse detector visual foram a descoberta do pósitron,⁷⁶² dos pares de matéria e antimatéria, do múon e de seu decaimento, e das partículas estranhas, estas últimas na segunda metade da década de 1940.

Em 1957, a última câmara de nuvens, localizada em Brookhaven, cessou seus trabalhos.⁷⁶³ Encerrava-se, assim, o ciclo da máquina batizada por Rutherford como “o mais original e maravilhoso instrumento da história da ciência”.⁷⁶⁴

Nesse mesmo período, vemos a técnica das emulsões passar de atuação local para global. A técnica retornou tardiamente à Alemanha, no final da década de 1940, provavelmente por causa dos efeitos da guerra sobre o país, como demonstra Meyer (1948). Na Austrália, a primeira grande revisão sobre a técnica parece ter sido escrita em 1950.⁷⁶⁵ Além dos resultados daquela segunda metade da década de 1940, simplicidade e baixo custo foram essenciais para sua disseminação depois da Segunda Guerra.

⁷⁶⁰ Em ASSIS (1999), Lattes afirma que o Brasil ficou com 20% do volume total das emulsões.

⁷⁶¹ “Treinaram-se [duas] microscopistas, e o trabalho [do ICEF] teve de ser feito em São Paulo. Esse [trabalho] saiu. Chama-se International Cooperative Emulsion Flight. O que saiu publicado são essencialmente os dados brutos e algumas conclusões gerais.” Note-se que os resultados do experimentos – pelos menos, nas palavras de Lattes – parecem ser apenas parciais. Talvez, o caso mostre que a varredura óptica de grandes volumes de emulsões já mostrava seus limites.

⁷⁶² Ver ANDERSON (1932), ANDERSON (1933), ANDERSON (1936).

⁷⁶³ LEE-FRANZINI (2002, s/p).

⁷⁶⁴ Obviamente, há nas palavras de Rutherford parcialidade, pois a câmara de nuvens foi desenvolvida em Cambridge, laboratório do qual Rutherford se tornaria diretor em 1919. Além disso, certamente contou para a declaração sua amizade com C. T. R. Wilson. No entanto, apologia semelhante a esse equipamento é feita em CHALONER (1997).

⁷⁶⁵ HOPPER (1950).

É nesse período que a técnica passa de detector a um instrumento de medida.

Do ponto de vista de sua físico-química, ela parecia ter atingido seu auge, com uma teoria que dava conta dos fenômenos de estado sólido que ocorriam no grão de brometo de prata – apesar de isso, como já enfatizado, nunca ter influenciado o uso da técnica pelos emulsionistas, mais preocupados em desenvolver novos métodos de revelação para emulsões espessas, bem como aprimorar a varredura óptica.

Novos métodos de revelação, que permitiram o uso de emulsões com até 2 mm de espessura, também foram desenvolvidos.

A aplicação das emulsões no campo dos raios cósmicos exigia que grandes áreas de emulsões fossem expostas. No entanto, isso criava um problema quase insolúvel: como fazer a varredura de emulsões que somavam vários metros quadrados de área. Isso exigiria a contratação de um número significativo de microscopistas – um “batalhão” deles, para usar o termo de um entrevistado para esta tese⁷⁶⁶. A solução encontrada pelos físicos japoneses foi acoplar a essas grandes emulsões um filme de raios X, restringindo os eventos mais energéticos da cascata eletromagnética. Essa economia de recursos em um país assolado pela Segunda Guerra levou, portanto, ao desenvolvimento das chamadas câmaras de emulsões, que seriam empregadas em grande quantidade e por décadas na Colaboração Brasil-Japão.

Nesse período, as emulsões adentravam com mais força outro filão de atuação: o estudo da fissão nuclear e da radioatividade,⁷⁶⁷ cujo início talvez esteja na União Soviética, logo depois do fim da Segunda Guerra, com os resultados obtidos por Perfilov,⁷⁶⁸ que, ainda em 1947, fez a primeira medida da meia vida da fissão espontânea do urânio com a técnica das emulsões.⁷⁶⁹ Esse campo prosperaria na Itália e, mais tarde, no Brasil, onde chegaria à década de 1990.⁷⁷⁰

E aqui podemos, mais uma vez, apontar para o passado, lembrando dos pioneiros da primeira metade da década de 1910, que iniciaram o carregamento das emulsões com elementos

⁷⁶⁶ SHIBUYA (Comunicação pessoal).

⁷⁶⁷ Por exemplo, os trabalhos de Hervásio de Carvalho são citados como nova e promissora linha de pesquisa em revisão sobre o futuro das emulsões nucleares feita em 1964 por E. H. S. Burhop – ver BURHOP (1964). Burhop foi um dos editores da coletânea de trabalhos científicos de Powell – ver BURHOP, LOCK e MENON (1972). Elisa Frota-Pessôa trabalhou com Burhop na Inglaterra no final da década de 1950. Para mais detalhes dessa colaboração, ver JOFFILY (2004) e FROTA-PESSÔA (1999).

⁷⁶⁸ PERFILOV (1947). ROCHAT (1949) é evidência de que essa linha de pesquisa se disseminou rapidamente para outros países – no caso, a França.

⁷⁶⁹ PERFILOV (1947). Citado em TAVARES (1973, p. 132).

⁷⁷⁰ TAVARES (2006a) tem vasta relação dos trabalhos feitos com emulsões na área de fissão e radioatividade.

radioativos. O estudo da fissão e da radioatividade talvez tenha sido o uso mais longínquo da técnica das emulsões nucleares. E o Brasil foi um caso único nesse aspecto.⁷⁷¹

Diferentemente da câmara de nuvens, as emulsões nunca sofreram ocaso completo. Ainda hoje são empregadas em autorradiografias e em estudos de geocronologia, por exemplo. Em estudos de pequena escala, as emulsões continuaram a ser usadas como detector em grandes aceleradores ao longo da década de 1960 e mesmo 1980 – o Brasil, mais uma vez, é um caso emblemático: detínhamos o conhecimento do detector, mas não o dinheiro ou os recursos humanos para construir grandes máquinas. Grupos do CBPF, por exemplo, enviavam emulsões carregadas pelo correio, depois de ter aprovados pedidos de uso de tempo de máquina em aceleradores do mundo, nos Estados Unidos e Europa, principalmente.

Porém, depois da década de 1950, parece não ter havido, em nível mundial, grande demanda pela técnica. Dois elementos que, para nós, confirmam essa afirmação:

⁷⁷¹ Isso se deveu ao fato de um dos líderes dessa linha de pesquisa, Hervásio de Carvalho, do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro (RJ), ter sempre defendido que o Brasil, país de poucos recursos para a ciência, deveria empregar técnica adequada a essa realidade – TAVARES (Comunicação pessoal). Guido Beck era da mesma opinião – VIDEIRA (Comunicação pessoal) – e talvez isso explique o grande incentivo que ele deu aos jovens físicos argentinos para que lidassem com a técnica das emulsões nucleares, logo depois de tomar conhecimento dos resultados de Lattes na Europa e nos Estados Unidos. O primeiro contato de Hervásio com as emulsões remonta à segunda metade da década de 1940 no Laboratório de Produção Mineral, no Departamento de Produção Mineral, provavelmente quando Lattes ministrou lá, ainda em 1947, curso sobre a técnica das emulsões nucleares aplicadas ao estudo da radiação cósmica – ver, por exemplo, BARBOSA e BARBOSA (1945), bem como PINTO (1948). O impulso para o estudo da radioatividade e fissão com emulsões nucleares no Brasil veio do contato de Hervásio, no final da década de 1940, com Yagoda, grande especialista em emulsões nucleares e então pesquisador dos Institutos Nacionais de Saúde (NIH, na sigla inglesa) dos Estados Unidos. Dessa colaboração, foram publicados, por exemplo, YAGODA, DE CARVALHO e KAPLAN (1950) e DE CARVALHO e YAGODA (1952). No final da década seguinte, Hervásio, trabalhando em laboratórios da Itália (Roma e Nápoles), desenvolveu técnicas para o carregamento de emulsões com elementos radioativos – ver, por exemplo, DE CARVALHO (1964), em que ele resume essa técnica. No início da década de 1960, Hervásio montou no CBPF um laboratório para estudar os fenômenos da radioatividade e fissão, linha de pesquisa que haveria de se estender por cerca de 30 anos no CBPF. Como dissemos, é possível que o Brasil tenha sido caso único entre os países em que a técnica das emulsões nucleares prosperou, em função da longevidade atingida pelas atividades de pesquisa e pela manutenção das equipes de microscopistas. Algumas dessas microscopistas ainda hoje trabalham no CBPF, depois de serem capacitadas para outras funções. A contratação inicial de microscopistas em grande número, já na década de 1960, foi possível devido ao baixo custo da mão de obra não especializada na época no Brasil. Isso, suspeitamos, tenha impedido que a técnica das emulsões prosperasse, por exemplo, na Itália, onde o método de carregamento foi aperfeiçoado.

i) os livros de Pierre Demers⁷⁷² – o único pesquisador que podia fabricar, em laboratório, emulsões nucleares com a mesma qualidade técnica (ou, talvez, superior!)⁷⁷³ da indústria fotográfica da época – não foram traduzidos para o inglês, que se tornou a língua ‘oficial’ de comunicação científica depois da Segunda Guerra;

ii) o livro mais completo escrito sobre o assunto⁷⁷⁴, que levou praticamente dez anos para ser finalizado, não teve grande repercussão.⁷⁷⁵

Hoje, a palavra detector é sinônimo de máquina tão complicada quanto o próprio acelerador.⁷⁷⁶ A partir da década de 1960, a construção de aceleradores passou a ser um encargo de engenheiros; os físicos ficaram com os detectores – e não é de todo estranho pensar que, nas próximas décadas, os detectores, por sua complexidade crescente, passarão também ao domínio da engenharia, cabendo aos físicos apenas a concepção e os objetivos da máquina.

Portanto, podemos pensar no seguinte esquema simplificado:

i) teóricos → modelos;

ii) experimentais → detectores e (cada vez mais) programas de computador;

iii) engenheiros → aceleradores

Se pudéssemos atribuir duas grandes frentes em relação ao aprimoramento das emulsões depois da detecção do decaimento píon-múon, arriscaríamos dizer que elas foram duas:

i) revelação de emulsões espessas, com trabalhos marcantes de Dilworth e Occhialini e colaboradores, bem como de Blau e De Felice;⁷⁷⁷

ii) tentativas de automatização da varredura dos traços por meio de dispositivos ópticos e computadores (ainda que primitivos na época), por, por exemplo, Blau e colaboradores.

⁷⁷² DEMERS (1958) e DEMERS (1959b)

⁷⁷³ Como evidência nesse sentido, citamos o fato de Demers, já em 1946 – portanto, dois anos antes da indústria –, ter obtido emulsões nucleares sensíveis aos elétrons energéticos (em termos práticos, sensíveis à ionização mínima). Essa primazia mais tarde virou motivo de disputa entre Cecil Waller, da empresa fotográfica Ilford, Cecil Frank Powell, líder do grupo de emulsões do Laboratório H.H.Wills, em Bristol (Inglaterra), e o próprio Demers, que em carta a Waller cobra a devida citação de seus resultados. Para mais detalhes, ver GARIBOLDI (2004b).

⁷⁷⁴ POWELL, FOWLER e PERKINS (1959).

⁷⁷⁵ PERKINS (Comunicação pessoal).

⁷⁷⁶ Algumas, como o Atlas, parte do *Large Hadron Collider*, no Centro Europeu de Pesquisas Nucleares (CERN), é da proporção da catedral de Notre Dame e sua construção envolve centenas de físicos, técnicos e engenheiros.

⁷⁷⁷ Citar DILWORTH, OCCHIALINI e VERMAESSEN (1950), (DILWORTH, OCCHIALINI e PAYNE (1948). BLAU e DE FELICE (1948).

A década de 1960 traria o fim das emulsões nucleares como detector nos grandes aceleradores, substituídas principalmente pelas câmaras de bolhas. Mas, ao mesmo tempo em que abandonava a ‘física terrestre’, a técnica abria nova trilha, rumo ao espaço, em busca de eventos até mesmo mais energéticos.⁷⁷⁸ Essa iniciativa não deve ser vista desacoplada da tecnologia aeronáutica desenvolvida na Segunda Guerra (bombas voadoras e aviões), bem como daquela pós-conflito, quando se deu o desenvolvimento de foguetes e satélites.



Balões de polietileno desenvolvidos pela equipe do Laboratório H. H. Wills, da Universidade de Bristol, na década de 1950, para voos levando emulsões nucleares (Crédito: Peter Fowler)

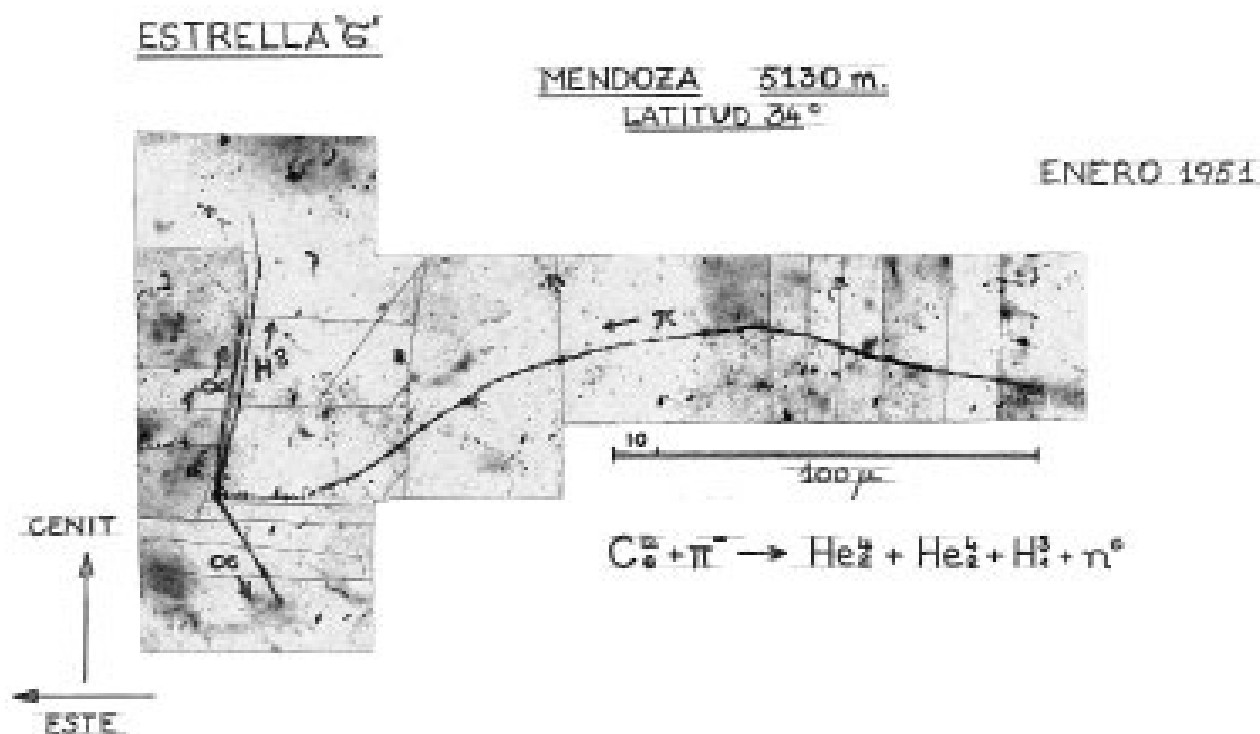
No entanto, o principal agente de elevação das emulsões às alturas foram os novos balões. Esses vôos retomavam tradição iniciada ainda na década de 1930, quando as primeiras emulsões foram expostas à radiação cósmica. Poderíamos retroceder ainda mais e pensar que os pioneiros do estudo dos raios cósmicos agora haviam trocado os eletrômetros embarcados pelas emulsões nucleares.

Na década de 1960, as emulsões nucleares passaram a sofrer, ainda que timidamente, a concorrência dos – ou ser substituídas pelos – detectores sólidos de traços nucleares no estudo da fissão e da radioatividade, ainda mais baratos e fáceis de revelar que as emulsões, porém com a limitação de não possibilitar a visão das trajetórias.

Vale se alongar sobre o tema.

⁷⁷⁸ Seria interessante verificar se o uso de emulsões em satélites, foguetes e balões a partir da década de 1960 contribuiu para o enfraquecimento do estudo de raios cósmicos por meio de laboratórios terrestres nas décadas seguintes. Para o uso de emulsões em foguetes, ver YAGODA (1960).

Os detectores de traços nucleares de estado sólido (por exemplo, vidro, policarbonatos, plástico, mica etc.), que têm processos de 'revelação' mais simples, mas que ainda exigem a varredura óptica por microscópio. Havia vantagens nessa substituição: i) eram, em geral, mais baratos; ii) não precisavam de câmara escura, como as emulsões; iii) o manejo era fácil; iv) aguentam feixes intensos de radiação.⁷⁷⁹



Evento obtido em janeiro de 1951, em Mendoza, a 5.130 m de altitude, pelos pioneiros no uso da técnica das emulsões nucleares na Argentina; a fotomicrografia mostra píon negativo, viajando da dir. para a esq., e, ao final de sua trajetória, desintegrando um núcleo de carbono, dando como subprodutos duas partículas alfa (núcleos de hélio), trítio (hidrogênio 3) e nêutron (este último não visível) (Crédito: arquivo pessoal Juan G. y Beatriz Roederer)

No caso brasileiro, mais especificamente, no Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços, no CBPF, o início do emprego de detectores de traços nucleares de estado sólido deu-se em meados da década de 1960. Porém, essa linha foi interrompida⁷⁸⁰ e retomada cerca de dez anos mais tarde, com um trabalho sobre a constante de decaimento para a fissão espontânea no urânio 238 em placas de vidro que haviam ficado cerca de 16 anos recobertas com finíssima

⁷⁷⁹ TAVARES (Comunicação pessoal).

⁷⁸⁰ O motivo é que os pioneiros do emprego dos detectores de estado sólido de traços nucleares (DESTN) no laboratório deixaram o CBPF ao longo da década de 1960, indo para outras instituições ligadas à energia nuclear.

camada de óxido de urânio.⁷⁸¹ A partir daí, esse tipo de técnica passou a ser usada paralelamente à das emulsões nucleares. A técnica com esses detectores foi desenvolvida – com base em trabalhos antecedentes⁷⁸² – a partir de meados da década de 1960 nos laboratórios de pesquisa da empresa norte-americana General Electric, motivada pela possibilidade de analisar material das missões Apollo.⁷⁸³

⁷⁸¹ DE CARVALHO, MARTINS, MEDEIROS e TAVARES (1982). Essa linha de pesquisa chegou à década de 1990 – ver DE LIMA, MARTINS e TAVARES (1990).

⁷⁸² SILK e BARNES (1959) e YOUNG (1958).

⁷⁸³ Para revisões sobre o assunto, sugerimos FLEISCHER, PRICE e WALKER (1965) e KHAN e KHAN (1989).

CAPÍTULO 12

REFÚGIO DE CULTURA MATERIAL

Introdução

A esta altura em nossa história, a técnica das emulsões nucleares (entenda-se aqui a expressão como englobando o método fotográfico aplicado à física) já havia atravessado cerca de 50 anos do século passado, se considerarmos – como aqui foi feito – seu início com Mügge e Kinoshita, em 1909 e 1910, respectivamente.

A partir da década de 1960, a técnica se esgueirou por nichos na física de altas energias, com atuação mais visível na área de neutrinos, em função de sua imbatível resolução espacial.⁷⁸⁴ Nesse mesmo momento, abrem-se novos campos de atuação para ela, como o estudo da radioatividade e da fissão nuclear, que prosperaria de modo único no Brasil.

Ainda no final da década de 1940, o uso das emulsões nos aceleradores enfrentou problema de ordem prática. Em Berkeley, a busca pela detecção do pión neutro era tema do momento – seria a primeira das partículas previstas teoricamente a ser detectada, pela primeira vez, em acelerador. O decaimento de interesse dessa partícula gera produtos igualmente neutros, dois fótons.

Esse problema⁷⁸⁵ foi atacado por Steinberger e colegas no final da década de 1940, em Berkeley, e o detector para esse experimento foi desenvolvido com extrema engenhosidade por essa equipe, com base em cintiladores de estado sólido que tiveram sua utilização para esses fins revelada pouco antes pelo físico norte-americano Robert Hofstadter (1915-1990).⁷⁸⁶ Naquele momento, detectores de estado sólido sensíveis a radiações neutras se mostravam adequados para essa linha de trabalho.

⁷⁸⁴ Busca por banco de dados de artigos em fase de pré-publicação mostra que é possível encontrar trabalhos recentes que tratam do estudo de neutrinos com emulsões nucleares. Ver, por exemplo, RHEE, JHANG e JAMIL (2005).

⁷⁸⁵ BJORKLUND, CRANDALL, MOYER e YORK (1950) obtiveram evidências do pión neutro ainda no sincrociclótron de 184 polegadas de Berkeley, quando a faixa de radiofrequência passou a permitir a aceleração de prótons. Powell, em seu discurso de recebimento do Nobel de Física de 1950, atribui a descoberta do pión neutro a Bjorklund *et al.*, nem mesmo citando Steinberger *et al.* e, paradoxalmente, os resultados de CARLSON, HOOPER e KING (1950), que encontraram evidências do pión neutro em emulsões nucleares, por meio do exame de pares de elétrons e pósitrons decorrentes do decaimento dos fótons a que o pión neutro dá origem ao decair. Observação: Gösta Carlson, desde 1951, passaria a ser Gösta Ekspong.

⁷⁸⁶ Em 1948, Hofstadter descobriu que o iodeto de sódio ativado por tálio é excelente cintilador. Dois anos depois, em coautoria, mostrou que esses cristais eram igualmente úteis para medir a energia de raios gama e partículas energéticas e que, desse modo, poderiam ser usados como espectrômetro. Cristais de cintilação foram usados por Steinberger em seus experimentos no início da década de 1950.

Devemos somar essa inadequação das emulsões para a detecção de partículas neutras ao início,⁷⁸⁷ em 1954, no Laboratório de Radiação, do projeto e da construção⁷⁸⁸ de câmaras de bolhas de hidrogênio, de diversos diâmetros. Essa iniciativa culminou com a de 72 polegadas, que entraria em funcionamento em 1959.⁷⁸⁹

Apresentado esse cenário, podemos discutir algo de nosso interesse: o poder da imagem na era das máquinas.

Imagem na era das máquinas: a detecção do antipróton

Acreditamos que nosso eixo condutor – as emulsões nucleares – se presta a contar uma história que nos parece relevante, por lidar com o valor relativo que a imagem pode ter em épocas e situações diferentes.

O caso que queremos relatar aqui – e que nos parece emblemático nesse sentido – é o da busca pelo antipróton em meados da década de 1950,⁷⁹⁰ na qual estão envolvidos três tipos de detectores, dois visuais (emulsão e câmara de nuvens) e um lógico (contadores de cintilação e de radiação Cerenkov⁷⁹¹).

⁷⁸⁷ O projeto iniciou-se a partir de um encontro por acaso entre Alvarez e o idealizador da câmara de bolhas, o físico norte-americano Donald Glaser, no final do encontro daquele ano da Sociedade Norte-americana da Física. A descrição desse encontro está em GALISON (1985) e ALVAREZ (1985). Para o trabalho original de Glaser, ver GLASER (1952).

⁷⁸⁸ A construção e a manutenção de artefato cheio de hidrogênio envolviam o constante perigo de vazamento e explosão do hidrogênio. Explosão na costa leste norte-americana com a câmara de bolha de hidrogênio de 40 polegadas da Comissão de Energia Atômica matou um e feriu outros seis, causando prejuízo de US\$ 1 milhão. Para mais detalhes, ver GALISON (1997b, capítulo 5.5).

⁷⁸⁹ A câmara de bolhas tinha também seus reveses do ponto de vista prático. Esse equipamento implicava a obtenção e a análise de grande número de fotografias; a necessidade de ser reinicializado (ou seja, não fazia leitura contínua, como as emulsões); a fase de superaquecimento precisa estar disponível no momento da colisão, o que é um fator complicador no caso de partículas de vida média muito curta (um dos atributos das emulsões); não são nem massivas, nem grandes o suficiente para analisar colisões de alta energia, nos quais todos os produtos devem estar contidos dentro do detector. Ver, por exemplo, WIKIPEDIA (verbete 'Bubble chamber'). Para uma análise extensa sobre esse equipamento, ver BRADNER (1960).

⁷⁹⁰ Não é nossa intenção aqui recontar a história da detecção do antipróton. Para mais detalhes, sugerimos KRAGH (2002), YARRIS (2005) e, principalmente, STALEY (1999).

⁷⁹¹ Contadores de cintilação são baseados no fato de que certos materiais emitem luz (cintilam) quando atravessados por uma partícula carregada. Os contadores Cerenkov funcionam com base no fenômeno de emissão de luz por uma partícula carregada que atravessa o meio com velocidade superior à da luz naquele material. Estes últimos, na forma de grandes tanques de água ultrapura, são largamente empregados no

Antes de prosseguirmos, vale alerta: nossa intenção aqui não é discutir a primazia dessa descoberta – até porque, como já foi dito, em muitos casos, do ponto de vista da história da ciência, essa questão, ou é nublada, ou não faz sentido.⁷⁹²

O breve histórico a seguir tem o intuito de contextualizar a questão.

Em 1956, a detecção do antipróton foi dada como comprovada, depois de resultado obtido em Berkeley no qual foram apontados 60 candidatos à nova partícula.⁷⁹³ Foi justamente esse resultado que rendeu, três anos depois, o Nobel de Física a Segré e a Chamberlain “por sua descoberta do antipróton”. Essa é a versão mais aceita dos fatos.

Porém, no ano anterior, havia sido obtida imagem em emulsão nuclear interpretada como a aniquilação de antipróton, ou seja, aniquilação de matéria-antimatéria. Esse experimento foi feito com a ajuda de voo de balão na Sardenha, ainda em 1953, como parte de colaboração internacional.⁷⁹⁴ Vejamos as palavras do historiador da física Laurie Brown⁷⁹⁵ sobre o episódio:

"[...] o grupo de Roma de Edoardo Amaldi achou evento muito sugestivo, estrela dupla em grande pilha de emulsões expostas em grandes altitudes durante voo de balão na Sardenha em 1953. O traço conectando as duas estrelas era de massa protônica e liberou energia compatível com a aniquilação de antipróton. Pouco depois da observação desse evento, o grupo de Berkeley começou a ver

Observatório Pierre Auger, que recentemente apontou a origem dos raios cósmicos ultraenergéticos como sendo Núcleos Ativos de Galáxias (NAGs).

⁷⁹² Veja, por exemplo, o caso da descoberta do múon apresentada por GALISON (1983)

⁷⁹³ CHAMBERLAIN, SEGRÉ, WIEGAND e YPSILANTIS (1955).

⁷⁹⁴ AMALDI ET AL (1955). Não encontramos discussão do próprio Amaldi sobre a descoberta do antipróton, apenas aquelas relacionadas à pesquisa sobre nêutrons e fissão nuclear, ainda na década de 1930. Para isso, ver AMALDI (1977) e AMALDI (1984).

⁷⁹⁵ Um fato interessante levantado em nossas pesquisas é o de Brown, renomado historiador da física de partículas de nossos tempos, ter trabalhado com emulsões nucleares no laboratório de James Roberts, na Universidade Northwestern (Estados Unidos). Mesmo sendo teórico, publicou artigo sobre o assunto – ver BROWN (1953). Em entrevista para o autor desta tese, Brown relata: “[...] Quando eu cheguei à [Universidade] Northwestern como físico teórico, encontrei o Prof. James Roberts, que estava lá usando emulsões nucleares para estudar problemas nucleares, especialmente nêutrons [colidindo] com lítio (de interesse para a bomba H). Eu o incentivei a olhar em energias mais altas eventos em emulsões emprestadas do grupo do ciclotron do próton de Fermi, da Universidade de Chicago. Eu mesmo cheguei a fazer alguma varredura óptica e ajudei dois estudantes que obtiveram seu PhD. Um deles, Peter Schlein, fez muito boa carreira depois disso, especialmente no CERN. Foi assim que me tornei familiar com as emulsões e os problemas delas. Além disso, enquanto estudante de pós-graduação na [Universidade] Cornell, trabalhei com Hans Bethe em problemas relacionados à perda de energia [de partícula ao atravessar a matéria]. No entanto, meu orientador de tese foi Richard Feynman. Passei um ano (1972-73) na Universidade de São Paulo, também ensinando no curso de pós-graduação em teórica quântica de campos. Portanto, eu também conheço o Brasil.” BROWN (Comunicação pessoal).

antiprótons com contadores no Bévatron. Emulsões expostas ao feixe pela colaboração Berkeley-Roma também começaram a detectar eventos.”⁷⁹⁶

A colaboração Berkeley-Roma citada acima por Brown envolvia o grupo de Amaldi, que teve a iniciativa de buscar o trabalho conjunto, e o de Segré e Chamberlain. Nela, emulsões nucleares foram expostas a feixes do Bévatron, então recém-contruído em Berkeley. O artigo da Colaboração para o Antipróton apresentou, no entanto, apenas uma imagem de aniquilação, que, a nosso ver, é muito semelhante (tecnicamente) à obtida pelo grupo de Amaldi em 1955.

Nesse cenário, há dois outros artigos pouco citados e divulgados sobre a pré-história do antipróton. Do primeiro, citaremos apenas o título: ‘Um possível exemplo de produção e aniquilação de um antipróton’.⁷⁹⁷ Do outro, ‘Possível aniquilação de partícula pesada’, experimento feito com câmaras de nuvens no MIT e publicado em 1954, citaremos o último parágrafo do artigo, como parte das conclusões dos autores:

“3. Processo de aniquilação – Em vista das dificuldades de interpretar o evento como decaimento ou processo de absorção, deve-se considerar a possibilidade de o evento representar o processo de aniquilação de dois férmions pesados. **Por exemplo, a partícula incidente poderia ser um antipróton** (ou antihíperon) que sofre aniquilação com próton convencional. A grande fração de energia liberada nesses processos pode bem ser mésons π^0 e assim, ao final, aparecer na forma de raios γ [gama].”⁷⁹⁸ [Grifo nosso]

Toda a história contada até aqui tem, para nós, um propósito: ressaltar o fato de que os eventos de ouro parecem ter perdido a força de prova final, cabal, na era das máquinas.

Ainda na década de 1940, as imagens foram tidas como a comprovação da existência do pión negativo, do pión positivo (e de seu decaimento em múon) em emulsões, bem como haviam dado como certa a existência de uma nova classe de partículas, então batizadas ‘V’ ou ‘estranhas’, também em 1947, em câmaras de nuvens, em Manchester.

Para nossa argumentação, são importantes as palavras de Chamberlain, em seu discurso no recebimento do Nobel de Física de 1959:

“Em conjunto com o experimento feito com contadores que eu acabo de descrever, nós também colaboramos com experimento semelhante, usando emulsões fotográficas. Pouco tempo depois que os primeiros experimentos com contadores terminaram, exemplos do fenômeno de aniquilação foram vistos, nos quais o antipróton e um próton ou nêutron de um núcleo eram simultaneamente aniquilados. No lugar deles, surgiam cerca de cinco mésons pi [...] Gostaria de mencionar o jovem físico sueco Dr. A. G. Ekspong, agora na Universidade de Upsalla, mas então trabalhando conosco em Berkeley, que observou sob o

⁷⁹⁶ BROWN (2005).

⁷⁹⁷ TEUCHER, WINZELER e LOHRMANN (1956). Esse evento foi obtido em 1955 pelo grupo de emulsões de M. Teucher, do Instituto de Física da Universidade de Berna (Suíça). A referência está citada em BROWN (2005, referência bibliográfica n. 20).

⁷⁹⁸ BRIDGE, COURANT, DE STAEBLER JR. e ROSSI (1954, p. 1.103).

microscópio o primeiro dos eventos de aniquilação com emissão muito visível de energia. Aquela estrela deu **a prova visual final** por meio do fenômeno da aniquilação de que nós estávamos lidando com antiprótons, em vez de com qualquer outra partícula semelhante.⁷⁹⁹ A grande emissão de energia mostrou não apenas que a partícula que chegava (antipróton) morria na produção da estrela, mas também que a energia adicional precisava necessariamente ser fornecida pela aniquilação de um núcleo (nêutron ou próton).⁸⁰⁰ [Grifo nosso]

Esse caráter provisório dos resultados obtidos nos 60 eventos detectados em Berkeley fica claro nas palavras de outro respeitado historiador da física e autor de livros sobre história da ciência,⁸⁰¹ o dinamarquês Helge Kragh:

“A detecção de antiprótons foi primeiramente obtida no outono de 1955 pelos físicos de Berkeley Owen Chamberlain, Emilio Segré, Clyde Wiegand e Thomas Ypsilantis. Seus cintiladores e detectores Cerenkov mostraram cerca de 60 candidatos a antipróton, **mas a prova cabal, sua aniquilação com um próton, não foi imediatamente confirmada. Isso ocorreu em 1956, quando um grupo de físicos italianos liderados por Amaldi e colaborando com o grupo de Berkeley anunciaram a frenagem de um antipróton em pilha de emulsões.**”⁸⁰² [Grifo nosso]

O primeiro aspecto a se notar no trecho acima é o fato de ele não citar o resultado de Amaldi obtido com os voos de balão na Sardenha e aceitar a primazia da descoberta do antipróton como sendo do grupo de Berkeley. Depois, vale contrastar essa passagem de Kragh com as primeiras linhas do artigo que anunciou os resultados desta última colaboração: “A existência de antiprótons foi recentemente demonstrada no Bévatron de Berkeley por experimento feito com contadores.”

