
EINSTEIN, A FÍSICA DOS BRINQUEDOS E O PRINCÍPIO DA EQUIVALÊNCIA⁺*

Alexandre Medeiros

SCIENCO

Cleide Farias de Medeiros

Departamento de Educação – UFRPE

Recife – PE

Resumo

O título deste artigo pode até parecer um tanto esquisito, mas ele está correto. O texto trata em primeiro lugar da importância atribuída por Einstein à alegria na aprendizagem da ciência. Dentro desse contexto, discutimos o relacionamento de Einstein com os brinquedos científicos, a partir de dois exemplos raros: um deles resgatado da sua infância e o outro já do final da sua vida. Um dos brinquedos mencionados, aqui denominado de “elevador de Einstein”, é analisado como uma excelente ilustração do Princípio da Equivalência da Relatividade Geral. Após discutirmos brevemente o sentido mais geral deste princípio, retomamos a questão da sua visualização através da análise de alguns outros brinquedos científicos alternativos que também ilustram de modo mais fácil o mesmo princípio.

Palavras-chave: *Einstein, Física dos Brinquedos.*

Abstract

The title of the present paper may seem a little bit clumsy, yet it is right. The text leads, firstly, with the importance Einstein attributed to the role of joy in science learning. In this context, we discuss the relationship between Einstein and scientific toys from two rare examples: one from his childhood and the other one from a mature age. One of the two men-

⁺ Einstein, The Physics of toys and the Equivalence Principle

^{*} *Recebido: junho de 2005.
Aceito: agosto de 2005.*

tioned toys, here called “Einstein’s elevator”, is analyzed as an excellent illustration of the Equivalence Principle of General Relativity. After briefly discussing the general meaning of such a principle, we retake its visualization issue through the analysis of some other alternative scientific toys, which also illustrate the same principle in an easier way.

Keywords: *Einstein, Physics of Toys.*

I. Introdução

A importância da alegria no ensino da ciência assim como o valor pedagógico da utilização de brinquedos científicos, como parte de um tal posicionamento, tem sido devidamente realçados na literatura educacional (LEVINSTEIN, 1979; ANGIER, 1988; TAYLOR, 1989; CHUONG-DAÍ, 1997; MEDEIROS, 1997; MEDEIROS; MEDEIROS; MONTEIRO, 1998; UCKE, 2001; NILSSON, 2002; MEDEIROS; MEDEIROS, 2003; MEDEIROS; MEDEIROS, 2004; MEDEIROS; MEDEIROS, 2005, para mencionar apenas alguns).

Por outro lado, a apresentação de assuntos científicos mais complexos, como, por exemplo, a Relatividade Geral e em particular o seu Princípio da Equivalência, tem recebido uma atenção especial no sentido de buscarem-se novas e mais eficientes formas de ensino e de aprendizagem que realcem as questões conceituais e imagéticas e que não se atenham apenas aos aspectos mais formais (DISESSA, 1981; DIAMOND, 1982; THOMSEN, 1983; MACKEOWN, 1984; STAUFFER, 1984).

A junção dessas duas vertentes, aparentemente díspares, ou seja, da importância creditada à alegria e aos brinquedos no ensino da ciência com uma busca de formas ilustrativas e conceituais mais convidativas ao raciocínio na aprendizagem da Relatividade Geral não parece uma coisa trivial. Entretanto, ao menos no que se refere à possibilidade de emprestar-se um aspecto mais concreto e lúdico às ilustrações do Princípio da Equivalência encontram-se algumas possibilidades relevantes. Tais possibilidades ilustrativas e lúdicas do Princípio da Equivalência estão relacionadas a certos brinquedos que podem ser categorizados de uma forma mais ampla como pertencendo a um tipo especial de elevadores, que aqui denominaremos de “elevadores de Einstein”. A abordagem que faremos desses aparatos radica na própria atitude de Einstein frente a esses assuntos e desenvolve-se a partir da sua forma de ver a função dos brinquedos na aprendizagem da ciência e inspira-se, em particular, em um brinquedo que certa vez lhe foi presenteado por Eric Rogers¹.

¹ Eric Rogers foi um dos maiores professores de Física do século XX, autor do maravilhoso livro *Physics for the Inquiring Mind* e o principal líder do *Nuffield Project Physics* da Inglaterra.

