

Além de leigos em pedagogia, esses especialistas só conheciam o ensino médio ou o equivalente dele em seus países por experiência própria, baseada em seus tempos de estudante. E, a julgar pelo alto nível por eles atingido nas suas carreiras, pode-se supor que a maioria era constituída de alunos diferenciados, que haviam frequentado escolas igualmente diferentes daquelas a quem dirigiram suas propostas. Daí o irrealismo dos projetos e, sobretudo, dos currículos sugeridos, cujos conteúdos, muito distintos daqueles adotados até então nas escolas de todo o mundo, não eram dominados pelos professores, pois estes não tinham sido preparados para essa nova e exigente tarefa.

A segunda causa desse fracasso se deveu a uma fundamentação pedagógica unânime e equivocada: a crença na aprendizagem individual do aluno por meio de sua interação direta com o material produzido. A ideia de que os alunos poderiam redescobrir as leis científicas por meio de atividades experimentais – defendida, sobretudo, no PSSC e PEF – não é apenas um equívoco pedagógico, mas, principalmente, epistemológico. Como muitos professores de Física – e das outras disciplinas científicas também – ainda creem nessa possibilidade, apresentamos a seguir uma breve discussão a respeito.

Capítulo 2 – A pedagogia da redescoberta: um equívoco epistemológico

A epistemologia pode ser definida como o estudo do conhecimento científico, de seus diferentes métodos, de suas teorias e práticas, de sua evolução na história e de seu papel no desenvolvimento das sociedades. Assim, se do ponto de vista epistemológico as leis científicas fossem – e continuassem a ser – constituídas por meio da observação de fenômenos naturais ou criados em laboratório, uma prática pedagógica que proponha a redescoberta das leis científicas por meio de determinadas atividades experimentais seria coerente, ao menos desse ponto de vista. Se a aprendizagem se daria efetivamente desse modo é outra discussão, que será apresentada mais adiante.

No entanto, não é assim que as coisas acontecem: a crença de que as leis científicas possam ser ou ter sido descobertas a partir da observação é falsa; constitui um equívoco epistemológico. Não se trata de uma opinião pessoal, mas consensual entre praticamente todos os estudiosos de epistemologia e filosofia das Ciências. É claro que a justificativa dessa afirmação merece uma longa e fundamentada argumentação, mas

é possível compreendê-la e convencer-se dela por meio de alguns exemplos históricos, antigos e recentes, e de algumas observações, explicações e descobertas científicas.

Dois exemplos: Aristóteles e Galileu

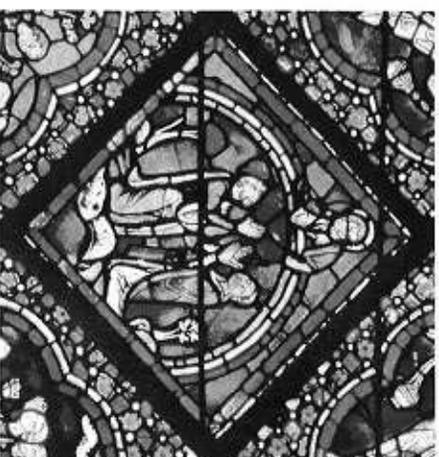
O primeiro exemplo, talvez o mais surpreendente, seja a afirmação de Aristóteles (século IV a.C.), em seu livro *Meteorológica*, de que o arco-íris tem apenas três cores:

Nunca aparecem mais de dois arco-íris ao mesmo tempo. Cada um deles tem três cores; as cores são as mesmas em ambos, mas no arco-íris exterior elas são mais fracas e em posição invertida. No arco interior, a primeira faixa, mais larga, é vermelha; no exterior, a faixa que está mais próxima a essa é a mais estreita e tem a mesma cor: as outras faixas seguem o mesmo princípio. Essas são praticamente as únicas cores que os pintores não conseguem fabricar, pois há cores que eles criam misturando diversas cores; mas nenhuma mistura vai dar vermelho, verde ou roxo. Estas são as cores do arco-íris, embora, entre o vermelho e o verde, a cor laranja é muitas vezes vista.

