

# Estudo da simetria de translação e de suas conseqüências: uma proposta para o ensino médio

(*Study of the translation symmetry and its implications: a proposal for High School teaching*)

F. Caruso<sup>1</sup>

*Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*  
*Instituto de Física Armando Dias Tavares, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*  
Recebido em 26/3/2007; Revisado em 24/3/2008; Aceito em 12/6/2008; Publicado em 18/9/2008

Neste artigo discute-se a importância de se explorar o conceito de simetria no programa de física básica do ensino médio. A partir do exame de um conjunto significativo de livros didáticos de física, constata-se que nenhuma alusão é feita à idéia de simetria e ao papel deste conceito no desenvolvimento da ciência. Argumenta-se que, do ponto de vista pedagógico, não há qualquer tipo de impedimento a que se fale de simetria para alunos do ensino médio. Discute-se, a partir daí, a importância do ensino do conceito geral de simetria nesse nível de escolaridade e apresentam-se três situações, como proposta de uma primeira abordagem concreta do problema, envolvendo a relação entre o movimento retilíneo uniforme e a simetria de translação, vista sob vários aspectos. **Palavras-chave:** simetria de translação, livro didático, física conceitual.

In this paper the relevance of exploring the concept of symmetry in a high school physics course is stressed. A review of a significative set of Brazilian teaching books led to the conclusion that there is no reference to the idea of symmetry and its rôle in science development. It is argued that there is no psico-pedagogical constraint of any type that prohibit to talk about symmetry to students at this level. Then, it is discussed how teaching the general concept of symmetry at this school level is important and a first specific proposal is made: the relation between uniform rectilinear movement and translation symmetry.

**Keywords:** translation symmetry, textbook, conceptual physics.

## 1. Introdução

*Simetria* (do grego *συμμετρία*, que significa originalmente “algo com medida”), não é apenas um conceito estético ou matemático. Desde os primórdios da física, na Grécia Antiga, considerações de simetria têm-se demonstrado uma ferramenta muito poderosa e útil (quase indispensável) para a compreensão e a explicação racionais da natureza. Além disto, argumentos de simetria vêm se constituindo, gradualmente, ao longo de toda a história da física, e com particular destaque no século XX, em um dos principais pilares da formulação teórica das leis físicas. Esta afirmativa é corroborada pelo que disse uma vez Steven Weinberg:

Da fusão da relatividade com a mecânica quântica resultou uma nova visão do mundo, onde a matéria perdeu seu papel central. Este papel foi usurpado por princípios de simetria, alguns deles ocultos à visão no presente estado do Universo. [1]

Já Hill e Lederman [2] afirmam que a “simetria controla a física de modo extremamente profundo e isto é a lição mais importante do século XX”.

Apesar desta marcante mudança epistemológica, ocorrida há mais de 75 anos, o ensino de física continua estruturado a partir do programa mecanicista newtoniano, onde a *matéria* desempenha uma papel central, ao lado do conceito de força.

Assim como cabe aos pesquisadores desvelarem os princípios de simetria ainda ocultos na natureza, na busca de um entendimento maior do Universo, deve caber ao professor de ensino médio uma tarefa de certa forma análoga: fazer ver ao aluno o quanto mesmo a física básica, objeto de seu estudo, também oculta conceitos de simetria, de cuja compreensão depende um aprendizado mais amplo e profundo da própria física. Aceito isto, as perguntas que inevitavelmente se seguem são: Por que isto não é feito? Por que deve ser feito? Como fazê-lo? Este artigo dedica-se a abordar estas três questões.

Na seção 2, analisa-se, ainda que resumidamente, o

<sup>1</sup>E-mail: caruso@cbpf.br ou francisco.caruso@gmail.com.

conteúdo de uma amostragem pequena, mas significativa, de livros didáticos de física para o ensino médio no Rio de Janeiro, buscando identificar exemplos que tratem com algum destaque o problema das simetrias. Argumenta-se, na seção 3, que não há absolutamente qualquer tipo de impedimento quanto ao ensino e à aprendizagem de noções de simetria na faixa etária característica deste nível de escolaridade. Na seção 4, apresentam-se os argumentos a favor da abordagem de conceitos de simetria já neste segmento, discutindo-se suas implicações genéricas e específicas. O exemplo escolhido para se dar início a esta tarefa – *o movimento retilíneo e a simetria de translação* – é apresentado e justificado na seção 5. Por fim, na seção 6, os comentários finais.

## 2. O livro didático de física: origens de um problema

Atualmente, como os PCNs tratam de temas muito gerais, o conteúdo programático específico de física (assim como o das demais disciplinas a serem ministradas nas escolas de ensino médio) tem, na prática, sua determinação e detalhamento em duas fontes: o exame vestibular e o livro didático. Destacamos, nesta seção, que ambos estabelecem não somente o *que* mas também o *como* se deve ensinar e aprender nesta etapa da escolarização.

No caso da física, conceitos fundamentais, como *espaço*, *tempo*, *simultaneidade*, *massa* e *força*, são freqüentemente tratados com extrema superficialidade, visando apenas a definição de outras grandezas “úteis”, como se estes conceitos fossem extrínsecos à física, sem qualquer relação direta com a sua evolução; como se pudéssemos negar que cada um deles tem uma longa história dentro desta ciência. Com esta forma de apresentá-la, a física perde todo seu encanto e reduz-se, tristemente, às dificuldades matemáticas e ao pragmatismo da resolução de problemas a partir de exemplos repetitivos e aplicações diretas de formulários.