II. Einstein e a alegria na aprendizagem da Ciência

Einstein além de haver sido um físico de extraordinária grandeza, foi, também, um pensador completo, que incluiu entre as suas reflexões várias considerações filosóficas e educacionais de grande importância (MEDEIROS; MEDEIROS, 2005). Einstein destacava sempre a importância da alegria no ato de ensinar, vendo-a como um verdadeiro motor da criatividade humana.

É tarefa essencial do professor despertar a alegria de trabalhar e de conhecer (EINSTEIN, 1981, p. 31). Esta ênfase na alegria não tinha, entretanto, qualquer caráter hedonista, muito pelo contrário, Einstein via em tal alegria pessoal um simples complemento de uma alegria maior que se configurava na possibilidade de atingir um bem comum.

Nunca considerem seus estudos como um dever, mas como a invejável oportunidade de aprenderem a conhecer a influência libertadora da beleza no reino do espírito, para a sua própria alegria pessoal e para o benefício da comunidade a quem pertencerá o trabalho posterior de vocês (EINSTEIN apud DUKAS; HOFFMANN, 1984, p. 47).

Para que esse bem comum, entretanto, pudesse ser atingido, Einstein defendia a idéia de que o ser humano deveria desenvolver também as suas potencialidades individuais. *Para ficar satisfeito, o homem deve também ter a possibilidade de desenvolver seus poderes intelectuais e artísticos, na medida em que corresponda às suas características e habilidades pessoais* (EINSTEIN, 1983, p. 24).

Refletindo em sintonia com o pensamento de Einstein poderíamos dizer que se deve estudar Física para tentar compreender melhor o mundo em que vivemos e no qual os problemas reais são aqueles oferecidos pela realidade, pela Natureza. E esses desafios que encontramos a cada passo e a cada instante, se aprendermos a perceber o mundo que nos cerca, precisam ser encarados com a mesma alegria com a qual ouvimos uma bela música. Como dizia Pierre Lucie:

Um pianista estuda música para deleitar-se ao tocar a sinfonia de um grande mestre e comungar com o seu autor, não para fazer escalas - embora estas sejam necessárias para apurar a técnica. Da mesma forma, devemos estudar Física para melhor apreciar a sinfonia fantástica do Universo (LUCIE, 1969, p.5).

O mesmo Lucie dizia também que:

Entre ensinar física brincando e ensinar chateando, eu prefiro ensinar brincando. /.../ Se queremos interessar os jovens no estudo da fí-

sica, falemos de física. Isto é, em primeiro lugar, falemos do fenômeno. E se possível mostremos o mesmo (Id, *ibid*).

Deste mesmo tipo de atitude decorria, no pensamento de Einstein, uma valorização do caráter lúdico da Educação, que encontrava uma ressonância na própria atividade do cientista como um indivíduo que busca prazerosamente desvendar os mistérios da natureza. Einstein, não apenas recomenda que a alegria seja introduzida como um fator externo no ato educacional; ele crê, sobretudo, na força do exemplo, de algo que venha de dentro. Para ele: “Não existe uma educação mais inteligente senão aquela em que se toma a si próprio como um exemplo” (EINSTEIN, 1981, p.30-31). Einstein tinha uma verdadeira paixão por quebra-cabeças e brinquedos científicos em geral. Este fato é descrito, por exemplo, no livro sobre a biografia do seu filho o engenheiro Hans Albert Einstein, escrito por sua esposa Elizabeth Einstein Roboz (1991). E é de dois exemplos de interação com brinquedos científicos, retirados da vida do próprio Albert Einstein, que partimos para tecer as considerações que se seguem neste presente artigo.

III. A dimensão do mistério e o conflito cognitivo no uso do brinquedo

As memórias e as reflexões pedagógicas de Einstein a respeito da sua interação com um determinado brinquedo ganho ainda na sua infância – na verdade uma simples bússola – nos conduzem aos conceitos por ele introduzidos de *estranheza* e de *conflito* e que aqui ampliaremos para os de *dimensão do mistério* e de *conflito cognitivo*. Einstein sustenta uma posição segundo a qual o papel das imagens e das visualizações em geral constitui-se em um elemento essencial da própria construção do nosso pensamento.