(ARISTOTLE. *Meteorology*, Book III, part 2. Traduzido pelo autor. Disponível em: <<http://classics.mit.edu/Aristotle/meteorologyv3.iii.html>>. Acesso em: 13 maio 2014.)

Apesar de contrariar flagrantemente a observação, essa ideia foi bem aceita até a Idade Média (veja a fotografia

abaixo), pois havia para ela justificativas filosóficas ou religiosas, como associar essas três cores à Santíssima Trindade. Mas nem sempre são necessárias justificativas dessa natureza para que a interpretação do que se vê contrarie o que de fato se vê. Às vezes, basta o hábito, ou uma simples tradição baseada no senso comum.



Detalhe da "janela de Noé", localizada no interior da catedral de Chartres, na França, datada do século XIII. Ela é assim chamada porque nela se conta a história de Noé por meio de vitrais. Neste, apontando-se em um arco-íris, Deus promete a Noé não inundar o mundo novamente. Note que esse arco-íris tem três listras: a de cima é vermelha, a do meio é amarela e a de baixo é verde.

Ainda hoje é muito comum e bem aceita pela maioria dos professores de Ciências e de Física a representação do arco-íris com sete faixas coloridas, igualmente espaçadas e bem delimitadas, o que também contraria flagrantemente a observação de qualquer pessoa de bons olhos e bom-senso.

Outro célebre exemplo de equívoco envolve Galileu Galilei (1564-1642). A fotografia abaixo mostra Júpiter e seus quatro satélites principais - Calisto, Ganimedes, Io e Europa

- tal como eles podem ser vistos por meio de uma luneta semelhante à que Galileu usou quando os descobriu.



Júpiter e seus quatro satélites principais: Callisto, Ganímedes, Ío e Europa (da esquerda para a direita).

O relato dessa descoberta foi feito por Galileu praticamente “ao vivo”, em um pequeno livro escrito em latim com o título *Sidereus nuncius* (*O mensageiro das estrelas*) para documentar e divulgar as observações que fez no final de 1609, início de 1610. Depois de uma breve introdução em que louva as qualidades da luneta (que ele mesmo construíra)¹⁰ e descreve as descobertas que realizou com ela, Galileu faz um relato do que observou dividido em três partes: uma sobre a Lua, outra sobre as estrelas fixas e a terceira sobre Júpiter. Esta última, a mais importante e que mereceu maior destaque no livro, é a que vamos discutir em detalhes a seguir.

Em seu relato, Galileu conta que descobriu os satélites de Júpiter na noite de 7 de janeiro de 1610: ao observar, casualmente, o planeta, notou junto a ele três pequenas estrelas até então desconhecidas. De início, supôs que se tratava de novas estrelas fixas, fato que se tornara corriqueiro para ele

¹⁰ Foi a segunda: a primeira luneta não o satisfiz porque não tinha qualidade para fazer observações astronômicas.

desde que iniciara suas observações com a luneta. Entretanto, causou-lhe “certa admiração” a disposição delas, “pois pareciam dispostas exatamente em linha reta paralela à eclíptica; também pareciam mais brilhantes que as outras de magnitude parecida”¹¹.

Na noite seguinte, quando observou essas “estrelas” novamente, Galileu surpreendeu-se ao perceber que a posição delas em relação a Júpiter havia mudado. Veja a figura abaixo:



Representações gráficas originais de Galileu da posição das satélites (asteriscos) de Júpiter (círculo): no dia 7 de janeiro de 1609 (a), os dois estavam à esquerda (Oriente) e um à direita (Ocidente); no dia 8 de janeiro (b), os três estavam à direita.

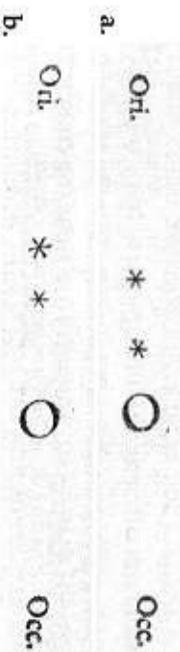
De início, Galileu teve receio de que esse deslocamento se devesse ao movimento progressivo de Júpiter, o que estaria em desacordo com os cálculos astronômicos, segundo os quais esse movimento, naquele período do ano, deveria ser retrógrado¹², essa incoerência seria difícil de ser justificada. No entanto, para sua admiração, no dia 10 (no dia 9 o céu estava encoberto) apareceram apenas duas estrelas à

¹¹ Todas as citações da obra *Sidereus nuncius* foram tiradas da tradução do livro para o português, com o título de *O mensageiro das estrelas*, por Carlos Ziller Camenetzki, publicada pela Editorial Dueto, São Paulo, em 2009.