O exame vestibular é um conjunto de provas que se propõe a avaliar conhecimentos e habilidades adquiridos pelo aluno durante seu curso de nível médio, cobrindo uma quantidade exagerada de assuntos de cada matéria. Este exame, atualmente, é de responsabilidade de cada universidade ou, em alguns casos, de um grupo delas formado exclusivamente para essa finalidade. Cada exame é elaborado e aplicado de acordo com a ênfase pedagógica da universidade. Os editais desses concursos ainda geram, nas escolas, uma tendência utilitarista, voltada para a obtenção de um alto índice de aprovação de seus alunos no vestibular. Criaram-se, então, mecanismos de preparação específica a cada um dos exames, que nada mais são do que formas de adestramento para solução de provas. Talvez o mais triste ícone desta tendência seja a lastimável *apostila de cursinho*, a qual, segundo seus

defensores, integra uma “metodologia de ensino”. Esta tendência, inegável, ainda que indireta, é um dos motivos de um duplo condicionamento externo imposto ao ensino médio: o conteúdo programático e o modelo específico de avaliação vigente nos vestibulares.

Outro fator determinante dos currículos do ensino médio acaba sendo os livros didáticos, que, em geral, balizam o conteúdo do curso, sua ênfase pedagógica e a ordenação em que seus tópicos devem ser ministrados. Claro está que há uma íntima relação entre esses dois determinantes: o vestibular e o livro didático. Basta ver como proliferam os livros de coletâneas de questões de Vestibulares por todo o país. Além disto, por um lado, há de se considerar o poder empresarial das editoras, que influencia significativamente a escolha dos livros a serem adotados nas escolas, aliado ao despreparo e à inevitável grande dificuldade encontrada por grande parte dos professores para fazer uma escolha criteriosa do livro a adotar [3]. Por outro lado, com a mesma intensidade, a manutenção do *status quo* do modelo de vestibular (que, infelizmente, ainda estimula o adestramento do aluno, em detrimento da elaboração de seu raciocínio e criatividade) valoriza o tipo de livro voltado para a aprovação no vestibular. Cria-se, portanto, praticamente um impasse que impede, ou pelo menos dificulta muito, a reforma do conteúdo das disciplinas de ensino médio. Por último, mas não menos importante, há de se considerar que muitas vezes o professor é fortemente dependente do livro, repassando seu conteúdo de forma mecânica [3].

Em nossa opinião, cabe às universidades romper este ciclo vicioso; seja através de seus cursos de licenciatura (e não pelas mãos de suas comissões de vestibular), formando novos professores capazes de discutir criticamente o currículo e os livros de texto voltados para o ensino médio [3-6], seja através de seus Colégios de Aplicação (CAPs), os quais deveriam atuar como verdadeiros laboratórios didáticos em sintonia com a reforma dos cursos de Licenciatura e com os PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais. Esta é, sem dúvida, uma das questões mais relevantes para a melhoria da qualidade do ensino básico, mas, discuti-la aqui foge em muito ao escopo do presente trabalho.

Nosso objetivo neste trabalho limita-se apenas a propor a inserção do conceito de simetria no programa de física do ensino médio, esperando que esta proposta sirva como motivação para que outros conceitos basilares, como os anteriormente mencionados, possam ser igualmente abordados neste nível de escolaridade. Este nos parece um ponto importante, pois estamos convencidos de que a discussão de tais conceitos - à primeira vista, compreendidos pelo senso comum - é continuamente postergada, inclusive na universidade, até que, em um dado momento, se diz ao aluno: “isso você já deveria saber”. E esta não é uma tendência verificada apenas no Brasil. De fato, como testemunham Hill e Lederman [2],

até mesmo uma amostra do papel crucial que a simetria desempenha na física é completamente omitida no ensino voltado para alunos iniciantes, tanto no currículo do ensino médio, quanto no ensino básico dos primeiros cursos universitários, baseados no Cálculo. Ele [o papel da simetria] não aparece sequer no *National Science Education Standards*.

Um exemplo claro, que sintetiza esta tendência, pode ser encontrado na introdução ao primeiro capítulo do famoso livro de mecânica clássica de Goldstein [7], normalmente utilizado no terceiro ano da graduação em física:

Há um número de conceitos físicos fundamentais em qualquer apresentação da mecânica, tais como espaço, tempo, simultaneidade, massa e força. Ao discutir a teoria da relatividade especial, as noções de simultaneidade e de tempo e escalas de comprimentos serão brevemente examinadas. Na maior parte restante, no entanto, esses conceitos não serão analisados aqui criticamente; ao contrário, serão tratados como termos indefinidos cujos significados são familiares ao leitor.

De volta aos livros didáticos de ensino médio, analisamos alguns volumes referentes à mecânica, buscando encontrar referência explícita ao estudo das simetrias. Excetuando-se o v. 1 da coleção de física de Gaspar [8], no qual se encontra a descrição do pêndulo múltiplo, em que o autor sugere uma explicação baseada na idéia de simetria, não obtivemos sucesso. Nossa análise foi além de alguns livros aprovados pelo PNLEM – Programa Nacional do Livro para o ensino médio – por entender que, embora este seja um esforço notável e necessário, vários outros livros, que não constam da lista dos considerados adequados, continuam sendo vendidos e adotados. Além disto, não pretendemos ignorar como a física tem sido ensinada, antes da criação do PNLEM, em 2004. Dadas as suas características diversas, podemos citar [9-11]: *Curso de Física* de autoria de Máximo e Alvarenga (1992); *Física para o 2º Grau*, de Guimarães e Fonte Boa (1994); *Fundamentos da Física*, de Ramalho *et al.* (1989). Os motivos desta escolha ficarão evidentes a seguir.

