

efetivamente dificultam e desestimulam o emprego de atividades experimentais, independentemente das dificuldades estruturais ou do despreparo dos professores. Assim, o início deste trabalho será dedicado a uma abordagem crítica da origem e das características desses obstáculos.

Capítulo 1 – A prática experimental no ensino de Física: do ensino tradicional às primeiras iniciativas inovadoras

Inicialmente, faremos um breve resumo da história do emprego da experimentação no ensino de Física. Nossa abordagem se apoiará em dois livros didáticos do físico francês Adolphe Ganot²: *Traité de Physique, Cours de physique purement expérimentale et sans mathématiques* (Tratado de Física: curso de Física puramente experimental e sem matemática) e *Cours de physique purement expérimentale: à l'usage des personnes étrangères aux connaissances mathématiques* (Curso de Física puramente experimental para uso de pessoas sem conhecimentos matemáticos). Publicados inicialmente na França em meados do século XIX, foram traduzidos para inúmeras línguas,

² Um relato sobre Adolphe Ganot (1804-87), sua obra e sua influência no ensino de Física em todo o mundo é apresentado, em francês, no artigo *Un siècle de physique à travers un manuel à succès: le traité de physique de Ganot*. (Um século de Física através de um livro de sucesso: o tratado de Física de Ganot), de Françoise Kharhne-Langlois. Disponível em: <http://www.societechimiquefrance.fr/IMC/pdf/Langlois_Ganot_SFC_2006.pdf>. Acesso em: 13 maio 2014.

inclusive o português, e adotados em muitos países até as primeiras décadas do século XX.

O início do ensino experimental

A ênfase dada por Adolphe Ganot à abordagem experimental baseava-se na apresentação e descrição de equipamentos de demonstração (veja a figura abaixo). Era desse modo que se desenvolviam costumeiramente as atividades experimentais em todo o mundo, desde o início do século XIX até pelo menos o final dos anos 1950 (a razão desse marco temporal será apresentada logo adiante).

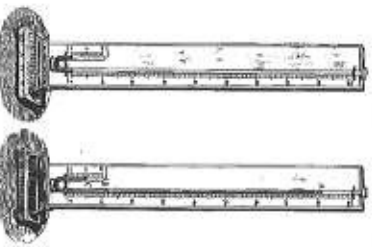
PLATEAU FIGURE 6.



Un poids est en effet un petit cube de plomb, qui est équilibré sur un point fixe de la base de la tige. Tout que le cube est placé d'un côté, ou de l'autre, le ressort s'élève, et la tige se redresse jusqu'à ce qu'elle soit perpendiculaire au plan horizontal. Mais si, au lieu de le placer sur le point fixe, on le place sur un autre point fixe, on voit que le cube se redresse, et que la tige se redresse jusqu'à ce qu'elle soit perpendiculaire au plan horizontal. Mais si, au lieu de le placer sur le point fixe, on le place sur un autre point fixe, on voit que le cube se redresse, et que la tige se redresse jusqu'à ce qu'elle soit perpendiculaire au plan horizontal.

138

essest d'ailleurs pas exact. Le poids devient donc, non pas un cube, mais un cylindre de la même hauteur que le cube, et de la même largeur que le cube.



Tudo de mais para demonstrar a lei da conservação da quantidade de movimento. O peso do bal de mercúrio. Para demonstrar como se comporta a luz quando é refletida por um espelho côncavo, e como se comporta quando é refletida por um espelho convexo. O peso do bal de mercúrio para demonstrar a lei da conservação da quantidade de movimento.

Duas páginas do livro *Cours de physique purement expérimentale à l'usage des personnes étrangères aux connaissances mathématiques*, de Adolphe Ganot, publicado em 1859. Na figura da página da esquerda, em um tubo de vidro onde o ar está rarefeito (vácuo), há

uma pena e uma moeda que caem juntas sempre que ele é virado de cabeça para baixo. Na primeira figura da página da direita, em um tubo encurvadado, aberto em uma das extremidades, coloca-se mercúrio até que ele atinja o mesmo nível nos dois ramos; em seguida, acrescenta-se mais mercúrio no ramo aberto - desse modo, pode-se verificar a relação entre o volume de ar ou gás aprisionado no ramo fechado do tubo (BC) e a pressão sobre ele exercida, medida por meio da altura da coluna de mercúrio (AC).