¹² Em geral, os planetas se movem no céu de Leste para Oeste; mas, devido ao movimento relativo de cada planeta em relação à Terra, em determinados períodos do ano eles parecem inverter o sentido do seu movimento - nesses períodos, diz-se que o planeta tem movimento retrógrado.

esquerda de Júpiter (veja figura a, abaixo), configuração que, além de fácil de entender e de explicar, tinha consequências extraordinárias para a ciência da época.

Galileu, que certamente passara dois dias refletindo sobre o que havia observado, concluiu de imediato que o deslocamento daquelas estrelinhas não era devido ao movimento de Júpiter, mas ao movimento delas próprias; quanto à terceira estrela, não vista, Galileu tranquilamente afirmou que ela “se ocultava atrás de Júpiter”. Essas conclusões foram confirmadas pelas observações realizadas no dia seguinte: as duas estrelas da esquerda se afastaram um pouco mais de Júpiter, enquanto a terceira ainda permanecia atrás dele (veja figura b, abaixo).



A partir dessas conclusões, “pus fora de toda dúvida que no céu havia três estrelas errantes em torno de Júpiter, à maneira de Vênus e Mercúrio¹³ em torno do Sol”, diz Galileu. Nota-se que, desde esse dia, os desenhos que fez para registrar suas observações passam a ser elaborados com mais exatidão

13 Não se sabe a que sistema planetário Galileu se refere aqui; há quem diga ser o sistema proposto pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546–1601), defendido na época pelos jesuítas. Nesse sistema, a Terra estaria no centro e em torno dela girariam a Lua e o Sol, mas em torno do Sol girariam todos os demais planetas conhecidos, não só Mercúrio e Vênus. É mais provável que Galileu estivesse se referindo ao primeiro sistema planetário conhecido, proposto pelo filósofo grego Heráclides do Ponto, que viveu no século IV a.C.; nesse sistema, só Mercúrio e Vênus girariam em torno do Sol; este, a Lua e os demais planetas girariam em torno da Terra.

e rigor: são assinalados o tamanho e o brilho aparentes dos satélites, a posição deles em relação a Júpiter, a distância entre eles, medidas em distâncias angulares com precisão de minutos e segundos de grau. Além disso, Galileu anota também “a hora das observações, em especial quando havia muitas na mesma noite, pois tão rápidas são as revoluções desses planetas que, inclusive, se podem determinar, com facilidade, as diferenças horárias” (*O mensageiro das estrelas*, p. 59).

O equívoco

Para muitos, essas descrições e respectivos registros gráficos evidenciam ou exemplificam a ocorrência de uma descoberta científica originária basicamente da observação dos eventos e, portanto, de acordo com o método científico, que na sua forma tradicional consiste em cinco procedimentos básicos:

- I. observação;
- II. formulação do problema;
- III. elaboração de hipóteses;
- IV. realização de experiências para testar essas hipóteses;
- V. conclusão.

Se é assim que se faz ciência, também é assim que se deve aprender ciência – e essa foi, em síntese, a lógica da concepção pedagógica dos cientistas que elaboraram os projetos de ensino de Física anteriormente descritos, principalmente o PSSC e o PEF. Mas a realidade não parece ser bem assim, nem na construção da ciência nem no modo de aprendê-la.