O livro *Curso de Física* [9] tem características importantes que o tornam um bom livro de texto: sua parte teórica é extensa, discute os conceitos e acrescenta ao conteúdo específico textos relativos à história da física. Oferece também sugestões de experimentos possíveis de serem realizados em casa ou em sala de aula com um bom número de exercícios. Este livro, embora tenha a sua qualidade amplamente reconhecida (inclusive pelo MEC), é ainda pouco adotado nas esco-

las do Rio de Janeiro, sob a estranha alegação de ser muito trabalhoso para professores e alunos.

O segundo livro aqui considerado [10] é um livro um pouco mais recente, tendo sido publicado no início da década dos 90. Possui uma boa apresentação da teoria e procura fazer, sempre que necessário para uma explicação, menção à estrutura atômica da matéria. Outra característica deste livro é a apresentação da evolução histórica dos conceitos abordados. Seus exercícios são de bom nível e estão dispostos ao longo do texto, a título de exemplificação e fixação, além dos tradicionais exercícios propostos ao final de cada capítulo.

O terceiro deles [11] é um livro ultrapassado mas ainda muito utilizado em escolas de ensino médio do Rio de Janeiro, tendo sua adoção defendida por aqueles que, numa visão tradicionalista da escola brasileira, acreditam ser prioritário o adestramento na resolução de problemas para o sucesso no exame vestibular. Faz parte de uma gama de livros que apresentam a parte teórica de uma forma bastante resumida, dando maior ênfase ao formulário da física e oferecem muitos exercícios resolvidos, repropoando problemas de vestibulares passados.

Creemos, portanto, que os livros selecionados são representativos de ênfases pedagógicas diversas no que se refere ao ensino de física básica. No entanto, em nenhum deles foi encontrada uma discussão ou sequer uma menção explícita ao conceito de *simetria*. Na verdade, esta não é nem uma prerrogativa brasileira, nem mesmo do ensino médio. Se analisarmos também livros clássicos de física básica para os primeiros anos do ensino superior, como os de Halliday, Tipler ou Serway [12] constataremos, igualmente, que também não falam de simetria. Mesmo o respeitado *Física Conceitual* de Hewitt [13] ignora o papel da simetria na física. Será que este fato é determinado por algum tipo de impossibilidade ou barreira que impeça o jovem aluno de ensino médio de compreender o conceito abstrato de simetria?

### 3. É possível falar de simetria para alunos do ensino médio?

Para responder a esta pergunta é necessário levar em conta o desenvolvimento cognitivo do aluno que frequenta as salas de aula do ensino médio. Se o estudante percorreu todas as etapas anteriores de escolarização sem “tropeços”, ele inicia esta fase de escolaridade com uma idade que varia entre 14 e 15 anos de idade; portanto, ele é um adolescente, que, segundo Inhelder e Piaget [14],

(...)reflete sobre seu pensamento e constrói teorias. O fato de que sejam limitadas, inadequadas e, principalmente, pouco originais, não tem importância; do ponto de vista funcional, tais sistemas apresentam a significação essencial de permitir ao adolescente sua integração moral e intelectual na

sociedade dos adultos, e isso sem mencionar seu programa de vida e seus projetos de reforma.

Embora, em geral, possam haver críticas à teoria dos estágios cognitivos de Piaget, neste caso particular, verificamos, através da prática de palestras sobre o tema *Física, Arte e a Simetria da Natureza* ministradas em dezenas de escolas públicas da periferia e do subúrbio da cidade Rio de Janeiro e em várias escolas particulares, que os alunos já possuem as habilidades cognitivas necessárias à compreensão de novos conceitos ligados à simetria da forma como lhes são apresentados e que será objeto da seção 5.

De qualquer forma, o simples fato de o adolescente refletir sobre seu pensamento e construir teorias é, sem dúvida, uma condição necessária a que se possa ensinar o papel das simetrias na física, mas não é suficiente. Outro requisito importante é saber que, no ensino médio, pode-se esperar que a maioria dos alunos já tenham desenvolvido o pensamento formal, ou hipotético-dedutivo do adolescente. A principal característica desse pensamento é a capacidade de operar “nas proporções abstratas, referindo-se, elas mesmas, a operações concretas, concebidas como simplesmente possíveis e colocadas a título de hipóteses” [15]. Atingindo esse nível de pensamento, o aluno do ensino médio já está apto a elaborar o conceito de contínuo e de espaço. Este conceito representa a síntese de todas as relações que lhe permitem construir as noções topológicas da sua representação espacial [16]. Desta forma, o aluno muito provavelmente estará preparado para evoluir em sua conceitualização de simetria, percebendo que este conceito não se restringe apenas à igualdade de formas, mas está, sobretudo, relacionado a algum tipo de transformação, que pode ser espacial ou temporal, por exemplo. Assim, ele poderá entender o que significa dizer que *uma lei física possui determinada simetria*.