Essas figuras ou outras muito similares ilustram a maioria dos livros didáticos de Física da época. Elas consistem, basicamente, na representação dos equipamentos de demonstração apresentados pelos professores aos alunos em sala de aula durante a realização das atividades experimentais. Alguns desses equipamentos, como o que aparece à direita na reprodução das páginas do livro de Ganot, possibilitavam a realização de medidas e, portanto, de atividades quantitativas; outros, talvez a maioria, como o que se vê à esquerda, permitiam apenas abordagens qualitativas e conceituais.

Laboratórios de Física quase nunca existiam, pois a maior parte dos aparelhos de demonstração podia ser levada à sala de aula. Os equipamentos eram construídos artesanalmente e em dimensões suficientemente grandes para que pudessem ser vistos a distância - o que os tornava muito caros. Por isso, poucas escolas podiam dispor de um acervo significativo deles.

O uso de equipamentos de demonstração, apresentados e operados pelo professor, era a prática didática praticamente exclusiva na maioria das escolas naquela época e parte integrante de um modelo de ensino que, em pedagogia, se costuma chamar de *ensino tradicional*. Ele apresenta três características básicas:

- O professor detinha a autoridade do saber: *magister dixit*;
- o aluno se mantinha em atitude passiva: dele se exigia exclusiva e/ou preferencialmente a memorização e a reprodução das palavras do professor ou do livro didático;
- privilegiava-se o cumprimento do currículo, que obedecia a uma sequência de conteúdos consagrada pelos próprios livros didáticos ou imposta a eles e às escolas por regulamentações oficiais.

As críticas da Escola Nova

A prática pedagógica descrita acima sofreu fortes críticas de filósofos e pedagogos, sobretudo no início do século XX. Tais críticas eram formuladas por adeptos do movimento da chamada *Escola Nova*.

A proposta central desse movimento era fazer do aluno um participante ativo na aquisição do próprio conhecimento, opondo-se, assim, à passividade que lhe era imposta no ensino tradicional. Para isso, a escola deveria adaptar-se à criança, respeitar seus interesses e necessidades individuais, sem impor a aquisição das mesmas competências e a aprendizagem dos mesmos conteúdos a todas elas.

Esse movimento se iniciou em alguns países da Europa no final do século XIX e se fortaleceu na primeira metade do século XX, tanto na Europa quanto nos Estados Unidos e no Brasil. Em nosso país, em 1932, mais de vinte intelectuais,

liderados pelo educador e sociólogo Fernando de Azevedo (1894-1974), publicaram o Manifesto dos Pioneiros da Educação Nova. Desse manifesto, no tópico relativo ao “conceito e os fundamentos da educação nova”, destacamos esta citação, que sintetiza bem a concepção pedagógica desse movimento e suas críticas ao ensino tradicional, dominante na época:

Nessa nova concepção da escola, que é uma reação contra as tendências exclusivamente passivas, intelectualistas e verbalistas da escola tradicional, a atividade que está na base de todos os seus trabalhos é a atividade espontânea, alegre e fecunda, dirigida à satisfação das necessidades do próprio indivíduo. Na verdadeira educação funcional deve estar, pois, sempre presente, como elemento essencial e inerente à sua própria natureza, o problema não só da correspondência entre os graus do ensino e as etapas da evolução intelectual fixadas sobre a base dos interesses, como também da adaptação da atividade educativa às necessidades psicobiológicas do momento.

O que distingue da escola tradicional a escola nova não é, de fato, a predominância dos trabalhos de base manual e corporal, mas a presença, em todas as suas atividades, do fator psicobiológico do interesse, que é a primeira condição de uma atividade espontânea e o estímulo constante ao educando (criança, adolescente ou jovem) a buscar todos os recursos ao seu alcance, “graças à força de atração das necessidades profundamente sentidas”.

3 “O mestre disse”, em latim, expressão antiga, popularizada pelos comentaristas medievais de Aristóteles, para quem a opinião de seu mestre não admittit réplica.