Vemos aqui que o caráter provisório dos dados obtidos por cintiladores e contadores se esvaiu. Há agora o tom peremptório: a existência de antiprótons já havia sido mostrada em Berkeley, pelo grupo de Segré e Chamberlain. Bastaria, então, confirmá-la.

A essa altura, a pergunta cabível (e, até certo ponto, necessária) é a seguinte: por que as poucas imagens da *Nature* de 24 de maio, publicadas pelo grupo de Bristol, bem como aquelas referentes aos mésons K (káons positivos e negativos), foram consideradas conclusivas para a comprovação do pión e da existência de dois mésons, enquanto a imagem da aniquilação do par antipróton-núcleon do grupo de Amaldi precisou de experimentos complementares. Poderíamos responder assim:

- i) a imagem do grupo de Amaldi publicada em 1955 não era conclusiva;

⁷⁹⁹ As imagens de aniquilação obtidas pelos dois experimentos – pelo grupo de Amaldi e pela Colaboração do Antipróton – nos parecem, do ponto de vista técnico, carregar praticamente o mesmo tipo de informação e, portanto, permitir o mesmo tipo de análise. Porém, esta é a opinião de um não especialista no assunto.

⁸⁰⁰ CHAMBERLAIN (1959, p. 504).

⁸⁰¹ Ver, por exemplo, KRAGH (1994) e KRAGH (2002).

⁸⁰² KRAGH (2002, p. 316).

ii) Amaldi e seu grupo foram cautelosos ao redigirem o texto do artigo.⁸⁰³

Por que os 60 eventos de Berkeley, de Segré e Chamberlain, tiveram que esperar pela “prova visual final” (palavras de Chamberlain) e da “prova cabal” (palavras de Kragh) de uma imagem obtida em emulsões?

Antes de continuar, vale aqui apresentar – como argumento a favor de nossa tese – o peso que a estatística e os eventos de ouro pareciam ter antes do início da década de 1950, quando as máquinas ainda estavam garimpando seu lugar na física de partículas. Para isso, vejamos, por exemplo, como Alvarez descreve as primazias em relação à descoberta do pión neutro ainda em 1950 – note-se que isso ocorreu cinco anos antes da detecção do antipróton:

“Em 1950, a família do pion foi completada com seu componente neutro, por três experimentos independentes. Em Berkeley, no ciclotron de 184 polegadas [em Berkeley], Moyer, York *et al.*⁸⁰⁴ mediram o desvio Doppler do espectro do raio gama que poderia apenas ser explicado como vindo do decaimento de um pión nêutron; Steinberger, Panofsky e Steller⁸⁰⁵ tornaram o cenário para essa partícula ainda mais convincente por meio de experimento elegante, usando o síncrotron de 300 MeV de McMillan [em Berkeley também]. E, **independentemente**, em Bristol, Ekspong⁸⁰⁶, Hooper e King observaram os dois raios gama vindos do decaimento do π^0 em emulsões nucleares e mostraram que o tempo de vida dessa partícula era menor que 5×10^{-14} s.”⁸⁰⁷ [Grifo nosso]

Nas palavras de Alvarez, percebemos quase um equilíbrio, mesmo peso, para as estatísticas e para as imagens obtidas nas emulsões. O ponto aqui é ressaltar que, nesse início da era das máquinas, parecia haver ainda equilíbrio entre estatística e eventos de ouro, diferentemente do que achamos ter mostrado com o caso do antipróton.⁸⁰⁸

⁸⁰³ Mas o contra-argumento, nesse caso, seriam os artigos escritos pelo grupo de Powell ao longo de 1947, os quais são muito cautelosos ao que diz respeito à existência do pión.

⁸⁰⁴ BJORKLUND, CRANDALL, MOYER e YORK (1950).

⁸⁰⁵ STEINBERGER, PANOFSKY e STELLER (1950).

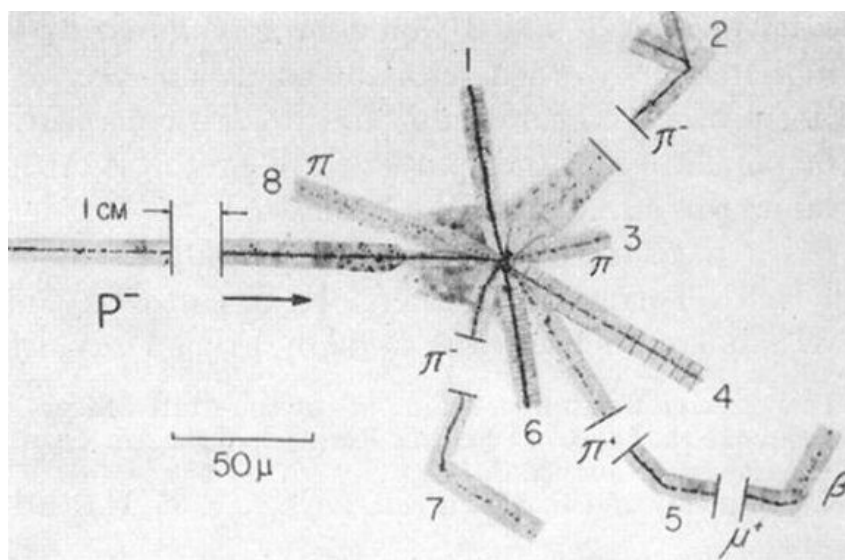
⁸⁰⁶ Na verdade, nessa época, ainda Carlson.

⁸⁰⁷ ALVAREZ (1968, p. 242).

⁸⁰⁸ Esse processo lembra a primazia sobre a detecção do pión neutro. Powell, em seu discurso do Nobel, em 1950, atribui a descoberta a experimento feito no acelerador de Berkeley com o uso de contadores como detector em detrimento de experimento em que se expuseram emulsões à radiação cósmica realizado por pesquisadores de Bristol (entenda-se, Carlson, Hooper e King). Vale comparar a opinião de Powell com a de um contemporâneo dele, o físico de origem australiana Richard Dalitz (1925-2006), expressa na abertura de artigo ainda de 1951: “Observações de raios gama resultantes de bombardeamento de núcleos com raios X de 330 MeV (Steinberger, Panofsky and Steller 1950) estabeleceram primeiramente a existência do méson pi neutro (π^0) e seu decaimento em dois fótons. Também estudos feitos com radiação cósmica (Carlson, Hooper and King 1950) mostraram que, em grandes ‘estrelas’ nucleares, produzidas em chapas fotográficas expostas aos raios cósmicos, a criação de méson neutros acompanha a criação de mésons carregados, e o estudo das energias dos pares de elétrons encontrados nas placas confirma o

As duas imagens de emulsões, a do grupo de Amaldi, e a obtida pela Colaboração para o Antipróton, parecem ficar nos extremos do principal fato: a ‘descoberta’ do antipróton pelo grupo de Berkeley. A primeira não passa de ‘evidência’, e a segunda de ‘prova visual final’. Mas a nenhuma das duas é dada a primazia da descoberta do antipróton.

Lemos no artigo da Colaboração para o Antipróton: “Esse exemplo [entenda-se a aniquilação encontrada por Ekspong na emulsão], portanto, é uma prova [*a proof*] de que as partículas observadas aqui sofrem processo de aniquilação com núcleon, requisito necessário para o antipróton de Dirac.”⁸⁰⁹ Em nosso grifo, há sutileza: note-se que se escreve ‘uma’ prova, mas não ‘a’ prova.



Desintegração encontrada por Ekspong no experimento conhecido como Colaboração para o Antipróton (Crédito: Chamberlain *et al.* e Amaldi *et al.* / *Physical Review*)

A máquina e sua estatística descobriram – e a equipe que nela trabalhava colheu as glórias, com o prêmio Nobel –, enquanto as emulsões e suas imagens de eventos de ouro evidenciaram e confirmaram. Mas não descobriram.

A imagem única, simples, solitária parecia perder sua força como prova final.

A ‘prova’ agora parecia necessariamente ser estatística – e assim tem sido até hoje –,⁸¹⁰ mesmo que ela fosse a reunião de muitas imagens, de muitos eventos de ouro. No entanto, há

decaimento em dois fótons. Além disso, o estudo da orientação desses pares atribuídos a grandes explosões nucleares estabeleceu limite superior de 5×10^{-14} s para o tempo médio de vida do méson neutro” – ver DALITZ (1951, p. 667).

⁸⁰⁹ CHAMBERLAIN *et al.* e AMALDI *et al.* (1956, p. 922).

⁸¹⁰ Caso interessante e recente são as várias afirmações feitas pelo Fermilab sobre a possível detecção do bóson de Higgs. Obviamente, há o viés político ao se trazer essa afirmação a público, o de se tentar atrair a atenção das autoridades norte-americanas para a necessidade de se manter em funcionamento o Tévatron,

uma sutileza sobre o poder da imagem: a prova, a comprovação pode ser estatística, mas ao público sempre é apresentada uma imagem, independentemente de sua natureza. A imagem, como foi dito na epígrafe desta tese, é ainda o modo como a ciência se expressa, mesmo que ela não represente a prova final daquilo que foi descoberto.

Por que o estatuto de prova nunca foi atribuído ao artigo de Amaldi e seu grupo no experimento realizado com emulsões? Ou mesmo para eventos anteriores, com outros detectores visuais?

A resposta – se é que ela existe – não é simples e, neste momento, foge ao escopo desta tese, pois exigiria pesquisa mais detalhada e restrita ao tema. Nem por isso a pergunta nos parece menos pertinente.

Coincidentemente, resenha de 1960⁸¹¹ sobre o livro de Powell, Fowler e Perkins atribui o fim da era das emulsões nucleares à produção e à detecção do antiproton em Berkeley.

Rumo às bolhas: por que um detector gigante e caro?

A pergunta pode parecer inocente (até mesmo ingênua), mas insistimos nela: por que investir milhões em tecnologia que envolvia perigo em sua construção.

Ressalva: não é o caso de aqui defender as vantagens das emulsões sobre outro método ou insinuar que o método foi ‘injustiçado’ – afinal, nas sábias palavras de Shapin, “É praticamente desnecessário dizer que não faz parte do trabalho do historiador ou sociólogo assumir um lado [num] conflito.”⁸¹² No entanto, gostaríamos de lembrar aqui aspecto marcante das emulsões: seu custo e sua simplicidade em relação aos detectores que estavam sendo ou por ser desenvolvidos. E, com isso, levantar a hipótese de que uma quantia muito inferior à investida na câmara de nuvens de hidrogênio, caso investida na automatização das emulsões, permitiria investigar um cardápio de partículas semelhante ao que motivou Alvarez a construir seu instrumento de aproximadamente US\$ 2,5 milhões – e isso sem o perigo inerente de lidar com o hidrogênio, explosivo.

Segundo Alvarez, ele foi despertado para a invenção de Glaser (câmara de bolhas de 1 cm x 2 cm) depois de “ter estado, sem sucesso, esforçando-se mentalmente para achar um detector apropriado para o Bévatron, que estava prestes a iniciar seu funcionamento. [...] Eu queria um [detector] grande o suficiente para ver a produção e o decaimento de partículas estranhas,” que já haviam sido recentemente observadas com uma câmara de nuvens em Manchester, na Inglaterra, e em Brookhaven, nos Estados Unidos.

máquina cuja energia não é suficiente – pelo menos do ponto de vista teórico – para a obtenção dessa partícula, que seria responsável, posto de modo simples, pela propriedade massa da matéria.

⁸¹¹ KOCH (1960, p. 1.881).

⁸¹² SHAPIN (1989, p. 563).

Alvarez também diz que foi motivado a construir a câmara de bolhas gigantesca de Berkeley em função de interações entre píons e núcleons que levavam à criação de dois bárions neutros.⁸¹³ “Todos esperavam em fila por píons negativos, káons e antiprótons [...]”

Poderia ser levantada a questão sobre a dificuldade de se lidar com emulsões (revelação, varredura óptica, por exemplo).⁸¹⁴ Mas essas questões haviam sido resolvidas com a detecção do pión no acelerador por Gardner e Lattes. Até mesmo a técnica das emulsões empilhadas (pilhas de emulsões), empregada nos voos de balões sobre o Mediterrâneo e do G-Stack⁸¹⁵, na primeira metade da década de 1950, havia sido usada com sucesso na detecção do antipróton na colaboração Amaldi-Chamberlain, lá mesmo em Berkeley.

Vejamos as palavras de Steinberger sobre o que estava ocorrendo na costa leste norte-americana quase simultaneamente: a construção de câmaras de bolhas de propano e, posteriormente, de hidrogênio. Destacamos, mais uma vez, a complexidade da construção em si:

“Essas câmaras de bolhas tiram fotografias a taxa de uma por segundo. **Muitos milhões delas foram tirados.**⁸¹⁶ **Estas tinham que ser escaneadas, e os eventos de interesse medidos e reconstruídos. Inicialmente, usamos a técnica simples e manual para a varredura e a medida que herdamos de nossos antecessores que trabalharam com câmaras de nuvens:** tabelas de projeção simples, protactores para ângulos, modelos para a medida da curvatura das trajetórias e computadores manuais.

“No entanto, naquele período, computadores eletrônicos comerciais começaram a aparecer. Aprendemos a construir equipamentos de medidas digitais que automaticamente perfurariam em cartões as coordenadas, bem como a escrever programas cada vez mais sofisticados que utilizavam a capacidade crescente dos computadores para reconstruir quantidades físicas de interesse. Esse foi um elemento essencial de força que a técnica desenvolveu. Foi um dos primeiros desafios em relação à evolução da indústria dos computadores, e a comunidade das câmaras de bolhas foi capaz de contribuir para o avanço da tecnologia.”

A opção pela câmara de bolhas de hidrogênio, em detrimento de outros detectores disponíveis na época (contadores, emulsões, câmara de nuvens etc.), é emblemática, para nós,

⁸¹³ Bárions são partículas formadas por três quarks. Segundo Alvarez, ele foi motivado para a construção da câmara de bolhas pelas seguintes reações $p + \pi^- \rightarrow \Lambda^0 + \theta^0$, com os seguintes decaimentos posteriores: ($\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$) e ($\theta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$). Os produtos finais destas duas últimas reações são visíveis nas emulsões nucleares, por serem todas elas partículas carregadas.

⁸¹⁴ Talvez, nesse aspecto, tenhamos que levar em consideração, em nossa argumentação, como já foi dito, que o Grupo de Emulsões do Laboratório de Radiação, liderado por Gardner, não tinha microscopistas, o que, obviamente, prolongava bastante a análise das emulsões.

⁸¹⁵ Os voos de balão sobre o Mediterrâneo e a colaboração G[igantic]-Stack foram realizados para o estudo, respectivamente, i) das partículas estranhas e de mésons pesados; ii) do chamado quebra-cabeças teta-tau. Essas partículas são hoje conhecidas como mésons K (ou káons). Mais detalhes em OLIVOTTO (2006).

⁸¹⁶ Na câmara de bolhas de hidrogênio de Brookhaven, que começou a funcionar no final de 1961, foram tirados 12 milhões de fotografias.

pelo modo com que os Estados Unidos optaram por fazer ciência, desde os primórdios da astronomia naquele país: a nítida preferência por equipamentos modernos e sofisticados (e, conseqüentemente, caros). Essa tendência ganhou impulso depois da Segunda Guerra, com a vasta disponibilidade de verbas para os físicos – principalmente, para Lawrence –, que certamente tinha bom relacionamento com o estabelecimento militar daquele país e com as autoridades civis da área de energia atômica.⁸¹⁷ Outro fator que deve ser levado em conta certamente é o impacto que o primeiro satélite artificial, Sputnik, lançado pelos soviéticos, teve sobre a ciência norte-americana.⁸¹⁸

O problema científico em si que deveria ser estudado pela câmara de bolhas não era, em princípio, um desafio para as emulsões.⁸¹⁹ Acharmos que, se uma fração mínima dos US\$ 2,5 milhões tivesse sido empregada na automatização da varredura óptica das emulsões, como estava sendo feito por Blau em Brookhaven, esse objetivo, o da automatização ou pelo menos da semiautomatização, teria sido alcançado ainda naquela década – e, talvez, as emulsões pudessem ter prolongado sua vida como detector nos aceleradores.

Certamente, são conjecturas nossas – até porque, sabemos, não há ‘se’ em história.

A técnica das emulsões era nitidamente algo europeu, sem muitas e longas ramificações em Berkeley e mesmo no território norte-americano. Lembremos que, praticamente até o início da década de 1950, o Grupo de Emulsões do Laboratório de Radiação⁸²⁰ era personificado por Gardner, e que este precisou que houvesse ‘transferência de tecnologia’ da Inglaterra para Califórnia para que mésons fossem detectados no acelerador. Também deve ser levado em conta o fato de que Gardner, quando em dificuldades com a técnica, costumava trocar correspondência com especialistas do Reino Unido. E não com colegas norte-americanos.

Seria quase tolice de nossa parte se aventurar para além dessas observações especulativas. Assim, seguimos com duas questões que nos parecem, a essa altura, relevantes:

i) até que ponto a construção da câmara de bolhas de hidrogênio em Berkeley foi motivada pela Guerra Fria, pela necessidade de ser ‘grande’ naquele cenário político internacional de disputa?⁸²¹

⁸¹⁷ ALVAREZ (1985), ALVAREZ (1987), STEINBERGER (1997).

⁸¹⁸ KEVLES (1995) discute no capítulo XXI a política de pesquisa nos Estados Unidos depois da Segunda Guerra.

⁸¹⁹ Basta lembrar que o domínio que Alvarez queria penetrar, o dos bárions formados por quarks estanhos, já havia sido invadido pelas emulsões, com a detecção do antilambda zero no acelerador de Berkeley e o sigma positivo em raios cósmicos.

⁸²⁰ O Laboratório de Radiação pertencia à Comissão de Energia Atômica e não à Universidade da Califórnia.

⁸²¹ Em junho de 1950, a Guerra Fria, em versão adiantada do McCarthismo, chegou ao Laboratório de Radiação de Berkeley – na verdade, a toda a costa oeste norte-americana. Steinberger, entre outros, nega-se, por exemplo, a assinar o ‘Juramento Patriótico’ (também chamado Juramento Não Comunista), que o

ii) como a morte prematura de Gardner, em 1950, prejudicou o desenvolvimento da técnica das emulsões nucleares em Berkeley e, podemos pensar, nos Estados Unidos?

‘Dialética’ da técnica: sua força, sua fraqueza

Em meados da década de 1950, os dados vindos das câmeras de bolhas acopladas a aceleradores começam a substituir, na física de partículas, o de outros detectores, como a câmara de nuvens, a câmara de faísca e as emulsões nucleares.⁸²²

A conferência de Bagnères de Bigorre, em 1953, foi o ‘canto do cisne’⁸²³ da era dos raios cósmicos. Talvez, a ‘morte’ tenha se dado na Conferência de Pisa, dois anos mais tarde, quando os norte-americanos despejaram quantidades impressionantes de dados vindas dos aceleradores. Era praticamente o fim de uma física feita em pequenos grupos, nas bancadas, expondo emulsões nucleares em montanhas, balões ou aviões, para a obtenção de eventos que não chegavam, muitas vezes, em número à casa da dezena.

Neste item, pretendemos dar voz aos físicos que vivenciaram essa época, entre eles duas personagens de peso: Donald Perkins e Jack Steinberger. Começemos, no entanto, com as palavras do físico japonês Kiyoshi Niu, emblemáticas, para nós, do que se passou com a técnica das emulsões nucleares:

“Depois que os aceleradores começaram mais comumente a ultrapassar os raios cósmicos, as técnicas das emulsões nucleares foram descartadas nos países do Ocidente. Há um adágio que diz que ‘sua força é também sua fraqueza’. Isso poderia ser aplicado ao caso das emulsões nucleares.”⁸²⁴

Muitos emulsionistas começaram a mudar de técnica,⁸²⁵ voltando a ela só em circunstâncias especiais, quando o objeto do estudo estava relacionado a um dos nichos

desagradou. Lawrence, que, por sua posição de chefia e sua proximidade com os militares, se via obrigado a fazer a interface da ‘política federal’ com seus subordinados. Steinberger, logo depois disso, deixou Berkeley, indo para a Universidade Colúmbia, na costa leste. Logo após seu doutorado e antes de se juntar à equipe do Laboratório de Radiação em Berkeley, Steinberger passou o ano de 1949 em Princeton, onde conheceu Lattes. Para um artigo que aborda o juramento de lealdade, ver JACKSON (2009) e WEINER (entrev.) (1973/74). Para uma obra que mostra o entrelaçamento entre física e política – com consequências para a história da física no Brasil –, ver FREIRE JR. (1999), PESSOA JR., FREIRE JR. e DE GREIFF (2008).

⁸²² BALDO-CEOLIN (2002, p. 17).

⁸²³ Perkins em FOSTER e FOWLER (1988, p. 53).

⁸²⁴ NIU (2008, p. 2).

⁸²⁵ Segundo Galison, há tendência dos experimentais em se manter dentro da tradição em que foram treinados (visual ou estatística). Isso vale fortemente para o caso brasileiro, como veremos mais adiante.

ocupados pelas emulsões a partir da década de 1960, a saber: o estudo de múons e neutrinos. Um deles foi o próprio Donald Perkins:

“Mudei das emulsões para as câmaras de bolhas em 1961, depois de participar em Berkeley de um estudo, no verão, para o que depois viria a ser o acelerador de prótons de 200 GeV – que, mais tarde, se tornaria o acelerador do Fermilab. Depois, me juntei a um experimento com feixes de neutrinos na câmara de bolhas de líquido pesado do CERN. Desde então, só usei emulsões uma vez. Foi em 1978 para calibrar detectores de estado sólido para medidas do fluxo de múons – e, portanto, do fluxo de neutrinos – no feixe de neutrinos de 200 GeV do SPS do CERN usado com a câmara [de bolhas] de neônio/hidrogênio BEBC. Mais tarde, ficou-se sabendo que aqueles fluxos estavam corretos, enquanto a calibração feita por Jack Steinberger *et al.*, usando transformadores de corrente de feixe e contadores Cerenkov, estava simplesmente errada. Isso foi a origem da discrepância entre CERN e Fermilab sobre a seção de choque de neutrinos, diferença de 15% que persistiu por 6 anos, antes de os resultados do CERN se mostrarem corretos.

Em grande parte, a mudança de técnica seguiu a mudança dos raios cósmicos para a física dos aceleradores na década de 1960. No entanto, o uso das emulsões em experimentos específicos em aceleradores, por exemplo, com neutrinos, persiste até nossos dias, como o experimento OPERA (feixe de neutrino gerado pelo CERN e direcionado ao laboratório de Gran Sasso) No entanto, nem as emulsões, nem as câmaras de bolhas são de qualquer utilidade nos aceleradores modernos – particularmente, colisores –, em que se tem que analisar eventos em tempo real e se está brigando com fundos [*backgrounds*] de significativa intensidade, e nos quais se tem que combinar sinais de contadores eletrônicos (calorímetros, faixas de silício, câmaras de fios etc.) em tempos na escala dos nanossegundos.”⁸²⁶

Para a física feita em aceleradores, a técnica das emulsões nucleares passou a ser praticamente irrelevante a partir da década de 1960. No entanto – e paradoxalmente –, duas outras personagens da época, os físicos norte-americanos Hugh Bradner e Donald Glaser – este último, o inventor da câmara de bolhas –, em documento intitulado ‘Método para a detecção de partículas em experimentos de física de alta energia’, afirmam sobre a técnica das emulsões nucleares: “Este tipo de detector de formação de imagem é geralmente o mais conveniente para o uso em aceleradores de alta energia”.⁸²⁷

O que chama a atenção é o fato de esse documento ser de 1958, época em que as câmaras de bolhas já funcionavam e haviam se tornado um tipo de detector-padrão, juntamente com os cintiladores, para a física em aceleradores.

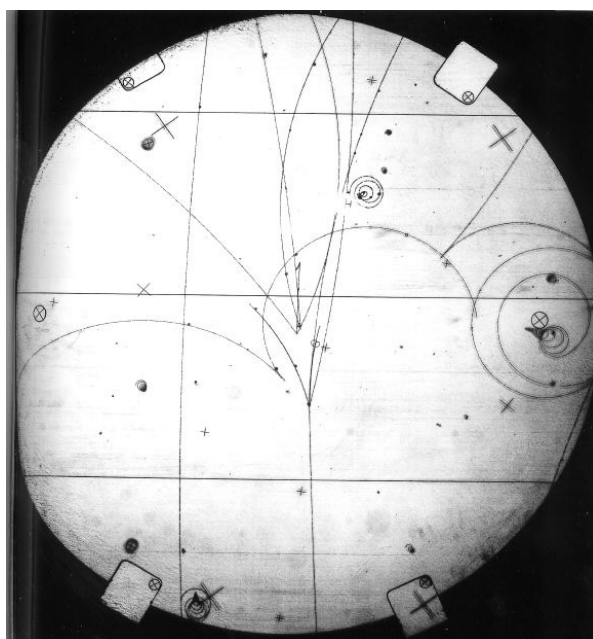
“Sobre os detectores de partículas na década de 1940 e 1950, sinto dizer que eu tenho dificuldades em concordar com o que foi dito por Bradner e Glaser. Na década de 1940, havia os contadores Geiger, câmaras de nuvens e as emulsões fotográficas. Múons e pósitrons produzidos pelos raios cósmicos foram descobertos na década de 1930, usando-se câmaras de nuvens disparadas por contadores Geiger, e as partículas estranhas foram descobertas por essa técnica em 1947. Píons carregados foram descobertos em 1947 com o uso de emulsões, e foi essa técnica que permitiu a eles vê-los em 1948 no ciclotron de Berkeley,

⁸²⁶ PERKINS (Comunicação pessoal).

⁸²⁷ BRADNER e GLASER (1958).

com a ajuda de Lattes. Por volta de 1948, a detecção de partículas usando cristais de cintilação foi conhecida, e essa técnica foi usada por mim para estudar a produção de píons por fótons no síncrotron de elétrons de McMillan, bem como a descoberta do pión neutro em 1949-1950. A contribuição da técnica das emulsões nucleares esmaeceu rapidamente depois de 1950, substituída pelos cintiladores, a câmara de nuvens por difusão em 1954 e a câmara de bolhas em 1956. A razão é que as diferentes técnicas apresentam possibilidades bem diferentes. Fomos capazes de medir a distribuição angular dos píons produzidos por fótons, usando contadores de cintilação em poucos dias, o que seria um desafio formidável a ser feito com emulsões e técnicas de varredura de emulsões da época. Pudemos ver o decaimento do pión neutro em fótons e medir o tempo de vida do pión,⁸²⁸ o que não seria possível com as emulsões.”⁸²⁹

Vale destacar que a grande dificuldade apontada por Steinberger, na expressão “desafio formidável”, é o problema do trabalho e tempo intensivos demandados pelas emulsões no quesito relativo à varredura óptica – a análise de milhões de fotografias nas câmaras de bolhas poderia ser classificada do mesmo modo.



Fotografia de evento em câmara de bolhas; as curvas são resultantes de ação de campos magnéticos sobre partículas carregadas (Crédito: Wikimedia Commons)

⁸²⁸ Observação deve ser feita em relação à medida do tempo de vida do pión nas emulsões. Vale lembrar que CARLSON, HOOPER e KING (1950) fizeram essas medidas para o pión neutro usando emulsões, estabelecendo limites para esse valor. Há depoimento de Carlson (a partir de 1951, Ekspong) sobre esse tema: “Nesse trabalho [tentativa de medir o tempo de vida dos píons neutros], em Bristol, o professor C. F. Powell enfatizou que ele tinha tal confiança na Natureza que ele achava que o tempo de vida do pión neutro seria mensurável por nós [Carlson, Hooper e King]. Essa fala foi uma resposta à minha observação de que seria muita coincidência se o tempo de vida do pión neutro estivesse ajustado à técnica disponível [emulsões nucleares], que impunha limite de algumas poucas unidades de 10^{-14} segundo.” O tempo medido pelos três pesquisadores ficou dentro desse limite. Ver EKSPONG, NILSSON e YAMDAGNI (1974).

⁸²⁹ STEINBERGER (Comunicação pessoal).

Porém, até o final da década de 1950, experimentos continuaram sendo feitos com emulsões usadas como detectores. Destacaremos só um, por dizer respeito à história da física no Brasil: ainda em 1957, Lattes⁸³⁰ e o físico norte-americano Herbert L. Anderson,⁸³¹ trabalhando na Universidade de Chicago (Estados Unidos), impõem⁸³² limite para o decaimento do pión em elétron (o decaimento com maior probabilidade é o do pión em múon). Para a dupla, não havia nos resultados nada que sustentasse esse tipo de decaimento. O problema foi resolvido em 1958 por Steinberger⁸³³ e colegas, empregando a câmara de bolhas de hidrogênio de Berkeley.⁸³⁴

A resolução espacial das emulsões é ainda hoje a grande qualidade da técnica. No entanto, foi a semente de sua destruição, porque deve ser acessada por meio de varredura óptica minuciosa. Foi sua força, mas, ao mesmo tempo sua fraqueza, que não pôde ser vencida logo depois de a técnica chegar ao auge na década de 1950. Desde então, as emulsões nucleares se esgueiram por nichos na física de altas energias, mas nunca deixaram de estar presentes nas páginas dos periódicos científicos – basta consultar, por exemplo, *Il Nuovo Cimento* e *Nuclear Instruments and Methods for Physical Research*. Estiveram como à espreita de retorno, com uma bagagem de técnicas acopladas a ela amadurecida em universidades e centros de pesquisa de vários países do mundo, inclusive o Brasil.

Décadas se passariam até que sua fraqueza se desse por vencida.

⁸³⁰ Lattes, nesse período, havia ido aos Estados Unidos para cuidar de seu quadro mental – que, por sinal, tem sido tratado com preconceito e incompreensão por historiadores e colegas –, bastante agravado pelo chamado ‘caso Difini’ (ou escândalo Difini), rombo causado no caixa do CBPF por esse professor de química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que empregou quantidade significativa de verbas da instituição, então fundação privada, para apostas em jogos de azar. O caso, que se tornou público, muito pelo desejo do próprio Lattes – pois os rombos foram encontrados pelos baixos escalões da administração do CBPF –, chegou à imprensa e ganhou contornos políticos, sendo usado por Carlos Lacerda para atacar o governo de Getúlio Vargas, seu adversário político.

⁸³¹ Anderson fez o convite a Lattes em meio ao chamado caso Difini. Lattes esteve de 1955 a 1957 nos Estados Unidos. Os dois primeiros anos na Universidade de Chicago, encarregado do grupo de emulsões do Fermi, e o último na Universidade de Minnesota, trabalhando com raios cósmicos. Não foi um período profícuo para Lattes, ainda afetado pelas consequências de seu quadro mental.

⁸³² ANDERSON e LATTES (1957). Em ANDERSON (1982), há extensa discussão sobre os primórdios da física feita com aceleradores.

⁸³³ Aqui vale enfatizar que Steinberger, que iniciou seus primeiros trabalhos no começo da década de 1940 com contadores de cintilação (portanto, detectores de tradição lógica, no esquema galisoniano), pouco depois passou para detectores visuais (câmara de bolhas), quebrando assim o que Galison aponta como tendência a manter vínculos de longo prazo com a tradição em que o físico foi treinado.

⁸³⁴ Mais detalhes em FRANKLIN (2008a).

Chorus e Opera: a desumanização da varredura

As emulsões nucleares passaram, nos últimos 40 anos, a ser acopladas a técnicas automatizadas. Nesse sentido, as palavras do resumo (*abstract*) de artigo científico ainda de 2008.

