

MATÉRIA ESCURA, EPICICLOS E OUTRAS HIPÓTESES *AD-HOC*

Leandro Lage
Doutorando do HCTE/UFRJ
leandrolsguesdes@gmail.com

Muitas vezes a ciência passa por situações em que a observação de um determinado fenômeno parece derrubar, ou mostrar falhas em uma teoria muito bem estabelecida. Algumas vezes, a única saída é rever e modificar a teoria, ou substituí-la por outra. Outras vezes, podemos 'salvar' a teoria, criando a hipótese de que existe um elemento externo para explicar o tal fenômeno.

Hipóteses desse tipo são chamadas de *ad-hoc*. Os filósofos e muitos cientistas não gostam de hipóteses ad-hoc, porque fornecem uma explicação posterior a observação de um fenômeno. São incompletas do ponto de vista teórico. Mas episódios da História da Astronomia e da Física nos mostram que hipóteses ad-hoc podem ter um papel fundamental no progresso do conhecimento científico.

Um dos modelos científicos de maior sucesso da História foi o modelo de universo formalizado por Ptolomeu(c.90-c.168). Seu modelo tinha a Terra imóvel próxima ao centro do universo, e os planetas girando em torno dela em órbitas circulares. A ideia da Terra no centro do Universo e das órbitas circulares veio do modelo de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C).

Aristóteles acreditava que a natureza tinha um comportamento entre a Terra e a Lua e outro comportamento acima de Lua. O primeiro, um mundo sublunar, onde viviam os homens, era um mundo mutável e onde os movimentos naturais eram em linha reta. O segundo, mundo supralunar, era o mundo onde viviam os deuses, imutável, repleto de objetos esféricos e o movimento natural era o circular. Esferas e círculos eram as formas que melhor refletiam a perfeição divina do mundo supralunar. Assim, Aristóteles criou seu modelo de universo com a Terra no centro, e os planetas presos em esferas cristalinas, todas centradas na Terra e girando em torno dela.

Mas o modelo de Aristóteles não explicava o *movimento retrógrado*. Se você observar o deslocamento de Marte, por exemplo, verá que, noite após noite ele caminha em um certo sentido. Até que, em uma certa noite ele aparentemente para, e começa a deslocar-se no sentido oposto, noite após noite. Novamente em uma noite ele para, e retoma seu sentido original, desenhando um laço, ou um *looping*, no céu, como podemos ver na FIGURA 1.



FIGURA 1 – Composição de 29 fotografias mostrando o movimento retrógrado de Marte. Ao fundo, vemos também o movimento de Urano, que não era observado nos tempos de Ptolomeu (fonte: APOD)

A solução desse problema veio com uma sugestão feita por Apolônio, na Grécia antiga, que foi brilhantemente matematizada por Ptolomeu. Em vez de girarem diretamente em torno da Terra, cada planeta descreveria um círculo cujo centro girava em torno da Terra. O círculo descrito pelo planeta chamava-se *epiciclo*, e o centro do epiciclo descrevia o *deferente*, que envolvia diretamente a Terra. A combinação das trajetórias ao longo dos epiciclos e dos deferentes explicava a 'laçada' observada.

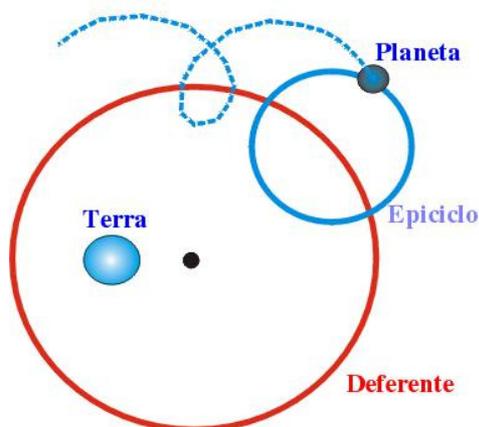


FIGURA 2 – A linha tracejada mostra a combinação do movimento de um planeta ao longo de seu epiciclo e do centro deste ao longo do deferente.