É certo que, deslocando-se por esta forma, para a criança e para os seus interesses, móveis e transitórios, a fonte de inspiração das atividades escolares, quebra-se a ordem que apresentavam os programas tradicionais, do ponto de vista da lógica formal dos adultos, para os pôr de acordo com a "lógica psicológica", isto é, com a lógica que se baseia na natureza e no funcionamento do espírito infantil."

(Disponível em: <<http://www.pedagogiaemfoco.pro.br/heb07a.htm>>. Acesso em: 13 maio 2014.)

Essas críticas, no entanto, logo perderam força. A nosso ver, isso se deveu, em primeiro lugar, ao fracasso de todas as iniciativas educacionais propostas e efetivadas por esse movimento. A ineficiência se deveu sobretudo à crença ingênua de que os alunos buscariam espontaneamente a aquisição de conhecimentos; como, em geral, isso não ocorria, ou ocorria sem o empenho e a persistência exigidos pelo ensino tradicional, seus resultados eram flagrantemente inferiores aos obtidos nas escolas tradicionais.

Em segundo lugar, porque as práticas tradicionais foram então consideradas responsáveis pelo extraordinário avanço da ciência e da tecnologia ocorrido naquela época. De fato, a Física, em particular, conheceu a mais extraordinária revolução de sua história nas três primeiras décadas do século XX. Nesse período, foram formuladas as teorias da relatividade e da mecânica quântica, que transformaram radicalmente a nossa compreensão da natureza e resultaram no advento de uma nova era tecnológica, cujos resultados ainda hoje continuam a nos surpreender. E todas essas conquistas foram

atribuídas ao trabalho de centenas de cientistas que, afirmava-se, aprenderam o que sabiam frequentando escolas em que se adotava o ensino tradicional.

O impacto do Sputnik

No início da segunda metade do século XX, uma extraordinária conquista científica e tecnológica fez ruir toda essa confiança no ensino tradicional, ao menos no mundo ocidental: a então União Soviética (URSS) lançou o Sputnik, primeiro satélite artificial da Terra. Fazia doze anos que a Segunda Guerra Mundial havia terminado, deixando o mundo dividido em dois grandes blocos - o capitalista, liderado pelos Estados Unidos, e o comunista, liderado pela URSS -, que disputavam a hegemonia mundial. O período em que prevaleceu essa disputa foi chamado de Guerra Fria.

A partir do momento em que os Estados Unidos lançaram duas bombas atômicas sobre o Japão, precipitando dramaticamente o final da Segunda Guerra Mundial, em 1945, ficou evidente para cientistas e analistas políticos que a supremacia científica e tecnológica seria decisiva para a conquista da hegemonia mundial.

De início, essa supremacia pareceu pertencer aos Estados Unidos, único país detentor da bomba atômica. Em 1949, porém, tal avaliação passou a ser questionada, pois a URSS demonstrou também possuir a bomba, testando-a em Semipalatinsk (no Cazaquistão). A disputa deslocou-se então para a construção de foguetes de longo alcance, chamados na época de intercontinentais.

A capacidade de construir esse tipo de foguete era essencial para tornar efetiva a ameaça de um ataque a longa

distância, por meio do lançamento de bombas atômicas ou de bombas de hidrogênio⁴. O lançamento do Sputnik tornou inequívoca a capacidade dos soviéticos - daí o extraordinário destaque dado pela imprensa norte-americana a esse acontecimento (veja na fotografia abaixo). A passagem desse satélite sobre o território dos Estados Unidos gerou pânico em grande parte da população desse país, e foi difícil para as autoridades norte-americanas tranquilizar seus cidadãos, já que era preciso, por um lado, convencê-los de que satélites artificiais não poderiam ser usados como arma de guerra e, por outro, prometer-lhes que em poucos meses o país lançaria seu próprio satélite.



Capa da edição do jornal americano *The New York Times*, de 5 de outubro de 1957, a manchete, com destaque excepcional na época, diz: **SOVIÉTICOS LANÇAM SATELITE NO ESPAÇO. ELE ESTÁ CIRCULANDO EM TORNO DO GLOBO A 18.000 MPH (MILHAS POR HORA); ESFERA RASTREADA EM 4 TRAVESSIAS SOBRE OS EUA.**

4 As bombas de hidrogênio são centenas de vezes mais potentes do que as armas atômicas que foram lançadas sobre Hiroshima ou Nagasaki. Na década de 1950, oficialmente só os Estados Unidos dispunham da bomba de hidrogênio, mas já se sabia da possibilidade de a URSS possuir também a sua, o que veio a se confirmar em 1961.