“O uso das emulsões como detectores de partículas tem vida longa e cheia de sucessos. O recente desenvolvimento de sistemas de análises automatizados⁸³⁵ tem permitido o uso de grandes quantidades de filmes de emulsões sem precedentes na história da física de partículas. O experimento OPERA, realizado no subterrâneo do Laboratório Nacional do Gran Sasso (LNGS), para a confirmação da oscilação do neutrino [oscilação do neutrino do múon em neutrino do tau] é “o maior” desses experimentos. A técnica experimental, a estratégia e os primeiros resultados dos experimentos são apresentados.⁸³⁶

Nesse mesmo período – e, muitas vezes, como desdobramento do próprio Chorus⁸³⁷ e posteriormente do Opera –, surgiram trabalhos relacionados com a varredura óptica automatizada,⁸³⁸ que permite a leitura de eventos em tempo real, como fazem os detectores modernos dos grandes colisores. Como dissemos, esses métodos são desdobramentos de linha de pesquisa iniciada na década de 1970 na Universidade de Nagoia. Vejamos a abertura de um desses trabalhos:

“O conceito pleno de reconhecimento automático de trajetória, que é a base para algoritmo usado nos sistemas atuais, foi proposto na década de 1970 na Universidade de Nagoia (Japão). Infelizmente, a tecnologia não era avançada o suficiente para ser implementada. O grupo continuou os esforços para desenvolver um sistema inteiramente automático na década seguinte, e nós obtivemos a primeira aplicação completa do sistema automático na análise de dados do experimento CHORUS na década de 1990. Hoje [2002], o grupo de Nagoia está perto de finalizar a terceira geração de sistemas automáticos, e um intenso programa de P&D está sendo também realizado na Europa por grupos das Colaborações do CHORUS.⁸³⁹

⁸³⁵ O sistema de análise automatizado se refere a um conjunto de robôs que lidam com as emulsões.

⁸³⁶ DI FERDINANDO (2008).

⁸³⁷ Experimento feito no CERN entre 1994 e 1997 e no qual se usaram grandes volumes de emulsões nucleares – fabricadas no próprio CERN – para capturar a chamada oscilação de um tipo de neutrino em outro (no caso, do neutrino do múon para o neutrino do tau). O Chorus empregou basicamente duas técnicas automatizadas para a varredura óptica das emulsões: i) o sistema desenvolvido e aprimorado na Universidade de Nagoia; ii) o SYSAL (sigla, em inglês, para Sistema de Salerno), baseado no uso de CCDs para localizar nas emulsões grupos de pontos pretos (ou seja, grãos de prata metálica). Mais detalhes sobre o SYSAL em AMENDOLA *et al* (1999). CCDs também estão sendo usados recentemente para o estudo dos decaimentos radioativos raros, como o que gera dois prótons. De certa forma, podemos entender os CCDs como um tipo moderno de emulsão nuclear. Mais detalhes em CERN COURIER (2008). Para resultados nesse sentido, ver MIERNICK (2007).

⁸³⁸ Ver, por exemplo, D'AMBROSIO (2006), ARMENISE *et al* (2005) e IEVA e PISTILLO (2005), COZZI, ESPÓSITO e SIRRI (2006).

⁸³⁹ D'AMBROSIO (2002, p. 432).

Para chegar a um avanço na varredura, foi preciso que as emulsões seguissem a ‘desumanização’ pela qual passou a análise de dados nas câmaras de bolhas de Berkeley e de Brookhaven. Ao sair de cena, a intervenção humana abriu a porta para a automatização da técnica:

“Apesar de suas excelentes propriedades e de seu poderoso poder de acoplamento com detectores eletrônicos, no sentido de singularizar e localizar eventos raros de interesse nos chamados ‘experimentos híbridos’, aplicações em larga escala foram desencorajadas pela imensa quantidade de trabalho necessário pelos operadores de microscópios para achar e analisar eventos nas emulsões. Apenas há poucos anos é que uma nova era para os detectores à base de emulsões começou: procedimentos automáticos e robustos de varredura, capazes de localizar e analisar interações em emulsões, **sem a intervenção humana**, têm mostrado serem capazes de promover varreduras de volumes necessários para detectores de grande escala.”⁸⁴⁰ [Grifo nosso]

Agora, o papel do cientista é a ‘chancela’, em função de seu olhar treinado para distinguir o evento raro do corriqueiro. Em outras palavras, aos especialistas – pesquisadores ou técnicos experientes –, restou a etapa final, a confirmação, ‘imprimatur’ científico:

“No entanto, a confirmação de eventos peculiares é usualmente deixada para operadores experientes, que podem julgar pela inspeção direta a correção dos procedimentos automáticos de varredura. Isso é especialmente verdade para a busca por eventos raros, em que os sistemas de varreduras dão lista de possíveis eventos de interesse que o operador experiente precisa checar diretamente por meio da análise por microscópio (este procedimento é comumente denominado “varredura manual”).”

O que vemos na passagem acima é a parcial substituição, por máquinas, do corpo de microscopistas. Parcial, porque a eles cabe ainda analisar uma lista gerada pelos sistemas de varredura. É uma fase de transição rumo à automatização.

No projeto e na construção da câmara de bolhas, segundo Galison,⁸⁴¹ a ideia era eliminar do processo o ser humano,⁸⁴² Mas havia quem defendesse que o elemento humano deveria ser mantido no caso das emulsões, fazendo da técnica automatizada apenas ‘auxiliar’ na eliminação da fadiga e do erro:

⁸⁴⁰ COCCO e ROSA (2003, p. 453):

⁸⁴¹ GALISON (1985).

⁸⁴² A ‘desumanização’ da física de partículas (ou seja, as tentativas de eliminação do fator humano na descoberta e na localização de eventos), que, a nosso ver, se iniciou com a construção das câmaras de bolhas de hidrogênio em Berkeley, mereceria artigo em separado. A volta das emulsões, em experimentos como o Chorus e o Ópera, está fortemente ligada a essa desumanização. Na verdade, por meio desse viés, achamos que poderíamos estudar a física de partículas ao longo do século passado. Mas isso é assunto para outras ocasiões e locais.

“O objetivo dos mecanismos [de varredura automatizada] **que empregamos não é substituir o observador**, mas sim ajudá-lo. Isso pode ser realizado tornando mais objetivas suas medidas, executando automaticamente cálculos que tomam tempo e nos quais os erros são frequentes, melhorando a apresentação e a gravação dos dados, acelerando a leitura dos dados e reduzindo as tensões e complicações que levam ao cansaço e aos erros.” [grifos nossos]⁸⁴³

O olho humano e a mente treinada, na visão de Barkas, são confiáveis e os únicos habilitados a dar a palavra final sobre eventos raros. Podemos ver a tentativa de manter o papel decisório e de liderança dos físicos em um processo que se tornava altamente tecnológico e desumanizado. Em se tratando de detectores visuais, o observador, por meio de seu olho ‘treinado’, era a última (e, talvez, a mais importante) das etapas do processo. E, portanto, não deveria ser excluída.

Conclusão (capítulo 12)

A semente que levaria as emulsões nucleares ao seu ocaso estava implantada na técnica desde seus primórdios: o trabalho intensivo que a varredura óptica demandava. Porém, esta última era, sem exagero, sua essência, e dela não poderia ser estirpada. Seu magnífico poder de resolução – por vezes, também chamado limite de resolução –, que chega à casa das frações de micrômetros, decorre do emprego do microscópio. Nas sábias palavras de um físico japonês, eram sua força, eram sua fraqueza.

A ideia de retirar o olhar humano de parte significativa dessa etapa não ocorreu até a década de 1950, quando as máquinas obrigavam os detectores a lidar com grande quantidade de dados e resultados no menor tempo possível – atualmente, em tempo real.

A opção pela câmara de bolhas na década de 1950 mereceria ser estudada com mais detalhes. Aqui ousamos dizer – e reconhecemos que não passa de ousadia – que isso se deveu, em parte, ao modo como os Estados Unidos optaram por fazer ciência, principalmente depois da Segunda Guerra, quando o fluxo de verbas para os físicos era volumoso e crescente – apesar de ser uma parcela ínfima do orçamento militar norte-americano da época.⁸⁴⁴ A nosso ver, já é possível encontrar essa ‘cultura’ do grande, caro e moderno na astronomia norte-americana desde

⁸⁴³ BARKAS (1958, p. 325). Citado em GRILLI (1987, p. 24). Seria interessante investigar até que ponto a manutenção do fator humano ajudou a levar a técnica das emulsões nucleares para seu ocaso na área de física de partículas. Lattes, por sinal, tinha grandes ressalvas em relação à automatização total do processo de varredura óptica, pois acreditava que era temerário deixar a varredura para as máquinas. MARQUES (Comunicação pessoal).

⁸⁴⁴ Hoje, vemos que a biologia emprega estrutura sócio-organizacional semelhante à da física na Segunda Guerra Mundial. Exemplo é o chamado Projeto Genoma Humano.

o início do século passado, na construção de observatórios e telescópios gigantes, que contrastavam com a nascente ciência norte-americana.⁸⁴⁵

Para analisar o ocaso das emulsões nucleares na área da física de aceleradores, devemos levar em conta que, apesar de contar com praticantes desde a década de 1930 nos Estados Unidos, a técnica não era amplamente disseminada naquele país – foi preciso que um ‘estrangeiro’ viesse trazer essa tecnologia para os norte-americanos e alertá-los de que o maior e mais caro acelerador então produzido já criava a partícula para a qual foi projetado e construído.

É possível que a morte prematura de Gardner tenha desempenhado um papel no ocaso da técnica para os aceleradores. O livro escrito por Barkas em dois volumes (1963 e 1973⁸⁴⁶) sofreu o mesmo revés que o de Powell, Fowler e Perkins:⁸⁴⁷ ambos foram publicados quando a técnica já estava restrita a nichos, tendo sido, acreditamos, de pouca serventia para disseminá-la para outros centros e novos alunos.

Na concepção do projeto das câmaras de bolhas, o ‘humano’ era sinônimo de erro, delonga e fadiga, problemas que deveriam (e poderiam) ser vencidos pela máquina. A completa ‘desumanização’ do processo de varredura – deixando aos especialistas só o *‘imprimatur’* científico – ocorreria apenas no início deste século. O experimento Ópera é caso emblemático nesse sentido.



Mecanismo robótico do Ópera para lidar com as emulsões nucleares; nesse experimento, a varredura óptica das emulsões era totalmente automatizada (Crédito: Ópera)

⁸⁴⁵ Para discussão do assunto, ver VIDEIRA (1995), que sugere que os Estados Unidos tendem a fazer ciência com equipamentos caros, complexos e modernos.

⁸⁴⁶ BARKAS (1963) e BARKAS (1973).

⁸⁴⁷ POWELL, FOWLER e BARKAS (1959).



Em sentido horário, começando do alto à esq.: Watter Schutzer, Hideki Yukawa, César Lattes, Hervásio de Carvalho, José Leite Lopes e Jayme Tiomno, em Princeton, 1949, ano em que Einstein, do Instituto de Estudos Avançados, naquela cidade norte-americana, festejava seus 70 anos de idade (Crédito: desconhecido).

CAPÍTULO 13

CONCLUSÕES

Introdução

Em 1910, no momento em que a técnica das emulsões nucleares se iniciava no campo da física, ela foi construída com elementos externos a essa ciência: a fotografia e o microscópio – este último então sob o domínio de biólogos e médicos. A técnica das emulsões nucleares é, portanto, resultado de duas culturas materiais ‘retomadas’ pelos físicos. Some-se a elas outro fator externo ao campo: a química fotográfica na forma de reagentes.

Portanto, nossa ‘equação’ passaria a ter três produtos:

Técnica das emulsões = fotografia + microscópio + reagentes.

Por volta de 1910, podemos pensar que a possibilidade de ‘captura’ do invisível – ou seja, do fenômeno da radioatividade – tenha motivado os físicos a considerar a fotografia como detector – e foi assim que essa comunidade nascente de emulsionistas começou a arrancar da fotografia o adjetivo ‘detector qualitativo’ com a qual ele adentrou o século passado. Hipótese interessante seria pensar que os físicos estavam desejosos de ‘ver’ o fenômeno recém-descoberto, invisível, do mundo atômico. Esse anseio pela visualização, com o auxílio de um instrumento que estava no domínio da biologia, nos leva a pensar que a física talvez tenha emulado a metodologia das ciências biológicas.

Esse início da técnica foi mais rico do que o apresentado até agora pela (pouca) literatura que a tratou pelo viés histórico. Porém, ideias e desenvolvimentos desses pioneiros parecem ter sido esquecidas ao longo da Primeira Guerra, o que nos permitiu afirmar que o método fotográfico acabou redescoberto em meados da década de 1920. O mesmo se deu com procedimentos antes e depois da Segunda Guerra. Redescobertas e reinvenções são ponto marcante da física experimental do século passado quando analisada pelo viés da técnica das emulsões.

Na década de 1930, físicos nucleares – a mesma comunidade que havia iniciado a técnica – lançam dúvida sobre ela, devolvendo-a, de certa forma, ao caráter qualitativo – da qual, por sinal, eles a haviam livrado no início do século. Cabe agora aos cosmicistas resgatá-la dessa condição. Foi também nesse período que o método fotográfico ganhou os princípios que deveriam ser seguidos caso se quisesse que ele tivesse a precisão necessária para se tornar detector confiável.

Ao longo da Segunda Guerra, a técnica foi usada para propósitos militares – Projeto Manhattan e estudo de nêutrons lentos no Reino Unido. Ao final do conflito, a associação entre duas comunidades, a dos físicos e químicos industriais, com *ethos* diferentes, se estabeleceu e

perdurou ao longo de toda a história das emulsões nucleares – pela primeira vez, os físicos haviam delegado a construção de um detector a outra comunidade. É nesse período que a técnica chega a seu auge, graças à retomada do binômio fotografia-radiação cósmica. É nele também que os físicos atacam cada aspecto do método, devolvendo, por vezes, à indústria um conhecimento que dela havia sido apropriado.

A associação da técnica aos aceleradores, na segunda metade da década de 1940, mostra que a tecnologia empregada na construção daquelas máquinas funcionava. E isso, a nosso ver, está na origem da construção de grandes aceleradores nos Estados Unidos na década de 1950.

Ao mesmo tempo em que pereciam para a física de altas energias, as emulsões encontravam novos caminhos no estudo da fissão e da radioatividade – muitas vezes feitos ainda em aceleradores –, bem como no da radiação cósmica, agora com o uso de tecnologia derivada, as câmaras de emulsão. Nesses dois campos, o Brasil teve longa associação com a técnica, que possibilitou a descoberta de fenômenos radioativos e nucleares.

As imagens, isoladas, parecem ter perdido, a partir da entrada em cena dos grandes aceleradores e suas enormes quantidades de dados, seu poder de ‘prova final’. Ficaram, nos parece, com outras incumbências: evidência e comprovação.

As imagens de trajetórias de partículas nem sempre foram aceitas por seus ‘valores de face’. A precisão e a ‘realidade’ delas foram questões negociadas na comunidade de físicos teóricos e experimentais – como então entender que ‘dois risquinhos’ foram aceitos como a solução de controvérsia que durou dez anos sobre o número de mésons e a natureza deles? A forte ligação entre o visível e o real teve que ser negociada e construída ao longo do século passado.⁸⁴⁸



Encontros sobre emulsões nucleares ainda ocorrem com frequência, apesar de a técnica estar restrita a nichos na área de altas energias (Crédito: Nagoya University)

⁸⁴⁸ GALISON (1999a).

No Brasil: a posse de um detector barato e simples

A organização da física passou, a partir da Segunda Guerra Mundial, por transformações profundas. Uma delas nos interessa mais de perto: a contratação de técnicos sem o devido treinamento se torna cada vez mais difícil. Depois da profissionalização do cientista no século 19, agora era a vez do técnico.⁸⁴⁹ Assim, não havia sentido em contratar dezenas de pessoas (sem especialização) que deveriam ser treinadas em suas tarefas pelos cientistas – com o advento das leis trabalhistas e seguridade social na Europa, os salários mesmo de pessoas sem nível superior foi elevado.

No entanto, no Brasil, a possibilidade de se contratar por baixos salários esse tipo de mão de obra – entenda-se, microscopistas – foi um dos motivos que possibilitaram não só a implantação da técnica, mas também sua longevidade. E foi justamente a impedimento de se contratar esse pessoal, no final da década de 1980, que levou ao desmonte do laboratório que lidava com o estudo da fissão e da radioatividade no CBPF.⁸⁵⁰ Microscopistas – muitas contratadas na década de 1950 – se aposentavam, e as vagas não podiam ser preenchidas, pois não se abria concurso para esse tipo de profissional. Outro motivo para o ocaso da técnica no Brasil foi a dificuldade em se obter financiamento para essa linha de pesquisa.⁸⁵¹

Visto pelo viés das emulsões, achamos ter elementos para afirmar que, pela primeira vez na história da física no Brasil, o país estava paripasso com a física experimental feita na Europa e nos Estados Unidos – quase concomitantemente ao desenvolvimento das emulsões nucleares na Inglaterra, pesquisadores brasileiros passaram a empregá-las aqui.⁸⁵²

⁸⁴⁹ Acreditamos que essa foi a principal razão para o fechamento dos laboratórios de emulsões nucleares do CBPF a partir da década de 1990. Paradoxalmente, a contratação de mão de obra barata no Brasil possibilitou a instalação da técnica no país ainda no início da década de 1960 e garantiu sua longevidade no país.

⁸⁵⁰ TAVARES (Comunicação pessoal).

⁸⁵¹ TAVARES (Comunicação pessoal). Tavares nos conta que os financiamentos pedidos na década de 1990, por exemplo, eram de pequena monta (na casa de R\$ 10 mil ou R\$ 20 mil, muitas vezes), se comparados aos de outros laboratórios do próprio CBPF. No entanto, esses pedidos foram repetidamente negados. Era dinheiro muitas vezes para a compra de reagentes e conserto de equipamentos. Não havia mais a possibilidade de abertura de concurso para a contratação de técnicos sem formação específica, o que inviabilizou a substituição de várias microscopistas que haviam se aposentado. A falta de dinheiro e a impossibilidade de contratação de novos microscopistas acabaram inviabilizando a continuidade do Laboratório de Detecção de Traços do CBPF, cuja origem remonta ao início da década de 1960, por iniciativa de Hervásio de Carvalho, bem como os laboratórios da CBJ (no CBPF) e de Elisa Frota-Pessôa, que também lidavam com emulsões nucleares.

⁸⁵² Ainda em 1947, Lattes deu um curso de duas semanas no Laboratório de Produção Mineral, no Rio de Janeiro, o que, acreditamos, motivou Hervásio de Carvalho a lidar com emulsões nucleares aplicadas a problemas da radioatividade – ver ERISHSEN (1948). No final da década de 1940, Elisa Frota-Pessôa e Neusa Amato (então, Margem) empregaram emulsões irradiadas em Berkeley para o estudo do decaimento

Segundo Galison, a flexibilidade do conceito de experimento permitiu construir, manipular e analisar dados em locais diferentes. Na impossibilidade financeira e técnica de desenvolver e construir um grande acelerador de partículas,⁸⁵³ nem mesmo máquina da complexidade da câmara de bolhas, o Brasil optou por ter para si detector simples e barato, que já havia sido testado nos últimos 50 anos. Foi a forma de participar da chamada ‘Era das Máquinas’, que se iniciou nos Estados Unidos a partir da década de 1950. Por exemplo, desde a Divisão de Física da Fissão e Radioatividade, bem como no Laboratório de Espectroscopia Nuclear,⁸⁵⁴ ambos no CBPF, uma das estratégias foi o desenvolvimento de expertise no detector e o emprego dele em grandes aceleradores no exterior.

No Brasil, a técnica se manteve até 1990, tanto no estudo da fissão e da radioatividade no CBPF quanto no estudo da radiação cósmica na Colaboração Brasil Japão. Se levarmos em conta o uso de detectores de traços nucleares de estado sólido, cujo uso se prolongou até 1997, podemos afirmar que o Brasil é caso único no mundo. O estudo desse tema certamente mereceria tese em separado.

Tolstoy versus Poincaré: que concepção de história?

Ao longo desta tese, há questões pontuais sobre a história da física no Brasil. Com base nelas, vale, neste final, nos perguntarmos: questões isoladas – como a adição do bórax a emulsões nucleares e o pressuposto de que com eventos favoráveis seria possível obter a produção do méson artificial no acelerador de Berkeley – são fundamentais para determinar os rumos dos acontecimentos?

Essa pergunta não tem resposta simples. A nosso ver, depende da concepção de história com a qual se iluminam esses fatos. Se considerarmos que a história segue o que denominaremos concepção tolstoyana – em que fatos isolados não são marcantes para determinar grandes destinos –, então a resposta é não. Porque a malha dos grandes cenários, sejam eles sociais, econômicos, científicos etc., já está trançada para acolher fatos isolados – e, talvez, esses fatos nasçam mesmo como consequência desse emaranhado complexo do cenário de fundo. E só ali poderiam nascer.

do pión positivo e as aplicaram, depois, a problemas locais (voo do mosquito transmissor da malária) – ver respectivamente, FROTA-PESSÔA e MARGEM (1950) e ARAGÃO, FROTA-PESSÔA e MARGEM. Já em 1949, Hervásio de Carvalho lidava com emulsões do tipo NT4, recém-lançadas na Europa – ver DE CARVALHO (1949) – e, naquele mesmo ano, iniciou seus trabalhos com Herman Yagoda nos Institutos Nacionais de Saúde dos Estados Unidos com emulsões expostas em foguetes.

⁸⁵³ Tentativas nesse sentido estão descritas em ANDRADE e GONÇALVES (1995) e em filme de ANDRADE e WERNECK (1996).

⁸⁵⁴ As primeiras chapas empregadas nos primórdios desse laboratório, chefiado por Elisa Frota-Pessôa, foram irradiadas no sincrociclôtron do Laboratório de Radiação em Berkeley e trazidas ao Brasil por Lattes.

No entanto, se encararmos a história como sistema muito sensível às condições iniciais – pequenas perturbações levam a consequências inesperadas –, então, sim, fatos isolados, mesmo que de pequena monta, mesmo em contraste com o turbilhão do cenário de fundo, serão determinantes para mudar o rumo dos acontecimentos. Há, porém, agravante nessa linha de raciocínio, que batizamos ‘concepção poincareana’: é preciso pensar que o cenário de fundo, que imaginamos dotado de inércia considerável, tenha que responder a essas pequenas perturbações. E isso não nos parece razoável.⁸⁵⁵

Conceitos latentes: reinvenções e redescobertas

Ao empregarmos as emulsões como fio condutor de nossa história, vemos que conceitos são, de tempos em tempos, ‘redescobertos’. O uso de emulsões carregadas com bórax é dessas ‘redescobertas’; o próprio método fotográfico foi, de certo modo, redescoberto por Blau em meados da década de 1920. Retornaremos adiante com outros exemplos.

Talvez, pudéssemos aqui dizer, em opinião similar ao da escola italiana de filósofos e historiadores da ciência,⁸⁵⁶ que conceitos permanecem latentes, ‘no ar’, e florescem quando há a necessidade ou as condições ideais para isso. Entre essas condições nos parecem estar problemas científicos ou cenários econômicos. Posto de modo simples: esses renascimentos ou redescobertas – independentemente do nome que se dê a eles – são deflagrados por demanda.⁸⁵⁷ Porém, acreditamos que a demanda isoladamente não possa fazer renascer uma dada invenção, procedimento, técnica etc. É preciso mais. Nesse sentido, um modelo em especial que nos vem à mente para alargar essa questão é o do físico e filósofo japonês Mituo Taketani (1912-2000), mais especificamente os elementos que ele denominava ‘substrato físico’ e ‘substrato mental’.⁸⁵⁸ Posto de modo simples, poderíamos dizer que esses dois substratos – que podem ser entendidos como as ideias e as técnicas disponíveis em cada época – devem ser condizentes com a natureza da demanda.

⁸⁵⁵ Talvez, o próprio Lattes – e tudo aqui não passa mais uma vez de conjectura – tenha sido adepto dessa segunda concepção, quando resumiu sua carreira em frase do mais alto bom gosto: “Fiz o possível. Fui empurrado pela história.” Para a citação, ver VIDEIRA e VIEIRA (1997).

⁸⁵⁶ Por exemplo, P. Rossi e P. Redondi.

⁸⁵⁷ VIGNERON (1953) defende ideia semelhante em sua revisão sobre emulsões nucleares: a de que as soluções para os problemas das emulsões nucleares são buscadas segundo a demanda. GOLDHABER (Comunicação pessoal), apesar de seu laconismo, nos faz supor ser partidário dessa linha de pensamento, quando foi perguntado sobre o porquê do surgimento de novo detector em Berkeley no final da década de 1940.

⁸⁵⁸ Para mais detalhes, ver, por exemplo, SAKATA (1971). Vale dizer que Taketani seria mais tarde diretor do Instituto de Física Teórica de São Paulo. Para mais detalhes dessa história, ver OLIVEIRA (2002).

Dito isso, gostaríamos de listar alguns dos principais conceitos que, pelo viés das emulsões, foram ‘redescobertos’:

- i) emulsões em pilha de Kinoshita, usadas mais tarde nos grandes volumes de emulsões levados ao ar em voos de balões;
- ii) exposição das emulsões à radiação cósmica na década de 1930 por Wilkins, St. Helens, bem como Raumbaugh e Locker, e a iniciativa de Lattes e Occhialini em Bristol de estudar raios cósmicos com esse método;
- iii) as emulsões espessas, fabricadas primeiramente pelos soviéticos ainda em 1927, e que no final da Segunda Guerra passariam a ser feitas pela Ilford, agora com o nome de emulsões nucleares;
- iv) as câmaras de emulsões empregadas por Sahni e Mayer, nos primeiros anos do método, e o uso da mesma técnica, em essência, por Chadwick e Powell na Segunda Guerra no acelerador de Liverpool para o estudo do espalhamento próton-nêutron.

Caso particularmente interessante à história da física no Brasil: o das emulsões carregadas com bórax. Como vimos, os primeiros trabalhos nesse tema foram feitos em meados da década de 1930 e cerca de dez anos depois ‘redescobertos’ por Lattes, em Bristol. Pouco depois, em 1953, em um experimento feito no Laboratório Cavendish, publicado com o sugestivo título ‘Placas fotográficas carregadas com boro como detectores para nêutrons lentos’, Baker⁸⁵⁹ não cita nem Taylor e Goldhaber, nem Lattes, Fowler e Cüer ou mesmo artigo com título semelhante, ainda de 1947, de Lattes e Occhialini. Foi como se o tema, com Baker, ‘recomeçasse’, como se não houvesse memória.

É nossa opinião que a história da técnica das emulsões nucleares ajuda a visualizar desenvolvimentos sendo redescobertos; reações sendo reutilizadas; métodos sendo reinventados. Um possível desdobramento disso, achamos, é reforçar algo com que os historiadores da ciência por vezes se defrontam: não há sentido em se falar sobre primazias – afinal, a ciência não é um sistema linear, onde uma ideia necessariamente leva a outra.

O modelo galisoniano se aplica ao caso brasileiro?

Acreditamos, neste final, ter massa crítica suficiente – para emprestar termo caro aos físicos nucleares – para responder a pergunta que nasce já nas primeiras páginas desta tese: o modelo de Galison apresentado no Capítulo 1 se aplica ao caso brasileiro?

Como quase tudo em história, a resposta não é simples. Assim, é preciso apresentar ao leitor elementos para fundamentá-la. Além disso, como dissemos, um modelo, a nosso ver, não

⁸⁵⁹ BAKER (1954).

deve ser camisa de força; deve ser, sim, luz para clarear os fatos e entendê-los em contexto mais amplo, estabelecendo conexões com eventos que, sem eles, pareceriam distintos e isolados.

Vamos examinar os elementos citados acima.

Em relação aos grupos de emulsões, o Brasil manteve estrutura sócio-organizacional que se encaixa no padrão pré-*Big Science*: grupos pequenos, trabalhando praticamente de modo isolado, sem muito contato com teóricos, com poucos pesquisadores assinando os artigos. E o modelo de Galison, como foi dito inicialmente, é tentativa de justificar a *Big Science*. Portanto, já de início, ele fica descaracterizado no contexto brasileiro.

Por exemplo, não é possível dizer que houve diluição da autoria para os pequenos grupos que trabalhavam com emulsões nucleares.⁸⁶⁰ Mas esse conceito pode certamente ser aplicado, até certo ponto, aos primeiros anos da Colaboração Brasil-Japão. Ali, cerca de uma dezena de autores costumava assinar os artigos, nos quais é difícil apontar qual o papel exato de cada pesquisador no experimento – essa diluição ocorreu, mais tarde, quando o Brasil estabeleceu convênios internacionais na área de física de partículas, como o do Fermilab. No entanto, neste final, vale crítica à questão da diluição da autoria: muitas vezes, fica difícil determinar, mesmo em artigo com dois ou três autores, o papel de cada um. Portanto, achamos que essa diluição é mais algo intrínseco ao modo de operação da ciência do que algo apenas inerente à *Big Science*.

As máquinas que passaram a ser construídas no Brasil a partir da década de 1950 – por exemplo, o Bévatron, sob responsabilidade de Marcello Damy de Souza Santos, e o van de Graaff, de Oscar Sala, ambos em São Paulo (SP) – não chegaram a constituir o que é classificado como *Big Science*. Na opinião de alguns autores,⁸⁶¹ as primeiras tentativas nesse sentido se deram mais tarde, com a construção do primeiro acelerador síncrotron do país.

Quanto à zona de troca, os contatos com a indústria eram mínimos e estritamente comerciais, como os de um consumidor qualquer, entre tantos. Assim, não houve necessidade de se criar uma linguagem crioula. No entanto, em suas relações com a indústria, o caso da Colaboração Brasil-Japão é interessante e merece ser discutido, pois reflete, guardadas as proporções, o que ocorreu no final da Segunda Guerra entre a indústria e a academia no Reino Unido. A empresa Sakura, que fabricava as emulsões usadas pela CBJ, utilizava os resultados da colaboração como um tipo de controle de qualidade para seus produtos. Havia acordo explícito nesse sentido entre físicos e a empresa (e aqui vale ressaltar mais uma vez as diferenças de *ethos*): para que as emulsões fossem vendidas a preço de custo, era necessário repassar dados sobre propriedades delas. Caso emblemático dessa troca de dados está em trabalho⁸⁶² em que o

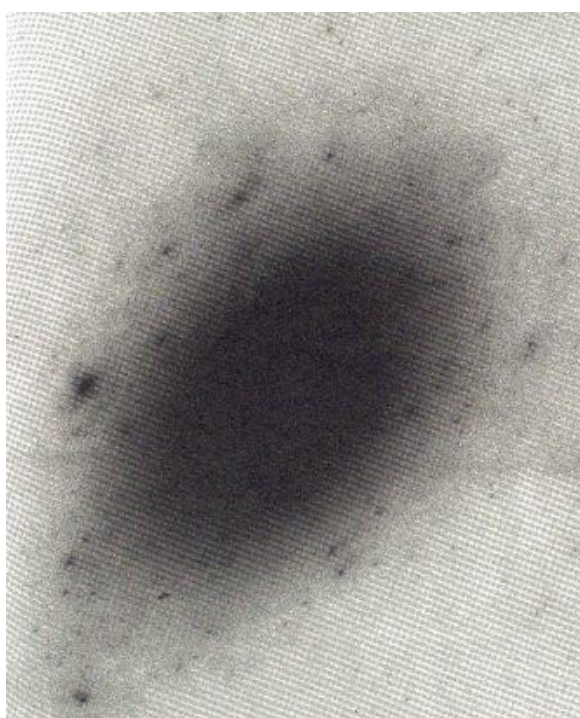
⁸⁶⁰ Para uma discussão mais aprofundada sobre a questão da autoria, ver BIAGIOLI e GALISON (2002), especificamente bem como GALISON (2002). Sobre o mesmo assunto, ver também WRAY (2006).

⁸⁶¹ Para uma comparação entre a física experimental argentina e brasileira e as respectivas tentativas de implementar a chamada *Big Science* em países periféricos, ver HURTADO e VARA (2007).

⁸⁶² LUKSYS, OHSAWA e SHIBUYA (1993).

grupo da CBJ desconfiou da existência de relação entre o ângulo de incidência da radiação e a opacidade da chapa.

A CBJ lidava basicamente com eventos de ouro – prova disso são os ditos exóticos, denominados mirim, açu, guaçu, andrômeda etc. Já o grupo de fissão e radioatividade seguiria mais a linha de estatística de eventos de ouro – exceção, por exemplo, para a descoberta do decaimento exótico, em meados da década de 1970. No entanto, a leitura dos trabalhos desses grupos mostra que eles obtinham grande estatística de dados vindos da exposição das emulsões aos aceleradores e do carregamento destas com elementos radioativos. Em vez de imagens específicas, como as dos decaimentos do pión em múon, os artigos em geral trazem tabelas e gráficos. Portanto, poderíamos falar – como proposto nesta tese – em estatística de eventos de ouro.



Evento exótico denominado Andrômeda – em função de sua forma – detectado pela Colaboração Brasil-Japão em 1969 (Crédito: Colaboração Brasil-Japão)

Os físicos experimentais de fissão e radioatividade – em seu contato praticamente nulo com os teóricos, relembrando um *ethos* da física que perdurou até alguns anos depois do fim da Segunda Guerra⁸⁶³ – acabavam se apropriando de modelos ou os desenvolvendo por conta própria. Um desses casos está na tese de mestrado de Odilon Antonio Paula Tavares, o primeiro

⁸⁶³ Essa ausência de interação dos experimentais com os teóricos é discutida, por exemplo, em ROCHESTER (1988) e MOTT (1980).

caso no Brasil de aplicação do método de Monte Carlo à área de física nuclear.⁸⁶⁴ Isso mostra autossuficiência desses grupos – o mesmo pode ser dito da CBJ, onde praticamente não havia teóricos também.⁸⁶⁵ O decaimento exótico teve seu modelo teórico, baseado no chamado efeito túnel idealizado pelo físico russo George Gamow (1904-1968), desenvolvido totalmente por experimentais. Essa situação se mostra ainda mais peculiar quando lembramos que, nas dependências desse laboratório, estava o grupo de teóricos da área nuclear do CBPF.