Em nossa opinião, esse é, portanto, o conjunto de requisitos esperados que, em princípio, viabiliza a apresentação do conceito e do papel das simetrias na física para estudantes do ensino médio. Esperamos, ainda, que a evolução do conceito de simetria, suscitada a partir do estudo do movimento de translação uniforme e sua relação com propriedades de transformação do espaço, proposto neste trabalho, permita que o aluno, através da abstração, possa identificar em outros problemas de física a possibilidade de aplicar corretamente argumentos de simetria.

#### 4. Sobre a importância do ensino do conceito de simetria

Vamos abordar esta questão inicialmente no seu aspecto genérico, através de uma analogia com o aprendizado

da língua materna e, posteriormente, a partir de uma visão específica do ensino de física.

É óbvio que todo ser humano aprende a expressar-se naturalmente em sua língua materna, ainda que não venha a ser alfabetizado; por outro lado, é indiscutível que a alfabetização é o único caminho para a cidadania plena [17], mas devemos ter a plena consciência de que ela representa apenas os primeiros passos para se chegar lá. Uma das etapas indispensáveis do complexo aprendizado de uma língua é o estudo de sua sintaxe, cujo objetivo, evidentemente, não é transformar todos em escritores ou gramáticos, mas sim possibilitar que todos se expressem corretamente, lendo, compreendendo e interpretando com maior fluência. É com o crescente domínio de seu principal instrumento de comunicação – a sua língua – que os demais passos vão sendo dados. E no mundo contemporâneo é um erro excluir deste processo a alfabetização científica.

Há muitos anos, a alfabetização em física vem sendo feita de modo inadequado e insatisfatório, à medida que esta disciplina é ensinada aos jovens sem qualquer tipo de referência à sua “análise sintática”, ou seja, sem qualquer tipo de referência ou discussão sobre o conjunto dos conceitos basilares a ela subjacentes e suas relações, como os de espaço, tempo, simultaneidade, massa, força, e simetria. Isso sem falar na falta de contextualização. Mesmo sem a pretensão de transformar todos os alunos em físicos, a compreensão destes conceitos contribuirá, certamente, para que o jovem passe a se articular e a ver o mundo de outra maneira, preparando-se, assim, para melhor exercer sua cidadania numa sociedade cada vez mais marcada pela ciência e pela tecnologia.

O conceito de *simetria* está diretamente ligado à idéia de *ordem* que, por sua vez, está presente de forma marcante na experiência humana. É indispensável que existam algumas regularidades no mundo pois, do contrário, como nos ensina Boas [18], o homem não adquiriria hábitos os quais, por si só, estabelecem uma ordem na experiência. Mais do que isto, ainda segundo o mesmo autor [19], “começamos a demandar do mundo um tipo de ordem, e há sempre um modo de satisfazer essa demanda”.

Muitas destas ordens são tão basilares que estão contidas na própria estrutura lógica da Linguagem. Por exemplo, a ordem estabelecida pelas relações de causa e efeito, bem como os vários tipos de ordem espacial e temporal. Na filosofia, para os gregos, *Ordem* encontra sua representação no ideal clássico de *Cosmos* – um *todo ordenado* – e, muito posteriormente, desempenha um papel central no programa Cartesiano e no mecanicismo de Newton-Laplace [20]. Este legado é tão forte que argumentos de simetria são cada vez mais presentes na formulação de teorias científicas. Um exemplo marcante desta tendência pode ser encontrado facilmente em qualquer livro de divulgação sobre caos, onde se encontram belíssimas figuras coloridas que representam

padrões “bastante simétricos”. Embora a palavra grega *Chaos* signifique, exatamente, a negação do *Cosmos*, quando se vão estudar os chamados sistemas caóticos, buscam-se encontrar neles seus aspectos regulares ou simetrias aproximadas, apesar da intrínseca contradição que isto possa representar. Estudam-se, na verdade, sistemas caóticos próximos a condições de equilíbrio.

Por outro lado, é claro que, do ponto de vista epistemológico, esse modo de olhar para a natureza, buscando nela sempre suas simetrias, é restritivo. No entanto, é assim que o homem tem olhado para o mundo e construído uma linguagem capaz de descrevê-lo há mais de 26 séculos: a ciência.

Entender o papel central que idéias tão importantes como as de *ordem* e de *simetria* desempenham no complexo processo de construção do conhecimento humano, por si só, já justificaria ensinar alguns conceitos básicos de simetria e ressaltar sua relevância nos cursos do ensino médio. Por outro lado, mesmo de um ponto de vista mais específico, tais conceitos são parte não desprezível do problema do ciclo vicioso que envolve a relação ensino/aprendizagem neste segmento e a formação de professores, ao qual nos referimos anteriormente. Cabe aqui, portanto, um breve comentário com relação aos currículos de graduação em física vigentes.