Já comentamos no primeiro exemplo, em relação às três cores atribuídas por Aristóteles ao arco-íris, que nem mesmo

a observação do que há de mais evidente em um fenômeno é isenta de preconcepções. Em outras palavras, o que nós observamos ou percebemos depende do que conhecemos, de nossas crenças, de nossos valores e até de nossos interesses: se as crenças de quem observa são diferentes das nossas, suas observações também serão diferentes. É o que podemos perceber do relato a seguir, de uma visita que Galileu fez a Roma, quando começou a divulgar suas descobertas, acreditando que para isso bastaria que outras pessoas vissem o que ele via com sua luneta:

Ele [Galileu] observa o movimento das estrelas com o *occhiali* que inventou ou, melhor, aperfeiçoou. Contra a opinião de todos os filósofos antigos, declara ele que há outros quatro planetas ou estrelas, que são satélites de Júpiter a que ele denomina corpos dos Médici, bem como dois acompanhantes de Saturno. Aqui, discutiu essa opinião com o padre Clavius, o jesuíta. Na quinta-feira à noite, na propriedade de Monsignor Malavasia, para além do portão de São Pancrácio, lugar amplo e aberto, foi-lhe oferecido um banquete por Frederico Cesi, Marquês de Monticelli e sobrinho do Cardeal Cesi, que se fazia acompanhar de seu parente, Paulo Monaldesco. Na reunião, estiveram: Galileu; um flamengo chamado Terrentius; Pérsio, da comitiva do Cardeal Cesi; [La] Galla, professor de nossa Universidade; o grego, que é o matemático do Cardeal Gonzaga; Piffari, professor em Siena; e outras oito pessoas. Alguns saíram especialmente para fazer a observação, mas embora houvessem permanecido fora até uma hora da manhã, não

chegaram a concordar quanto ao que viram. (grifo nosso)

(FEYERABEND, Paul. *Contra o método*. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1977. p. 166-7.)

Aliás, preocupado com esses relatos, Johannes Kepler (1571-1630), que, mesmo sem ter feito nenhuma observação com a luneta, não só acreditava nas observações de Galileu como apoiava entusiasmaticamente as suas conclusões, escreveu-lhe:

Não desejo esconder-lhe que vários italianos enviaram cartas a Praga, afirmando que não chegaram a ver aquelas estrelas em seu telescópio. Pergunto-me como pode ocorrer que tantos neguem o fenômeno, inclusive aqueles que usam um telescópio. Ora, levando em conta o que por vezes acontece comigo, não considero impossível que uma pessoa possa ver o que milhares são incapazes de ver... Não obstante, lamento que tarde tanto a confirmação por parte de outros... Rogo-lhe, portanto, Galileu, que me envie testemunhos tão cedo quanto possível... (grifo nosso).
(FEYERABEND, Paul. Op. cit., p. 193.)

Na resposta a Kepler, Galileu dá como testemunho ele próprio, o Duque da Toscana, Giuliano de Médici

e muitos outros em Pisa, Florença, Bolonha, Veneza e Pádua, que, não obstante, guardam silêncio e hesitam. A maior parte deles é inteiramente incapaz de

identificar Júpiter ou Marte ou mesmo a Lua como um planeta...

(FEYERABEND, Paul. Op. cit., p. 193.)

A insuficiência da observação

Em síntese, não há dúvida de que a observação é essencial para a construção da ciência, mas, como diz Kepler, não é “impossível que uma pessoa possa ver o que milhares são incapazes de ver”. Só quem tem uma base conceitual mínima em relação a determinado conhecimento científico é capaz de observar um fenômeno a ele relacionado. Mesmo assim, não basta a capacidade de observar para que alguém seja capaz de entender ou de explicar o que observa; ou seja, nem mesmo a observação garante a explicação.

No caso da descoberta dos satélites de Júpiter, isso fica evidente pelos próprios relatos de Galileu: no dia 7 ele descobriu as “três estrelinhas” alinhadas com Júpiter, mas supõe que fossem novas estrelas fixas ainda desconhecidas; no dia 8 ele nota que elas mudam de posição em relação a Júpiter e se assusta, pois isso seria “contrário ao cálculo astronômico” e o leva a “esperar a noite seguinte ansiosamente”.

Depois de frustrar-se na noite nublada do dia 9, no dia 10 ele pôde ver a posição das estrelinhas e tranquilizar-se: elas estavam do jeito que ele esperava que estivessem, e isso lhe deu a certeza de que elas eram satélites de Júpiter. É óbvio que não foram apenas essas três noites de observação que o levaram a essa conclusão revolucionária, mas o seu sólido conhecimento anterior resultante do trabalho de muitos outros

cientistas e também de sua própria genialidade. As observações foram essenciais para orientar seu pensamento, mas, por si sós, elas não permitiriam as conclusões a que chegou.