De modo geral, no Brasil, os emulsionistas continuaram ao longo dos tempos a serem emulsionistas – caso extremo de vínculo de longo prazo, como apresentado por Galison. Defrontamo-nos apenas com trocas intratradução, ou seja, de um detector visual para outro, igualmente visual.⁸⁶⁶

Quanto à capacidade de administração indicada no modelo galisoniano em função da *Big Science*, achamos que esta se aplique, moderadamente, ao caso brasileiro apenas à CBJ, que exigiu gerenciamento em maior escala para coordenar a implantação de infraestrutura no monte Chacaltaya, a 5,6 mil metros de altura. Porém, está longe de ser aquela demandada por iniciativa da envergadura do Projeto Manhattan ou mesmo da construção de aceleradores e detectores de grandes diâmetros, como ocorreu nos Estados Unidos após a década de 1950. Está, nesse sentido, mais próxima de Bristol, onde equipe de quase duas dezenas de microscopistas⁸⁶⁷ foi mantida até 1957.

Resumindo: dos itens do modelo galisoniano citados no Capítulo 1 desta tese (diluição da autoria; eventos de ouro *versus* estatística; três subculturas; zonas de troca; vínculos de curto, médio e longo prazos; ruído de fundo e capacidade de administração), vimos para o caso da história das emulsões nucleares no Brasil que se aplica apenas o vínculo de longo prazo – a tendência de um experimental permanecer na tradição visual em que foi treinado. Outros desses pontos não nos parecem encaixar no modo como a ciência foi feita por décadas por aqui.

⁸⁶⁴ Para detalhamento das atividades de física nuclear no CBPF ao longo dos 60 anos de sua existência, ver TAVARES (2009).

⁸⁶⁵ A exceção era Francisco de Oliveira Castro (1902-1993), teórico que se ocupou, entre outros temas, do problema da difusão dos componentes da radiação cósmica na atmosfera. TAVARES (Comunicação pessoal).

⁸⁶⁶ Foi o caso da física Ana Maria Endler, do CBPF, que, em meados da década de 1960, a pedido de Lattes, passou a trabalhar na Alemanha com câmara de bolhas. É possível conjecturar que Lattes, com essa iniciativa, tenha aceitado o fim das emulsões na área de física de altas energias. No Laboratório de Radioatividade e Detecção de Traços, o que ocorreu foi uma troca de detectores visuais (emulsões por detectores de estado sólido), mantendo-se, no entanto, programa de pesquisa. Houve, na CBJ, um breve período de tempo, no início da instalação da colaboração, em que se trabalhou apenas com detectores eletrônicos (estatísticos). Galison relata um caso de deslocamento extremo: Donald Glaser migrou para a área de biofísica, empregando, porém, o mesmo tipo de detector – ver GALISON (1997b, p. 421).

⁸⁶⁷ Estimativa com base em depoimentos de personagens da época.

Quanto ao ruído de fundo, essa nos parece boa definição do trabalho dos físicos experimentais (e se aplica, a nosso ver, a todos aqueles que praticam essa forma de pesquisa, portanto não havendo nada de muito local na definição).

O principal impedimento para a aplicação do modelo galisoniano ao caso brasileiro se dá, portanto, pelos simples fato de que, por aqui, ainda por muitas décadas depois do estabelecimento da *Big Science* nos Estados Unidos – e, a seu modo, na Europa –, o Brasil continuou a fazer pesquisa em física nos moldes anteriores ao da Segunda Guerra: grupos pequenos, baixos orçamentos, sem grandes colaborações internacionais. Se aceitarmos que um dos objetivos de Galison é justificar a *Big Science*, então fica claro que seu modelo é estranho à ciência que se fez com emulsões no Brasil e certamente em outros países periféricos. Talvez, para estes o modelo ou tenha que ser modificado, ou descartado.

Vale ir além do caso brasileiro.

Acreditamos que o foco nas emulsões nucleares revela outra história, com fatos e detalhes novos, que, para nós, enriquecem a história contada em *Image & Logic*. Mas também, vez por outra, a contradiz. Em relação a este último aspecto:

i) Galison afirma que Lattes, ao chegar a Berkeley, no início de 1948, para trabalhar com Gardner na detecção de píons no sincrociclótron de 184 polegadas, teria vindo com novos filmes e alterado o tempo de revelação das emulsões;⁸⁶⁸ acreditamos ter mostrado que isso não ocorreu;

ii) para nossa surpresa e estranhamento, Galison escreve que as emulsões nucleares são cria (*offspring*) da câmara de nuvens; discordamos, pois isso implica desconsiderar o trabalho de pioneiros e a rica e complexa história que ocorreu desde o início do século 19 relativa à fotografia em si e ao uso desta como detector;

iii) a zona de troca estabelecida entre membros da mesma comunidade (entenda-se cientistas participando de grande colaboração) é, a nosso ver, diferente daquela que se deu entre físicos experimentais e químicos industriais; enquanto no primeiro caso o objetivo final é a ciência para as duas partes; no segundo, ele é diferenciado; para a indústria é o mercado.

Sem o glamour da teoria: história de laboratório

Com esta tese, acreditamos retomar um pouco da história da física do século passado, contada pelo viés da experimentação, das máquinas, dos instrumentos, como se propõe fazer a linha historiográfica que aqui denominamos galisoniana. É a história, para emprestar termo do próprio Galison, da sujeira do chão do laboratório, de compostos químicos, instrumentos, de ar contaminado com vapores de elementos ou substâncias químicas que permeavam laboratórios

⁸⁶⁸ GALISON (1987, p. 35).

químicos industriais, de câmaras escuras, de compostos emissores de radiação.⁸⁶⁹

São locais assombrados pelo acaso, pela serendipidade. É esse o ambiente habitado pelas emulsões nucleares, o artefato da ‘magia negra’, da tentativa e erro para os físicos experimentais. Enfim, é a física de laboratório.⁸⁷⁰



Típico laboratório de física da década de 1930; Cambridge, nessa década, era local cheio de fuligem, sujo, depressivo, segundo relato de frequentador da época (Crédito: desconhecido)

Galison resgatou parte dessa história. Achamos que demos a ela alguma contribuição.

Nossa história opõe-se, assim, à linha kuhniana, que privilegiou o glamour, os *insights* da teoria, principalmente com a chamada construção da mecânica quântica, a partir da década de

⁸⁶⁹ Nesse sentido, ver descrição de J. Henry, do Laboratório Cavendish, no início da década de 1930, citada por BUSTAMANTE (2006, p. 35): [O Cavendish], com sua ‘Creche’ e sua ‘Garagem’ [era] local cheio de fuligem, sujo, depressivo, construído no século 19.”

⁸⁷⁰ Vale lembrar que, até o início do século passado, havia, talvez, pouco mais de uma dúzia de cátedras teóricas na Europa, parte delas na Itália. A física da ‘elite’, dos ‘*Professors*’ era a experimental. Foi Einstein, a partir de 1915, que passou a conferir estatuto à profissão de teórico, considerada assunto para estudantes e minorias discriminadas na academia. Para a discussão desse tema, ver a brilhante obra de CASSIDY (1999). Para uma obra ampla sobre a física experimental ligada à área de partículas, ver CAHN e GOLDBERGER (1989).

1920. Foi história de ideias e símbolos. Foi, porém, a história de apenas uma das três subculturas da física. Em 1999, Val Fitch, Nobel de Física de 1980, protestou contra essa forma de contá-la.⁸⁷¹

Nos primeiros anos da década de 1950, as emulsões já haviam se tornado instrumento científico. Essa qualificação, sem dúvida, foi impulsionada pelos feitos da década anterior, principalmente. Powell, nesse sentido, foi elo entre duas épocas, a que venceu o ceticismo e conferiu ares de precisão à técnica e aquela em que esta atinge seu auge e sua maturidade.

A técnica tornou-se parte integrante da vida de muitos laboratórios ao redor do mundo, e foi importante no momento em que países europeus precisaram vencer a devastação, direta ou indireta, por que passaram na Segunda Guerra.⁸⁷² Podemos ver as emulsões como o detector que acendeu a luz verde para a grandiosa ‘Era das Máquinas’, certamente desdobramento da *Big Science* norte-americana. No continente europeu, foi por meio dessa pequena e simples peça que foi possível estabelecer grandes colaborações e, a seu modo, dar início a outra *Big Science* – para a qual Galison, por sinal, não volta muito seus olhos. A origem de sua ‘Grande Ciência’ é excessivamente norte-americana.

Ao final da década de 1950, em meio ao seu ocaso, a técnica, paradoxalmente, havia finalizado sua jornada de cerca de meio século. “Ela [a técnica de emulsões nucleares] pode ser retomada a qualquer instante, pois está completa.”⁸⁷³ Sua essência estava finalizada. Restavam detalhes, aperfeiçoamentos de pequena monta.⁸⁷⁴

O binômio ‘fotografia-microscópio’ havia atingido seu auge. A ele, bastaria somar o olhar treinado.

Caso valham as palavras de Rubia apresentadas como epígrafe desta tese, então as emulsões nucleares são a imagem das entranhas dos físicos experimentais, desenhada pelos químicos industriais.

⁸⁷¹ FITCH (1999).

⁸⁷² DE MARIA, GRILLI, SEBASTIANI (eds.) (1988) discutem como se deu a reconstrução da ciência europeia depois da Segunda Guerra Mundial. Em países como a Itália, a técnica das emulsões nucleares foi importante nos primeiros anos, quando havia falta de recursos, equipamentos e a formação dos físicos deixava a desejar, como bem coloca BALDO-CEOLIN (2002). Mesmo com a entrada da Itália em grandes colaborações, em anos posteriores à *Big Science*, o país manteve tradição de pesquisa em emulsões nucleares. Prova disso são os vários artigos publicados, a partir da década de 1950, em *Il Nuovo Cimento*, por exemplo, bem como, mais tarde, linhas de pesquisa voltadas para a automatização da técnica, que levaram ao experimento Ópera. Vale lembrar que foi na Itália que, no final da década de 1950, Hervásio de Carvalho aperfeiçoou o método de carregamento das emulsões – ver DE CARVALHO (1964) – e foi lá também, em Pisa, que Lattes iniciou seus estudos de geocronologia com a técnica. As causas da persistência da técnica na Itália valeriam ser investigadas com detalhes.

⁸⁷³ JAMES (1987b, p. 58).

⁸⁷⁴ Ver, por exemplo, BRADNA (1968).

A história contada aqui é, como tantas outras, a de ascensão, auge e ocaso.

História que, por sinal, iniciou-se há exatos 100 anos, quando Mügge decidiu salpicar suas emulsões umedecidas com fragmentos minerais e olhá-la através da ocular do microscópio.

Acreditamos que nosso viés possibilitou trazer à tona personagens que permaneceram incógnitas em outras perspectivas históricas, bem como revelar fatos novos e estabelecer relações que até agora permaneceram obscuras ou desconhecidas.

Muitas 'árvores' da floresta que vislumbramos do alto de nossa montanha dariam teses de envergadura: Kinoshita, Michl, Blau, Wambacher, Zhdanov, Myssowsky, Taylor, Goldhaber, Powell, Occhialini, Lattes, Gardner, Perkins, Muirhead, Rosemary Brown, Fowler, Dilworth, Hervásio, Yagoda, E. Frota-Pessôa, Barkas, Rotblat, Waller, Shapiro, Mitchell, só para citar algumas personagens.

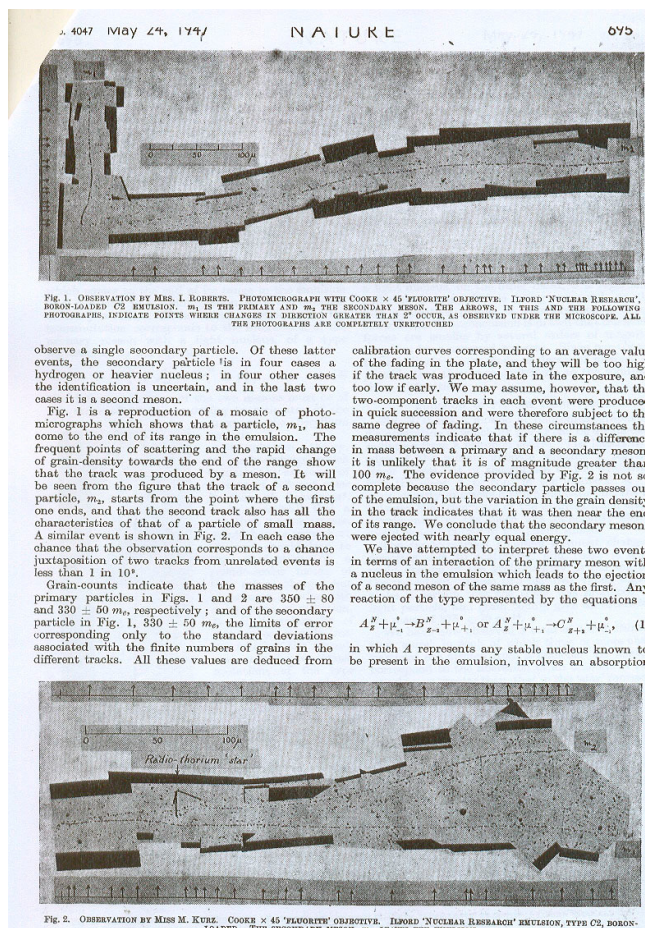
É uma história que está intimamente ligada àquela da física no Brasil, àquela que alicerçou o estabelecimento da organização político-administrativa de nossa ciência, com o surgimento do então Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq)⁸⁷⁵ e de tantas outras instituições que se seguiram.

Aquelas duas imagens da edição de *Nature* de 24 de maio de 1947 são quase a síntese pictórica de um novo Brasil.

Esta tese é uma contribuição ao estudo da física do século passado. Vale novamente dizer: não foi o trabalho de um só; foi o de muitos. Serve apenas como ponto de partida, com todas as vantagens e os inconvenientes de se tentar fazer história ampla. Se assim o for, terá cumprido o objetivo que a ela impusemos logo no início de nossos trabalhos, mais bem expresso pela arte do que pela ciência: "*See, they return, and bring us with them.*"⁸⁷⁶ Para aqueles citados nesta tese que não estão mais entre nós. Para que eles retornem e nos tragam com eles.

⁸⁷⁵ Para uma história da gênese do CNPq, ver, por exemplo, MOTOYAMA (1985).

⁸⁷⁶ ELIOT (1968, p. 46).



observe a single secondary particle. Of these latter events, the secondary particle is in four cases a hydrogen or heavier nucleus; in four other cases the identification is uncertain, and in the last two cases it is a second meson.

Fig. 1 is a reproduction of a mosaic of photomicrographs which shows that a particle, m_1 , has come to the end of its range in the emulsion. The frequent points of scattering and the rapid change of grain-density towards the end of the range show that the track was produced by a meson. It will be seen from the figure that the track of a second particle, m_2 , starts from the point where the first one ends, and that the second track also has all the characteristics of that of a particle of small mass. A similar event is shown in Fig. 2. In each case the chance that the observation corresponds to a chance juxtaposition of two tracks from unrelated events is less than 1 in 10^4 .

Grain-counts indicate that the masses of the primary particles in Figs. 1 and 2 are 350 ± 80 and $330 \pm 50 m_e$, respectively; and of the secondary particle in Fig. 1, $330 \pm 50 m_e$, the limits of error corresponding only to the standard deviations associated with the finite numbers of grains in the different tracks. All these values are deduced from

calibration curves corresponding to an average value of the fading in the plate, and they will be too high if the track was produced late in the exposure, and too low if early. We may assume, however, that the two-component tracks in each event were produced in quick succession and were therefore subject to the same degree of fading. In these circumstances the measurements indicate that if there is a difference in mass between a primary and a secondary meson, it is unlikely that it is of magnitude greater than $100 m_e$. The evidence provided by Fig. 2 is not so complete because the secondary particle passes out of the emulsion, but the variation in the grain density in the track indicates that it was then near the end of its range. We conclude that the secondary mesons were ejected with nearly equal energy.

We have attempted to interpret these two events in terms of an interaction of the primary meson with a nucleus in the emulsion which leads to the ejection of a second meson of the same mass as the first. Any reaction of the type represented by the equations

$$A^0 + \mu_{-1}^+ \rightarrow B^0 + \mu_{-1}^+, \text{ or } A^0 + \mu_{-1}^+ \rightarrow C^0 + \mu_{-1}^+, \quad (1)$$

in which A represents any stable nucleus known to be present in the emulsion, involves an absorption

Imagem do artigo de Lattes, Muirhead, Occhialini e Powell, publicado em *Nature*, de 24 de maio de 1947, com as imagens dos decaimentos do pión em múon (Crédito: *Nature*)

ARQUIVOS CONSULTADOS

(em ordem alfabética, independentemente da língua)

ARCHIVES HUB, REINO UNIDO,
 ARQUIVO BERNHARD GROSS (MAST),
 ARQUIVO DA COORDENAÇÃO DE FORMAÇÃO CIENTÍFICA DO CBPF
 ARQUIVO GUIDO BECK (CBPF),
 ARQUIVO PESSOAL JUAN ROEDERER, GEOPHYSICAL INSTITUTE, ALASKA,
 ARQUIVOS LATTES (UNICAMP),
 ATOMIC ARCHIVE,
 BIBLIOTECA MENSCHEL, NA GEORGE EASTMAN HOUSE,
 BIBLIOTECA OCTAVIO BARBOSA, CPRM/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL,
 EASTMAN KODAK HOUSE,
 FOLHA DE S. PAULO,
 GOOGLE BOOKS,
 H. H. WILLS MEMORIAL LIBRARY,
 ILFORD (ATUALMENTE, HARMAN TECHNOLOGY),
 INTERNET ARCHIVES,
 JORNAL DO BRASIL,
 JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE,
 KODAK ARCHIVES, NO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ROCHESTER,
 KODAK RESEARCH LABORATORIES ARCHIVE, NA BIBLIOTECA DA UNIVERSIDADE
 DE ROCHESTER,
 LAWRENCE BERKELEY LABORATORY IMAGE LIBRARY,
 LAWRENCE BERKELEY LABORATORY,
 NATIONAL ARCHIVES AND RECORDINGS ADMINISTRATION – PACIFIC (SAN BRUNO,
 SAN FRANCISCO, CALIFÓRNIA),
 NIELS BOHR LIBRARY & ARCHIVES, CENTER FOR HISTORY OF PHYSICS,
 AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS,
 NEW YORK TIMES ARCHIVE (DE 1851 a 1980),
 O GLOBO,
 OFFICE OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL INFORMATION,
 PHYSICS TODAY,
 PROLA (PHYSICAL REVIEW ON LINE),
 PROEDES, UFRJ,
 SANDIA LABORATORIES, ESTADOS UNIDOS,
 SCIENCE NEWS ARCHIVES,
 SERVIÇO DE PATENTES DO REINO UNIDO,
 THE TIMES, LONDRES,
 TIME MAGAZINE ARCHIVES,
 UNIVERSITY OF BRISTOL – SPECIAL COLLECTIONS – ARTS & SOCIAL SCIENCE
 LIBRARY,
 UNIVERSITY OF MINNESOTA, UNIVERSITY ARCHIVES.

COMUNICAÇÕES PESSOAIS⁸⁷⁷

ANJOS, João dos. 25 de março de 2008. Comunicação verbal.
ANJOS, João dos. 2 de abril de 2008. Comunicação verbal.
BALDO-CEOLIN, Milla. 19 de junho de 2008. Por correio eletrônico.
BALDO-CEOLIN, Milla. 27 de maio de 2008. Por correio eletrônico.
BASSALO, José Maria Filardo. 09 de julho de 2009. Comunicação verbal.
BONOLIS, Luisa. 29 de julho de 2008. Por correio eletrônico.
BONOLIS, Luisa. 1 de agosto de 2008. Por correio eletrônico.
BONOLIS, Luisa. 13 de agosto de 2008. Por correio eletrônico.
BORELLO-LEWIN, Thereza. 08 de maio de 2009. Por correio eletrônico.
BROWN, Laurie M. 13 de junho de 2008. Por correio eletrônico.
BROWN, Laurie M. 15 de junho de 2008. Por correio eletrônico.
BROWN, Laurie M. 24 de julho de 2008. Por correio eletrônico.
BROWN, Laurie M. 24 de julho de 2009. Por correio eletrônico.
CAMERINI, Ugo. 2 de agosto de 2006. Por correio eletrônico.
CAMERINI, Ugo. 20 de setembro de 2006. Por correio eletrônico.
CANDOTTI, Ennio. 28 de agosto de 2009. C
ESCOBAR, Carlos Ourivio. 23 de maio de 2008. Por correio eletrônico.
GALISON, Peter. 2 de agosto de 2007. Entrevista para Antonio Augusto Passos Videira.
GARIBOLDI, Leonardo. 24 de julho de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 25 de julho de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 9 de junho de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 18 de setembro de 2006. Comunicação verbal.
GARIBOLDI, Leonardo. 29 de julho de 2008. Comunicação verbal.
GARIBOLDI, Leonardo. 30 de janeiro de 2007. Correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 31 de janeiro de 2007. Correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 2 de fevereiro de 2007. Correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 6 de março de 2007. Correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 31 de janeiro de 2007 (2ª comunicação do dia). Correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 2 de fevereiro de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 4 de agosto de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 26 de fevereiro de 2008. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 20 de abril de 2009. Por correio eletrônico.
GARIBOLDI, Leonardo. 20 de abril de 2009 (2ª comunicação do dia). Por correio eletrônico.
GLASS, Robert. 7 de novembro de 2008. Por correio eletrônico.
GOLDHABER, Gerson. 26 de fevereiro de 2008. Por correio eletrônico.
HEILBRON, John. 16 de junho de 2008. Por correio eletrônico.
HEILBRON, John. 1 de dezembro de 2008. Por correio eletrônico.
JENKINS, Reese. 19 maio de 2008. Por correio eletrônico.
JENKINS, Reese. 23 de maio de 2008. Por correio eletrônico.
KRAGH, Helge. 27 de agosto de 2009. Por correio eletrônico.
LINSLEY, John. 22 de fevereiro de 1998. Por correio eletrônico.
LINSLEY, John. 2 de abril de 1998. Por correio eletrônico.
LINSLEY, John. 22 de abril de 1998. Por correio eletrônico.
LINSLEY, John. 29 de abril de 1998. Por correio eletrônico.
LINSLEY, John. 30 de abril de 1998. Por correio eletrônico.
MARQUES, Alfredo. 13 de março de 2008. Por correio eletrônico.
MARQUES, Alfredo. 6 de maio de 2008. Comunicação verbal.
MARQUES, Alfredo. 9 de outubro de 2007. Comunicação verbal.
MARQUES, Alfredo. 15 de setembro de 2008. Por correio eletrônico.

⁸⁷⁷ Todas as comunicações foram ou gravadas, ou impressas, ou anotadas à mão – neste último caso, em seus aspectos mais relevantes. Estão à disposição de todos para consulta, pois nenhum dos interlocutores pediu que as informações fornecidas fossem sigilosas.

MARQUES, Alfredo. 11 de novembro de 2007. Comunicação verbal.

MARTIN, Nancy. 15 de agosto de 2008. Por correio eletrônico.

MARTINS, Roberto de Andrade. 27 de janeiro de 2009. Por correio eletrônico.

NATALE, Adriano Antônio. 15 de setembro de 2004. Por correio eletrônico.

NUSSENZVEIG, Micheline. 26 de fevereiro de 2007. Comunicação por telefone.

PERKINS, Donald H. 23 de junho de 2007. Por correio eletrônico.

PERKINS, Donald H. 8 de agosto de 2007. Por correio eletrônico.

PERKINS, Donald H. 25 de janeiro de 2008. Por correio eletrônico.

PERKINS, Donald H. 28 de junho de 2008. Por correio eletrônico.

PERKINS, Donald H. 3 de fevereiro de 2009. Por correio eletrônico.

PERKINS, Donald H. 18 de agosto de 2009. Por correio eletrônico.

PORS, Felicity. 19 de maio de 2009. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 1 de março de 2008. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 12 de fevereiro de 2008. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 27 de março de 2008. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 23 de outubro de 2008. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 1 de agosto de 2009. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 6 de agosto de 2009. Por correio eletrônico.

ROEDERER, Juan G. 7 de agosto de 2009. Por correio eletrônico.

SAMSON, Peter. 17 de outubro 2007. Por correio eletrônico.

SAMSON, Peter. 18 de outubro de 2007. Por correio.

SAMSON, Peter. 3 de dezembro de 2007. Por correio eletrônico.

SAMSON, Peter. 5 de março de 2008. Por correio eletrônico.

SAMSON, Peter. 10 de setembro de 2008. Por correio eletrônico.

SAMSON, Peter. 11 de setembro de 2009. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 27 de junho de 2007. Por correio eletrônico

SHIBUYA, Edison. 24 de julho de 2008. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 26 de janeiro de 2008. (?)

SHIBUYA, Edison. 8 de maio de 2008. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 28 de junho de 2006. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 2 de junho de 2006. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 24 de março de 2006. Presencial.

SHIBUYA, Edison. 10 de setembro de 2006. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 18 de outubro de 2006. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 18 de outubro de 2007. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 27 de março de 2007. Comunicação verbal.

SHIBUYA, Edison. 6 de setembro de 2008. Comunicação verbal.

SHIBUYA, Edison. 29 de outubro de 2008. Comunicação verbal.

SHIBUYA, Edison. 18 de novembro de 2008. Comunicação verbal.

SHIBUYA, Edison. 19 de novembro de 2008. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 27 de novembro de 2008. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 9 de fevereiro de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 18 de fevereiro de 2009. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 3 de março de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 13 de março de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 14 de abril de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 29 de maio de 2009. Por correio eletrônico.

SHIBUYA, Edison. 6 de junho de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 10 de julho de 2009. Por telefone.

SHIBUYA, Edison. 7 de setembro de 2009. Por correio eletrônico.

SOUZA-BARROS, Fernando de. 25 de fevereiro de 2009. Por correio eletrônico.

STAUFENBERG, Mike. 31 de maio de 2008. Por correio eletrônico.

STEINBERGER, Jack. 15 de dezembro de 2007. Por correio eletrônico.

STEINBERGER, Jack. 4 de fevereiro de 2008. Por correio eletrônico.

STEINBERGER, Jack. 25 de janeiro de 2008. Por correio eletrônico.

TANI, Tadaaki. 22 de junho de 2008. Por correio eletrônico.

TANI, Tadaaki. 9 de março de 2008. Por correio eletrônico.

TAVARES, Odilon A. Paula. 28 de março de 2007. Comunicação verbal.
TAVARES, Odilon A. Paula. 24 de março de 2008. Comunicação verbal.
TAVARES, Odilon A. Paula. 11 de março de 2008. Por correio eletrônico.
TAVARES, Odilon A. Paula. 04 de setembro de 2008. Por correio eletrônico.
TAVARES, Odilon A. Paula. 05 de novembro de 2008. Por carta.
TAVARES, Odilon A. Paula. 10 de dezembro de 2008. Comunicação verbal.
TAVARES, Odilon A. Paula. 17 de março de 2008. Comunicação verbal.
TAVARES, Odilon A. Paula. 10 de agosto de 2009. Comunicação verbal.
TROPER, Amós. 10 de maio de 2007. Comunicação verbal.
TURAZZI, Maria Inez. 17 de janeiro de 2007. Por correio eletrônico.
TURAZZI, Maria Inez. 29 de janeiro de 2007. Por correio eletrônico.
VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. 2 de setembro de 2009. Comunicação verbal.
WILLIAMS, Keith A. 3 de novembro de 2008. Por correio eletrônico.
YAGI, Eri. 3 de novembro de 2007. Por correio eletrônico.

PADRONIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Algumas palavras sobre a padronização destas referências bibliográficas. Usamos o sobrenome do(s) autor(es) em maiúsculas em negrito, para facilitar a localização pelo leitor. Prenomes e nomes do meio estão em minúsculas e por extenso, a menos que o(s) autor(es) assine com iniciais. Logo após o nome do(s) autor(es), colocamos o ano da data de publicação da obra (artigos, livros, capítulos de livro etc.).

Os títulos dos artigos estão entre aspas simples, com a primeira palavra iniciando-se com maiúscula, e o restante, em minúscula, excetuando-se palavras cuja regra gramatical na língua em que o trabalho foi escrito exija o uso o contrário (por exemplo, nomes próprios; gentílicos em inglês; substantivos, em alemão). O título dos livros segue regra semelhante: apenas a primeira palavra inicia-se com maiúscula, e toda a extensão do título vem em *itálico*.

Os títulos dos periódicos estão em *itálico*, sempre com as palavras iniciando-se com maiúsculas. Palavras como volume e número foram abreviadas para 'v.' e 'n.', respectivamente. A ausência de editora, páginas, data e local de publicação serão indicados, respectivamente, por s/e, s/p, s/d, s/l. No caso de reportagens ou artigos sem título (não raros em jornais antigos), usamos a expressão [sem título]. Muitas referências citadas nas notas de rodapé são relativas a documentos obtidos para esta tese extraídos de sítios da internet, sem numeração das páginas. Nesses casos, optamos pelo 's/p'. Exemplo: HEILBRON, SEIDEL e WHEATON (1981, s/p).

A extensão de artigos foi indicada pela abreviatura 'pp.' (por exemplo, pp. 345-367).

Por vezes, os títulos não revelam muito sobre o conteúdo do texto. Nesses casos, resolvemos acrescentar, entre parênteses, breve explicação sobre a referência, para situar o leitor interessado. Exemplo fictício:

VIEIRA, J. (2008). 'Biography'. (autobiografia do físico brasileiro João Vieira, fundador do Centro de Estudos de Física). Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1927/wilson-bio.html

Caso o texto em questão tenha parte de coletânea ou capítulo de livro, optamos por fazer a referência à obra em que ele tenha sido publicado citando apenas o sobrenome do(s) autor(es), tendo em seguida, entre parênteses, o ano dessa publicação. Exemplo fictício:

VIEIRA, João (2020). 'Os físicos e a busca pela identidade do méson nas décadas de 1930 e 1940', pp. 331-353. In: **SOUZA e SANTOS** (2020).

Os títulos das manchetes e reportagens de jornais foram mantidos na grafia original. Caso o texto seja assinado pelo repórter ou colaborador, optamos pelo seguinte formato (exemplo fictício):

SILVA, João (1948). 'Cientista brasileiro faz grande descoberta'. *Folha da Manhã* em 20 de março de 1948, p. 11.

Quando o texto não é assinado, optamos por dar a autoria ao veículo. Por exemplo:

O ESTADO DE SÃO PAULO (1948). 'Importante descoberta de cientista brasileiro'. 10 de março, p. 1.

Tomamos a liberdade de acrescentar a abreviatura '(entrev.)' quando o artigo e/ou livro era resultado de entrevista.

Finalmente, caso o trabalho tenha sido publicado em sítio da internet, optamos por fornecer ao leitor o endereço da página em que ele se encontra, detalhando o formato do arquivo (doc, html, PDF, ppt etc.) Essa é mais das vantagens, a nosso ver, da rede mundial de computadores.

A existência de todos os sítios citados nas referências bibliográficas desta tese foram verificados em 10 de setembro de 2009.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁸⁷⁸

ACHINSTEIN, P.; **HANNAWAY**, O. (1985). *Observation, experiment, and hypothesis in modern physical science*. Cambridge: MIT Press.

ADAMS, J. B. (1964) 'Nuclear particle accelerators'. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, v. 278, n. 1.374 (a discussion on recent European contributions to the development of the physics of elementary particles), pp. 303-322.

ALDESTEIN, P. Z. 'From metal to polyester: history of picture-taking supports'. In: **OSTROFF** (1987).

ALEXANDROV, S. P. (1927). 'Radiographien tñjamujunscher'. *Zeitschrift für Kristallographie* v. 65, pp. 141-148.

AL-HAYTHAM (1572). *Opticae thesaurus: Alhazeni Arabis libri septem*. Basileae: Episcopios.

ALLRED, C. *et al* (1978). 'Pion radiotherapy: studies with nuclear emulsions'. *Physics in Biology and Medicine* v. 23, pp. 603-609.

ALVAREZ, LUIS W. (1968). 'Recent developments in particle physics'. *Nobel Lecture*, December 11. Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1968/alvarez-lecture.pdf .

ALVAREZ, Luis W. (1985). 'The hydrogen bubble chamber and the strange resonances' (Presented at the Conference on the History of Particle Physics, Fermilab, Batavia, IL, June 1985). Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory/Physics Division (LBL-22392).

ALVAREZ, Luis W. (1987). 'History of proton linear accelerators'. (Presented at the 1986 Linear Accelerator Conference, SLAC, Stanford, CA, June 2-6, 1986). Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory/Physics Division (LBL-22554 Rev.).