É fácil constatar que, na grande maioria dos cursos de graduação em física, as propriedades de simetria de uma teoria (e suas conseqüências) só são discutidas pela primeira vez no ciclo profissional, seja no curso de mecânica analítica (do quinto período), seja no curso de mecânica quântica (do sétimo período). Em ambos os casos, a maioria dos alunos tem grande dificuldade em perceber o significado profundo das propriedades de simetria e de suas conseqüências físicas, pois seu ensino se apóia quase que exclusivamente em um formalismo matemático novo, com o qual ainda não está familiarizado. Segue-se daí uma visão limitada, meramente operacional, do que é *simetria*. A situação é ainda mais dramática nos cursos de Licenciatura, principalmente naqueles em que os alunos não são obrigados a cursar mecânica analítica e/ou mecânica quântica. Parece-nos, então, óbvio que os conceitos básicos de simetria devem também ser introduzidos ainda nos dois primeiros anos do curso de licenciatura para que o ciclo vicioso acima mencionado seja rompido no menor prazo possível. Além disto, esperamos que este quadro específico seja modificado (ainda que não se façam grandes alterações nas grades curriculares das licenciaturas) a partir da introdução do conceito de simetria no currículo do ensino médio. Não podemos nos esquecer que um dos conteúdos sugeridos nos PCNs é *Movimentos: variações e conservações*. Que tema melhor para introduzir e explorar relações de simetrias e seus significados, apontando as relações entre *simetria* e *quantidade conservada*?

## 5. O movimento retilíneo uniforme e a simetria de translação: uma proposta de ensino

O desafio inicial para se ter êxito na proposta que será apresentada nesta seção é o professor ser capaz de explicar ao aluno como se passa da compreensão intuitiva das simetrias, que se manifestam no mundo concreto, ao conceito abstrato de simetria, indispensável à compreensão do significado da expressão *a simetria de uma lei física*.

Podemos começar a abordagem deste tema dando vários exemplos de simetria da natureza, partindo da mais evidente que é a simetria entre direita e esquerda, ou simetria bilateral, ou ainda *simetria de paridade*, uma vez que ela é evidente no próprio corpo humano, em várias flores (como as orquídeas, por exemplo) e outros seres vivos, além do seu importante papel na arquitetura (como nas catedrais góticas). Outro tipo de simetria que todos conhecem é a chamada simetria ornamental ou cristalográfica, muito utilizada em tapetes e nos desenhos de Escher. O estudo matemático deste tipo de simetria, em três dimensões, é muito importante para uma subárea da física do estado sólido: a cristalografia. No caso limite de uma esfera (ou do círculo, em duas dimensões), há uma simetria perfeita de rotação que deve ser mostrada ao vivo aos alunos.

Outro exemplo que se pode dar é a valorização do conceito de simetria nas pinturas renascentistas que introduzem – e não se cansam de utilizar – a *perspectiva*, dentre as quais podemos destacar um pequeno número de obras: *O Batismo de Cristo* (1448-1450) e *O Flagelo de Cristo* (1455), ambos de Piero della Francesca; *O Martírio de São Sebastião* (1475), de Antônio Pollaiuolo; e o *Casamento da Virgem* (1504), de Rafael. Nestes casos, os pintores vão buscar nas simetrias das formas geométricas a causa da harmonia de seus quadros, expressa nos desenhos que antecedem a pintura renascentista [21], como é evidente na Fig. 1.



Figura 1 - *O Flagelo de Cristo*, de Piero della Francesca.

Não há dúvidas, como já vimos anteriormente, de que a grande maioria dos alunos do ensino médio po-

dem entender, ou pelo menos possuem uma boa idéia do que se está chamando de simetria nesses exemplos concretos; além de nossa própria experiência, Hill e Lederman também relatam que a maioria dos alunos norte-americanos aos quais perguntaram “o que é simetria?” deram respostas corretas, embora algumas vezes um pouco imprecisas. Mas é preciso, neste ponto, enunciar, de forma clara e objetiva, o que se entende por *simetria*, preparando o aluno para que ele compreenda logo o significado da expressão *simetria de uma lei física*, que é algo abstrato, muito diferente de um ser vivo, de uma pintura ou de uma catedral gótica. A importância de o aluno compreender isto reside no fato essencial de qualquer equação da física, não importa se se refere a uma bola de futebol, a uma bola de gude, aos átomos, às moléculas ou aos quarks, ou mesmo a sistemas muito mais complexos, *devem ser invariantes* por translações espaciais. Isso precisa ser explicitado para o aluno o mais cedo possível. Para que ele possa compreender isso, entender o significado da expressão *simetria de uma lei física*, nada melhor do que usar a definição objetiva de simetria que nos ensina o grande matemático Hermann Weyl [22]:

Uma coisa é simétrica se é possível mudar nela qualquer coisa deixando imutável seu aspecto.

Aceita esta definição, vamos agora analisar o caso específico da translação e suas conseqüências, tomando como ponto de partida o desenho de Max Ernst [23] reproduzido na Fig. 2.

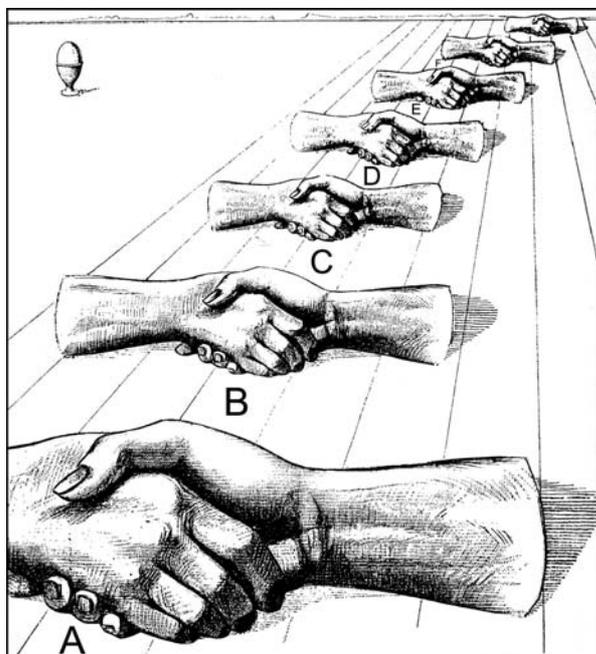


Figura 2 - Movimento de translação ilustrado com um desenho de Max Ernst.