Não é difícil imaginar o inconformismo das autoridades norte-americanas com o atraso tecnológico do seu país em relação à União Soviética, ao menos – ou principalmente – quanto à construção de foguetes de longo alcance. Na busca das causas desse atraso, da correção de rumos para saná-las e da recuperação da liderança perdida, levou-se em conta também a ineficiência do ensino de Ciências nas escolas norte-americanas, ainda orientado pelas práticas pedagógicas tradicionais.

O PSSC, um novo projeto de ensino

Já vimos que as críticas mais duras a esse ensino – a ênfase na memorização dos conceitos científicos (em vez de sua compreensão) e a ausência da prática experimental em sala de aula (centrada na observação passiva dos alunos de demonstrações experimentais realizadas pelo professor) - não eram novas: apenas renasciam na época. Desde 1956 - isto é, um ano antes do lançamento do Sputnik -, uma comissão formada por renomados físicos norte-americanos, o Physical Science Study Committee (PSSC)⁵, havia iniciado estudos visando à reformulação do ensino de Física nos EUA.

É difícil saber se a formação dessa comissão se originou da insatisfação desses cientistas com o ensino tradicional ou se ela decorreu de uma antecipada constatação do governo norte-americano, via espionagem, de seu atraso tecnológico em relação aos soviéticos. O fato é que o impacto do Sputnik no trabalho e no apoio a esses pesquisadores foi enorme:

5 Na época, foram criadas nos Estados Unidos mais três comissões, destinadas ao ensino de química (CBAC), biologia (BSCS) e matemática (MSG).

Em 1957, depois de a União Soviética lançar com sucesso o *Sputnik*, disseminou-se nos Estados Unidos o medo de que as escolas americanas estivessem perigosamente atrasadas no ensino de ciências. Em resposta à essa percepção da ameaça soviética, o governo dos EUA aumentou os recursos da National Science Foundation (Fundação Nacional da Ciência) em apoio aos objetivos do PSSC.

MIT Institute Archives & Special Collections; Physical Science Study Committee, 1956, in <http://libraries.mit.edu/archives/exhibits/pssc/> (acesso em 15/4/2014)

Após quatro anos de trabalho, essa comissão publicou um livro texto, primeiramente nos Estados Unidos (1960) e, mais tarde, em inúmeros países, inclusive no Brasil (veja as fotografias abaixo). Além do livro texto, que no prefácio é chamado de “alma do curso”, a proposta incluía:

[...] um guia de laboratório e um conjunto de aparelhos modernos e baratos, um grande número de filmes e testes padronizados; uma série crescente de publicações preparadas por expoentes nos respectivos campos e um extenso livro do professor.

(PSSC. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1963. v. 1, p. 7.)

Em síntese, o plano do PSSC estava centrado, de um lado, em uma nova proposta curricular de Física e, de outro, no entendimento de que o aluno só poderia aprender ciência

por si a partir da atividade experimental, como estava dito no prefácio do guia de laboratório incluído no texto básico: “As ideias, os conceitos e as definições só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências”. Ainda nesse prefácio, afirma-se que a realização dessas experiências dariam ao aluno a possibilidade de simular o papel do cientista na descoberta da ciência:

Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista.

(Op. cit, p. 213.)



Capa da edição publicada no Brasil, em 1966, do livro texto do PSSC, Parte III.

Fig. 20. Como é feita a construção dos aparelhos para a medição da velocidade da luz por meio do método de Foucault. O aparelho é constituído por um espelho giratório e um espelho fixo. A luz é emitida por uma fonte luminosa e reflectida pelo espelho giratório, depois pelo espelho fixo, e regressa ao espelho giratório, que se encontra em movimento. A diferença de percurso da luz é medida pelo deslocamento da imagem da fonte luminosa no espelho giratório.

$$v = \frac{2L}{\Delta t} = \frac{2L}{\frac{\Delta \theta}{\omega}} = \frac{2L\omega}{\Delta \theta}$$

Fig. 21. A velocidade da luz pode ser medida por meio do método de Michelson. O aparelho é constituído por um espelho giratório e um espelho fixo. A luz é emitida por uma fonte luminosa e reflectida pelo espelho giratório, depois pelo espelho fixo, e regressa ao espelho giratório, que se encontra em movimento. A diferença de percurso da luz é medida pelo deslocamento da imagem da fonte luminosa no espelho giratório.