AMALDI, E. (1977). 'Personal notes on neutron work in Rome in the 30s and post-war European collaboration in high-energy physics', pp. 284-351. In: **WEINER** (1977).

AMALDI, E.; **CASTAGNOLI**, C.; **CORTINI**, G.; **FRANZINETTI**, C.; **MANFREDINI**, A. (1955). 'Unusual event produced by cosmic rays'. *Il Nuovo Cimento*, v. 1, p. 492.

AMALDI, Edoardo (1984). 'From the discovery of the nêutron to the discovery of nuclear fission'. *Physics Reports* v. 111, n. 1-4, pp. 1-332.

⁸⁷⁸ Fizemos todo o esforço possível para encontrar os títulos dos artigos. No entanto, nem sempre isso foi possível.

AMENDOLA, S.; BARBUTO, E.; BOZZA, C.; D'APOLITO, C.; DI BARTOLOMEO, A.; FUNARO, M.; GRELLA, G.; IOVANE, G.; PELOSI, P.; ROMANO, G. (1999). 'SySal: System of Salerno'. Disponível em arXiv:hep-ex/9901031v2.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS (s/d). 'Lawrence and the cyclotron' (exposição virtual preparada pelo Center for History of Science, American Institute of Physics). Disponível em <http://www.aip.org/history/lawrence/index.htm>

ANDERSON, Carl D. (1932). 'The apparent existence os easily deflectable positive particles' *Science* v. 76, p. 238.

ANDERSON, Carl D. (1933). 'The positive electron'. *Physical Review* v. 43, p. 491, 15 March.

ANDERSON, Carl D. (1936). 'The production and properties of positrons'. (palestra realizada pelo físico norte-americano Carl D. Anderson em 12 de dezembro de 1936 pelo recebimento do Nobel de Física daquele ano). Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/anderson-lecture.html.

ANDERSON, H. L. (1982). 'Early history of physics with accelerators'. *Journal de Physique Colloque* C8, supplement, n. 12. tome 43, pp. C8-101-C8-163.

ANDERSON, H. L., LATTES, C. M. G. (1957). 'Search for the electronic decay of positive pión'. // *Nuovo Cimento*, v.6, n.6, p.1.356-1.381.

ANDERSON, Philip (1995). 'Historical overview of the twentieth century in physics', pp. 2.017-2.032. In: **BROWN, Laurie M.; PAIS, Abraham; PIPPARD, Brian** (eds.) (1995).

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de (1997). 'A construção histórico-social do méson- π '. *Notas técnico-científicas*. Rio de Janeiro: MAST/MCT, 001/97, 24 p.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de (1999). *Físicos, mésons e política: a dinâmica da ciência na sociedade*. São Paulo / Rio de Janeiro: Hucitec / MAST.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de; CARDOSO, José Leandro Rocha (2001). 'Aconteceu, virou manchete'. *Revista Brasileira de História* v. 21, n. 41, pp. 243-264.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro de; GONÇALVES, Aldo de Moura (1995). 'Os aceleradores lineares do General Argus e a sua rede sociotécnica'. *Revista da SBHC*, n. 14, jullho-dezembro.

ANDRADE, Ana Maria Ribeiro; WERNECK, Érika (1996). 'Mésons, prótons, era uma vez acelerador'. Documentário histórico gravado em vídeo. Rio de Janeiro: MAST.

- ANGELIS**, A. L. S. *et al.* (2001). 'CASTOR: Centauro And STrange Object Research in Nucleus-Nucleus Collisions at the LHC'. *Nuclear Physics B* (Proc. Suppl.) v. 97, 227-230.
- ANJOS**, João dos; **NATALE**, Adriano Antônio (2005). *Partículas elementares – a (des)construção da matéria pelo homem*. (folder publicado pela série Desafios da Física para o Século 21). Rio de Janeiro: CBPF. Disponível em formato PDF em <http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>.
- ANJOS**, João dos; **SHELLARD**, Ronald Cintra (2004). *Raios cósmicos – energias extremas no universo*. Folder publicado pela série Desafios da Física para o Século 21. Rio de Janeiro: CBPF. Disponível em formato PDF em <http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/>.
- ARAGÃO**, Mário B.; **FROTA-PESSÔA**, Elisa; **MARGEM**, Neusa Margem (1952). 'A new radioactive method for marking mosquitoes and its application'. CBPF-Notas de Física, n. 4.
- ARLEY**, Niels; **BUCH**, Kai Rander (1950). *Introduction to the theory of probability and statistics*. New York: Wiley.
- ARMENISE**, N. *et al.* (2005). 'High-speed particle tracking in nuclear emulsion by last generation automatic microscopes'. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research - section A* v. 551, p. 261.
- ASSIS**, Jesus de Paula (entrev.) (1999). (copião da entrevista, com correções feitas por César Lattes, empregada em **ASSIS** (entrev.) (2001)).
- ASSIS**, Jesus de Paula (entrev.) (2001b). *César Lattes – descobrindo a estrutura do universo*. (série Perfis Brasileiros). São Paulo: Editora Unesp.
- AZEVEDO**, Fernando de (1955). 'Introdução', pp. 7-38. In: **AZEVEDO** (1955a).
- AZEVEDO**, Fernando de (org.) (1955). *História das Ciências no Brasil*. São Paulo: Melhoramentos, 2 volumes, 1ª ed.
- BACHELARD**, Gaston (1927). *Étude sur l'évolution d'un problème de physique: La propagation thermique dans les solides*. Paris: J. Vrin.
- BAKER**, R. (1954). 'Boron-loaded photographic plates as detectors of slow neutrons'. *Journal of Scientific Instruments* v. 31, pp. 187-189.
- BALDO-CEOLIN**, Milla (2002). 'The discreet charm of the nuclear emulsion era'. *Annual Review of Nuclear and Particle* v. 52, pp. 1-21.

- BARBOSA**, Paulo Emidio F.; **BARBOSA**, Luisa Maria A. (1945). *Espectrografia quantitativa – método de energia total*. (Boletim 18). Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura / Departamento Nacional de Produção Mineral / Laboratório de Produção Mineral.
- BARBOSA-LIMA**, M. C.; **QUEIROZ**, G. e **SANTIAGO**, R. (2007). 'Ciência e arte: Vermeer, Huygens e Leeuwenhoek. *Física na Escola* v. 8, n. 2, pp. 27-30.
- BARKAS**, W. H. (1958). 'Range-energy relation in emulsion. Part II. The theoretical range'. // *Nuovo Cimento* v. 8, pp. 201-214.
- BARKAS**, W. H. (1959). 'Equipement et méthodes pour l'analyse automatique des traces', pp. 325-342. In: **DEMERS** (1959) (org.).
- BARKAS**, W. H. (1963). *Nuclear Research Emulsions – techniques and theory*. v. 1. New York: Academic Press.
- BARKAS**, W. H. (1973). *Nuclear Research Emulsions – particle behavior and emulsion applications*. v. 2. New York: Academic Press.
- BARKAS**, W. H.; **BARRETT**, P. H.; **CÜER**, P.; **HECKMAN**, H., **SMITH**, F. M.; **TICHO**, H. K. (1958). 'The Range-energy relation in emulsion - Part. I. - Range measurements'. // *Nuovo Cimento* v. 8, n. 2, pp. 185-200.
- BARKAS**, Walter H. (1949). 'Threshold energy for meson production'. *Physical Review* vol. 75, Issue 7, pp. 1.109-1.110.
- BARKAS**, Walter H.; **GARDNER**, Eugene; **LATTES**, C. M. G. (1948). 'Meson mass estimation by grain counting in photographic emulsions'. *Physical Review* v. 74, n. 10, p. 1.558.
- BARKER**, George F. (1903). 'Mathew Carey Lea (obituario). (Lido perante a National Academy of Sciences, em 21 de abril), 54 p. Disponível em <http://books.nap.edu/html/biomems/mlea.pdf> .
- BASSALO**, José Maria Filardo (1990). 'César Lattes: dos descobridores do então méson pi'. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* v. 7, n. 2, pp. 133-148.
- BATES**, W. J.; **OCCHIALINI**, G. P. S. (1948). 'Applications of the reflecting microscope to the nuclear plates technique. *Nature* v. 161, p. 473.
- BECHER**, Paul (1957). *Emulsions: theory and practice*. (American Chemical Society Monograph Series). New York / London: Reinhold Publishing Corporation / Chapman & Hall.
- BECK**, Guido (1949). 'Sobre la producción artificial de mesones'. *Anales de la Sociedad Científica Argentina* E. VI, tomo CXLVII, pp. 262-281.

- BEISER**, Arthur (1951). 'Latent-image fading in nuclear emulsions'. *Physical Review* v. 81, p. 153.
- BEISER**, Arthur (1952). 'Nuclear emulsion technique'. *Review of Modern Physics* v. v. 24, n. 4, pp. 273-311.
- BEISER**, Germaine; **BEISER**, Arthur (1964). *The story of cosmic rays*. London: Phoenix House.
- BELLANDI FILHO**, José; **CHINELLATO**, Carola Dobrigkeit; **PEMMARAJU**, Ammiraju (orgs.) (1984). *Topics on cosmic rays -- 60th anniversary of C. M. G. Lattes*, Campinas: Editora da Unicamp, v. II.
- BELLANDI FILHO**, José; **PEMMARAJU**, Ammiraju (orgs.) (1984). *Topics on cosmic rays – 60th anniversary of C. M. G. Lattes*, Campinas: Editora da Unicamp, v. I.
- BERG**, W. F. (1947). 'Mechanism of the photographic process'. *Nature* v. 140, n. 3.554, pp. 997-1.000.
- BERG**, W. F. (1948). 'Latent image formation in photographic silver halide gelatine emulsions'. *Reports on Progress in Physics* v. 11, n. 248-297.
- BETHE**, H.; **HEITLER**, W. (1934). 'On the stopping of fast particles and on the creation of positive electrons'. *Proceedings of the Royal Society of London* v. 146, pp. 83-111.
- BHABHA**, H. J.; **HEITLER**, W. (1936). 'The passage of fast electrons and the theory of cosmic showers'. *Proceedings of the Royal Society of London, Serie A*, v. 159, n.898, pp. 432-445.
- BIAGIOLI**, Mario e **GALISON**, Peter (2002). *Scientific Authorship – credit and intellectual property in science*. New York / London: Routledge, 396 p.
- BISHOP**, A. S.; **STEINBERGER**, Jack; **COOK**, Leslie J. (1950). 'Productions of positive mesons by photons on hydrogen'. *Physical Review* v. 80, n. 2, p. 291.
- BJORKEN**, J. D.; **MCLERRAN**, L. D. (1979). 'Explosive quark matter and "Centaurus" event'. *Physical Review D* v. 20, n. 9, pp. 2.353-2.360.
- BJORKLUND**, R.; **CRANDALL**, W. E.; **MOYER**, B. J.; **YORK**, H. F. (1950). 'High energy photons from proton-nucleon collisions'. *Physical Review* v. 77, pp. 213-218.
- BLACKETT**, P. M. S. (1938). 'Further evidence for the radioactive decay of mesotrons'. *Nature* v. 142, n. 3.605, p. 992.

BLACKETT, Patrick M. S. (1948). 'Cloud chamber researches in nuclear physics and cosmic radiation'. Nobel Lecture December 13. Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1948/blackett-lecture.html.

BLAU, M. (1925). 'Die photographische Wirkung von H-Strahlen aus Paraffin und Aluminium'. *Zeitschrift für Physik* v.34, pp. 285-295.

BLAU, M. (1928). 'Über die photographische Wirkung von H-Strahlen aus Paraffin und Atomfragmenten'. *Zeitschrift für Physik A Hadrons and Nuclei* v. 48, n. 11-12, pp. 751-764.

BLAU, M. (1934). 'La methode photographique et les problèmes de désintégration artificielle des atomes'. *Journal de Physique et le Radium* v. 5, pp. 61-66.

BLAU, M. (1961a) 'Detection and measurement of gamma rays in photographic emulsions'. Section 2.2.3.8, pp. 678-683. In: **YUAN e WU** (1961).

BLAU, M. (1961b) 'Photographic emulsions', section 1.7, pp. 208-264. In: **YUAN e WU** (1961).

BLAU, M.; **ALTENBURGER**, K. (1922) 'Über einige Wirkungen von Strahlen. II'. *Zeitschrift für Physik*, v. 12, pp. 315-329.

BLAU, M.; **ALTENBURGER**, K. (1924). 'Über eine Methode zur Bestimmung des Streukoeffizienten und des reinen Absorptionskoeffizienten von Röntgenstrahlen' *Zeitschrift für Physik*, v. 25, n. 1, pp. 200-214.

BLAU, M.; **DE FELICE**, J. A. (1948). 'Development of thick emulsions by a two-bath method'. *Physical Review* v. 74, p. 1.198.

BLAU, M.; **WAMBACHER**, H. (1932). 'Über Versuche, durch Neutronen ausgelöste Protonen photographisch nachzuweisen'. *Sitzungsberichte, Akademie der Wissenschaften in Wien, Abteilung IIa* v. 141, pp. 615-620.

BLAU, M.; **WAMBACHER**, H. (1937a). 'Disintegration processes by cosmic rays with the simultaneous emission of several heavy particles'. *Nature* October 2, p. 585.

BLAU, M.; **WAMBACHER**, H. (1937b). 'Längenmessung von H-Strahlen mit der photographischen methode'. *Sitzungsberichte, Akademie der Wissenschaften in Wien K1 IIa* v. 146, pp. 259-272.

BLEICHMAR, Daniela. (2004) 'Cultura visual e historia de la ciencia'. *Boletín SLMFCE* (Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España), n. 33, primavera de 2004, 15 p.

- BOGOLOMOV**, C. S.; **SIROTINSKAYA**, A. A.; **DEBERDEIYEV**, M. U.; **OUVAROVA**, V. M. (1957). 'Préparation d'émulsions photographiques nucléaires enregistrant lês traces de particules au minimum d'ionisation'. *Science et industries photographiques* n. 10, 2^a serie, tome XXVIII, Octobre. Comunicação apresentada no 1o Colóquio de Fotografia Corpuscular, Estrasburgo, em 2 de julho.
- BOHM**, G. *et al.* (1974). *Nuclear Physics B* v. 74, 237-247.
- BOHR**, N. (1913). 'On the theory of the decrease of velocity of moving electrified particles on passing through matter'. *Philosophical Magazine* v. 25, pp. 10-31.
- BOHR**, N. (1915). 'On the decrease of velocity of swiftly moving electrified particles in passing through matter'. *Philosophical Magazine* v. 30, pp. 581-612.
- BONAUDI**, Franco *et al.* (2008). 'Frank Krienen: a talent for ingenous invention'. *Cern Courier* pp. 25-27, July/August.
- BONETTI**, A.; **LEVI-SETTI**, R.; **PANETTI**, M.; **TOMASINI**, G. (1953). 'Observation of the Decay at Rest of a Heavy Particle' *Il Nuovo Cimento*, v. 10, p. 345.
- BONETTI**, Alberto; **DILWORTH**, Constance Charlotte; **LADU**, Mario; **OCCHIALINI**, Giuseppe Paolo Stanislao (1954). 'Misure in lastre nucleari'. *Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei* v. 17, pp. 311-314.
- BORGES**, Ernesto P. (2006). 'Na sutil fronteira entre a ordem e o caso – complexidade e mecânica estatística não extensiva'. *Ciência Hoje*, v. 38, n. 223, p. 43.
- BOSE**, D. M.; **CHOWDHURY**, B. (1941). 'Origin and nature of heavy ionization particles detected on photographic plates exposed to cosmic rays'. *Nature* v. 147, p. 240-241.
- BOWIE**, H.U. (1951). 'Autoradiographic techniques in geological research'. *Bulletin of the Geological Survey of the Great Britain*, v. 3, p. 58-79.
- BRADNA**, F. (1968). 'Possibilities of using synthetic polymers in nuclear emulsions for the dosimetry of fast neutrons'. *Czechoslovak Journal of Physics* v. 18, n. 2, p. 251.
- BRADNER**, H; **GLASER**, D. A. (1958). 'Methods of particle detection for high-energy physics experiments'. Artigo preparado para a Segunda Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Uso Pacífico da Energia Atômica, datado de 4 de agosto de 1958, 9 p.
- BRADNER**, Hugh (1960). 'Bubble chambers'. *Annual Review os Nuclear Science* v. 10, pp. 109-160.

- BRANDÃO**, M.P.C. (1984). 'Uso de detectores plásticos em estudos autorradio-micrográficos de minerais radioativos da província uranífera de Lagoa Real (BA)', p. 1518-1529. IN: *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia.
- BRIDGE**, H. S.; **COURANT**, H.; **DE STAEBLER, JR.**, H.; **ROSSI**, B. (1954). 'Possible example of the annihilation of a heavy particle'. *Physical Review* v. 95, pp. 1.1101-1.1103.
- BRISTOL EVENING WORLD** (1947). 'Back in Bristol after visit to Europe's highest "Lab"'. Wednesday, April 9, s/p.
- BRITISH COUNCIL** (1943). *A ciência levanta o véu – série de palestras radiofônicas sobre a conquista do universo subdivisível*. London / Nova York / Toronto: Longmans Green & Company.
- BROADHEAD**, P. (1977). 'Photographic action of high energy radiation', chapter 23, pp. 645-654. In: **JAMES** (1977)
- BRODA**, E. (1946). 'Radioactive track counts in photographic plates'. *Journal of Scientific Instruments* v. 24, pp. 136-138.
- BROWN**, L. M.; **KONUMA**, M.; **MAKI**, Z. (1980). *Particle physics in Japan – 1930-1950*. Kyoto: Research Institute for Fundamental Physics.
- BROWN**, Laurie (2005). 'The prehistory of the antiproton'. Disponível em http://inpa.lbl.gov/pbar/talks/F1_Brown.pdf.
- BROWN**, Laurie M. (1953). 'Grain density in nuclear emulsions'. *Physical Review* v. 90, n. 1, pp. 95-97.
- BROWN**, Laurie M. (1985). 'How Yukawa arrived at the meson theory'. *Progress on the Theoretical Physics Supplement* v. 85, pp. 13-19.
- BROWN**, Laurie M. (1991). 'Quantum field theories, nuclear forces, and the cosmic rays (1934-1938). *American Journal of Physics Teachers* v. 59, n. 7, July, pp. 595-605.
- BROWN**, Laurie M. (1995). 'Nuclear forces, mesons, and isospin symmetry', pp. 357-419. In: **BROWN**, **PAIS** e **PIPPARD** (eds.) (1995).
- BROWN**, Laurie M. (1996?). 'Some personal perceptions of japanese physics. *Butsuri* v. 51, n. 5, pp. 337-338.
- BROWN**, Laurie M. (2005). 'Prehistory of the antipróton discovery' (palestra proferida no Laboratório Lawrence Berkeley em comemoração aos 50 anos da descoberta do antipróton).

BROWN, Laurie M.; **DRESDEN**, Max; **HODDESON**, Lillian (1988). 'Pions to quarks: particle physics in the 1950s'. *Physics Today*, November, pp. 56-64.

BROWN, Laurie M.; **DRESDEN**, Max; **HODDESON**, Lillian (eds.) (1989). *Pions to Quarks: Particle Physics in the 1950s: Based on a Fermilab Symposium*. Cambridge: Cambridge University Press.

BROWN, Laurie M.; **HODDESON**, Lillian (1986). *The birth of particle physics – 1930-1950, based on a Fermilab symposium*. Cambridge: Cambridge University Press.

BROWN, Laurie M.; **PAIS**, Abraham; **PIPPARD**, Brian (eds.) (1995). *Twentieth Century Physics*. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing; New York: American Institute of Physics Press, 3 volumes.

BROWN, Laurie M.; **RECHENBERG**, H. (1996). *The origin of the nuclear concept of nuclear forces*. Bristol: Institute of Physics.

BROWN, R.; **CAMERINI**, U.; **FOWLER**, P. H.; **MUIRHEAD**, H.; **POWELL**, C. F.; and **RITSON**, D. M. (1949a). 'Observations with electron-sensitive plates exposed to cosmic radiation'. *Nature*, v. 163, pp. 47-51.

BROWN, R.; **CAMERINI**, U.; **FOWLER**, P. H.; **MUIRHEAD**, H.; **POWELL**, C. F.; and **RITSON**, D. M. (1949b). 'Observations with electron-sensitive plates exposed to cosmic radiation – Part 2. Further evidence for the existence of unstable charged particles of mass $\sim 1,000 m_e$, and observation on their mode of decay.' *Nature*, v. 163, p. 82-87.

BUNGE, Mario; **SHEA**, William L. (eds.) (1979). *Rutherford and the physics at the turn of the century*. New York: Dawson and Science History Publications.

BURCH, C. R. (1947). 'Reflecting Microscope'. *Proceedings of the Physical Society* v. 59, p. 41-46.

BURCHAM, W. E. (1989). 'Nuclear physics in the United Kingdom 1911-1986' *Reports on the Progress of Physics* v. 52, pp. 823-879.

BURFENING, J., **GARDNER**, E., **LATTES**, C. M. G. (1949a). 'Positive mesons produced by the 184-Inch Berkeley Cyclotron'. *Physical Review*, v.75, p.382-387.

BURFENING, J., **GARDNER**, E., **LATTES**, C. M. G. (1949b). 'Positive mesons produced by the 184-Inch Berkeley Cyclotron'. Documento reservado publicado pela United State Atomic Energy Commission sob o código AECD – 2.334.

BURHOP, E. H. S. (1964). 'Recent experiments with nuclear emulsions'. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, v. 278, n. 1.374 (a discussion

on recent European contributions to the development of the physics of elementary particles), April 7th pp. 350-369. Com painel de discussões ao final.

BURHOP, E. H. S.; **LOCK**, W. O; **MENON**, M. G. K. (1972). *Selected papers of Cecil Frank Powell*. Amsterdam / London: North-Holland Publishing Company.

BURNS, Paul (1990). *The History of the discovery of cinematography*. Disponível (em inglês) em <http://www.precinemahistory.net> .

BUSTAMANTE, Martha Cecilia (1990). 'Le mésotron: sa découverte et sa nature (1929-1947)'. Tese de doutorado em 2 de abril de 1990 defendida na Universidade de Paris VII.

BUSTAMANTE, Martha Cecília (2006). 'Giuseppe Occhialini and the history of cosmic-ray physics in the 1930s: from Florence to Cambridge', pp. 35-49. In: **REDONDI**, **SIRONI**, **TUCCI** e **VEGNI** (eds.) (2006).

BUSTAMANTE, Martha Cecilia; **VIDEIRA**, Antonio Augusto Passos (1991). 'Bernhard Gross y la física de los rayos cósmicos en el Brasil'. *Quipu* v. 8, n. 3, pp. 325-347, septiembre-diciembre.

CAHN, Robert N.; **GOLDHABER**, Gerson (1989). *The experimental foundations of particles physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 448 p.

CAMERINI. UGO; **MUIRHEAD**, Hugh (1950). 'Mesons' *Physics Today* May, pp. 16-21.

CAMPBELL, N. R.; **WOOD**, A. (1906). 'The radioactivity of the alkali metals'. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* v. 14, pp. 15-21.

CAMPBELL, Norman R.; **WOOD**, Alexander (1907). 'The radioactivity of the Alkali metals'. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* v. XIV, p. 15-21.

CANALS FRAU, Damián (1949). 'El método de las placas fotográficas aplicado al estudio de la radiación cósmica'. *Ciência e Investigacioni* n. 5, pp. 179-189, maio.

CARLSON, A. G.; **HOOPER**, J. E.; **KING**, D. T. (1950). *Philosophical Magazine* v. 41, p. 701.

CARROLL, Burt H. (1931). 'The preparation of photographic emulsions'. *Journal of Chemical Education* v. 8, n. 12, pp. 2.341- 2.367, December.

CARUSO, Francisco; **MARQUES**, Alfredo; **TROPPER**, Amós (eds.) (1999). *César Lattes, a descoberta do méson pi e outras histórias*. Rio de Janeiro: CBPF, 184 p.

CARVALHO, Vera Maria de; **COSTA**, Vera Rita (orgs.) (1998). *Cientistas do Brasil: depoimentos*. São Paulo: SBPC.

CASHMORE, R. J.; MYATT, G. (1994). *Perkins conference*. Meeting in honour of the retirement of Professor D. H. Perkins. Oxford, 11-13 July, 1993. Singapore: World Scientific), 215 p.

CASSIDY, David (1999). *Einstein and our world*. Amherst: Humanity Books.

CASTAGNOLI, C.; CORTINI, G.; MANFREDINI, A. (1955). 'On the measurement of ionization in nuclear plates'. *Il Nouvo Cimento* v. II, n. 2, pp. 301-313.

CERN COURIER (2008). 'Camera captures image of two-proton decay'. p. 8, January/February.

CHADWICK, J; MAY, A. N; PICKAVANCE, T. G.; POWELL, C. F. (1944). 'An investigation of the scattering of high-energy particles from the cyclotron by the photographic method. I. Experimental method. *Proceedings oth the Royal Society of London Serie A* v. 183, pp. 1-25.

CHALONER, Clinton (1997). 'The most wonderful experiment in the world: a history of the cloud chamber'. [The British Journal for the History of Science](#), v. 30, n. 3, pp. 357-374.

CHAMBERLAIN, O.; CHUPP, W. W.; EKSPONG A. G.; GOLDHABER G.; GOLDHABER, S.; LOFGREN, E. J.; SEGRÈ, E.; WIEGAND, C.; AND AMALDI, E.; BARONI, G.; CASTAGNOLI, C.; FRANZINETTI, C.; MANFREDINI, A. (1956). 'Example of an antiproton-nucleon annihilation'. *Physical Review* v. 102, pp. 921- 23.

CHAMBERLAIN, O; CHUPP, W. W.; GOLDHABER, G.; SEGRÈ, E.; WIEGAND, C.; AMALDI, E.; BARONI, G.; CASTAGNOLI, C.; FRANZINETTI, C; MANFREDINI, A. (1956). 'Antiproton star observed in emulsion'. *Physical Review* v. 101, n. 2, pp. 909-910.

CHAMBERLAIN, Owen (1959). 'The early antiproton work'. Nobel Lecture, December 11. Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1959/chamberlain-lecture.pdf .

CHAMBERLAIN, Owen; SEGRÈ, Emilio; WIEGAND, Clyde; YPSILANTIS, Thomas (1955). 'Observation of antiprotons'. *Physical Review* v. 100, pp. 947-950.

CHAMPION, F. C.; POWELL, C. F. (1944). 'Applications of the photographic method to problems of nuclear physics. II'. *Proceedings of the Royal Society of London Serie A* v. 183, n. 992, p. 64-87.

CHANOZ, A-M. (1917). *La photographie de radiations invisibles*. Paris: Octave Doin et Fils Editeurs.

CHARPAK, Georges (ed.) (1995). *Research on particle imaging detectors*. Singapore: World Scientific.

- CLARK**, Walter (1961). 'Charles Edward Kenneth Mees: 1882-1960'. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* v. 7, pp. 173-197.
- CLAY**, Roger; **DAWSON**, Bruce (1997). *Cosmic bullets – high energy particles astrophysics*. Reading / Massachusetts: Addison-Wesley, 194 p.
- CLOSE**, Frank; **MARTEN**, Michael; **SUTTON**, Christine (1986). *Particle explosion*. Oxford: Oxford University Press, 239 p.
- COCCO**, A. G.; **ROSA**, G. (2003). 'An interactive tool for the analysis of nuclear emulsion data'. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A* v. 496, pp. 452-460.
- COLSTON RESEARCH SOCIETY** (1949). *Cosmic radiation*. Butterworths Scientific Publications: London; New York: interscience.
- CONTINENTINO**, Múcio (2006). 'Einstein e a física moderna dos sólidos'. *Ciência Hoje*, v. 38, n. 228, pp. 57-59.
- CONVERSI**, M.; **PANCINI**, E. (1944a). 'Misura diretta della vita media dei mesoni fenatti'. *Il Nuovo Cimento* v. 2, p. 40.
- CONVERSI**, M.; **PANCINI**, E. (1944b). 'Sulla disintegrazione dei mesoni lenti'. *Il Nuovo Cimento* v. 2, p. 71.
- CONVERSI**, M.; **PANCINI**, E.; **PICCIONI**, O. (1945). 'On the decay process of positive and negative mesons'. *Physical Review* v. 68, p. 232.
- CONVERSI**, M.; **PANCINI**, E.; **PICCIONI**, O. (1947). 'On the disintegration of negative mesons'. *Physical Review* v. 71, p. 209.
- CORBY HOVIS**, R.; **KRAGH**, Helge (1991). 'Resource letter HEPP-1: history of elementary-particle physics'. *American Journal of Physics* v. 59, n. 9, pp. 779-807, September.
- COSTA RIBEIRO**, Joaquim da (1995). 'A física no Brasil', pp. 163-202. In: **AZEVEDO** (org.) (1955a).
- COSYNS**, M.; **DILWORTH** C. C.; **OCCHIALINI** G. P. S.; **SCHÖNBERG**, M. (1949). 'Double stars with relativistic particles from cosmic rays'. *Nature* v. 164, pp. 129-131
- COULOMB**, Charles-Augustin (1785). *Troisième mémoire sur l'électricité et le magnétisme*. (mais especificamente, ver 'sobre a quantidade de eletricidade que corpo isolado perde em certo período de tempo tanto em contato com o ar menos úmido quanto em suporte mais ou menos idioeletétrico'). Disponível em <http://www.gallica.fr>.

COZZI, M.; ESPOSITO, L. S.; SIRRI, G. (2006). 'A new automatic microscope for high-speed nuclear emulsion analysis of the OPERA experiment'. (apresentado em EPS Euroconference XIX Nuclear Physics Divisional Conference). *Journal of Physics: Conference Series* v. 41, pp. 225–232.

CRABTREE, J. I.; PARKER, H., Jr.; RUSSEL, H. D. (1933). 'Some properties of two-bath developers for motion-picture films'. *Journal of the Society of Motion Picture Engineers* v. 21, pp. 21-53.

CRANSHAW, T. E. (1963). *Cosmic rays*. Oxford: Clarendon Press.

D'AMBROSIO, Nicola (2002). 'Automatic scanning for nuclear emulsion'. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* v. 477, pp. 431–434.

DAGUERRE, L. J. M.; ARAGO, F.; GAY-LUSSAC, J. L.; NIÉPCE, N. (1839). *Historique et description des procédés du daguerréotype et du diorama*. Paris: A. Giroux.

DALITZ, R. H. (1951). 'On an alternative decay process for the neutral π -meson'. *Proceedings of the Physical Society A* v. 64, pp. 667-669.

D'AMBROSIO, N. (2006). 'High-speed automatic microscopy for real time tracks reconstruction in nuclear emulsion'. *IEEE Transactions - Nuclear Science*, June, v. 53, n. 3, part I, pp. 667- 670.

DANYSZ, M.; PNIEWSKI, J. (1953). 'Delayed disintegration of a heavy nuclear fragment: I'. *Philosophical Magazine*, v. 44, N. 350, p. 348-350.

DANYSZ, M.; YEKUTIETI, G. (1951). 'On loading nuclear emulsions with wire'. *Philosophical Magazine Series 7* v. 42, n. 333, pp. 1.185 – 1.186.

DARRIGOL, Olivier (1982). 'Les debuts de la theorie quantique des champs (1925-1948)'. Tese de doutorado defendida em 27 de setembro de 1982 na Universidade de Paris I.

DARRIGOL, Olivier (1995). 'Patterns of oblivion: the case of Guido Beck's early works', pp. 37-47. In: **NUSSENZVEIG e VIDEIRA** (1995).

DAS GUPTA, N. N.; BHATTACHARYA, P. C (1940). 'Determination of the life of mesotron'. '?'. v. VI, n. 4, 713-726.⁸⁷⁹

DAS GUPTA, N. N.; GHOSH, S. K. (1946). 'A Report on the Wilson cloud chamber and its applications in physics'. *Review of Modern Physics* v. 18, pp. 225 - 290.

⁸⁷⁹ Temos esse trabalho impresso; no entanto, não nos foi possível determinar em que periódico foi publicado. Acreditamos ser *Proceedings of Indian National Science Academy*.

DASTON, Lorraine (ed.) (2000). *Biographies of scientific objects*. Chicago: University Chicago Press.

DASTON, Lorraine; **GALISON**, Peter (1992). 'The image of objectivity'. *Representations*, v. 40, pp. 81-128.

DASTON, Lorraine; **GALISON**, Peter (2007). *Objectivity*. New York: Zone Books.

DAVANNE, Louis-Alphonse (1859). *Bulletin Société Française de Photographie* v. 5, n. 91.

DAVIDSON, Michael W.; **OLENYCH**, Scott; **CLAXTON**, Nathan (2007). 'Photomicrography', p. 592. In: **PEREZ**, Michael R. (ed.) (2007).

DAVIES, J. H.; **LOCK**, W. O.; **MUIRHEAD**, H. (1949). 'The decay of μ -mesons'. *Philosophical Magazine* v. 40, pp. 1.250-1.260.