Para dar mais concretude ao exemplo, vamos supor que o aperto de mãos seja de cera e que o plano sobre

o qual ele se desloca seja um plano metálico infinito. Digamos que este desenho represente a superposição de sete posições distintas das mãos (denotadas pelas letras  $A, B, C, \dots, F, \dots$ , a partir da primeira) observadas, em seqüência, durante um intervalo de tempo do movimento de translação uniforme em uma particular direção do plano infinito.

O que significa dizer que o desenho apresenta uma simetria de translação? Segundo a definição de Weyl, dada anteriormente, significa que foi possível mudar alguma coisa (a posição) referente ao objeto (o aperto de mãos de cera) deixando imutável seu aspecto (sua forma). Mas não é só isso. Podemos aprender muito mais com este exemplo simples. É preciso enfatizar, por exemplo, que a simetria de translação não é uma conseqüência única e exclusivamente derivada de propriedades do objeto; ela depende, crucialmente, de propriedades do *espaço*, como veremos a seguir.

De acordo com a física newtoniana, o movimento significa uma mudança de posição espacial no tempo (absoluto). É fácil compreender que esta simetria de translação depende fundamentalmente da homogeneidade do espaço ou do plano, nesse exemplo particular. De fato, raciocinando em cima de uma situação concreta, se supusermos que, por baixo do plano, possamos acender uma pequena vela capaz de aquecer uma região do plano circunscrita apenas, digamos, ao ponto  $D$ , ao deslocarmos o aperto de mãos desde  $-\infty$  até  $+\infty$ , haverá uma posição (ponto  $D$ ) onde o aperto de mãos sofrerá uma deformação devida ao aquecimento localizado do plano. Continuando o movimento, a partir desta região, o aperto de mãos deformado manterá sua nova forma até o infinito. Portanto, a forma primitiva do aperto de mãos se mantém inalterada durante o movimento de translação *se e somente se* não houver qualquer vela acesa ou, em outras palavras, se todas as regiões do plano na direção do movimento tiverem rigorosamente as mesmas características; o que equivale a dizer que o plano é *homogêneo*. Quando esta característica se mantém em *todas* as direções, o plano é também *isotrópico*. Mais tarde o aluno vai aprender que a homogeneidade do espaço está por trás da conservação do *momento*, enquanto a homogeneidade do tempo (translação temporal) associa-se à conservação de energia.

Vimos até aqui que, como conseqüência da simetria de translação, existe algo observável que *se conserva*: neste exemplo, a forma do objeto transladado no plano. Entretanto, é importante chamar a atenção para um outro aspecto desta simetria, de certa forma, complementar ao primeiro: a simetria de translação implica necessariamente que uma *posição espacial absoluta* (o ponto  $D$ , no nosso exemplo) *não possa* ser observada. Este resultado é muito importante, pois, em última análise, como enfatiza Lee [24], “a validade de todo princípio de simetria baseia-se na hipótese teórica de não-observáveis”. Com esse exemplo simples, o aluno

não precisa aguardar os cursos de quântica ou teoria de campos para ser apresentado a esta idéia.

Por outro lado, é da violação de um princípio de simetria que decorrem os observáveis. No nosso exemplo, só podemos intuir a presença de uma vela nas proximidades do ponto  $D$  ao percebermos que a simetria de translação é violada *neste ponto*. Esta idéia geral só foi compreendida com clareza por Pierre Curie, em 1894, como atesta a citação a seguir [25]:

A simetria característica de um fenômeno é a simetria máxima compatível com a existência do fenômeno (...) Alguns elementos de simetria podem coexistir com certos fenômenos, mas eles não são necessários. O que é necessário é que certos elementos de simetria não existam: é a assimetria que cria o fenômeno.

Podemos dar ainda como exemplo o caso da primeira lei de Newton, que expressa o princípio da relatividade de Galileu (Fig. 3). Esta lei afirma a total equivalência entre o movimento retilíneo uniforme e o repouso. Podemos dizer que há uma simetria perfeita entre as duas situações (movimento retilíneo uniforme e repouso). Desta simetria decorre, necessariamente, que não há como fazer um experimento de mecânica capaz de distinguir se o laboratório no qual ele está sendo realizado está em uma situação ou na outra. Pelo que se depreende das palavras acima de Pierre Curie, pode-se afirmar a mesma coisa de outra forma: se não há uma assimetria entre as duas situações (repouso e mo-

vimento retilíneo uniforme), *não há* como observar qualquer fenômeno que permita distinguir uma situação da outra. Essa é a essência do princípio de relatividade de Galileu, que deve ser transmitida aos alunos desde cedo.