Hoje, nosso modelo de Sistema Solar, formalizado por Jhoanes Kepler (1571-1630), nos diz que os planetas giram ao redor do Sol, não da Terra, e em órbitas elípticas, não circulares. E nos diz, também, que planetas próximos do Sol deslocam-se mais rápido que planetas mais afastados. Desse modo, constantemente a Terra ultrapassa Marte e vemos caminhando para trás. Exatamente como um carro que ultrapassamos na estrada.

Com os epiciclos, Ptolomeu salvou a ideia aristotélica dos movimentos circulares no céu. Era possível fazer a previsão das posições dos planetas com altíssima precisão. E sempre com a forma divina dos círculos. O modelo de Ptolomeu, com toda sua complexidade matemática, durou desde o século II até a idade média, sendo, assim, um dos modelos científicos de maior sucesso da História.

Perceba que a ideia dos epiciclos serviu para salvar a premissa dos movimentos circulares. Apenas círculos eram permitidos, e todos os movimentos deviam ser explicados com círculos. Ptolomeu conseguiu fazer isso com grande brilhantismo.

Encontramos um exemplo semelhante no desdobramento dos debates a respeito da natureza ondulatória ou corpuscular da luz. Alguns acreditavam que a luz era composta por um feixe de partículas que atravessavam o espaço e chegavam aos nossos olhos. Outros acreditavam que a luz era uma onda. Hoje admitimos uma natureza dual para a luz, sendo ela uma entidade que se

comporta como ondas e também como um feixe de partículas.

Quando a natureza ondulatória da luz foi estabelecida, uma questão surgiu. Onda não é um objeto em si, é a perturbação de algum meio. Se a luz é uma onda, qual meio que ela perturba? Esse suposto meio chamou-se éter luminífero, e deveria permear todo espaço, inclusive o espaço que nos separa das estrelas, pois recebemos a luz que vem delas.

Diversas tentativas de verificar a existência do éter foram feitas, e, ao contrário do que se imagina, nenhuma garantiu sua inexistência. A interpretação do éter mudou ao longo da história, mas ele constitui um elemento que nunca foi abandonado por completo. Hoje a propagação da luz é explicada em termos de campo eletromagnético, mas mesmo a relatividade geral com o conceito de espaço-tempo instaurou na física moderna um meio, com propriedades físicas, que permeia todo o espaço.

Uma das hipóteses ad-hoc mais importantes para nossa física moderna está nas bases da mecânica quântica. Sabemos que uma carga acelerada emite radiação eletromagnética. E sabemos que elétrons, partículas com carga elétrica negativa, orbitam em torno do núcleo dos átomos, logo, executam constantemente um movimento acelerado. Esse modelo atômico, conhecido também como modelo planetário, pela semelhança entre os elétrons orbitando em torno do núcleo e os planetas orbitando em torno do Sol, foi proposto por Ernest Rutherford (1871-1937).

Se nesse movimento ao redor do núcleo, o elétron emitisse radiação, ele perderia energia e certamente cairia no núcleo do átomo, aniquilando-se em contato com a carga positiva dos prótons. Entretanto, não é isso que se observa. Os átomos existem, com prótons e com elétrons orbitando o núcleo. A explicação para esse improvável equilíbrio veio no modelo atômico criado por Neils Bohr (1885-1962).

Uma importante característica dos átomos é que eles absorvem e emitem radiação apenas em quantidades muito bem determinadas. Em um de seus postulados, Bohr propôs que um elétron simplesmente não emite qualquer radiação em determinadas órbitas. Ele absorve uma certa quantidade de energia que o faz pular para uma órbita mais afastada do núcleo, e emite a mesma quantidade quando volta para sua órbita original. A emissão é feita na troca entre órbitas e não no percurso da órbita.

Dessa forma, com a não emissão de radiação em determinadas órbitas, e com a absorção e emissão na troca entre órbitas, Bohr conciliou o modelo atômico planetário de Rutherford com a estabilidade atômica observada.