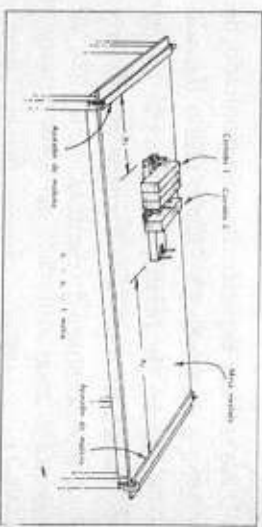


Fig. 21

Voltando ao método de Michelson, o aparelho é constituído por um espelho giratório e um espelho fixo. A luz é emitida por uma fonte luminosa e reflectida pelo espelho giratório, depois pelo espelho fixo, e regressa ao espelho giratório, que se encontra em movimento. A diferença de percurso da luz é medida pelo deslocamento da imagem da fonte luminosa no espelho giratório.

III - 3 - O Cavalo e o Tigre.

Que sentido quer dizer com esse título? O cavalo e o tigre são animais que vivem em ambientes diferentes. O cavalo vive em ambientes terrestres e o tigre vive em ambientes aquáticos. O título sugere uma comparação entre os dois animais.

Página do Guia de Laboratório que acompanha o livro.

Pode-se afirmar que essa proposta tinha dois pressupostos pedagógicos básicos:

- I) um novo currículo: a apresentação dos conteúdos para o ensino de determinada ciência deveria obedecer à sequência lógica dessa ciência, e caberia aos especialistas na disciplina decidir qual seria essa sequência. Tais ideias eram inspiradas nas pesquisas do pedagogo norte-americano Jerome Bruner, autor

de *O processo da educação*⁶ (um dos textos básicos da educação em Ciências da segunda metade do século XX);

- II) uma nova forma de apresentação dos conteúdos: essa orientação baseou-se exclusivamente nas intuições ou crenças pedagógicas dos físicos que lideravam a comissão. Para eles, todo o conteúdo apresentado na proposta do PSSC deveria basear-se firmemente na experimentação. Ou seja, abstrações expressas por meio de fórmulas e gráficos deveriam ser sempre precedidas de observações concretas.

Havia, por parte dessa liderança, a convicção de que, por meio da realização de atividades experimentais previamente planejadas, os alunos seriam capazes de redescobrir as leis da Física, como se afirma ainda no prefácio, com surpreendente e ingênua confiança (op. cit. p. 8.):

Com aparelhamento simples de laboratório, os estudantes descobrem a lei do movimento de Newton.

Por essa razão, essa proposta pedagógica tornou-se conhecida como método da redescoberta.

Resultados decepcionantes e novos projetos

Apesar de ter mobilizado por mais de quatro anos algumas centenas de pessoas, na maior parte professores de Física

6 Publicado no Brasil pela Companhia Editora Nacional, em 1968.

de colégios e universidades norte-americanas⁷, os resultados do PSSC não foram animadores nem nos EUA nem nos demais países em que foi aplicado - em poucos anos foi abandonado em todos eles, inclusive no Brasil.

Aqui, os textos foram editados no início da década de 1960 pela Editora Universidade de Brasília, e o material experimental, produzido pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências (Funbec). Essa empresa, criada em São Paulo em 1966, funcionava inicialmente no *campus* da Universidade de São Paulo (USP), e tinha na produção desses equipamentos sua principal atividade.

A aplicação do projeto do PSSC no Brasil, no entanto, foi muito restrita: limitou-se a poucas escolas em poucos estados, nas quais lecionavam os também poucos professores que dele tomaram conhecimento e que se sentiam capazes de colocá-lo em prática.

Apesar de seu breve tempo de vida, pode-se dizer que as contribuições do PSSC à melhoria do ensino de Física nos países em que foi adotado foram bastante relevantes. A primeira dessas contribuições, de consequências quase imediatas, foi a introdução de um modo de ensinar Física diferente do tradicional, que predominava havia mais de um século. Além disso, as mudanças propostas no projeto norte-americano desencadearam um saudável movimento de renovação do ensino de Ciências, sobretudo de Física, com o surgimento de outros projetos semelhantes.