Temos certeza de que o professor de ensino médio não terá dificuldade em apresentar a proposta acima a seus alunos, a partir do desenho de Max Ernst. Se ele preferir, pode fazer uma atividade ainda mais concreta em sala de aula, utilizando as próprias cadeiras nas quais os alunos se sentam. Basta que em uma fila ele introduza uma única cadeira diferente das demais e deixe livre todas as primeiras cadeiras de cada fila. Desta forma, ele pode propor aos alunos o desafio de observar e verificar se há alguma diferença entre esta situação e aquela na qual todos os alunos se levantaram e se sentaram na cadeira do colega da frente. Estimule o debate e, se eles não notarem qualquer diferença, dê a dica que há uma cadeira diferente de todas as outras. Pergunte o que isto quer dizer. Lembre-se que o papel da cadeira diferente é análogo ao do ponto  $D$  da situação proposta anteriormente. Os alunos devem ser estimulados a compreender as conseqüências desta diferença: cada aluno não mudará sua posição em relação aos demais, mas o aluno que sentará na cadeira diferente será outro. Haverá um aluno (e uma posição) privilegiado(a). Não deixe de comentar que foi possível arrumar as cadeiras nessa forma particular por causa das características do espaço da sala. Se ela não for plana, sem recortes, homogênea em última análise, não poderá ser pensada como uma porção limitada (pelas paredes) de um espaço euclidiano.



Figura 3 - Tirinha ilustrativa de uma das leituras possíveis do princípio de relatividade de Galileu, reproduzida do site [www.cbpf.br/eduhq](http://www.cbpf.br/eduhq).

Outra situação que o professor pode explorar é a invariância por translação da lei de Hooke para o deslocamento de uma mola provocado por um corpo de peso  $\mathbf{P}$ . Este é um assunto normalmente abordado no ensino médio e não é difícil conseguir fazer pelo menos uma experiência demonstrativa. Normalmente, mostra-se ao aluno que a força  $\mathbf{F}$  de natureza elástica resultante da ação do peso  $\mathbf{P}$  é uma força restauradora, proporcional ao deslocamento da mola, ou seja,

$$\mathbf{F} = -k\Delta\mathbf{x} = -k(\mathbf{x} - \mathbf{x}_0),$$

onde  $k$  é a constante elástica da mola e  $\mathbf{x}_0$ , seu comprimento inicial. Se o movimento é unidimensional, na situação de equilíbrio, pode-se escrever a equação anterior como

$$F = -k\Delta x = -k(x - x_0) = P.$$

Chegar até este ponto corresponde a apresentar as duas situações mais à esquerda da Fig. 4.

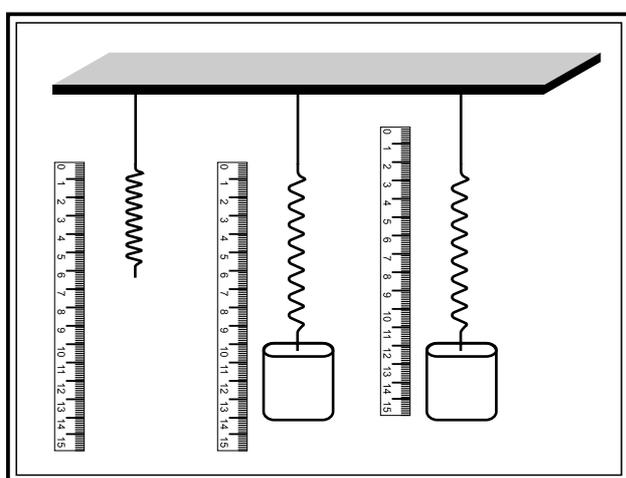


Figura 4 - Esquema da distensão de uma mola ideal fixa por uma de suas extremidades, devido a um corpo preso em sua outra extremidade.

Entretanto, o experimento pode ser refeito deslocando-se a régua paralelamente à direção do eixo principal da mola. Os comprimentos agora (tanto da mola sozinha, quanto daquela com o peso pendurado) serão medidos em relação não mais à origem da régua ( $x = 0$ ), mas a um outro ponto qualquer  $x_1$  (que, no caso do esquema mais à direita da figura anterior, seria  $x_1 = 3$  cm). Isto significa que o novo valor do comprimento da mola distendida será, em centímetros,  $x - 3$ , enquanto o comprimento natural da mola (sob ação apenas de seu próprio peso) será  $x_0 - 3$ . Logo, tem-se

$$F = -k[x - x_1 - (x_0 - x_1)] = -k(x - x_0) = -k\Delta x = P.$$

Portanto, a *forma* da lei de Hooke é invariante por translações. No caso, fez-se o deslocamento da

régua, mas chegar-se-ia ao mesmo resultado mantendo-se a régua fixa e movendo-se (transladando) o sistema massa-mola ou todo o laboratório. Este é um exemplo simples que o professor não encontrará dificuldades de explorar em sala de aula, o qual ilustra uma das características gerais mais importantes das leis da física, a saber: “toda lei física descoberta ou testada em um laboratório, deve ser a mesma se o laboratório for movido (transladado) para outro lugar no espaço”. É por esse motivo que, nas publicações científicas nas quais se divulgam resultados empíricos, não é necessário precisar a localização do laboratório, mas sim as condições precisas sob as quais uma experiência foi feita ou uma determinada lei foi obtida. Como já mencionamos antes, mas nunca é demais repetir, este fato é uma consequência da natureza (homogênea) do espaço na física.