Não tenho dúvidas de que o nosso pensamento se processa, na maior parte das vezes, sem o uso de signos (palavras) e, além disso, em grande parte inconscientemente. Se assim não fosse, como seria possível ‘lembrarmos com estranheza’ e de forma espontânea de uma determinada experiência? Essa ‘lembrança inquisitiva’ pode ocorrer quando a experiência está em conflito com conceitos bem estabelecidos em nossa mente. Sempre que experimentamos esse conflito de forma aguda e intensa, ele reage contra nosso mundo mental de modo decisivo. O desenvolvimento desse mundo mental é, em certo sentido, uma fuga constante do ‘pensamento de estranheza’ (EINSTEIN, 1982, p. 18).

Einstein se refere ao presente ganho na infância como um exemplo concreto dessas suas considerações sobre estranheza, sobre mistério e sobre o conflito cognitivo vivido na manipulação de um tal brinquedo.

Aos quatro ou cinco anos, experimentei esse sentimento (de um conflito cognitivo diante do mistério) quando meu pai mostrou-me uma bússola. O fato de a agulha comportar-se de uma certa forma que não se encaixava entre os tipos de ocorrência que podiam ser colocados no mundo inconsciente dos conceitos (eficácia produzida pelo 'toque' direto). Lembro-me ainda – ou pelo menos creio que me lembro – que essa experiência causou-me uma impressão profunda e duradoura. Devia haver algo escondido nas profundezas das coisas (EINSTEIN, 1982, p. 18-19).

Há, certamente, uma grande quantidade de outros brinquedos científicos capazes de despertar impressões semelhantes àquelas acima descritas por Einstein. Não é nosso intento, contudo, no presente artigo, adentrar em uma apresentação detalhada de tais brinquedos, mas apenas a de fazer uma análise crítica do seu papel pedagógico. Um exemplo adicional, entretanto, relacionado com a Relatividade Geral, será discutido nos tópicos seguintes por provir, igualmente, da biografia de Einstein. Ele será denominado, neste artigo, de *o elevador de Einstein*. No entanto, apenas para não desencantar de todo aos leitores mais curiosos a respeito de tais exemplos de brinquedos que possibilitem enfoques similares àquele mencionado por Einstein, poderíamos relacionar, dentre muitos outros possíveis: o levitador magnético, o duplo cone, o disco assimétrico, o martelo equilibrista, a lâmpada fantasma, a águia equilibrista, a fonte de Heron, o pássaro termodinâmico, o ebuliscópio de Franklin, os canudos eletrostáticos, etc².

Para Vygotsky (1984), o brinquedo pode ser visto como uma porta para um mundo ilusório e imaginário no qual os desejos não realizáveis podem ser realizados. Ele seria uma passagem para o Monteiro Lobato chamava de *o reino do faz de conta*. Ao criar uma situação imaginária a criança guia a sua ação não apenas pela percepção imediata dos objetos ou mesmo pela situação que a afeta de imediato, mas também pelo significado atribuído a uma tal situação. O brinquedo é assim para Vygotsky como um estágio entre as restrições contextualizadas da primeira infância e o pensamento mais desvinculado de situações reais encontrado na fase adulta. A aquisição desse controle pela criança traz consigo a necessidade de que ela aprenda a simbolizar e depois a usar tais signos convertendo funções mais simples em funções culturais mediadas por signos (VYGOTSKY, 1984). Essa transição da brincadeira para a adoção de regras específicas de comportamento e ação em uma idade madura encontra um paralelo entre a Educação em Ciências e o esporte. Ela é bem descrita pelo médico e ex-jogador Tostão. Segundo ele, um dos principais motivos do sucesso do futebol brasileiro sempre foi o fato de que nossos maiores jogadores se divertiam e brincavam nos gramados. Nos grandes estádios

² Uma relação mais completa de aparatos científicos desse tipo pode ser encontrada em: www.scienco.com.br

do mundo, eles apenas repetiam as mesmas jogadas encantadoras da infância nos campos de pelada. A capacidade de “brincar” com seriedade e com responsabilidade seria assim, segundo Tostão, a base psicológica da criatividade, da capacidade técnica e do talento em todas as profissões. Na infância, o garoto precisaria se distrair com a bola; ter intimidade com ela; divertir-se sem regras e sem posições em campo; precisaria ser um artista, antes de se tornar um atleta. Depois, nas categorias de base dos clubes, os meninos vão aprender a tática, técnica, disciplina, regra, a melhor posição em campo, a necessidade de vencer e outras obrigações chatas, mas necessárias. As escolinhas particulares e as dos clubes invertem essas fases. Atualmente, os meninos aprendem primeiramente a forma, as regras, e somente depois, já nas categorias de base, tentam descobrir a magia e a arte do futebol. E aí, já é tarde, pois a criatividade não é algo que se ensine (GONÇALVES, 2000).