O primeiro deles foi o Projeto Harvard (Harvard Project Physics), lançado em 1975, precedido de uma versão inicial

em 1970. De acordo com a apresentação do seu texto básico, o Projeto Harvard era composto de

[...] uma grande variedade de materiais de aprendizagem, entre os quais o livro texto é apenas um; existem ainda as coletâneas de textos, manuais de atividades, guias para o professor, livros de instrução programada, filmes sem-fim 'loop', filmes de 16 mm, transparências, aparelhos e livros de teste.

(HOLTON, G.; RUTHERFORD, F. J. e FLETCHER, G. W. *Projeto Física*, unidade 4. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1985, p. XI.)

Apesar das semelhanças com o PSSC, o Projeto Harvard dava menos ênfase à experimentação e adotava um enfoque humanista, explícito em um de seus objetivos expostos nessa apresentação:

Ajudar os alunos a verem a Física como uma atividade com muitas facetas humanas. Isto significa apresentar o assunto numa perspectiva cultural e histórica, e mostrar que as ideias da Física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudança evolutivos.

(Op. cit, p. X.)

⁷ No último ano de testes do projeto, no período escolar de 1959-1960, foram enviadas quase seiscentas escolas e 25 mil alunos.

⁸ Tratava-se de pequenos cartuchos contendo filmes de curta duração que se repetiam continuamente; para a sua exibição era necessário um equipamento de projeção especial.

Outro projeto importante, não traduzido para o português, foi o The Nuffield Physics Project, desenvolvido pela Fundação Nuffield, sediada na Inglaterra. Alguns afirmam que o Nuffield foi uma espécie de resposta inglesa ao PSSC, não adotado no Reino Unido. Como o PSSC, o Nuffield também foi elaborado por uma grande equipe de físicos, mas havia educadores que os assessoravam e que influenciaram no seu desenvolvimento. Seu enfoque era um pouco diferente do que prevalecia no projeto norte-americano: dar ao aluno uma formação básica que o tornasse “quase um físico”, privilegiando uma abordagem voltada para o conhecimento futuro, como explicava o seu prefácio:

A Física, e com ela o mundo, está mudando tão rapidamente que ninguém pode prever quais capítulos da Física serão utilizados dentro de, digamos, dez anos. Mas estamos inteiramente seguros de que há algumas ideias básicas que serão mais apropriadas para os novos problemas de amanhã. Procuramos basear este curso no que acreditamos que serão essas ideias.

(BLACK, P. J. e OGBORN, J. *Ciências avançadas Nuffield*, Livro del alumno, unidade 7. Barcelona: Editorial Reverté, 1975, p. 2. Tradução do autor)

No Brasil, o PEF

No Brasil, nessa mesma época foi criado o Projeto de Ensino de Física (PEF), iniciativa do Instituto de Física da USP

em convênio com duas instituições ligadas ao Ministério da Educação e Cultura (MEC): Fundação Nacional de Material Escolar (Fename) e Programa de Expansão e Melhoria do Ensino (Premen). O PEF compunha-se de um texto básico, apresentado em quatro conjuntos de fascículos – Mecânica 1, Mecânica 2, Eletricidade e Eletromagnetismo –, acompanhado de um material experimental e de guias do professor. Tendo em vista a realidade brasileira, os fascículos tinham preço acessível e incluíam o material experimental. Pela mesma razão, optou-se por apresentar textos suplementares incluídos no texto básico.

Como se lê na apresentação do seu primeiro fascículo, *Mecânica 1*, o PEF contou, para a sua elaboração, com “uma equipe de cientistas (pesquisadores de Física nuclear) e de professores com larga experiência no ensino médio e universitário, além de programadores visuais e jornalistas”. Não havia pedagogos na equipe, mas muitos de seus membros cursavam na época o recém-criado mestrado em ensino de Ciências (modalidade Física), programa conjunto do Instituto de Física e da Faculdade de Educação da USP. A concepção pedagógica que se infere do projeto reside no estímulo à postura ativa e individual do aluno, na crença na validade do método científico⁹ e na convicção de que a atividade experimental é essencial para a compreensão dos conceitos físicos, como se lê na sua apresentação:

[...] a parte experimental do PEF é integrada no curso, sendo praticamente impossível seguir o texto sem realizar as experiências lá especificadas. Assim, o equipamento experimental não deve ser encarado

⁹ Referimo-nos à sua forma tradicional, descrita na página 37.

como um apêndice acessório ao texto, mas como parte integrante do curso, sem o qual ele fica mutilado.