## 6. Comentários finais

Procuramos justificar ao longo do texto o quão seria importante começar a familiarizar os alunos com o conceito de *simetria*, suas consequências e suas aplicações mais simples na física clássica, ressaltando que não há, de fato, qualquer tipo de impedimento para isso. Mais ainda, argumentamos que essa tentativa pode abrir os horizontes do aluno e vir até mesmo a mudar sua percepção da física e do mundo que o cerca. Sugerimos três atividades simples, descritas passo-a-passo, para o professor desenvolver em sala de aula. Depois de incluir em suas aulas as relações entre o movimento retilíneo uniforme e a simetria de translação, propomos que ele motive o aluno a pensar nas relações entre as invariâncias de rotação no plano e a isotropia do espaço. Se o professor quiser tratar também desta questão em sala de aula, ele pode continuar utilizando o desenho de Ernst, imaginando que ele esteja fixo em uma extremidade e que possa ser girado de  $360^\circ$ . Nesta nova situação, o ponto  $D$  passa a ser substituído por um conjunto de pontos sobre um círculo com centro na origem que ficou fixa, mostrando que o espaço é isotrópico. Alternativamente, também neste caso, pode ser feita uma demonstração concreta com o jogo das cadeiras descrito anteriormente. Sugerimos que o professor faça a experiência em sala de aula e incentive a discussão entre os alunos. Nossa experiência é que a resposta dos alunos será muito boa. Para maiores detalhes e outros temas a serem explorados, sugerimos a leitura do artigo de Hill e Lederman [2] ou que os interessados consultem o livro destes autores [26].

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Adolfo Malbouisson (CBPF) e Maria da Conceição Barbosa (Uerj), por frutíferas discussões acerca de alguns pontos deste trabalho, a Nelson Studart (UFSCar) por nos ter apontado a Ref. [2], a Cristina Silveira pela leitura crítica

do manuscrito e a um árbitro anônimo pelas sugestões e comentários, os quais também contribuíram para o enriquecimento do artigo.

## Referências

- [1] S. Weinberg, *Dreams of a Final Theory: The Scientist's Search for the Ultimate Laws of Nature* (Vintage Books, Nova York, 1993), p. 3.
- [2] C.T. Hill e L.M. Lederman, *The Physics Teacher* **38**, 348 (2000).
- [3] B. Alvarenga, J.M.F. Bassalo, F. Caruso e A.F.S. Pimenta, in *Do átomo Grego à Física das Interações Fundamentais*, editado por F. Caruso e A. Santoro (CBPF, Rio de Janeiro, 2000), segunda edição corrigida, p. 215-232.
- [4] B. Alvarenga, *op. cit.*, p. 223-245.
- [5] F. Caruso, *Scientia* **6**, 93 (1995).
- [6] F. Caruso, *Alma Mater: Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos* **15**, 143 (1998).
- [7] Herbert Goldstein, *Classical Mechanics* (Addison-Wesley, Reading, 1980), 2<sup>nd</sup> ed., p. 1.
- [8] A. Gaspar, *Curso de Física - Mecânica, v. 1* (Editora Ática, Rio de Janeiro, 2001).
- [9] A. Máximo e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Harbra Ed., São Paulo, 1992), 3<sup>a</sup> ed.
- [10] F. Ramalho Jr., N.G. Ferraro e P.A. Soares, *Os Fundamentos da Física* (Ed. Moderna, São Paulo, 1989), 5<sup>a</sup> ed.
- [11] L.A.M. Guimarães e M.C. Fonte Boa, *Física para o 2º Grau* (Grafcen Editora, Niterói, 1994), 3<sup>a</sup> ed.
- [12] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker *Fundamentos de Física* (LTC, Rio de Janeiro, 2006); R.A. Serway e J.W. Jewett Jr., *Princípios de Física* (Editora Thomson Learning, São Paulo, 2004); P.A. Tipler e G. Mosca, *Física para Cientistas e Engenheiros* (LTC, Rio de Janeiro, 2006).
- [13] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- [14] B. Inhelder e J. Piaget, *Da Lógica da Criança à Lógica do Adolescente* (Pioneira, São Paulo, 1976), p. 253.
- [15] J. Piaget e B. Inhelder, *A Representação do Espaço na Criança* (Artes Médicas, Porto Alegre, 1993), p. 160.
- [16] *Ibid*, p. 163.
- [17] F. Caruso, *Correio da Cidadania*, seção "Opinião", semana de 24.06 a 01.07 de 2006, p. 2.
- [18] George Boas, *The Inquiring Mind* (The Open Court Publ., La Salle, 1959).
- [19] *Ibid*, p. 348.
- [20] F. Caruso, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **20**, 251 (1998).
- [21] C. Bouleau, *La Geometria Segreta dei Pittori* (Electa, Milano, 1988).
- [22] H. Weyl, *Symmetry* (Princeton University Press, Princeton, 1952).
- [23] Max Ernst, *Une Semaine de bonté* (Société Nouvelle des éditions Jean-Jacques Pauvert, Paris, 1963).
- [24] T.D. Lee, *Particle Physics and Introduction to Field Theory* (Harwood Academic Publishers, Nova York, 1990).
- [25] P. Curie, in *Œuvres* (Gauthier-Villars, Paris, 1908), p. 126-127.
- [26] C.T. Hill and L.M. Lederman, *Symmetry and the Beautiful Universe* (Prometheus Books, Nova York, 2004).