A respeito da insuficiência da observação como condição para a ocorrência de uma descoberta científica, podem ser citados inúmeros exemplos ocorridos na história da ciência, sobretudo no advento da Física moderna. Vamos destacar a seguir dois casos relatados no livro *Dos raios-X aos quarks*, de autoria do físico italiano Emilio Segre¹⁴.

O primeiro deles se refere ao modelo atômico proposto pelo físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937). No início do século XX, Rutherford dedicou-se ao estudo das partículas alfa¹⁵, o que lhe valeu o Prêmio Nobel de Química de 1908¹⁶. Nesse estudo, descobriu um processo de contagem individual de átomos por meio da observação da cintilação causada pelas partículas alfa ao incidirem em uma tela de sulfeto de zinco. Além de possibilitar a Rutherford a determinação de importantes constantes universais, como o número de Avogadro e a carga do elétron, por esse processo ele conheceu um fenômeno cuja explicação foi provavelmente o maior desafio que encontrou em sua vida de cientista. Ao pesquisar os efeitos resultantes da travessia dessas partículas pela matéria (em geral, finíssimas lâminas de ouro), ele verificou que algumas delas sofriam deflexões exageradamente grandes, muito maiores do que ele podia esperar tendo em vista as suas expectativas teóricas:

14 Publicado pela Editora Universidade de Brasília, 1980; Emilio Segre (1905-1989) conseguiu-se ganhando o Prêmio Nobel de Física pela descoberta do antipróton, em 1959.

15 As partículas alfa são emitidas por núcleos de átomos radioativos; compõem-se de dois prótons e dois nêutrons, como os núcleos de hélio.

16 Segundo a Fundação Nobel, o prêmio lhe foi concedido “por suas pesquisas sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas”.

Quando Marsden [aluno de Rutherford] descreveu essa observação a Rutherford, o professor fez com que ele repetisse a experiência. Os grandes desvios surpreenderam Rutherford. Mais tarde ele declarou que foi como se alguém lhe tivesse dito que, ao atirar em uma folha de papel, a bala tivesse ricocheteadoi!

Passaram-se várias semanas. Certo dia, em 1911, Rutherford anunciou que agora sabia por que as partículas de Marsden tinham-se desviado em ângulos largos. E, além disso, sabia qual era a estrutura do átomo.

(SEGRÈ, Emilio. *Dos raios-X aos quarks*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1980. p. 108.)

Rutherford havia chegado à conclusão de que aqueles desvios só seriam possíveis se toda a massa dos átomos estivesse praticamente concentrada em uma região extremamente pequena, o *núcleo do átomo*. Essa foi a chave para a sua hipótese a respeito da estrutura do átomo, que ficou conhecida como modelo atômico de Rutherford. Note que não foi ele quem, efetivamente, fez a experiência e a primeira observação dos desvios das partículas alfa. Mas foi ele quem percebeu que aquele desvio exagerado ainda não podia ser explicado pela Física da época e poderia ser uma pista para a descoberta da estrutura elementar da matéria.

Note também que Rutherford pediu a Marsden que repetisse a experiência, a fim de comprovar a veracidade de suas observações – ou seja, ele nem se preocupou em fazê-las pessoalmente, pois sabia que não seria isso que o levaria

a explicar o que observava. Foi depois de várias semanas de reflexão sobre o que havia visto, certamente longe do laboratório, que chegou à sua extraordinária descoberta. Se bastasse a observação, essa descoberta teria sido do primeiro pesquisador que a fez, Marsden, e não de Rutherford.

O segundo caso foi a descoberta do *nêutron*, também relacionada ao estudo do núcleo do átomo. O nêutron, de certa forma, era uma partícula elementar que já existia na mente de Rutherford – ele “precisava” dela para que o núcleo do seu modelo atômico fosse teoricamente viável; por isso, alguns jovens cientistas que com ele trabalhavam procuravam meios para encontrá-lo, o que significava encontrar algum indício seguro de sua existência, pois todos estavam convencidos de que seria impossível detectá-lo diretamente, por ser uma partícula sem carga elétrica¹⁷.