DAVIES; A. G.; **LOCK**, W. O.; **MUIRHEAD**, H. (1949). 'Nuclear transmutations produced by cosmic-ray particles of great energy V. The neutral mesons'. *Philosophical Magazine* v. 41, pp. 701-724.

DAVIS, Lawrence E. (1948). 'First meson ray put in production; artificial creation in Berkeley of cosmic beam held major key to atom's mysteries'. *New York Times* March 9, p. 25.

DAVY, Humphry (1802). 'An account of a method of copying paintings upon glass, and of making profiles by the agency of light upon nitrate of silver. Invented by T. Wedgwood, ESQ. With observations by H. Davy'. *Journals of the Royal Institution* v. 1, pp 170-174.

DE CARVALHO, H. G.; **FRIEDMAN**, J. (1955). 'Range of 208 ± 4 -Mev protons in G5 nuclear emulsion'. *Review of Scientific Instruments*. v. 26, p. 261.

DE CARVALHO, H. G.; **MARTINS**, J. B.; **MEDEIROS**, E. L.; **TAVARES**, O. A. P. (1982). 'Decay constant for the spontaneous-fission process in ^{238}U '. *Nuclear Instruments & Methods* v. 197, n. 2, 3, pp. 417-426.

DE CARVALHO, H. G.; **MARTINS**, J. B.; **SOUZA**, I. O.; **TAVARES**, O. A. P.; (1975). 'Emissão espontânea de íons pesados pelo urânio'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v. 47, p. 567.

DE CARVALHO, H. G.; **MARTINS**, J. B.; **SOUZA**, I. O.; **TAVARES**, O. A. P.; (1976). 'Spontaneous emission of heavy ions from uranium'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v. 48, p. 205.

DE CARVALHO, H. G.; **MARTINS**, J. B.; **TAVARES**, O. A. P. (1986). 'Radioactive decay of radium and radon isotopes by C^{14} emission'. *Physical Review C* v. C 34, p. 2.261.

DE CARVALHO, Hervásio G. (1949). 'Stopping power of nuclear emulsions for ionizing particles'. *Physical Review* v. 76, p. 1.729.

DE CARVALHO, Hervásio G.; (1957). 'Fotografia (ionografia)'. Tese apresentada à congregação da Escola Nacional de Química da Universidade do Brasil para o concurso de professor catedrático da cadeira de física. Rio de Janeiro.

DE CARVALHO, Hervásio G.; **YAGODA**, Herman (1952). 'The range of alpha-particles in water'. *Physical Review* v. 88, p. 273.

DE CARVALHO, Hervásio. G. (1964). 'Particle discrimination and loading techniques for nuclear emulsion', chapter V, pp. 248-319. In: **FARLEY** (1964).

DE LELLIS, G.; **MIGLIOZZI**, P.; **STROLIN**, P. (2003). 'Heavy quark studies with nuclear emulsions. Disponível em <http://arxiv.org/abs/hep-ph/0301207v1> .

DE LELLIS, G; **MIGLIOZZI**, P; **STROLIN**, P. (2008). 'Heavy quark studies with nuclear emulsion'.

DE LIMA, D. A.; **MARTINS**, J. B.; **TAVARES**, O. A. P. (1990). 'Fission of Al, Ti, Co, Zr, Nb, Ag, In, Nd, Sm and Ta nuclei induced by (0.8 : 1.8) GeV photons'. *Il Nuovo Cimento* v. 103 A, n. 5, pp. 701-710.

DE LIMA, D. A.; **MARTINS**, J. B.; **TAVARES**, O. A. P. (1990). 'Fission of Al, Ti, Co, Zr, Nb, In, Nd, Sm and Ta nuclei induced by (0.8 : 1.8) GeV photons'. *Il Nuovo Cimento* v. 103, A, n. 5, pp. 701-710.

DE MARIA, M.; **IANNIELO**, M.G.; **RUSSO**, A. (1991). 'The discovery of cosmic rays: rivalries and controversies between Europe and the United States'. *Historical Studies in the Physical Sciences* v. 22, pp. 165-192.

DE MARIA, Michelangelo; **GRILLI**, Mario; **SEBASTIANI**, Fabio (1988) (eds.). *The restructuring of physical sciences in Europe and the United States 1945–1960*. Singapore: World Scientific.

DEMERS, P.; **LAPALME**, T.; **THONVENIN**, T. (1953). 'La regression de l'image latente due aux particules chargees.'. *Canadian Journal of Physics* v. 31, p. 295.

DEMERS, Pierre (1946a). 'New photographic emulsions showing improved tracks of ionizing particles'. *Physical Review* v. 70, p. 86.

DEMERS, Pierre (1946b). 'New photographic emulsions showing improved tracks of ionizing particles'. *Journal of Canadian Research* v. 25, section A, pp. 223-251.

- DEMERS**, Pierre (1958). *Ionographie: les emulsions nucleaires -- principes et applications*. Montreal: Les Presses Universitaires de Montreal.
- DEMERS**, Pierre (1959). *Photographie corpusculaire II*. Montreal: Les Presses Universitaires de Montreal.
- DI FERDINANDO**, Donato (2008). 'Nuclear emulsions in the OPERA experiment'. Disponível em formato PDF em <http://arxiv.org/abs/0812.0451> .
- DIDI-HUBERMAN**, Georges (1987). 'Photography: scientific and pseudo-scientific'. pp. 71-75. In: **LEMAGNY e ROUILLE** (1987).
- DILWORTH**, C. C. (1949). 'Temperature shutter for nuclear research emulsions'. In: **COLSTON RESEARCH SOCIETY** (1949).
- DILWORTH**, C. C.; **OCCHIALINI**, G. P. S.; **PAYNE**, R. M. (1948). 'Processing Thick Emulsions for Nuclear Research'. *Nature* V. 162, pp. 102-103.
- DILWORTH**, C. C.; **OCCHIALINI**, G. P. S.; **VERMAESEN**, L. (1950). 'On Processing Nuclear Emulsions. Part 1. Concerning Temperature Development' *Bulletin du Centre de Physique Nucléaire de l'Université Libre de Bruxelles* N° 13a, Février.
- DJERASSI**, Carl; **HOFFMANN**, Roald (2004). *Oxigênio*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent Casa Editorial, 144 p.
- DOBRIGKEIT**, Carola (1997). 'Os cinquenta anos da descoberta do pión'. *Notas de Física*. Campinas: Instituto de Física Gleb Wataghin, n. 14, 29 p.
- DOMONDON**, Andrew T. (2009). 'Khun, Popper, and the Superconducting Supercollider'. *Studies in History and Philosophy of Science* v. 40, pp. 301-314.
- DUARTE**, Cynthia Romariz; **BONOTTO**, Daniel Marcos (2005). 'Técnica autorradiográfica para investigação geológica – estudo de caso na área do projeto Rio Preto'. *Geociências* v. 24, n. 2, pp. 203-211.
- EASTMAN KODAK COMPANY** (1935). *Photomicrography – an introduction to photography with the microscope*. Rochester: Eastman Kodak Company, 13th ed., 122 p.
- EDER**, Josef Maria (1945). *History of photography*. New York: Dover, 4^a edição. Tradução do alemão por Edward Epstein. Em língua alemã, a última edição, até onde pudemos apurar, é de 1932.

- EGGERT**, J. von; **NODDACK**, W. (1927). 'Quantentheorie und photographie'. *Naturwissenschaften* v. 3 (21Januar), pp. 57-69,
- EINSTEIN**, A. (1907). 'Plancksche theorie der Strahlung und die Theorie des spezifischen Wärme'. *Annalen der Physik* ser. 4, v. 22, pp. 180-190 e p. 800 (Berichtigung).
- EKSPONG**, G; **NILSSON**, S.; **YAMDAGNI**, N. (1974). 'Search for heavy, shortlived partilces'. *Fermilab proposal* n. 346, October.
- ELIOT**, T. S. (1968). *Four quartets*. Fort Washington: Harvest Books.
- ELSTER**, J.; **GEITEL**, H. (1901). *Zeitschrift für Physik* v. 2, p. 560.
- ERICHSEN**, Alberto Ildefonso (1948). *Relatório da diretoria 1947*. Boletim 32. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura / Departamento de Nacional de Produção Mineral / Divisão de Fomento da Produção Mineral.
- ESTEVES**, Bernardo (2006). *Domingo é dia de ciência – história de suplemento dos anos de pós-guerra*. Rio de Janeiro: Azougue.
- EZHELA**, V. V. e al. (1996). *Particle physics: one hundred years of discoveries – an annotated chronological bibliography*. Woodbury: America Institute of Physic.
- FARA**, Patricia (2009). 'A microscopic reality tale'. *Nature* v. 459 pp. 642-644.
- FARLEY**, F. J. M. (1964). *Progress in Nuclear Techniques and Instrumentation, v. I*. Amsterdam: North Holland.
- FERMI**, E.; **TELLER**, E.; **WEISSKOPF**, V. (1947). 'The decay of negative mésotron in matter' *Physical Review* v. v. 71, n. 5, pp. 314-315.
- FERMI**, Enrico (1961). *Elementary particles*. New Haven: Yale University Press, 110 p.
- FERREIRA**, Aurélio Buarque de Holanda (1996). *Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.
- FERRI**, Mário Guimarães; **MOTOYAMA**, Shozo (orgs.) (1979). *História das ciências no Brasil*. São Paulo: Edusp / EPU, 2 volumes.
- FILGUEIRAS**, Carlos A. L. (1996). 'A espectroscopia e a química – da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. *Química Nova na Escola* n. 3, pp. 22-25.
- FILGUEIRAS**, Carlos A. L. (2004a) 'A química na educação da princesa Isabel'. *Química Nova*, v. 27, n. 2, pp. 349-355.

FILGUEIRAS, Carlos Alberto L. (2004b). 'Duzentos anos da teoria atômica de Dalton'.

Química Nova na Escola n. 20, pp. 38-44.

FIORENTINI, Erna (2006). Camera obscura vs. camera lucida – distinguishing early nineteenth century modes of seeing'. Max Planck Institute for the History of Science preprint 307. Disponível em <http://www.mpiwg-berlin.mpg.de/Preprints/P307.PDF> .

FITCH, Val (1999). 'Elementary particle physics: the origins'. *Reviews of Modern Physics* v. 71, n. 2, pp. S25-S32.

FLEISCHER, [R. L.](#); [PRICE](#), [P. B.](#); [WALKER](#), R. M. (1965). 'Tracks of charged particles in solids'. *Science* v. 149. n. 3.682, pp. 383-393.

FLUSSER, Vilém (1982). 'O instrumento do fotógrafo ou o fotógrafo do instrumento?'. *Iris* n. 351, pp. 18-19, agosto.

FLUSSER, Villen (1985). *Filosofia da caixa preta – ensaios para futura filosofia da fotografia*. São Paulo: Hucitec, 48 p. Versão em formato PDF.

FOSTER, B.; **FOWLER**, P. H. (1988). *40 years of particle physics*. Bristol: Institute of Physics.

FOWLER, P. (1987). 'Introduction'. *Fragments of autobiography*. Cecil Frank Powell. Bristol: University of Bristol, 1987.

FOWLER, P. H. (1993). 'The early days of cosmic rays', pp. 43. In: **CASHMORE** e **MYATT** (1994).

FRANKLIN, Allan (2008). 'Are the laws of physics inevitable?'. *Physics in Perspective* v. 10, pp. 182-211.

FRAYHA, Resk (1962). 'Urânio e tório no planalto de Poços de Caldas' (Boletim 146). Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia / Departamento de Nacional de Produção Mineral / Divisão de Fomento da Produção Mineral.

FREIER, Phyllis; **LOFGREN**, E. J. **NEY**, E. P. **OPPENHEIMER**, F. (1948). 'Evidence for heavy nuclei in the primary cosmic radiation'. *Physical Review* v. 74, n. 2, pp. 213-217.

FREIRE JR., Olival (1999). 'David Bohm e a controvérsia dos quanta'. Campinas: CLE.

FREIRE JR., Olival; **BASSALO**, José Maria Filardo (2008). 'John Archibald Wheeler e a física brasileira' (seção notas da história da física no Brasil). *A Física na Escola* v. 9, n. 1, pp. 44-47, maio.

FRIEDMAN, J. I.; **TELEGDI**, V. L. (1957). 'Nuclear emulsion evidence for parity nonconservation in the decay Chain $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ '. **FRIEDMAN**, Jerome I.; **TELEGDI**, V. L. (1957). 'Nuclear emulsion evidence for parity nonconservation in the decay chain $\pi^+ - \mu^+ - e^+$ '. *Physical Review* v.105, p. 1.681-1.682.

FRISCH, O. R. (ed.) (1950). *Progress in nuclear physics*. London: Butterworth-Springer Ltd., 224 p.

FRIZOT, Michel; **ALBERT**, [Pierre](#); **HARDING**, [Colin](#) (eds.) (1998). *A new history of photography*. Colony: Konemann, 775 p.

FROTA-PESSÔA, E.; **JOFILLY**, S. (1986). 'Resolution of the ^{95}Zr ground state into a doublet'. // *Nuovo Cimento* v. 91 A. n. 4, pp. 370-375, 21 Febraio.

FROTA-PESSÔA, E.; **JOFILLY**, S. (1986). 'States in ^{94}Zr from $^{94}\text{Zr(d,d)}^{94}\text{Zr}^*$ at 15.5 MeV'. // *Nuovo Cimento* v. 96 A. n. 4, pp. 351-355, 21 Dicembre.

FROTA-PESSÔA, Elisa (1999). 'Depoimento da Professora Elisa Frota Pessoa durante a comemoração dos 50 anos do CBPF'. (II Escola de Verão, CBPF, julho). *Ciência e Sociedade* CBPF-CS-008/03.

FROTA-PESSÔA, Elisa; **MARGEM**, Neusa (1950). 'Sobre a desintegração do méson pesado positivo'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 22, p. 371.

FUJIFILM do Brasil (2007). *História da Fotografia*. Disponível em www.fujifilm.com.br/comunidade/historia_da_fotografia/index.html

FUJIMOTO, Yoichi (1993). 'Emulsion chamber and cascade theory'. *Riken International Workshop on Electromagnetic and Nuclear Cascade Phenomena in High and Extremely High Energies* (December 22-24th, Nishina Hall).Tokyo: Riken. pp. 448-474.

FUJIMOTO, Yoichi (1997). 'Discovery of pi and mu mesons and Brazil_Japan collaboration on cosmic rays'. *Ciência e Sociedade*, Rio de Janeiro: CBPF, CBPF-CS-025/97, 10 p.

GALISON, Peter L. (1983). 'The discovery of the muon and the failed revolution against quantum electrodynamics'. *Centaurus* v. 26, pp. 262-311.

GALISON, Peter L. (1985). 'Bubble chamber and the experimental workplace'. In: **ACHINSTEIN** e **HANNAWAY** (1995).

GALISON, Peter L. (1987). *How experiments end*. Chicago / London: The University of Chicago Press.

- GALISON**, Peter L. (1988). 'History, philosophy, and the central metaphor'. *Science in Context* v. 2, n.1. pp. 197-212.
- GALISON**, Peter L. (1996). 'Introduction: the context of disunity', pp. 2-33. In: **GALISON** e **STUMP** (1996).
- GALISON**, Peter L. (1997a). 'Marietta Blau: between Nazis and nuclei'. *Physics Today* November, pp. 42-48.
- GALISON**, Peter L. (1997b). *Image & Logic*. Chicago: University of Chicago Press, 986 p.
- GALISON**, Peter L. (1997c). 'Material culture, theoretical culture, and dislocations', pp. 669-682. In: **KRIGE** e **PESTRE** (1997). Artigo disponível em <http://www.fas.harvard.edu/~hsdept/bios/galison.html> .
- GALISON**, Peter L. (1999a). 'Culturas etéreas e culturas materiais', pp. 395-414. In: **GIL** (1999).
- GALISON**, Peter L. (1999b). 'Reflections on image and logic: a material culture of microphysics'. *Perspectives on Science* v. 7, n. 2, pp. 255-284.
- GALISON**, Peter L. (2000). 'Objectivity is romantic', pp. 15-43. In: **FRIEDMAN**; **GALISON**; **HAACK** (2000). Artigo disponível em <http://www.fas.harvard.edu/~hsdept/bios/galison.html>
- GALISON**, Peter L. (2002). 'The collective author'. In: **BIAGIOLI** e **GALISON** (2002). Artigo disponível em <http://www.fas.harvard.edu/~hsdept/bios/galison.html>
- GALISON**, Peter; **ASSMUS**, Alexi (1989). 'Artificial clouds, real particles', pp. 225-273. In: **GOODING**, **PINCH** e **SCHAFFER** (eds.) (1989).
- GALISON**, Peter; **HEVLY**, Bruce (1992). *Big science – the growth of large-scale research*. Palo Alto: Stanford University Press.
- GALISON**, Peter; **STUMP**, David J. (eds.) (1996). *The disunity of science: boundaries, context, and power*. Stanford: Stanford University Press.
- GARDNER**, E.; **LATTES**, C. M. G. (1948). 'Production of mesons by the 184-inch Berkeley cyclotron'. *Science*, v.107, p. 270-271.
- GARIBOLDI**, Leonardo (2003). 'The reconstruction of Giuseppe Occhialini's scientific bibliography'. *Atti del XXIII Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia*, Bari, 5 a 7 giugno. Disponível em www.brera.unimi.it/SISFA/atti/2003/180-189GariboldiBAri.pdf .

GARIBOLDI, Leonardo (2004a). 'A note in memory of Constance Charlotte Dilworth Occhialini – Streatham (Londo) 5 February 1924 – Florence 17 May 2004'. Disponível em formato PDF em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/boletim/arquivos/msg20.pdf>.

GARIBOLDI, Leonardo (2004b). 'Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini (1907-1993) – a cosmic ray hunter from Earth' (tese de doutorado defendida na Università degli Studi di Milano).

GARIBOLDI, Leonardo (2006). 'Developing a technique for researchers in cosmic-ray physics: nuclear emulsions from Bristol to Europe', pp. 480-486. In: **KOKOWSKI** (2006).

GARIBOLDI, Leonardo (s/d). 'Lattes' contribution to the discovery of the π meson in Bristol'. Disponível em <http://www.brera.unimi.it/sisfa/atti/2002/013-GARIBOLDI%20DEFINITIVO.pdf>

GERNSHEIM, Helmut; **GERNSHEIM**, Alison (1955). *History of photography*. Oxford: Oxford University Press.

GIL, Fernando (coord.) (1999). *A ciência tal qual se faz*. Lisboa: Edições João Sá da Costa.

GLASER, Donald (1952). 'Some effects of ionizing radiation on the formation of bubbles in liquids'. *Physical Review* v. 87, n. 4, pp. 665–665.

GLASSET, J. W. (1946a). 'Ministry of Supply – T. A. Directorate meeting of the Photographic Emulsion Panel, Feb. 26th, 1946). Ilford Research Laboratory, 5th March, 1946, Note: 52/46, 3 p.

GLASSET, J. W. (1946b). 'Ministry of Supply – T. A. Directorate meeting of the Photographic Emulsion Panel, at Liverpool University, May 7th, 1946. Ilford Research Laboratory, 18th May, 1946, Note: 57/46, 4 p.

GLASSET, J. W. (1946c). 'Summary of investigation on emulsions for nuclear research' (relatório interno confidencial da Ilford Research Laboratory, 23st August, 1946, I. R. L. No. 100/46, Central Report File No: 1467), 14 p.

GOLDHABER, Maurice (1993). 'Reminiscences from the Cavendish Laboratory in the 1930s'. *Annual Review of Nuclear and Particle Science* v. 43, pp. 1-25, December.

GOLDSCHMIDT-CLERMONT, Y. (1953). 'Photographic emulsion'. *Annual Review of Nuclear Science* v. 3, pp. 141-170.

GOLDSCHMIDT-CLERMONT, Y.; **KING**, D. T.; **MUIRHEAD**, H.; **RITSON**, D. M. (1948). 'Determination of the masses of charged particles observed in the photographic plate'. *Proceedings of the Physical Society of London*, v. 61, p. 183-194.

GONÇALVES, Márcia (2006). *Filosofia da natureza*. Rio de Janeiro: Zahar.

GREENBERG, H. (1947). 'Review of recent papers dealing with the photographic method in nuclear research' (relatório interno da Ilford Research Laboratory, 31st October, I. R. L. No. 136/47, Central Report File No: 1503), 10 p.

GREINACHER, H. (1924). 'Über die akustische Beobachtung und galvanometrische Registrierung von Elementarstrahlen und Einzelionen'. *Zeitschrift für Physik* vol. 23, n. 1, pp. 361-378.

GRILLI, M. (1986). 'Evoluzione della técnica dele emulsione nucleari nella prima meta' del '900 (I)'. Nota interna n. 860, 22 Gennaio, Dipartimento de Física, Università di Roma 'La Sapienza'. 22 p., com bibliografia e notas, bem como figuras.

GRILLI, M. (1987). 'Evoluzione della técnica dele emulsione nucleari nella prima meta' del '900 (II)'. Nota interna n. 860, 3 Novembre, Dipartimento de Física, Università di Roma 'La Sapienza'. 64 p., com figuras.

GRILLI, M. (1991). 'La scoperta del pione'. Nota interna n. 983, 21 Giugno, Dipartimento de Física , Università di Roma 'La Sapienza'. 54 p.

GRILLI, Mario; **SEBASTIANI**, Fabio (2002) 'Collaborations among nuclear emulsion groups in Europe during the 1950s'. *Rivista di Storia della Scienza* v. 4, n. 1, pp. 181-206.

GRINGAS, Yves (1991). *Physics and the rise of scientific research in Canadá*. Montreal: McGill-Queen's.

GROSS, B. (1950). 'Physics in Brazil – ways and means'. *Physics Today* January pp. 26-27.

GURNEY, R. W.; **MOTT**, N. F. (1938). 'The theory of photolysis of silver bromide and the photographic latent image. *Proceedings Royal Society of London* serie A, v. 164, pp. 151-167.

HAHN, Otto (1936). *Applied radiochemistry*. Ithaca: Cornell University Press.

HAMBURGER, Amélia Império (coord.) (1996). *O Instituto de Física reflete sobre suas origens*. (livreto da exposição com o mesmo título realizada na Universidade de São Paulo entre 24 de abril a 24 de maio), 16 p.

HARMAN TECHNOLOGY LIMITED (2005). 'Fact sheet – Ilford nuclear emulsions – technical information for particle physics applications', 6 p., December.

HEILBRON, J. L. (1989). 'An historian's interest in particle physics', pp. 47-54. In: **BROWN**, Laurie M.; **DRESDEN**. Max; **HODDESON**, Lillian (eds.) (1989).

HEILBRON, J. L.; **SEIDEL**, Robert W.; **WHEATON**, Bruce R. (1981). *Lawrence and His Laboratory – a historian view of Lawrence years*. Berkeley: LBNL, s/p. Edição em html disponível em <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Research-Review/Magazine/1981/81fcontents.html>.

HEILBRON, John L. (2003). *Ernest Rutherford: and the explosions of atoms*. (Oxford Portrait in Science) Oxford: Oxford University Press.

HEISENBERG, W. (1946). *Cosmic radiation*. New York: Dover Publications, 192 p.

HEITLER, W. (1985). 'Personal recollections of early theoretical cosmic ray work', pp. 209-211. In: **SEKIDO** e **ELLIOT** (1985).

HEITLER, W; **POWELL**, C. F.; **FERTEL**, G. E. F. (1939). 'Heavy cosmic ray particles at Jungfraujoch and sea-level'. *Nature* v. 144, p. 283.

HEITLER, W; **POWELL**, C. F.; **HEITLER**, H. (1940). 'Absorption of heavy cosmic ray particles'. *Nature* v. 146, p. 65.

HERZ, R. H. (1951a). 'Autoradiography', pp. 275-284. In: **SPENCER** (1951).

HERZ, R. H. (1951b). 'Nuclear particle recording', pp. 275-280. In: **SPENCER** (1951).

HERZ, Richard Heinrich (1969). *The photographic action of ionizing radiations in dosimetry and medical, industrial, neutron, auto- and microradiography*. New York: John Wiley & Sons, Inc..

HESS, Victor Franz (1936). 'Unsolved Problems in Physics: Tasks for the Immediate Future in Cosmic Ray Studies'. Discurso do físico austríaco Victor Franz Hess no recebimento do prêmio Nobel de Física de 1936. Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/hess-lecture.html .

HEVESY, George; **PANETH**, Fritz (1926). *A manual of radioactivity*. Oxford: Oxford University Press.

HIEBERT, Erwin (1979). 'The state of physics at the turn of the century', pp. 3-22. In: **BUNGE** e **SHEA** (eds.) (1979).

HODGSON, Millard B. (1917). 'The physical characteristics of the elementary grains of a photographic plate'. *Journal of the Franklin Institute* v. 184, n. 5, pp. 705-715.

HOOPER, J. E.; **SCHARFF**, M. (1958). *The cosmic radiation*. London: Methuen & Co Ltd; New York: John Wiley & Sons Inc.

- HOPKINS**, Geo. M. (1887). 'Reminiscences of daguerreotypy'. *Scientific American* v. 56 n. 4, pp. 47-52.
- HOPPER**, V. D. (1950). 'Nuclear emulsion technique'. *Australian Journal of Scientific Research* v. 3A, pp. 512-514.
- HUNT**, Robert (1844). *Researches on light; an examination of all the phenomena connected with the chemical and molecular changes produced by the influence of the solar rays; embracing all the known photographic processes, and new discoveries in the art*. London: Longman, Brown, Green, and Longmans, 1^a ed.
- HURTADO DE MENDOZA**, Diego; **VARA**, Ana Maria (2007). 'Winding roads to Big Science: experimental physics in Argentina and Brazil'. *Science, Technology & Society* v. 12, n. 1, pp. 27-48.
- HURTER**, F.; **DRIFFIELD**, V. C. (1890). 'Photo-chemical investigations and a new method of determination of the sensitiveness of photographic plates'. *Journal of the Society of Chemical Industry* v. IX, n. 5.
- HURTER**, F.; **DRIFFIELD**, V. C. (1890). 'Photochemical investigations and a new method of determination of the sensitiveness of photographic plates'. *Journal do the Society of Chemical Industry*.v. IX, n. 5.
- IEVA**. M.; **PISTILLO**, C. (2005) 'A new automatic microscope for high-speed anlysis of nuclear emulsions'. Apresentado na 9^a Conferência ICATPP, na Villa Olmo (Itália), ocorrida entre 17 e 21 de outubro. Disponível em formato PDF em <https://cnsg1-service-confpubs.web.cern.ch/cnsg1-service-confpubs/files/preprints/2005/ICATPP2005-ieva.pdf> .
- IHDE**, Aaron J. (1984). 'The Development of modern chemistry'. Mineola: Dover Publications.
- IKEUTI**, H. (1916). 'The tracks of the α particles from radium A in sensitive potographic films'. *Philosophical Magazine*, v. 32, p. 129.
- ILFORD** (1946). 'Nuclear Research' (extracts from Ilford Board Records 1946 for March, April, and June).
- ILYENKOV**, Evald (1977). 'The concept of the ideal'. *Problems of Dialectical Materialism*. Moscou: Progress Publishers.
- INGOLD**, Tim (ed.) (1994). *Companion Encyclopedia of Anthropology*. London: Routledge.
- JACKSON**, John David (2009). 'Panofsky agonistes: the 1950 loyalty oath at Berkeley'. *Physics Today* 62 January 41.

- JAMES**, T. H. (1944). 'The charge effect in photographic development: role of the gelatin'. *The Journal of Chemical Physics* v. 12, n. 11, pp. 453-457.
- JAMES**, T. H. (1966). 'Electron injection by developing agents – latensification of internal image'. *Photographic Science and Engineering* v. 10, n. 6, pp. 344-349.
- JAMES**, T. H. (1970). 'Some effects of environment on latent image formation by light'. *Photographic Science and Engineering* v. 14, n. 1, pp. 371-383.
- JAMES**, T. H. (1972). 'Effects of moisture and oxygen on inherent and spectral sensitivity'. *The Journal of Photographic Science* v. 20, pp. 182-186.
- JAMES**, T. H. (1987a). 'Why photography wasn't invented earlier', pp. 12-17. In: **OSTROFF** (1987).
- JAMES**, T. H. (1987b). 'The search to understand latent image formation', pp. 47-58. In: **OSTROFF** (1987).
- JAMES**, T. H. (1987c). 'Pioneering work on sensitizing silver halide', pp. 59-71. In: **OSTROFF** (1987).
- JAMES**, T. H. (ed.) (1977). *Theory of the photographic process*. New York: MacMillan Publishing Co.; London: Collier MacMillan.
- JÁNOSSY**, L. (1948). *Cosmic rays*. Oxford: Clarendon Press.
- JENKINS**, Reese (1966). 'Some interrelations of science, technology, and the photographic industry in the nineteenth century'. Tese de doutorado defendida na Universidade de Wisconsin.
- JENKINS**, Reese (1975). *Images and enterprise, technology and the American photographic industry, 1839-1925*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- JENKINS**, Reese (1987). 'Science, technology, and evolution of photography, 1790-1925'. In: **OSTROFF** (ed.) (1987).
- JOFFILY**, Sérgio (2004). 'Discurso do Professor Sérgio Joffily em homenagem à Professora Elisa Frota-Pessôa'. *Brazilian Journal of Physics* v. 34, n. 4A, dezembro, 1.465-1.467.
- KAEMPFERT**, Waldemar (1948a). 'Achievements of physicists in 1948'. *New York Times*, December 26, p. E7.
- KAEMPFERT**, Waldemar (1948a). 'Mesons are produced by artificial cosmic rays in University of California experiments'. *New York Times* March 14, p. E9.

- KAEMPFERT**, Waldemar (1948b). 'The revolution that radium began'. *New York Times* December 26, s/p.
- KAPLON**, M.; **PETERS**, B.; **RITSON**, D. M. (1952). 'Emulsion cloud-chamber study of a high energy interaction in the cosmic radiation'. *Physical Review* v. 85, pp. 900-903.
- KEMMER**, N. (1938). 'Charge-dependence of nuclear forces'. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* v. 34, p. 354.
- KEVLES**, Daniel J. (1995). *The Physicists: The History of a Scientific Community in Modern América*. Harvard: Harvard University Press.
- KHAN**, Hameed, Ahmed; **KHAN**, Naeem Ahmed (1989). 'Solid state nuclear track detection (SSNTD): a useful scientific tool for basic and applied research'. *Journal of Islamic Academy of Sciences* v. 2, n. 4, pp. 303-312.
- KINGSLAKE**, Rudolf (1987). 'Pionners of photographic lens desing and manufacture'. pp. 249-260. In: **OSTROFF** (1987).
- KINOSHITA**, S. (1910). 'The photographic action of the alpha-particles emitted from radio-active substances'. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, V. 83, n. 564 (22nd March), pp. 432-453.
- KINOSHITA**, S.; **IKEUTI**, H. (1915). 'The tracks of α particles in sensitive photographic films'. *Philosophical Magazine* v. 29, pp. 420-425.
- KINOSHITA**, S.; **IKEUTI**, H.; **AKIYAMA**, M. (1921). *Proceedings of the Physico-Mathematical Society of Japan* v. 3, p. 121.
- KOBAYASI**, M. (1950). 'In commemoration of the fifteenth anniversary of the discovery of meson theory – preface'. *Progress of Theoretical Physics* v. 5, n. 4, pp. i-vi.
- KOCH**, W. H (1960). 'The study of elementary particles by the photographic method' (resenha). *Science* v. 131, pp. 1.880-1.882.
- KODAMA**, K. *et al.* (2001). 'Observations of tau neutrino interactions'. *Physics Letters B* v. 504, pp. 218-224.
- KOKOWSKI**, M. (2006). *Proceedings of the 2nd ICESHS* (Cracow, Poland, September, 6-9). Cracow: ICESHS.
- KOSSOY**, B. (2006). *Hercule Florence, a descoberta isolada da fotografia no Brasil*. São Paulo: EDUSP, 3^a ed.

KRAGH, Helge (1994). *An introduction to the historiography of science*. Cambridge: Cambridge University Press.

KRAGH, Helge (2002). *Quantum generations – a history of physics in the twentieth century*. Princeton: Princeton University Press.

KRAGH, Helge (2002). *Quantum generations: a history of physics in the twentieth century*. Princeton: Princeton University Press.

LAMB, JR., Willis (1955). 'Fine structure of the hydrogen atom'. (palestra do Nobel realizada em 12 de dezembro de 1955). Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1955/lamb-lecture.pdf

LATTES et al. (1971). 'Chacaltaya Emulsion Chamber Experiment'. *Progress of Theoretical Physics, Supplement*, v. 47, pp. 1-125.

LATTES, C. M. G. (1963). 'Emulsion chamber project of Japan-Brazil Collaboration'. *Proceedings of the III International Conference on Cosmic Rays* (Jaipur) v. 5, p. 326, 1963.

LATTES, C. M. G. (1963). 'High energy nuclear interactions from the International Cooperative Emulsion Flight Brasil'. *Supplemento Il Nuovo Cimento* v. I, n. 4, p. 1.039.