(HAMBURGER, E. e MOSCATI, G. *Mechânica 1*. Rio de Janeiro: Fename, 1974.)

Apesar do cuidado com que foram elaborados os guias, do professor se pedia e se esperava muito pouco. O estímulo à interação individual do aluno com o material era explícito, como mostram estas recomendações iniciais dadas ao estudante:

Elaboramos este curso para que você possa aprender Física de um modo *ativo*. Isto significa que você vai realizar experiências, analisar e discutir os resultados obtidos, responder a perguntas e resolver problemas.

[...]

1. Você pode trabalhar sozinho ou então em pequenos grupos de até 5 alunos. Mesmo trabalhando em grupo, é importante que você faça as tarefas sozinho, para que aprenda melhor.

2. Leia o texto com atenção, tentando responder sozinho a cada uma das questões [...].

3. *Depois de responder a cada questão, discuta com os seus colegas se a resposta está correta e por quê.*

4. O professor, ou o próprio texto, indicará o momento em que você deve comparar sua resposta com as respostas corretas [...].

(Op. cit, s/n.)

Os termos destacados em itálico são originais, os trechos sublinhados são nossos. Todos evidenciam a função orientadora, não essencial, reservada ao professor na concepção do projeto - o aluno trabalhando sozinho aprenderia melhor e, até para essa função orientadora, o professor podia ser dispensado, bastando ao aluno recorrer ao próprio texto.

Novos fracassos: suas causas

Assim como ocorreu com o PSSC, todos os projetos nele inspirados tiveram curta duração e seus resultados foram igualmente decepcionantes.

Com exceção de algumas causas específicas que afetaram o desempenho do PEF - a ineficiente distribuição do material, a má qualidade dos kits experimentais e a dificuldade de obtenção dos guias do professor, entre outros -, pode-se afirmar que, das muitas causas às quais se deve o fracasso de todas essas propostas inovadoras, duas foram fundamentais.

A primeira delas, até hoje recorrente, foi o alheamento, por parte daqueles que formularam as propostas, da realidade educacional para a qual elas eram destinadas. Nos quatro projetos aqui descritos, as propostas pedagógicas foram formuladas por físicos até então dedicados exclusivamente à pesquisa (na época, quase todos eram físicos nucleares).

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 – construídas 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

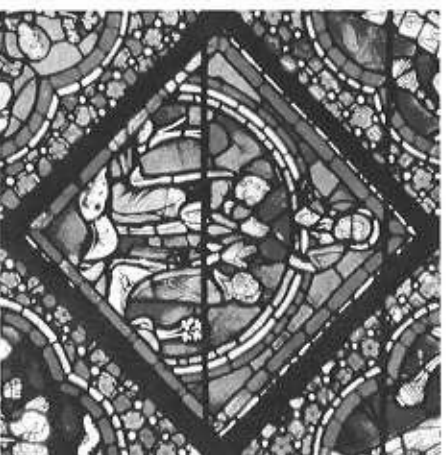
O primeiro exemplo, talvez o mais surpreendente, seja a afirmação de Aristóteles (século IV a.C.), em seu livro *Meteorológica*, de que o arco-íris tem apenas três cores:

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/meteorology.3.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, Ganímedes, 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: Calisto, Ganímedes, Io 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 satisfez 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:

a. Ori. * * * * * Occ.

b. Ori. * * * * * Occ.

Representações gráficas originais de Galileu da posição dos 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 Cammenetzki, publicada pela Editorial Duetto, 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 passaram 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 preconceções. 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 entusiasmadamente 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 descobre 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 Segrè¹⁴.

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 Segrè (1905-1989) consagrou-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 ricocheteado!

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 alta. 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 articularam 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, consistia-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, causava 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 Emílio 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, Emílio. 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, obteve-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 ao 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.



Replica 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 elogiar-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.