No início do ano de 1932, dois cientistas franceses, Irene Curie (1897-1956), filha de Marie Curie, e seu marido, Frédéric Joliot (1900-1958), alheios ao grupo de Rutherford, publicaram um artigo divulgando uma observação experimental surpreendente: a radiação gama¹⁸ emitida por uma amostra de polônio, ao incidir em uma placa de parafina, fazia com que essa placa emitisse prótons. A surpresa era causada pela inesperada e incompreensível emissão de prótons por meio da parafina observada nesse processo, para a qual Irene e Joliot arriscaram uma explicação exposta na conclusão do artigo.

17 As partículas portadoras de carga elétrica deixam rastros ao atravessar câmaras de neblina, o que permite a sua identificação. Esse dispositivo, hoje em desuso, foi criado em 1911 pelo físico escocês Charles T. R. Wilson (1869-1959): na forma original, constituía-se de um recipiente de vidro preenchido com ar saturado de vapor d'água e um diafragma que quando movido rapidamente de modo a expandir o gás, causa a condensação do vapor, formando uma neblina artificial no interior do recipiente.

18 A radiação gama consiste em ondas eletromagnéticas ou fótons de alta energia.

A divulgação dessa descoberta teve grande repercussão e chamou a atenção do físico inglês James Chadwick (1891-1974), um dos jovens cientistas que trabalhavam com Rutherford e estavam envolvidos na busca do nêutron. Chadwick consultou seu professor sobre o artigo e, principalmente, sobre a explicação dada pelos seus autores para justificar o que observaram. Ao que se conta, Rutherford teria rejeitado veementemente essa explicação - para ele, aquela emissão seria a pista que há tempos ele e seus pesquisadores buscavam para a descoberta do nêutron. Consciente da extraordinária importância do resultado daquela experiência, Chadwick tratou de refazê-la imediatamente e, depois de um mês de trabalho contínuo e exaustivo, publicou um artigo anunciando a descoberta do nêutron, que lhe valeu o Prêmio Nobel de Física de 1935. Como afirma Emilio Segré,

[uma] das razões da pressa e do sucesso de Chadwick foi o fato de ele estar mentalmente preparado para aceitar o conceito de nêutron. [...] quando finalmente ele veio a aparecer, ele o percebeu de forma imediata, nítida e convincente.

(SEGRÉ, Emilio. Op. cit., p. 188.)

Em outras palavras, Chadwick “viu” o nêutron na experiência de Irene e Joliot porque tinha a convicção teórica de que ele existia, já havia feito várias experiências tentando encontrá-lo; Irene e Joliot não tinham essa convicção, não “sabiam” que o nêutron existia; por isso, mesmo vendo-o, não compreenderam o que viram.

A precedência da descoberta teórica

A precedência da descoberta teórica sobre a descoberta experimental ou observacional se tornou explícita e indiscutível com o advento da Física moderna - as descobertas teóricas têm sido quase sempre realizadas muito antes de sua observação experimental, ou melhor, de suas confirmações experimentais, pois são feitas seguindo as orientações dessas descobertas ou previsões teóricas. Vamos descrever em seguida duas dessas descobertas, pois são particularmente importantes e esclarecedoras. A primeira delas é a do nêutron, partícula cuja existência foi postulada teoricamente para “salvar” o princípio da conservação da energia.

No final da década de 1920, em algumas experiências nas quais ocorre a emissão de elétrons do núcleo de alguns átomos¹⁹, obtinha-se um resultado preocupante: a energia total calculada depois da emissão dessas partículas era menor do que a energia total calculada antes da emissão, o que colocava em xeque o princípio da conservação da energia, um dos pilares da Física.

Em 1930, buscando a solução para esse inesperado e incômodo resultado e com o objetivo de preservar a validade desse princípio, o físico austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958) sugeriu que o cálculo da energia total depois da emissão de elétrons estaria errado, porque nela deveria surgir uma nova partícula, que não estava sendo levada em conta pela simples razão de ainda não ser conhecida.