LATTES, C. M. G. (1984). 'My work in meson physics with nuclear emulsions', pp. 1-5. In: **BELLANDI FILHO** e **PEMMARAJU** (1984).

LATTES, C. M. G. et al; **AKASHI**, M. et al. (1971). 'Chacaltaya emulsion chamber experiment' - 'Introduction'. *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, n. 50, pp. 1-12.

LATTES, C. M. G., **OCCHILALINI**, G. P. S., **POWELL**, C. F. (1948). 'A determination of the masses of π^+ and μ^+ mesons by the method of grain counting'. *Proceedings of the Physical Society of London*, v. 61, p. 173-183.

LATTES, C. M. G.; **CÜER**, P. (1946). 'Radioactivity of Samarium'. *Nature* v. 158, p. 197-198.

LATTES, C. M. G.; **FOWLER**, P. H., **CÜER**, P. (1947a). 'A study of the nuclear transmutations of light elements by the photographic method'. *Proceedings of the Physical Society of London*, v. 59, n. 5, p. 883-900.

LATTES, C. M. G.; **FOWLER**, P. H.; **CÜER**, P. (1947b). 'Range-energy relation for protons and alpha-particles in the New Ilford "nuclear research" emulsion'. *Nature* v. 159, p. 301-302.

LATTES, C. M. G.; **FUJIMOTO**, Y.; **HASEGAWA**, S. (1980) 'Hadronic interactions of high energy cosmic-ray observed by emulsion chambers'. *Physics Reports - Review Section of Physics Letters* v. 65, p. 152-229.

LATTES, C. M. G.; **MUIRHEAD**, H.; **OCCHIALINI**, G. P. S.; **POWELL**, C. F. (1947). 'Process involving charged mesons'. *Nature* v. 159, p. 694-697.

LATTES, C. M. G.; **OCCHIALINI**, G. P. S.; **POWELL**, C. F. (1947a). 'Observations on the tracks of slow mesons in photographic emulsions. Part 1'. *Nature* v. 160, pp. 453-456.

LATTES, C. M. G.; **OCCHIALINI**, G. P. S.; **POWELL**, C. F. (1947b). 'Observations on the tracks of slow mesons in photographic emulsions. Part 2 - Origin of the slow mesons'. *Nature* v. 160, pp. 486-492.

LATTES, C. M. G.; **OCCHIALINI**, G. P. S. (1947). 'Determination of the energy and momentum of fast neutrons in cosmic rays'. *Nature* v. 159, p. 331-332.

LATTES, C. M. G.; **ORSINI**, C. Q.; **CRUZ**, M. T.; **OKUNO**, E.; **FUJIMOTO**, Y.; **HASEGAWA**, S.; **YOKOI**, K. (1964) 'Observation on extremely high energy nuclear events by the emulsion chamber on Mt. Chacaltaya – II'. *Il Nuovo Cimento* v. 33, p. 680.

LATTES, C. M. G.; **ORSINI**, C. Q.; **CRUZ**, M. T.; **OKUNO**, E.; **YOKOI**, K.; **FUJIMOTO**, Y. (1962). 'Investigation of extremely high energy nuclear interaction with large emulsion chamber'. *Proceedings of the 5th Interamerican Seminar on Cosmics Rays* (La Paz), p.11-33.

LATTES, C. M. G.; **ORSINI**, C. Q.; **PACCA**, I. G.; **CRUZ**, M. T.; **OKUNO**, E.; **BORELLO**, T.; **KAWABATA**, M.; **HASEGAWA**, S.; **NISHIMURA**, J.; **FREIRE**, A. M. (1965). 'Observation on extremely high energy nuclear events by the emulsion chamber. *Proceedings of the IX International Conference on Cosmic Rays*. Londres, v.2, p. 835.

LATTES, C. M. G.; **ORSINI**, C. Q.; **PACCA**, I. G.; **CRUZ**, M. T.; **OKUNO**, E.; **FUJIMOTO**, Y.; **YOKOI**, K. (1963). 'Observation of extremely high energy nuclear events with emulsion chamber exposed on Mt. Chacaltaya'. *Il Nuovo Cimento*, v. XXVIII, n. 3, p. 2.160.

LATTES, C. M. G.; **SAMUEL**, E. G.; **CÜER**, P. (1947). 'Radioatividade do samário, utilização da placa fotográfica para a determinação de baixas concentrações de material radioativo'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v.1, n. XIX, p.1-15.

LATTES, C. M. G.; **SCHÖNBERG**, M.; **SCHULTZER**, W. (1947). 'Classical theory of charged point-particles with dipole moments'. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.3, n. XIX, p.193-245.

LATTES, C. M. G.; **WATAGUIN**, G. (1945). 'Estatística de partículas e núcleons e sua relação com o problema de abundância dos elementos e seus isótopos'. *Physics Report USP*, v. 4, n. XVII, p. 269-269.

LATTES, C. M. G.; **WATAGUIN**, G. (1946). 'On the abundance of nuclei in the universe'. *Physical Review*, v. 69, p.237-237.

LATTES, César (1959). [sem título]. (carta datada de 15 de maio de César Lattes para Hideki Yukawa em resposta à carta, do mesmo ano, do físico japonês, na qual este propunha colaboração entre o Brasil e o Japão para a exposição de câmaras de emulsão gigantes em Chacaltaya).

LAWRENCE, Ernest O.; **LIVINGSTON**, M. Stanley (1932). 'The production of high speed light ions without the use of high voltages'. *Physical Review* v. 40, pp. 19-35.,

LEA, Mathew Carey (1868). *A manual of photography: intended as a text book for beginners and a book of reference for advanced photographers*. Philadelphia: Benerman & Wilson.

LEA, Mathew Carey (1889). 'Allotropic forms of silver'. *American Journal of Science*, v. 37 p. 476.

LEE, T. D. (1994). 'A brief history of the muon'. *Hyperfine Interactions* v. 86, pp. 439-453.

LEE-FRANZINI, J. (2002). Nuclear Emulsions – Kernspuremulsion – From Past Glory, Demise to Renaissance?' (palestra proferida em Karlsruhe, no outono de 2002). Disponível em <http://www.lnf.infn.it/kloe/Lectures/Nuc-em.pdf> .

LEMAGNY, Jean-Claude; **ROUILLÉ**, André (1987). *A history of photography – social and cultural perspectives*. Cambridge: Cambridge University Press.

LEONE, Matteo; **ROBOTTI**, Nadia (2008). 'P M S Blackett, G Occhialini and the invention of the counter-controlled cloud chamber (1931-1932)'. *European Journal of Physics* v. 29, pp. 177-189.

LEPRINCE-RINGUET, L.; **LHÉRITIER**, M. (1944). *Comptes de rendus* v. 219, p. 618.

LIEBIG, Justus (1865). 'Induction und Deduction'. Munich: Academy of Sciences. Discurso proferido em 24 de março de 1865.

LITCHFIELD, Richard Buckley (1903). *Tom Wedgwood, the first photographer: an account of his life*. London: Duckworth and Co.

LIVINGSTON, M. Stanley; **BETHE**, H. A. (1937). 'Nuclear physics'. *Review of Modern Physics* v. 9, n. 3, pp. 245-390.

- LOCK**, W. O (1990). 'Origins and early days of the Bristol school of cosmic-ray physics'. *European Journal of Physics* v. 11, pp. 193-202.
- LOCK**, W. O. (1997a). 'Cecil Powell: pions, peace and politics'. *Physics World* v. 10, n. 11, pp. 35-40, November.
- LOCK**, W. O. (1997b). 'Half a century ago – the pion pioneers'. *CERN Courier* v. 37, n. 5, pp. 2-6.
- LONGAIR**, Malcom (2006). *The cosmic century*. Cambridge: Cambridge University Press, 545 p.
- LOZHKIN**, O. V. (1999). 'High-energy nuclear physics and nuclear astrophysics at the Radium Institute'. *Atomic Energy*, v. 86. n. 6. 1999.
- LUKSYS**, M; **OHSAWA**, A; **SHIBUYA**, E. H. (1993). 'Incident angle dependence of photographic darkness on X-ray films exposed in emulsion chambers'. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* v. 82, pp. 549-556.
- MADDOX**, Richard Leach (1871). 'An experiment with gelatino-bromide'. *British Journal of Photography* Sept. 8, p. 422.
- MARIANI**, Maria Clara (1982). 'O Instituto de Biofísica da UFRJ', pp. 196-208. In: **SCHWARTZMAN** (1982).
- MARQUES**, Alfredo (1997). 'CBPF: da descoberta do méson- π aos dez primeiros anos'. Série Ciência e Sociedade. Rio de Janeiro: CBPF, 61 p.
- MARQUES**, Alfredo (2005a). 'César Lattes – (1924-2005)'. *Ciência Hoje* v. 39, n. 215, pp. 44-49, maio.
- MARQUES**, Alfredo (2005b). 'Em memória de César Lattes'. Série *Ciência e Sociedade*. Rio de Janeiro: CBPF, CBPF-CS-004/05, 27 p.
- MARQUES**, Alfredo (2005c). 'Reminiscências de César Lattes'. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. V. 27, n. 3 (julho a setembro), pp. 467-482.
- MARQUES**, Alfredo (2007). 'Neusa Amato dos vinte aos oitenta'. Série Ciência e Sociedade. Rio de Janeiro: CBPF.
- MARQUES**, Alfredo (org.) (1994). *César Lattes 70 anos: a nova física brasileira*. Rio de Janeiro: CBPF, 212 p.
- MARTINS**, Roberto de Andrade (1997a). 'Investigando o invisível: a pesquisa sobre raios X logo após a sua descoberta por Röntgen'. *Revista SBHC*, v. 17, pp. 81-102.

- MARTINS**, Roberto de Andrade (1997b). 'Becquerel and the choice of uranium compounds'. *Archive of the History of Exact Sciences* v. 51, pp. 67-81.
- MARTINS**, Roberto de Andrade (1998). 'A descoberta dos raios X - o primeiro comunicado de Röntgen'. *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. 20, n. 4, pp. 373-391.
- MARTINS**, Roberto de Andrade (2003). 'As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos'. *Revista da SBHC* n. 1, pp. 29-41.
- MARTINS**, Roberto de Andrade (2008). 'Becquerel e a descoberta da radioatividade: análise crítica'. Tese apresentada ao Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial de concurso de livre-docência. Campinas: edição do autor, 328 p.
- MAYER**, Fritz. (1913). 'Über die Zerstreuung der α -Strahlen'. *Annalen der Physik* v. 41, n. 10, p. 931-970.
- MCMILLAN**, Edwin M. ; **PETERSON**, Jack M. (1949). 'Production of mesons by x-rays' (abstracts of papers presented at the 1949 Annual Meeting of The National Academy of Sciences). *Science* v. 109, pp. 438-439.
- MCMILLAN**, Edwin M. ; **PETERSON**, Jack M. ; **WHITE**, R. Stephen (1949). 'Production of mesons by x-rays' *Science* v. 110, pp. 579-583.
- MCMILLAN**, W. C.; **TELLER**, E. (1947). 'On the production of mesotrons by nuclear bombardment'. *Physical Review* v. 72, pp. 1-6.
- MEDEIROS**, Alexandre (2002). 'As origens históricas do eletroscópio'. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 3, 03 de setembro.
- MEES**, C. E. K. (1915). 'The physics of the photographic process'. *Journal of the Franklin Institute* V. 179, n. 2, pp. 141-160.
- MEES**, C. E. K. (1951). *Photography*. New York: The MacMillan Company.
- MEES**, C. E. K. (1954a). 'Fifty years of photographic research'. *Image – Journal of Photography of the George Eastman House*, v.III, n. 8, pp. 49-56.
- MEES**, C. E. K. (1954b). 'L. A. Jones and his work on photographic sensitometry'. *Image – Journal of Photography of the George Eastman House* v. III, n. 5, pp. 34-36.
- MEES**, C. E. K.; **SHEPPARD**, S. E. (1904). 'Instruments for sensitometric investigations, with an historical resume'. *British Photographic Journal* v. 28, p. 200.

- MEHOS**, Donna C. (2006). 'The camera never lies?' *Science* v. 313, 21 de julho, pp. 299-300. Resenha de **TUCKER** (2005).
- MEHRA**, Jagdish; **RECHENBERG**, Helmut (2001). *The historical development of quantum theory*. New York: Springer-Verlag.
- MENDONÇA**, André Luis de Oliveira; **VIDEIRA**, Antonio Augusto Passos (2007). 'Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn'. *Scientiæ Studia*, v. 5, n. 2, p. 169-183.
- MENDONÇA**, André Luís de Oliveira; **VIDEIRA**, Antonio Augusto Passos (2008). From representations to presentation – the old asymmetry in Galison'. *Representaciones* v. IV, n. 2, pp. 49-66.
- MEULEMANS**, Gilberte; **OCCHIALINI**, Giuseppe P. S.; **VINCENT**, A.M. (1951). 'The Wire Method of Loading Nuclear Emulsions'. *Il Nuovo Cimento* v. 8, pp. 341-344.
- MEYER**, Peter (1948). 'Die photographische Emulsion in der Kernphysik'. *Naturwissenschaften* v. 35, n. 12, pp. 369-374.
- MICHL**, W. (1912). *Akademie der Wissenschaften in Wien* v. 121 p. 1.431.
- MIERNIK**, K. *et al.* (2007). 'Two-proton correlations in the decay of ^{45}Fe '. *Physics Review Letters* v. 99, p. 192.501.
- MILLER**, Daniel (1994). 'Artefacts and the meaning of things', pp. 396-419. In: INGOLD (ed.) (1994).
- MINHOT**, Letícia; **TORRANO**, Andrea (eds.) (2009). *Culturas científicas y tecnologicas – dimensiones y realidades*. Córdoba: Editorial Brujas.
- MITCHELL**, J. W. (1957). 'Photographic sensitivity'. *Report on Progress in Physics*, v. 20, p. 433-515.
- MITCHELL**, J. W. (1980). 'Dislocations in crystal of silver halides'. *Proceedings of the Royal Society* (London), part A, v. 371, pp. 149-159.
- MITCHELL**, J. W. (ed.) (1951). *Fundamental mechanisms of photographic sensitivity*. (anais da conferência de mesmo nome realizada no Laboratório de Física H. H. Wills, da Universidade de Bristol, de 28 a 31 de março de 1950). London: Butterworths Scientific Publications, 347 p.
- MONALDI**, Daniela (2005). 'The life of μ : the observation of the spontaneous decay of mesotrons and its consequences, 1938-1947'. *Annals of Science* v. 62, n. 4, pp. 419-455.

- MONTEIRO**, Rosana Horio (2004). 'Arte e ciência no século XIX: estudo em torno da descoberta da fotografia no Brasil'. *Estudos Históricos*. Rio de Janeiro: CPDOC/FGV, n. 34, pp. 1-24.
- MOREIRA**, Ildeu de Castro (2003). 'Henrique Morize, os raios X e os raios catódicos'. *Física na Escola* v. 4, n. 1, pp. 33-34.
- MOREL**, Marco (2002). 'Imagens aporcionadas e resistência indígena: os daguerreótipos de 1844'. *Stadium* n. 10. Campinas: Instituto de Artes da Unicamp. Disponível em <http://www.studium.iar.unicamp.br/index10.html>.
- MOTOYAMA**, Shozo (1979). 'A física no Brasil', pp. 61-91. In: **FERRI** e **MOTOYAMA** (1979).
- MOTOYAMA**, Shozo (1985). 'A gênese do CNPq'. *Revista da SBHC*, n. 2, pp. 27-46.
- MOTOYAMA**, Shozo (org.) (2004). *Prelúdios para história: ciência e tecnologia no Brasil*. São Paulo: Edusp, 520 p.
- MOTT**, N. F. (1953). 'Dr. R. W. Gurney'. *Nature* v. 171, n. 4.360, pp. 910.
- MOTT**, N. F. (1980). 'Memories of early days in solid state physics'. *Proceedings of the Royal Society of London* v. 371 A, pp. 56-67.
- MOURA**, Mariluce de Souza (2006). *O encontro anunciado: a mídia na construção das imagens da tecnociência brasileira*. (tese de doutorado defendida na Escola de Comunicações da Universidade Federal do Rio de Janeiro), 2 v., 440 p. Disponível em http://www.pos.eco.ufrj.br/publicacoes/doutorado/teses_2006.html#11.
- MÜGGE**, O. (1909). 'Radioaktivität und pleochroitische Höfe, II: Eigenschaften und Vorkommen der natürlichen Höfe'. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paleontologie* v. 71, n. 113, p.142.
- MÜHLENSTEIN**, E. (1917). *Arch. Sc. Phys. et Nat.* v. 4, n. 44, p. 63.
- MÜHLENSTEIN**, E. (1922). *Archives de Sciences Phys. et Nat* v. 4, n. 38.
- MÜHLESTEIN**, E. (1922). *Archive des Sciences* v. 4, n. 38, p. 1.922.
- MUKHERJI**, Visvapryia (1974). 'A history of the meson theory of nuclear forces from 1935 to 1952'. *Archive for History of Exact Sciences*, v. 13, pp. 27-102.
- MULLIGAN**, Therese; **WOOTERS**, David (Eds.) (2005). *History of photography - from 1839 to the present*. Köln: Taschen.

MYERS, Drew (s/d). 'Chemistry of photography'. *Online Chemical Engineering Information*. Disponível em www.cheresources.com.

MYSSOWSKY, L.; **TSCHISHOW**, P. (1927). 'Spuren der α -Teilchen in dicker Bromsilver-Gelatineschicht der photographischen Platten'. *Zeitschrift für Physik* v. 44, n. 6-7, pp. 408-420.

NATIONAL ARCHIVES AND RECORDS ADMINISTRATION – Pacific Region, San Francisco (s/d). Research, development & administrative records of Eugene Gardner, 1945-1950 (bulk 1946-1948). 10 in., boxes 1-2, location 3291B, accn. 3236-90-004 (direct), tube 1, location 3291F.

NATIONAL ARCHIVES AND RECORDS ADMINISTRATION – Pacific Region, San Francisco (s/d). Logbooks of meson detection experiments by Gardner research group, 1945-1955. 7 ft., 8 in., 37 vols., boxes 1-17 location 3291B-C, accn. 326-90-005 (direct), boxes 18-20, location 3291G.

NATURE (1939). 'A hundred years of photography' (editorial). *Nature* v. 143, n. 3.632, pp. 963-964.

NAVARRO, Jaume (2006). 'Early Attempts to Detect the Neutrino at the Cavendish Laboratory'. *Physics in Perspective* v. 8, pp. 64-82.

NAVARRO-BROTÓNS, Victor; **GONZÁLEZ**, Jorge Velasco; **TORRES**, José Domenech (2005). 'The birth of particle physics in Spain'. *Minerva* v. 43, pp. 193-196.

NEW YORK TIMES (1932). 'Millikan retorts hotly to Compton in cosmic ray clash'. Edição de 31 de dezembro.

NEW YORK TIMES (1948). 'Artificial cosmic rays'. March 11, p. 26.

NEWHALL, Beaumont (1946). [s/t] (resenha de *History of Photography*, de Josef Maria Eder). *The Art Bulletin* v. 28, n. 2, pp. 135-136.

NEWHALL, Beaumont (1982). *The History of photography – from 1839 to the present*. New York: New York Graphic Society Books.

NIU, Kiyoshi (2008). 'Review discovery of naked charm particles and lifetime differences among charm species using nuclear emulsion techniques innovated in Japan'. *Proceedings of the Japan Academy*, serie B, v. 84, n. 1, pp. 1-16.

NORRIS, William P.; **WOODRUFF**, Lois A. (1955). 'The fundamentals of radioautography'. *Annual Review of Nuclear Science* v. 5, pp. 297-326.

NUCLEONICS (1948). 'First laboratory-created mesons produced with 4000-ton cyclotron at university of California'. (reportagem publicada na seção 'Nucleonic Event' sobre a produção de mésons no sincrociclótron de Berkeley), April, pp. 71-75.

NUSSENZVEIG, H. Moysés; **VIDEIRA**, Antonio Augusto Passos (1995). *Guido Beck Symposium*. Realizado entre 29 e 31 de agosto de 1994 na Academia Brasileira de Ciências. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v. 67, suplemento 1, pp. 1-142.

NUSSENZVEIG, Micheline; **SOUZA-BARROS**, Fernando de; **VIEIRA**, Cássio Leite. (1995). 'Modéstia, ciência e sabedoria'. (entrevista com César Lattes). *Ciência Hoje* v. 19, pp. 10-22.

NUSSENZVEIG, Micheline; **SOUZA-BARROS**, Fernando de; **VIEIRA**, Cássio Leite. (1995). (copião da entrevista concedida por César Lattes à revista *Ciência Hoje*. Ver **NUSSENZVEIG**, Micheline; **SOUZA-BARROS**, Fernando de; **VIEIRA**, Cássio Leite (1995)).

O ESTADO DE SÃO PAULO (1948a). 'A produção artificial dos mesons 'sobre descoberta de Cesar Lattes'. 11 de março, cópia s/p.

O ESTADO DE SÃO PAULO (1948b). 'Como foi a descoberta a produção artificial dos "mesons"'. 13 (?) de março, cópia s/p.

O ESTADO DE SÃO PAULO (1948c). 'Importante descoberta de cientista brasileiro'. 10 de março, p. 1.

O JORNAL (1948). 'Atribui-se excepcional importância à descoberta do físico brasileiro Cesare Lattes no domínio atômico – considerada o maior acontecimento científico dos últimos tempos a produção artificial de "mesons" – declarações dos profs. Wataghin e Sousa Santos'. 11 de março, 1º caderno, p. 3.

O JORNAL (1948). 'Quer a construção no Brasil de gigante cicloton'. 12 de março, p. 1.

O'CHEALLAIGH, C. (1982). 'A contribution to the history of C. F. Powell's group in the University of Bristol 1949-1965'. *Journal de Physique Colloque* C8, supplement, n. 12. tome 43, pp. C8-185-C8-189.

O'CONNOR, J. J.; **ROBERTSON**, E. F. (2002). 'Light through the ages: ancient Greece to Maxwell'. MacTutor History of Mathematics Archive. Disponível em http://www.gap-system.org/~history/HistTopics/Light_1.html#s13.

O'CONNOR, J. J.; **ROBERTSON**, E. F. (2005). 'William Henry Fox Talbot' MacTutor History of Mathematics Archive. Disponível em <http://www.groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Talbot.html>.

- OCCHIALINI**, G. P. S. (1949). 'On the nature of cosmic ray mesons recorded in the photographic plate'. In: **COLSTON RESEARCH SOCIETY** (1949).
- OCCHIALINI**, G. P. S.; **POWELL**, C. F. (1947). 'Multiple disintegration process produced by cosmic rays'. *Nature* v. 159, n. 4.029, pp. 93-94.
- OCCHIALINI**, G. P. S.; **POWELL**, C. F. (1948). 'The artificial production of mesons'. *Nature* v. 161, n. 4.093, April 10, pp. 551-552.
- OCCHIALINI**, Giuseppe (1981). 'César Lattes, os anos de Bristol'. *Folha de S. Paulo* 21 de março, p. 36.
- OHSAWA**, Akinori; **SHIBUYA**, Edison H.; **TAMADA**, Masanobu (2004). 'Exotic characteristics of centauro-I: reexamination of the centauro event' *Physical review D* v. 70, pp. 074028-1-074028-12.
- OKAMOTO**, Takui (2006). 'Science and competition: the case of physics in Japan, 1886-1949'. *University of Tokyo, Center for Philosophy Bulletin* v. XI, pp.57-67.
- OLIVEIRA**, Pedro Carlos de (2002). 'O Instituto de Física Teórica de São Paulo – meio século de física teórica'. *Física na Escola* v. 3, n. 1, pp. 35-36.
- OLIVOTTO**, Cristina (2006). 'The Mediterranean flights and the G-Stack collaboration (1952–1955): a first example of European collaboration in particle physics'. pp. 490-496. In: KOKOWSKI (2006).
- OSTROFF**, E; **JAMES**, T. H. (1972). 'Gelatin silver halide emulsion: a history'. *Journal of Photographic Science* v. 20, s/p. (pré-print).
- OSTROFF**, Eugene (ed.) (1987). *Pioneers of photography – their achievements in science and technology*. Springfield: SPSE.
- OTAOLA**, Javier A.; **VALDEZ-GALICIA**, José F. (1992). *Los rayos cósmicos: mensajeros de las estrellas*. México D. F.: Fondo de Cultura Económica.
- PAIS**, Abraham (1986). *Inward bound of matter and forces in the physical world*. Oxford: Clarendon Press.
- PANETH**, F. A. (1936). 'Role of chemistry in the study of atomic transmutation'. *Nature*, April 4, pp. 560-561.
- PATTY**, Tom (1995). 'The Philadelphia influence – history of photography'. *Photographic Society of América Journal*. July.

PECK JR., R. A. (1947). 'A calibration for Eastman proton plates'. *Physics Review* v. 72, p. 1.1121.

PEREZ, Michael R. (ed.) (2007). *Focal Encyclopedia of Photography Digital Imaging, Theory and Applications, History, and Science*. London: Focal Press, 846 p.

PERFILOV, N. A. (1947). '?' *Journal of Experimental and Theoretical Physics* v. 17, p. 476.

PERKINS, D. (1997). 'The discovery of the pión in Bristol in 1947'. *Ciência e Sociedade*, Rio de Janeiro: CBPF, CBPF-CS-032/97, 19 p. Originalmente publicado em *Proceedings of the International School of Physics 'Enrico Fermi'*. Course CXXXVII, IOS Press, Amsterdam, pp. 1-11.

PERKINS, D. H. (1947). 'Nuclear disintegration by meson capture'. *Nature* v. 159, n. 4.030, p. 126-127.

PERKINS, D. H. (1972). *Introduction to high energy physics*. Reading: Addison Wesley, 353 p.

PERKINS, D. H. (2005). 'From pions to proton decay: tales of the unexpected'. *Annual Review of Nuclear and Particle Physics* v. 55, pp. 1-26.

PERKINS, Don (2004). 'That third pion'. *CERN Courier*. (carta para a seção 'Face and Places'), 27 January, p. 5.

PERLMUTTER, A. (2006). 'Recuerdos de una larga colaboración que comenzó em 1956', pp. 154-161. In: **STROHMAIER** e **ROSNER** (eds.) (2006).

PESSOA JR., Osvaldo; **FREIRE JUNIOR.**; Olival; **DE GREIFF**, Aléxis (2008). 'The Tausk controversy in the foundations of quantum mechanics: politics, mentorship, and a dissenter's disappearance' (pré-print). Publicado em *Physics in Perspective* v. 10, n. 2, June, pp. 138-162.

PETERS, Bernard (2007). 'The decade of my association with research in India' (publicado originalmente em *Current Science* v. 61, n.11, pp. 717-722). *Resonance* pp. 86-96, October.

PETTERSSON, Hans (1923). 'On the structure of the atomic nucleus and the mechanism of its disintegration'. *Proceedings of the Physical Society of London* v. 36, pp. 194-204.

PETTERSSON, Hans (1923). 'On the structure of the atomic nucleus and the mechanism of its disintegration'. *Proceedings of the Physical Society of London* v. 36, pp. 194-204 .

PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1947a). Held at Shell, Mex House, London, on Friday 14th February, at 2-30 PM, 3 p.

PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1947b). Held at Shell, Mex House, London, on Tuesday, 16th September, at 3 PM, 3 p.

PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1947c). Held at Shell, Mex House, London, on Wednesday 23rd June, at 2 PM, 4 p.

PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1945). 'Report on meeting of the photographic emulsion panel' (held on 21st November, report signed by J. Rotblat). 4 p.

PHOTOGRAPHIC EMULSION PANELS OF THE NUCLEAR PHYSICS SUB-COMMITTEE (1948). 'Minutes of the meeting of the photographic emulsion panel (held at 7th May, at Liverpool University), 4 p.

PHYSICS TODAY (1998). '1948-1958' (reprodução de opinião de Nevill Mott sobre a descoberta do pión em junho de 1948). May, pp. 38-39.

PINTO, Mário da Silva (1948). *Relatório da diretoria (1947)*. Boletim 32. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura / Departamento de Nacional de Produção Mineral / Laboratório de Produção Mineral.

PINTO, Ricardo Guedes Ferreira; **FRANKEN**, Tjerk Guus (entrev.) (1976). [sem título]. (copião da entrevista com Cesar Lattes em 11 de dezembro de 1976 para **SCHWARTZMANN**, 1979).

POMPÉIA, Paulus A. M. D.; **SOUZA SANTOS**, Marcelo Damy; **WATAGHIN**, Gleb. (1940). *Physical Review* v. 57, p. 61.

POUND, Ezra (1973). 'Affirmations – as for imagisme'. *Selected Prose: 1909-1965*. New York: New Directions, pp. 374-377.

POWELL, C. (1948). 'Développements récents de nos connaissances sur les mésons'. *Journal de Physique et le Radium* v. 9, pp. 289-300.

POWELL, C. F. (1942). 'The photographic plate in nuclear physics'. *Endeavour* v. 1, pp. 151-156.

POWELL, C. F. (1943). 'Applications of the photograhics method to problems in nuclear physics.' *Proceedings of the Royal Society A* v. 181, n. 987, pp. 344-359.

POWELL, C. F. (1949). 'Properties of the π - and μ -mesons of cosmic radiation. In: **COLSTON RESEARCH SOCIETY** (1949).

POWELL, C. F. (1950). 'Mesons'. *Reports on Progress in Physics* v. 13, n. 1, pp. 350-424.

- POWELL**, C. F. (1960). 'Photographic tracking of elementary particles'. *Science* v. 132, n. 3.434, pp. 1.134-1.136.
- POWELL**, C. F. (1987). *Fragments of autobiography*. Bristol: University of Bristol, 29 p.
- POWELL**, C. F.; **FERTEL**, G. E. F. (1939). 'Energy of high-velocity neutrons by the photographic method'. *Nature* v. 144, pp. 115-118.
- POWELL**, C. F.; **FOWLER**, P. H.; **PERKINS**, D. H (1959). *The study of elementary particles by the photographic method*. London / New York / Paris / Los Angeles: Pergamon Press.
- POWELL**, C. F.; **OCCHIALINI**, G. P. S. (1947). *Nuclear Physics in photographs – tracks of charge particles in photographic emulsions*. Oxford: Clarendon Press.
- POWELL**, C. F.; **OCCHIALINI**, G. P. S. **LIVESEY**; D. L.; **CHILTON**, L. V. (1946). 'A new photographic emulsion for the detection of fast charged particle'. *Journal of Scientific Instruments* v. 23, p. 102-106.
- PROCEEDINGS OF THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY** (1948). Minutes of the meeting at the California Institute of Technology, Pasadena, California. *Physical Review* v. 74, n. 10, pp. 1.555-1.566.
- PROTOPLASMA** (1991). 'Charles Philippe Leblond'. *Protoplasma* v. 160, n. 1, s/p.
- PROWSE**, D. J.; **BALDO-CEOLIN**; M. (1958). 'Anti-lambda hyperon'. *Physical Review Letters*, v. 1, pp. 179-181.
- RASHED**, Roshdi (2002). 'A Polymath in the 10th Century'. *Science*, v. 297, 02 de agosto, p. 773.
- RAWLING**, S. O. (1943). 'Sensitometry since Hurter and Driffield'. *Nature* v. 151, n. 3.825, pp. 210-213.
- REDONDI**, P.; **SIRONI**, G; **TUCCI**, P; **VEGNI**, G. (eds) (2006). *The scientific legacy of Beppo Occhialini*. Berlin / Heidelberg / New York: Springer e Bologna: Società Italiana di Fisica. 312 p.
- REIMERINK**, Rudolf K. (2001). 'Os olhos do mundo'. *História da Fotografia*. São Paulo: Kodak Brasileira Com. e Ind. Ltda. Publicação H-2/01, R&RR. Disponível em www.kodak.com.br .
- REINGANUM**, M. (1911). *Zeitschrift für Physik* v. 12 p. 1.076.
- REIS**, José (1948). 'O fenômeno Lattes'. *Folha da Manhã* em 20 de março de 1948, s/p.
- RENTETZI**, Maria (2007). *Trafficking materials and gendered experimental practices: radium research in early 20th century*. New York: Columbia University Press.