O aspecto epistemológico mais interessante das hipóteses de Bohr, é que sabemos que ela não promove uma descrição real do que acontece no átomo, mas, ainda assim, é a melhor maneira de compreendermos os efeitos observados.

Na Astronomia moderna temos um outro exemplo importante de hipótese ad-hoc, a matéria escura.

Em 1933, o Astrônomo Fritz Zwicky (1898-1974) calculou a massa do aglomerado de galáxias de Coma utilizando diferentes métodos. Um relacionava a massa do aglomerado com a quantidade de luz emitida, através da *relação massa-luminosidade*. Outro método relacionava a massa do aglomerado com o movimento das galáxias através do *teorema do virial*. O primeiro método utiliza a luz observada, o segundo utiliza a dinâmica do conjunto.

A massa obtida pela luz observada era bem menor que a massa obtida pelo estudo do movimento das galáxias. De imediato, duas coisas podem estar acontecendo: há uma falha em algum dos

métodos, ou em ambos, ou, existe mais matéria naquele aglomerado do que podemos observar.

Posteriormente, outras observações astronômicas mostraram discrepâncias entre a massa observada e a massa que deveria haver por conta de fenômenos gravitacionais. Uma das mais belas e interessantes observações desse tipo ficou conhecida como a Cruz de Einstein, que está na FIGURA 3. Nessa fotografia vemos cinco imagens, de apenas duas galáxias que encontram-se alinhadas, na mesma linha de visada. Devido à distorção no espaço provocada pela massa na galáxia que aparece no centro da imagem, ocorre o que chamamos de efeito de *lente gravitacional*, e a luz proveniente da galáxia de trás é distorcida e aparece multiplicada nas quatro imagens que observamos.

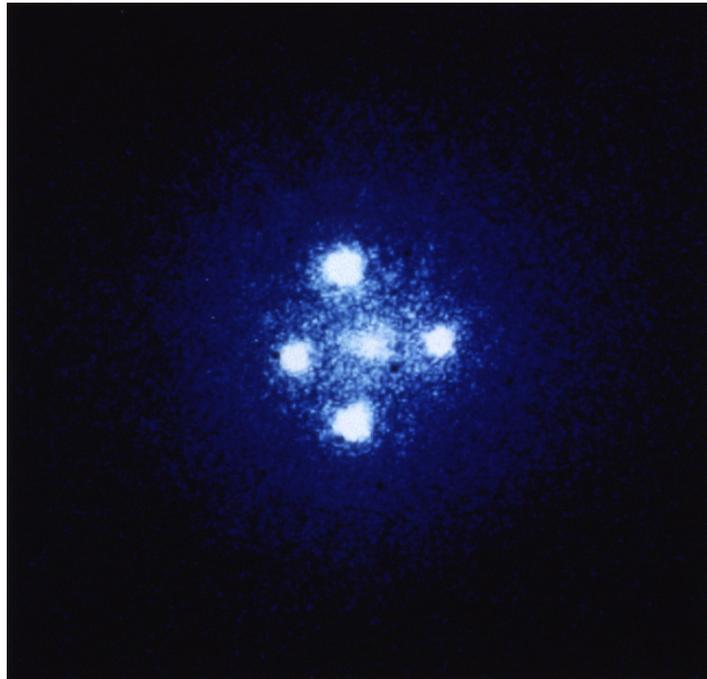


FIGURA 3 – Cruz de Einstein. Cinco imagens de apenas duas galáxias.

Apenas a massa da galáxia do centro da imagem não seria suficiente para provocar a distorção necessária para observarmos essa lente gravitacional. Deve haver mais matéria ali do que podemos observar através da luminosidade.

Outra evidência de aparente falta de matéria é obtida quando se mede as velocidades das estrelas ao redor do centro de algumas galáxias. A curva de rotação mostra que na região conhecida como bojo galáctico, onde há uma alta densidade de objetos, observamos uma rotação de corpo rígido. Saindo do bojo, o esperado seria objetos mais próximos do centro deslocando-se mais rápido e objetos mais afastados deslocando-se mais lentamente. Entretanto, não é o que se observa, como mostra a FIGURA 4.