Seguindo essa linha de raciocínio, em 1933, o físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) publicou um artigo em que

¹⁹ Esse fenômeno é conhecido como decaimento beta: raios beta são elétrons emitidos do núcleo de átomos de substâncias radioativas.

postulava teoricamente a existência dessa partícula e dava a ela o nome de neutrino, pois seria como um pequeno nêutron: originário do núcleo atômico e sem carga elétrica. Seus argumentos e cálculos foram tão convincentes, precisos e rigorosos que os físicos passaram a dar como certa a existência dessa partícula, apesar de ela só ter sido descoberta ou detectada experimentalmente, pela primeira vez, em 1956 – ou seja, vinte e três anos depois de sua descoberta teórica!

A segunda dessas descobertas teóricas é ainda mais significativa, pois pudemos acompanhar sua recente comprovação, apesar de ter sido realizada em 1964. Naquele ano, de forma independente e quase simultânea, os físicos belgas Robert Brout e François Englert e o físico inglês Peter Higgs anunciaram a descoberta de uma espécie de mecanismo pelo qual as partículas elementares adquirem massa. Higgs sugeriu ainda a existência de uma partícula – desde então conhecida como bóson de Higgs – que tornaria esse processo possível. Como as partículas elementares são os componentes básicos de toda a matéria do Universo, a existência do bóson de Higgs seria uma necessidade lógica essencial para explicar a própria existência da matéria; por essa razão, muitos a chamam “partícula de Deus”.

Até o ano de 2008, no entanto, era impossível detectar essa partícula, pois não existia uma fonte com a energia necessária, prevista teoricamente, para provocar o seu aparecimento. Foi por essa razão que se construiu o LHC, sigla de Large Hadron Collider, em inglês, que pode ser traduzido por Grande “Colisor” de Hádrons²⁰. Na época de sua inaugu-

20 “Colisor” é um neologismo usado pelos físicos brasileiros com o significado de “provocador de colisões”; hádrons são uma família de partículas nas quais se incluem os prótons e os nêutrons.

ração, calculou-se que essa máquina fantástica custou cerca de quatro bilhões de euros. É claro que ninguém faria um investimento desse porte se não soubesse o que pretendia com ele - seria impensável construí-lo apenas para observar colisões, formular problemas sobre elas, levantar hipóteses e realizar experiências para chegar a alguma conclusão ainda desconhecida, como propõe o método científico na sua versão tradicional.

É claro também que essa partícula poderia não ter sido detectada; aliás, sua existência não tinha o mesmo consenso na comunidade científica em relação à existência do neutrino, e não eram poucos os que duvidavam do sucesso desse empreendimento. Felizmente isso não ocorreu – a existência do bóson de Higgs foi anunciada em 4 de julho de 2012; em 8 outubro de 2013 foi concedido o Prêmio Nobel de Física a François Englert e Peter Higgs (Robert Brout faleceu em 2011). Vale a pena conhecer a justificativa da Fundação Nobel para essa premiação:

“pela descoberta teórica de um mecanismo que contribui para o nosso entendimento da origem da massa das partículas subatômicas, e que recentemente foi confirmada por meio da descoberta da partícula fundamental prevista, nas experiências ATLAS e CMS do CERN no Large Hadron Collider.” (grifo nosso)

(http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2013/press.html. Acesso em 26 maio 2014; tradução do autor)

Note o destaque dado pela Fundação Nobel para a “descoberta teórica” de Englert e Higgs; as experiências ATLAS e CMS do CERN no Large Hadron Collider só foram realizadas porque, quase cinquenta anos antes, houve essa descoberta teórica.

O empenho e o investimento na construção de um instrumento científico dependem da importância do que se quer ou se espera encontrar com ele – guardadas as devidas proporções, foi o que fez Galileu no construir e aperfeiçoar a luneta com a qual iria descobrir os satélites de Júpiter. É o que ele mesmo diz no livro *O mensageiro das estrelas* já citado:

[...] Por fim, não medindo nem gastos nem fadiga, consegui fabricar um instrumento tão excelente que as coisas com ele pareciam quase mil vezes maiores e mais de 30 vezes mais próximos que quando observados com a faculdade natural. (p. 33).