- RHEE**, J. T.; **JHANG**, H.; **JAMIL**, M (2005). 'Nuclear emulsion, a sensitive detector, its usage in neutrino experiments' (pré-impressão).
- ROCHAT**, Olivier (1949). 'Emploi dès plaques photographiques pour la détection dès réactions de fission de l'uranium'. *Mémoires de la Société Vaudoise dès Sciences Naturelles*, n. 60, v. 9, n. 3, pp. 195-240. Com imagens de placas ao final (pp. I-VII).
- ROCHESTER**, G. D. (1989). 'The development and use of nuclear emulsions in England in the years 1945-50'. *Journal de Physique Colloque* C8, supplement, n. 12. tome 43, pp. C8-89-C8-90.
- ROEBUCK**, John R. (1920). *The science and practice of photography – an elementary textbook on the scientific theory and a laboratory manual*. New York: D. Appleton and Company.
- ROEDERER**, B. (1955). 'Zur Massenbestimmung an geladenen Teilchen in kernphotographischen Emulsionen mittels der Methode der variablen Zellen'. *Il Nuovo Cimento* v. II, n. 1, pp. 135-148.
- ROEDERER**, Juan G. (2002). 'Las primeiras investigaciones de radiación cósmica en la Argentina (1949-1959)'. *Ciencia Hoy* v. 12, n. 71, pp. 38-48, outubro-noviembre.
- ROEDERER**, Juan G. (2003). 'Early Cosmic-Ray Research in Argentina'. *Physics Today* v. 56, n. 1, pp. 32-37.
- ROGERS**, A. W. (1967). *Techniques of autoradiography*. Amsterdam: Elsevier.
- ROSNER**, R.; **SCHOENFELD**, T. (2004). 'Emulsion work in the 1930s'. *Cern Courier* v. 44, n. 5, s/p.
- ROSSI**, Bruno (1938). 'Further evidence for the radioactive decay of mesotrons'. *Nature* v. 142, n. 3.605, p. 992, December 3.
- ROTLAT**, J. (1950). 'Photographic emulsion technique', pp. 37-72. In: **FRISCH** (1950).
- ROTLAT**, J. (1951). 'Range-energy relation for protons and alpha-particles in photographic emulsions for nuclear research'. *Nature* v. 167, n. 4.249, pp. 550-551.
- ROTLAT**, J; **TAI**, C. T. (1949). 'Shrinkage of potographic emulsions for nuclear research'. *Nature* V. 164, pp. 835-836.
- ROVERO**, Adrián C. (2009). 'Historia de la astronomía de altas energías en Argentna' *Asociación Argentina de Astronomia. Book Series* v. 2, pp. 357-402.
- RUDIN**, R.; **BLAU**, M.; **LINDENBAUM**, S. J. (1950). 'Semi-automatic device for analyzing events in nuclear emulsions'. *Review of Scientific Instruments*. v. 21, pp. 978-985.

- RUMBAUGH**, L. H.; **LOCKER**, G. L. (1936). 'Neutrons and other heavy particles in cosmic rays of the stratosphere'. *Physical Review* v. 49, p. 855.
- RUTHERFORD**, E. (1899). 'Uranium radiation and the electrical conduction produced by it'. *Philosophical Magazine*, ser. 5, xlvii, pp. 109-163.
- RUTHERFORD**, E. (1906). *Philosophical Magazine* v. 11; p. 166; v. 12, p. 134.
- RUTHERFORD**, E. (1908). 'The chemical nature of alpha particles from radioactive substances'. (palestra em 11 de dezembro de 1908 pelo recebimento do prêmio Nobel de Química daquele ano). Disponível em http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1908/rutherford-lecture.html.
- RUTHERFORD**, E.; **ROYDS**, T. (1909). 'The nature of the α particle from radioactive substances'. *Philosophical Magazine* v. 17, pp. 281-286.
- RUTHERFORD**, E.; **SODDY**, F. (1902). 'The cause and nature of radioactivity'. *Philosophical Magazine* v. 4, pp. 370-396 e pp. 569-585.
- SABRA**, Abdelhamid I. (2003). 'Ibn al-Haytham – brief life of an Arab mathematician: died circa 1014'. *Harvard Magazine* setembro / outubro, p. 54.
- SACTON**, J. (1993). 'The emulsion technique and its continued use', p. 43. In: **CASHMORE** e **MYATT** (1994).
- SACTON**, J. (1998). 'A short historical survey of nuclear emulsion experiments in particle physics'. *Proceedings of the 1st International Workshop on Nuclear Emulsion Techniques*, Nagoya, Japan (12–14 June).
- SACTON**, J.; **MONTWILL**, A.; **DAVIS**, D. H.; **ZAKRZEWSKI**, J. (1974). 'A proposal to search for charmed particles originating from the interactions of 400 GeV/c protons in emulsion nuclei'. (Fermilab proposal n. 364).
- SAHNI**, Ashok (2004). 'The boyhood of Birbal Sahni – taking to science in 19th century Panjab'. *Resonance* v. 9, n. 4, pp. 42-49.
- SAHNI**, R. R. (1917a). 'The photographic action of alpha, beta and gamma rays'. *Philosophical Magazine*, v. 33, pp. 290-295.
- SAHNI**, R. R. (1917b). 'The scattering of α particles by gases'. *Philosophical Magazine* v. 33, pp. 290-295.

- SAKATA**, Shoichi (1971). 'Taketani's "three-stage" theory'. (artigo originalmente de 1948). *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, n. 50, pp. 9-11.
- SAKATA**, Shoichi; **TANIKAWA**, Yasutaka (1940). 'The spontaneous disintegration of the neutral mesotron (neutretto)'. *Physical Review* v. 57, pp. 548 – 548.
- SALA**, Ângelo (1614) *Septem planitatum terrestrium spagiricarecensio*. s/e, s/l.
- SALA**, Ângelo (1647) *Opera Medica Chimicae*. V. I. s/e: Frankfurt.
- SALA**, Ângelo (1682) *Opera Medica Chimicae*. V. II. s/e: Frankfurt.
- SALA**, O.; **WATAGHIN**, G. (1945). 'Showers of penetrating particles'. *Physical Review* v. 67, p. 55.
- SALA**, O.; **WATAGHIN**, G. (1946). 'Showers of penetrating particles at altitude of 22,000 feet'. *Physical Review* v. 70, p. 430.
- SALIH**, H.; **AI-AMRI**, M.; **EL GOMATI**, M. (2005). 'The miracle of light'. *A World of Science – a Natural Sciences Quarterly Newsletter* v. 3, n. 4, outubro-dezembro.
- SANSOM**, Peter (2007). 'C F Lattes and the loading of nuclear emulsions with boron' (Comunicação pessoal enviada ao autor desta tese em 18 de outubro de 2007 por correio, baseada em documentos da Harman Technology, então Ilford, sobre o carregamento de emulsões com bórax).
- SANTOS**, Núbia Melhem (2007). *Memória do planetário do Rio – astronomia para todos*. Rio de Janeiro: Fundação Planetário da Cidade do Rio de Janeiro.
- SAN-TSIANG**, T.; **CHASTEL**, R.; **FARAGGI**, H.; **VIGNERON**, L. (1946). 'Étalonnage d'une nouvelle plaque photographique pour la mesure des parcours des rayons α '. *Comptes rendus* v. 223, pp. 571-573.
- SCARSI**, Livio; **LINSLEY**, John (1998). 'Contributions to the Nasa workshop: "Observing the highest energy particles from space"'. (duplicata). Palermo, 22-1-1998.
- SCHEFFER**, W. (1907). *British Journal of Photography*, v. 54, p. 540.
- SCHEFFER**, W. (1908). *British Journal of Photography*, v. 55, p. 472.
- SCHNEIDER**, H. (1967). Trabalho para a obtenção do diploma em física experimental na Faculdade de Matemática e Ciências Naturais da Universidade de Hamburgo (orientado por Hervásio G. de Carvalho). Citado em **TAVARES** (1973, p. 75).

SCHÖNFELD, Thomas (2006). 'Aportación al método fotográfico en la física nuclear: resultados importantes de la investigación de Marietta Blau en Viena (1925-1938), pp.171-201. In: **STROHMAIER e ROSNER** (eds) (2006).

SCHULZ, Peter (2007). 'Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de Lorde Kelvin'. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 509-512.

SCHWARTZMAN, Simon (1979). *Formação da Comunidade Científica no Brasil*. São Paulo / Rio de Janeiro: Editora Nacional / Finep, 481 p.

SCHWARTZMAN, Simon *et al.* (coord.) (1993). *Ciência & Tecnologia no Brasil: nova política para mundo global*. São Paulo: Fundação Getulio Vargas, 66 p.

SCHWEBER, Silvan S. (1994). *QED and the men who made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga*. Princeton: Princeton University Press. 784 p.

SCIENCE NEWS LETTER (1948a). 'Atomic particle created'. v. 53, n. 11. (March 13), p. 172.

SCIENCE NEWS LETTER (1948b). 'How mesons were made' v. 53, n 12. (March 20), pp. 181-182.

SEKIDO, Yataro; **ELLIOT**, Harry (1985). *Early history of cosmic studies*. Dordrecht/Boston/Lancaster: D Reidel Publishing Company.

SERBER, Robert (1994). 'Peaceful times - 1930-1950'. *Annual Reviews of Nuclear and Particle Sciences* v. 44, pp. 1-26.

SESSLER, Andrew; **WILSON**, Edmund (2007). *Engines of discovery – a century of particle accelerators*. New Jersey: World Scientific Publishing.

SHACKELTON BAILEY, D. R. (trad.) (2003) *Silvae*, de Statius. Coleção Loeb Classical Library n. 206. Harvard: Harvard University Press, 448 p.

SHAPIN, Steven (1989). 'The invisible technician'. *Scientific American* v. 77, pp. 554-563, November-December.

SHAPIRO, Maurice M. (1941) 'Tracks of nuclear particles in photographic emulsions'. *Review of Modern Physics* v. 13 (January), pp. 58-71.

SHAPIRO, Maurice M. (1956). 'Nuclear emulsions'. *Handbuch der Physik* XLV, pp. 342-436.

SHELLARD, Ronald Cintra; **ANJOS**, João dos (eds.) (2004). *Raios cósmicos – energias extremas no universo*. Folder da série Desafios da Física. Rio de Janeiro: CBPF.

- SHEPPARD**, S. E.; **MEES**, C. E. K. (1907a). 'The theory of photographic processes. Part III. The latent image and its destruction. *Proceedings of the Royal Society of London Series A* v. 78, n. 526, pp. 461-472.
- SHEPPARD**, S. E.; **MEES**, C. E. K. (1907b). *Investigations on the Theory of the Photographic Process*. London: Longmans Green & Co.
- SHEPPARD**, S. E.; **TRIVELLI**, A. P. H.; **LOVELAND**, R. P. (1925). 'Studies in photographic sensitivity: VI. The formation of the latent image'. *Journal of the Franklin Institute* v. 200, p. 51-86.
- SHIBUYA**, Edison (1997). 'O méson pi – o início da física de altas energias'. *Ciência Hoje* v. 22, pp. 36-41.
- SHIBUYA**, Edison Hiroyuki (1981). 'Colaboração Brasil-Japão Raios cósmicos'. *Boletim Informativo do Instituto de Física Gleb Wataghin* n.183, 15 de junho.
- SILBERSTEIN**, L. (1922a). 'Quantum theory of photographic exposure'. *Physical Review* v. 19, n. 4, pp. 443-443.
- SILBERSTEIN**, L. (1922b). 'Quantum theory of photographic exposure.'. *Philosophical Magazine* v. 44, p. 257.
- SILBERSTEIN**, L. (1941). 'On the number of quanta required for developability of a silver halide grain'. *Journal of the Optical Society of America* v. 31, pp. 343-347.
- SILK**, E. C. H.; **BARNES**, R. S. (1959). 'Examination of fission fragment tracks with an electron microscope'. *Philosophical Magazine* v. 4, pp. 970-971.
- SMYTH**, H. D. (1945). *Atomic Energy for Military Purposes - The American Official Report*, London: H. M. Stationery Office.
- SOUZA SANTOS**, M. D. (1942). 'On the decay of slow mesons'. *Physical Review* v. 62, pp. 178-179.
- SPENCER**, D. A. (ed.) (1951). *Progress in photography 1940-1950*. London/New York: The Focal Press.
- STACHEL**, John (org.) (2001). *O ano miraculoso de Einstein: cinco artigos que mudaram a face da física*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ.
- STALEY**, Kent W. (1999). 'Golden events and statistics: what's wrong with Galison's image/logic distinction?'. *Perspective on Science* v. 7, n. 2, pp. 196-230.

- STALEY**, Kent W. (2001). 'Lost origins of the third generation of quarks - theory, philosophy, and experiment'. *Physics in Perspective* v. 3, pp. 210-239.
- STEINBERGER**, J. (1997). 'Early particles'. *Annual Review of Nuclear and Particles Sciences* v. 47, pp. xiii-klii.
- STEINBERGER**, J. (2001). 'When the bubbles chamber first burst onto de scene'. *Cern Courier* April 30th.
- STEINBERGER**, J.; **PANOFSKY**, W. K. H.; **STELLER**, J. (1950). 'Evidence for the production of neutral mesons by photons'. *Physical Review* v. 78, n. 6, p. 802-805.
- STEINBERGER**, Jack (2005). *Learning about particles – 50 privileged years*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- STEINBERGER**, Jack; **BISHOP**, A. S. (1950a). 'Preliminary results on the production of mesons by photons on carbon and hydrogen'. *Physical Review* v. 78, n. 4, pp. 494-495.
- STEINBERGER**, Jack; **BISHOP**, A. S. (1950b). 'The detection of artificially produced photo-mesons with counters'. *Physical Review* v. 78, n. 4, May, pp. 493-494.
- STERN**, Fritz (ed.) (1973). *Varieties of history – from Voltaire to the present*. New York: Vintage, 544 p.
- STIEFF**, L. R; **STERN**, T. W. (1952). 'Preparation of nuclear-track plates and stripping films for the study of radioactive minerals'. *American Mineralogist* v. 37, n. 3 e 4, pp. 184-196.
- STROHMAIER**, Brigitte; **ROSNER**, Robert (eds) (2006). *Marietta Blau – estrellas de desintegración – biografía de pionera de la física de partículas*. México D.F.: Instituto Politécnico, 314 p.
- STUEWER**, Roger (1985). 'Artificial disintegration and the Cambridge-Vienna controversy', pp. 239-307. In: **ACHINSTEIN** e **HANNAWAY** (1985).
- SUN**, Hancheng; **ZHANG**, Donghai (2008). 'Nuclear emulsion and high-energy physics'. *Radiation Measurements* v. 43, pp. S139-S-143.
- SWANN**, W. F. (1961). 'The history of cosmic rays'. *American Journal of Physics* v. 29, p. 811-816.
- SYMPOSIUM SOBRE RAIOS CÓSMICOS** (1943). Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 180 p.
- TAKETANI**, Mituo (1943). *Report on Symposium on Meson Theory*, p. 36.
- TAKETANI**, Mituo (1948). 'On the neutral pion'. *Progress on Theoretical Physics* v. 3, pp349-355.

TAKETANI, Mituo (1971). 'Methodological approaches in the development of the meson theory of Yukawa in Japan' (texto escrito originalmente em 1951). *Progress of Theoretical Physics, Supplement*, n. 50, pp. 12-24.

TALBOT, W. H. F. (1839). 'Some Account of the Art of Photogenic Drawing of the Process by which Natural Objects may be made to delineate themselves without the aid of the Artist's pencil'. *Philosophical Magazine*, v. 14, n. 196.

TANI, Tadaaki (1995). *Photographic sensitivity: theory and mechanism*. Oxford: Oxford University Press.

TANI, Tadaaki (2007a). 'AgX photography: present and future'. *Journal of Imaging Science and Technology* v. 51, n. 2, pp. 110-116.

TANI, Tadaaki (2007b). 'Comparison in physical properties among AgCl, AgBr, and AgI grains'. *The Journal of Imaging and Science and Technology* v. 51, n. 3, pp. 197-201.

TANI, Tadaaki (2007c). 'Review of mechanisms photographic sensitivity'. *The Imaging Science Journal*. V. 55, pp. 65-79.

TANNOCH-BLAND, Jennifer (1997). 'From a perspectival objectivity to strong objectivity: the quest for moral objectivity'. *Hypatia: A Journal of Feminist Philosophy*, v 12, N. 1, pp. 155-178.

TAVARES, O. A. P.; **ROBERTO**, L. A. M.; **MEDEIROS**, E. L. (2007). 'Radioactive decay by the emission of heavy nuclear fragments'. *Physica Scripta* v. 76, pp. 375-384.

TAVARES, Odilon A. P. (1984). 'Nova forma de radioatividade natural?'. *Ciência Hoje* v. 3, n. 14, pp. 18-20.

TAVARES, Odilon A. P. (2005). 'Primeira comprovação experimental da relação $E = mc^2$ – Einstein, a física nuclear e seus impactos na sociedade moderna'. Série *Ciência e Sociedade*. Rio de Janeiro: CBPF, CBPF-CS-007-05, 11 p.

TAVARES, Odilon A. P. (2006a). Candidatura a pesquisador titular III (parte I: curriculum vitae; parte II: memorial descritivo). Edição do autor, impressa em novembro de 2006.

TAVARES, Odilon A. P. (2006b). *Física nuclear: origens, desenvolvimento e aplicações*. Rio de Janeiro: CBPF. VI Escola do CBPF - Física para Todos, 17-28 de julho.

TAVARES, Odilon Antônio Paula (1973). *Seções de choque de fotofissão do urânio, tório e bismuto em altas energias*. Tese de mestrado defendida em 19 de novembro no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro (RJ).

- TAVARES**, Odilon Antônio Paula (2009). 'CBPF, 60 anos de física nuclear'. *Ciência e Sociedade*. Rio de Janeiro: CBPF. (CBPF-CS-002/09). Disponível em formato PDF em <ftp://ftp.biblioteca.cbpf.br/pub/apub/cs/2009/cs00209.pdf> .
- TAYLOR**, H. J. (1935a). 'The disintegration of boron by neutrons'. *Proceedings of the Physical Society* v. 47, pp. 873-876.
- TAYLOR**, H. J. (1935b). 'The tracks of α -particles and protons in photographic emulsions'. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A, Mathematical and Physical Sciences*, v. 150, n. 870, pp. 382-394.
- TAYLOR**, H. J. (1990). 'Seventy years of physics'. *Current Science* v. 59, n. 23, p. 10.
- TAYLOR**, H. J.; **GOLDHABER**, M. (1935). 'Detection of nuclear disintegration in a photographic emulsion'. *Nature* v. 135, pp. 341.
- TEUCHER**, M.; **WINZELER**, H.; **LOHRMANN**, E. (1956). 'A possible example of production and annihilation of an antiproton'. *Il Nuovo Cimento* v. 3, pp. 228-230.
- TIME** (1948). 'The meson mystery', March, 15, 1948.
- TIME** (1950). 'War hero'. (obituario de Eugene Gardner). *Time* December 11th.
- TIPHAIGNE DE LA ROCHE**, Claude-François (s/d). *Giphantie*. Paris: Babylone.
- TOMONAGA**, S.; **ARAKI**, G. (1940) 'Effect of the nuclear Coulomb field on the capture of slow mesons'. *Physical Review* v. 58, p. 90.
- TOWLER**, John (1864). *The Silver Sunbeam*. New York: Joseph H. Ladd. s/p.
- TRESCH**, John (2007). 'The daguerreotype's first frame: François Arago's moral economy of instruments. *Studies in History and Philosophy of Science* v. 38, pp. 445-447.
- TUCKER**, Jennifer (2005). *Nature exposed – Photography as Eyewitness in Victorian Science*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- TUCKER**, Jennifer (2006). 'The historian, the picture, and the archive' *Isis* v. 97. n. 1, pp. 111-120.
- TURAZZI**, Maria Inez (1995). *Poses e Trejeitos – a fotografia e as exposições na era do espetáculo (1839-1889)*. Rio de Janeiro: Funart / Roco / Minc.
- TURAZZI**, Maria Inez (2008). 'O 'homem de invenções' e as 'recompensas nacionais' – notas sobre H. Florence e L. J. M. Daguerre'. *Anais do Museu Paulista* v.16, n. 2, pp. 11-46.

TURAZZI, Maria Inez (org.) (1998). 'Fotografia'. *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*. Brasília: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional v. 27.

TYLER, S. A.; **MARAIS**, J. J. (1941). 'A method for the determination of the relative radioactivity of mineral grains'. *Journal of Sedimentary Petrology* v. 11, pp. 145-147.

TYNDALL, A. M. (1948). Depoimento para o West England Home Service programme, em 5 de julho, com início às 18h35. Disponível em formato PDF, com o título 'Tyndall in the year of his retirement, talking on the wireless' em <http://www.phy.bris.ac.uk/history/08.%20Tyndall's%20Memories%201948.pdf> .

TYNDALL, A. M. (1958). 'Sixty years of academic life in Bristol'. (palestra feita por A. M. Tyndall na Universidade de Bristol em 10 de março).

VAUCOULEURS, Gérard (1958). *La photographie astronomique – du daquerréotype au télescope électronique*. (cahiers de la collection Sciences d'Aujourd'Hui dirigés par André George). Paris: Éditions Albin Michel.

VELTMAN, Kim H. (1986) 'Leonardo and the camera obscura'. *Studi Vinciani in memoria de Nando de Toni*. Brescia: Ateneo di scienze lettere er arti. Centro ricerche Leonardiane, pp. 81-92.

VIDEIRA, A. A. P. (1995). 'A criação da astrofísica na segunda metade do século XIX'. *Boletim da Sociedade Astronômica Brasileira*, v. 14, n. 3, p. 54-69.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (1997). 'Méson pi, capítulo da física brasileira'. *Em Tempo* (suplemento 'Engenho & Arte'), 13 de julho, p. 7.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (1998). '1940/1950 – a oficialização da *Big Science*'. *Ciência Hoje* v. 24, n. 140, pp. 20-24.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (2000). 'Um vienense nos trópicos – a vida e a obra de Guido Beck entre 1943 e 1988'. Série *Ciência e Sociedade*, Rio de Janeiro: CBPF, CBPF-CS-010/00.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (2002). 'Historiografia e história da física'. *Ideação*, n. 10, pp. 15-44.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (2003). *Henrique Morize e o ideal de ciência pura no Brasil na República Velha*. Rio de Janeiro: Editora FGV.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (2004). 'Pensando o Brasil - o nacionalismo entre os físicos brasileiros entre 1945 e 1955'. Série *Ciência e Sociedade*, Rio de Janeiro: CBPF.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos (2005). 'A filosofia da ciência sob o signo dos *science studies*'. *Abstracta*, v. 2, pp. 70-83.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **BUSTAMANTE**, Martha Cecilia (1993). 'Gleb Wataghin en la Universidade de São Paulo: un momento culminante de la ciencia brasileña'. *Quipu* v. 10, n. 3, pp. 263-284, septiembre-diciembre.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **MENDONÇA**, André Luís de Oliveira; **VIEIRA**, Cássio Leite (2009). 'Galison, história da ciência e cultura material, pp. 77-105'. In: MINHOT e TORRANO (eds.) (2009).

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **VIEIRA**, Cássio Leite (1997). 'César Lattes e os 50 anos da descoberta do méson pi: relato jornalístico'. Série *Ciência e Memória*, Rio de Janeiro: Observatório Nacional, n. 07/97.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **VIEIRA**, Cássio Leite (1997). 'O gênio brasileiro'. *Superinteressante* pp. 28-37, maio.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **VIEIRA**, Cássio Leite (1999). 'Os físicos e suas histórias: os usos e as versões da detecção do méson pi', pp. 69-79. In: **CARUSO**; **MARQUES** e **TROPER** (orgs.) (1999).

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos; **VIEIRA**, Cássio Leite (2007). 'Occhialini: físico itinerante'. *Ciência Hoje* n. 244, pp. 10-14.

VIEIRA, C. L.; **VIDEIRA**, A. A. P. (2007). 'História e historiografia da física no Brasil'. *Fênix – revista de história e estudos culturais* v. 4, ano IV, n. 3, julho/agosto/setembro de 2007. Artigo disponível em formato PDF em www.revistafenix.pro.br.

VIEIRA, Cássio Leite (1999). 'Bristol hoje'. In: **MARQUES**; **TROPER**; **CARUSO** (1999).

VIEIRA, Cássio Leite (2005a). 'Lattes: nosso herói da era nuclear'. *Física na Escola* v. 6, n. 2, pp. 44-49.

VIEIRA, Cássio Leite (2005b). 'Morre César Lattes, o herói da física nacional'. (obituário de César Lattes, 1924-2005). *Folha de S. Paulo*, 09/03/2005, p. A16.

VIEIRA, Cássio Leite (2007). 'A invenção do planetário', pp. 32-55. In: **SANTOS** (2007)

VIEIRA, Cássio Leite (2008). 'A técnica das emulsões nucleares: esboço histórico', p. 185-195. In: *Anais do 1º Congresso de História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia - Scientiarum Historia*, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 1.

VIEIRA, Cássio Leite; **VIDEIRA**, Antonio Augusto Passos (2000). 'Da natureza clássica à quântica'. pp. 6-11 (edição especial do suplemento *Mais!*, da *Folha de S. Paulo*, 17 de dezembro, 32 p.).

VIGNERON, Léopold (1953). 'Emploi des émulsions photographiques pour la détection et l'étude des phénomènes nucléaires. Historique, résultats et possibilités. Bibliographie'. *Journal de Physique et Le. Radium* v. 14, pp. 121-127.

VILLARD, Paul (1900). "Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons de viables du radium". *Comptes Rendus* v. 130, pp. 1.010-1012.

WALLER, C. (1953). 'Nuclear emulsion technique – a review of progress 1948-1953. *The Journal of Photographic Science* v. 1, pp. 41-54.

WALLER, Cecil; **WOOSLEY**, Duncan Pax (1944). 'Improvements in or relating to the production of photographic silver halide emulsion' (patente obtida em 10 de setembro de 1946 na Grã-Bretanha sob o código GB580504. A mesma patente foi requerida e obtida nos Estados Unidos, na França e na Alemanha, respectivamente com os códigos US2489341, FR19657 e DE820853).

WALMSLEY, H. P.; **MAKOWER**, M. A (1914). 'The passage of α -particles through photographic films'. *Proceedings of the Physical Society of London* v. 26. pp. 261-263.

WEBB, J. H. (1940). 'Theory of photographic latent-image formation'. *Journal of Applied Physics* v. 11, n. 1, 18-34.

WEBB, J. H. (1941). 'Number of quanta required to form the photographic latent image as determined from mathematical analysis of the H and D curve. *Journal of the Optical Society of America* v. 31, pp. 348-354, pp. 559-569.

WEBB, J. H. (1948) 'Photographic plates for use in nuclear physics'. *Physical Review* v. 74, n. 5, pp. 511-532.

WEBB, J. H. (1949). 'The photographic plate as an instrument in nuclear research autoradiography and radiation monitoring'. *Science* v. 110, n. 2.858, pp. 355-356.

WEBB, J. H.; **EVANS**, C. H. (1941). 'Number of quanta required to form the photographic latent image as determined from intermittent exposures'. *Journal of the Optical Society of America* v. 31, n. 5355-357.

WEINBERG, Steven (1993). *The discovery of subatomic particles*. London: Penguin Books, 222 p.

WEINER, C. (ed.) (1977). *Storia della fisica del XX secolo*. (Rediconti della escuela Internazionale di fisica “Enrico Fermi”. LVII Corso, Varenna Sul, Lago di Como, Vila Montastero, 31 July – 12 Auguts, 1972), New York: Academic Press.

WEINER, Charles (entrev.) (1973/74). ‘Oral history interview with Wolfgang Kurt Hermann Panofsky, 1973 May 15 to 1974 June 3’ (depositada em Niels Bohr Library & Archives, Center for History of Physics, American Institute of Physics). Disponível em http://www.aip.org/history/ohilist/4994_1.html

WEINER, Charles; **LUBKIN**, Gloria (entrev.) (1967). ‘Oral history interview with Maurice Goldhaber, January 10, 1967’ (depositada em Niels Bohr Library & Archives, Center for History of Physics, American Institute of Physics). Disponível em <http://www.aip.org/history/ohilist/4632.html> .

WEINER, Charles; **LUBKIN**, Gloria; **RICHMAN**, Barry. (entrev.) (1967). ‘Oral history interview with Robert Serber, 1967 February 10’. (depositada em Niels Bohr Library & Archives, Center for History of Physics, American Institute of Physics, sob o código OH441). Disponível em <http://www.aip.org/history/ohilist/4878.html> .

WEISSKOPF, Victor (1994a). ‘The development of science this century: from 1900 to World War II’. *Cern Courier*, v. 34, n.4, pp. 1-4, May.

WEISSKOPF, Victor (1994b). ‘The development of science this century: 1946-1970’. *Cern Courier* v. 34, n. 5, pp. 9-14, June.

WEST POINT ASSOCIATION OF GRADUATES (s/d). ‘Usma 1940 home page’. Disponível em <https://www.westpointaog.org/NetCommunity/SSLPage.aspx?pid=366>.

WHITCOMB, David (2006/2007). ‘Mathew Carey Lea: Chemist, Photographic Scientist’. *Chemical Heritage Newsmagazine*, v. 24, n. 4, s/p, Winter.

WIKIPEDIA (s/d) ‘Bubble chamber’ (verbete). Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Bubble_chamber.

WIKIPEDIA. Verbetes Charles Leblond. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Leblond.

WILKINS, T. R. (1940). ‘The response of photographic materials to atomic particles’. *Journal of Applied Physics* v. 11, pp. 35-45.

WILKINS, T. R.; **ST. HELENS**, H. J. (1938). ‘Grain-spacing of alpha-ray, proton and deuteron tracks in photographic emulsions’. *Physical Review* v. 54, pp. 783-788.

- WILLIAMS**, E. J. (1939). 'Concerning the scattering of fast electrons and of cosmic-ray particles'. *Proceedings of the Royal Society* v. 169 A, p. 531.
- WILLIAMS**, Keith (2007). 'One hundred years of photophysics' (memorial colloquium in honour of J. W. 'Jack' Mitchell). Disponível em <http://www.phys.virginia.edu/Announcements/Seminars/Slides/S1433.pdf> .
- WILSON**, Davis (1984). *Rutherford: simple genius*. Cambridge: MIT Press, 625 p.
- WOLFSCHMIDT**, Gudrun (2005). 'Josef Petzval (1807-1891) and the early development of astrophotography'. pp. S 213-231. In: **WOLFSCHMIDT e SOLC** (2005).
- WOOD**, R. Derek (1971). 'J. B. Reade, F. R. S., and the early history of photography – Part II. Gallic acid and Talbot's calotype patent'. *Annals os Science* v. 27, n. 1, pp. 47-82.
- WOOD**, R. Derek (1997). 'A state pension for L. J. M. Daguerre for the secret of his daguerreotype technique'. *Annals of Science* v. 54, n. 5, pp. 489-506.
- WRAY**, K. Brad (2006). 'Scientific authorship in the age of collaborative research'. *Studies in History and Philosophy of Science* v. 37, pp. 505-514.
- XU**, Qiaochen; **BROWN**. L. M. (1986). 'The early history of cosmic ray research'. *American Journal of Physics* v. 55, n. 1, pp. 23-33.
- YAGODA**, H. (1962). 'Radiation studies in space with nuclear emulsion detectors'. *Journal Space Science Reviews* v. 1, n. 2, pp. pp. 224-277.
- YAGODA**, Herman (1949). *Radioactive measurements with nuclear emulsions*. New York: John Wiley & Sons, 356 p.
- YAGODA**, Herman (1960). 'The recovery of cosmic-ray emulsions from rocket and space probes'. *Physics Today* v. 13, n. 10, pp. 18-25.
- YAGODA**, Herman (1964). 'sem título'. (Resenha de **BARKAS** (1963)).
- YAGODA**, Herman; **DE CARVALHO**, Hervasio G.; **KAPLAN**, Nathan (1950). 'Stars and heavy primaries recorded during a V-2 rocket flight'. *Physical Review* v. 78, p. 765.
- YARRIS**, Lynn (2005). 'Fifty years os antiprotons'. *Cern Courier* Nov. 2. Disponível em <http://cerncourier.com/cws/article/cern/29469> .
- YOUNG**, D. A (1958). 'Etching of radiation damage in lithium fluoride'. *Nature* v. 182, pp.75-77.

YUAN, L. C. L.; **WU**, C.-S. (eds.) (1961). *Nuclear Physics. Serie Methods of Experimental Physics* v.5, part A. New York: Academic Press.

YUKAWA, Hideki (1935). 'On the interaction of elementary particles. I.'. *Proceedings of the Physical-Mathematical Society of Japan* v. 17, p. 48-57.

YUKAWA, Hideki (1959). [sem título]. (transcrição da carta de Hideki Yukawa para César Lattes, sendo que o original está datado de 16 de abril daquele ano).

YUKAWA, Hideki (2007). 'Hundred years of science in Japan: from a physicist's point of view'. (originalmente publicado em *Proceedings n. 2, XIVth International Congress of the History of Science, 19-27 August 1974*, publicado pelo *Science Council of Japan*, Tokyo, 1975, pp. 3-15). *AAPPS Bulletin* v. 17, n. 1, pp. 9-14.

ZHDANOV, A. (1935). *Journal de Physique et le Radium* v. 6, p. 233.

ZHDANOV, A. (1959a). *The cosmic rays*. London: Lawrence & Wishart.

ZHDANOV, A. (1959b). 'A cosmic ray burst of a hundred particles'. *Nature* v. 143, n. 3.625, pp. 682-683.

ZIMAN, John (1995). 'Some reflections on physics as a social institution', pp. 2.041-2.059. In: **BROWN; PAIS; PIPPARD** (eds.) (1995).

ZIMAN, John (1998). 'An evolutionary history of high energy particle physics with metascientific goals'. (resenha de *Image & Logic*). *Minerva* v. 36, pp. 289-303.