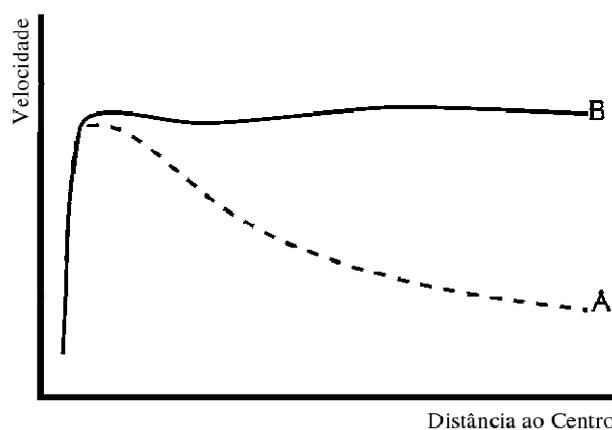


FIGURA 4 – Forma típica da curva de rotação de uma galáxia espiral. A linha tracejada (A) mostra a variação esperada das velocidades das estrelas ao redor do centro galáctico. As velocidades deveriam diminuir com a distância. A linha inteira (B) mostra a variação observada, sem diminuição nas velocidades.

Existem ainda outras observações em que vemos diferença entre a quantidade de matéria observada através da luz e a matéria que deveria haver para podermos explicar os efeitos gravitacionais.

Temos duas teorias de gravitação muito bem estabelecidas para explicar o Universo. Uma foi formulada por Isaac Newton (1634-1727) e outra por Albert Einstein (1879-1955). Ambas são teorias de tanto sucesso, que parece mais conveniente pensar na hipótese de existir mais matéria espalhada no Universo do que aquela que conseguimos observar. Essa suposta matéria é chamada *matéria escura*.

Existe, de fato, matéria que não conseguimos observar através da luminosidade. São planetas extrasolares, estrelas pouco luminosas, anãs brancas que perderam sua energia e outros corpos. Esses objetos compõem um tipo de matéria escura, mas não seriam suficientes para dar conta da quantidade de matéria que está faltando.

A matéria que forma planetas, estrelas, seu computador, ou o papel onde você está lendo os artigos do *III Scientiarium Historia*, é composta por átomos com núcleos formados por *bárions*. Os bárions mais famosos são os prótons e os neutros. Quando se fala em matéria escura na cosmologia, faz-se, geralmente, referência a um tipo de matéria não formada por bárions. É uma *matéria escura não-bariônica*, formada por algo de natureza completamente desconhecida. Sua única semelhança com a matéria comum seria a gravidade.

A matéria escura não-bariônica surge para salvar nossas teorias de gravitação. Existem astrônomos que defendem a tese de que deve estar faltando alguma coisa nas teorias. Pode ser, simplesmente, que não exista nenhum tipo de matéria escura não-bariônica, e a gravidade simplesmente pode funcionar de maneira diferente em grandes escalas espaciais.

Os epiciclos de Ptolomeu, o éter luminífero, os elétrons que não emitem radiação em suas órbitas e a matéria escura foram hipóteses de sucesso que salvaram teorias muito bem estabelecidas. Os epiciclos caíram. O conceito do éter foi modificado. O postulado de que elétrons não emitem radiação em suas órbitas continua válido, apesar de não termos um argumento teórico que justifique essa ideia. A matéria escura segue firme ainda que constantemente alvejada pelos que não acreditam em sua existência física.

O tempo e a continuidade dos trabalho científico dizem se uma hipótese *ad-hoc* foi colocada como um ajuste temporário que escondeu falhas em uma teoria, ou se de fato ela deve permanecer como a explicação última para determinadas observações. Mas lembrar das hipóteses *ad-hoc* do passado e das que estão hoje em nossa ciência moderna pode nos indicar que, por mais incompletas que sejam do ponto de vista teórico, elas constituem uma saída fundamental para alguns impasses científicos. Ainda que, algumas vezes, uma saída temporária.