Todo esse esforço se justificou porque Galileu tinha a convicção do que poderia encontrar com esse instrumento na observação das estrelas. Por isso, como ele diz no mesmo livro, embora tivesse consciência do extraordinário valor do telescópio “nos assuntos terrestres ou marítimos”, preferiu deixar as coisas terrenas e se dedicar “às celestes”. Do mesmo modo, os físicos sabem por que investiram tanto no LHC.



Réplica do telescópio usado por Galileu (fotografia de 1985)



Fotografia do interior do LHC por ocasião de sua inauguração em 2008.

A hipótese teórica como orientadora da observação

Nada do que foi dito até aqui, no entanto, implica que a ciência não tem método ou que a observação e a experimentação não são importantes. Certamente há método por trás das observações, da realização de medições, da obtenção e análise de dados, das verificações e da elaboração de conclusões, entre outros procedimentos relacionados à atividade científica. O que estamos procurando aqui é resgatar e destacar o papel essencial da hipótese teórica em todos esses procedimentos: ela é sua orientadora.

Muitas leis científicas são empíricas, isto é, obtidas exclusivamente por meio da observação e da experimentação – é o caso das leis do atrito, fenômeno estudado há pelo menos cinco séculos²¹ e até hoje à espera de um equacionamento teórico –, o que não significa que essas observações e

²¹ As primeiras leis do atrito foram propostas por Leonardo da Vinci em 1508.

experimentações tenham sido feitas sem critério, sem alguma hipótese teórica que as orientasse.

Uma síntese dessas ideias pode ser ilustrada pelo trecho de um diálogo entre Albert Einstein (1879-1955) e o físico alemão Werner Heisenberg (1901-1976), um dos formuladores da moderna mecânica quântica.

Conta Heisenberg que, em 1926, depois de proferir uma conferência sobre mecânica quântica à qual Einstein assistiu, foi convidado para ir à casa dele discutir alguns aspectos daquela nova teoria. Depois de elogiá-la (parecia-lhe “bastante bonita”), Einstein criticou o procedimento de Heisenberg, dizendo que ainda estava preso às antigas concepções do método científico. Segundo Heisenberg, para Einstein, ele estava fazendo o contrário do que devia fazer:

Disse-me: “Conseguir observar uma coisa ou não depende da teoria que se usa. É a teoria que decide o que pode ser observado.” O seu argumento era o seguinte: “observar significa que construímos alguma conexão entre um fenômeno e nossa concepção do fenômeno. [...] Se mudamos a teoria relativa a essa sequência de acontecimentos [refere-se a um exemplo experimental dado anteriormente por Einstein], é óbvio que a observação será alterada.” (grifo nosso).

(SALAM, Abdus; DIRAC, Paul; HEISENBERG, Werner. *Em busca da unificação*. Lisboa: Editora Gradiva, 1991. p. 88.)

A nosso ver, todos os projetos de ensino de Física de que falamos neste texto e que pretendiam a sua reformulação

cometeram o mesmo erro que Einstein atribuiu a Heisenberg, e essa foi a causa principal do seu insucesso: se “é a teoria que decide o que pode ser observado”, é impossível que o aluno “descubra” uma lei científica por meio da simples observação, pois se ele ainda não conhece essa lei, não saberá sequer o que deve observar.

Mesmo assim, pode-se argumentar que, adequadamente orientados e supervisionados por um professor, os alunos poderiam redescobrir essas leis. Afinal, tanto aqueles que elaboraram o material dos experimentos como o professor que o apresenta aos alunos conhecem as leis a serem descobertas e, assim, estariam aptos a orientar a observação dos alunos. Essa ideia chegou a ser proposta por uma metodologia chamada de redescoberta orientada; nesse caso, porém, a viabilidade desse procedimento deixa de ser de natureza epistemológica e passa a ser pedagógica ou psicológica.

Em outras palavras, para saber se é possível que o aluno “redescubra” a ciência por meio de material instrucional com apoio do professor, é preciso saber como a aprendizagem se processa em nosso cérebro e se nossas estruturas mentais possibilitam ou não essa redescoberta. Por isso, vamos apresentar a seguir uma síntese da teoria de Jean Piaget, um dos poucos pedagogos que se preocupou em entender o funcionamento do cérebro humano.