O paralelo dessas considerações esportivas com o pensamento educacional de Einstein é perfeito. Einstein defendia um sentido maior para a Educação, sentido este que ele não encontrava na seriedade excessiva e no formalismo precoce, contidos no ensino tradicional, contra o qual ele lançava enfaticamente a sua crítica:

Na verdade, é quase um milagre que os métodos modernos de instrução não tenham exterminado completamente a sagrada sede de saber, pois essa planta frágil da curiosidade científica necessita, além de estímulo, especialmente de liberdade; sem ela, fenece e morre. É um grave erro supor que a satisfação de observar e pesquisar pode ser promovida por meio da coerção e da noção do dever. Muito ao contrário, acredito que seria possível eliminar por completo a voracidade de um animal predatório obrigando-o, à força, a se alimentar continuamente, mesmo quando não tivesse fome, especialmente se o alimento usado para a coerção fosse escolhido para isso (EINSTEIN, 1982, p. 26).

Mas, afinal, o que significa realmente um brinquedo? As crianças pequenas brincam com os brinquedos sem se importarem, necessariamente, com o modo como eles funcionam. Tudo que importa, na verdade, é que seja divertido lidar com o brinquedo, caso contrário, ele será posto de lado. (FRIEDHOFFER, 1995, p. 11). Uma atitude de indiferença a respeito de como o brinquedo funciona, entretanto, não é algo comum entre crianças um pouco maiores; elas freqüentemente admiram, atônitas, alguns brinquedos, chegando muitas vezes a desmontá-los, como que tentando decifrar os seus mistérios. Cabe ao professor aprender a aguçar, ou ao menos despertar, essa curiosidade.

Outra questão importante é perguntarmos o que torna um brinquedo atraente. Por que alguns brinquedos parecem mais divertidos que outros? Essa reflexão pode nos levar ao que Einstein chamava de *estranheza*, de *lembrança inquisitiva* e que aqui denominaremos alternativamente de a *dimensão do mistério* que envolve o brinquedo.

A criança brinca com o brinquedo adentrando num *reino de faz de conta*. O brinquedo abre-lhe as portas do *reino do impossível*. Ao brincar com uma boneca, a criança pode imaginar-se no papel de mãe, impossível de ser desempenhado no real. Do mesmo modo, outros brinquedos lhe permitem esse jogo com o imaginário. O que fascina no brinquedo parece ser essa sua capacidade misteriosa, essa possibilidade de ser visto como uma porta para o reino do faz de conta no qual a criança sente-se livre para dar asas à sua imaginação, transformando essa realidade imaginária e construindo assim a sua própria realidade. É essa *dimensão do mistério*, que permite adentrar o *reino do impossível*, que parece ser a chave para compreender o fascínio do brinquedo sobre a criança.

Retomando, deste modo, o caminho traçado por Lucie, por Einstein, por Tostão e por Vygotsky poderíamos asseverar que a ciência não precisa ser maçante. Ela pode ser realmente divertida! Crianças curiosas, ou que tenham suas curiosidades despertadas, poderão achar muito divertido lidar com brinquedos ao mesmo tempo em que aprendem como eles funcionam. E ao aprender como os brinquedos funcionam as crianças poderão estar sendo introduzidas na compreensão de importantes princípios científicos (FRIEDHOFFER, 1995). Uma vez que a criança compreenda os princípios que estão por trás de um brinquedo científico, aquele objeto deixa de ser apenas alguma coisa para brincar e torna-se uma porta aberta para o mundo da ciência (RITCHIE, 1975).

Crianças costumam tornar quaisquer coisas em brinquedos e algumas vezes, nas suas maneiras espontâneas, ignoram os superbrinquedos sofisticados preferindo as suas próprias criações. Mas, qualquer que seja o tipo do brinquedo, eles parecem ocupar um lugar muito especial no mundo da criança; eles são os instrumentos da sua diversão nos quais realidade e imaginação estão intrinsecamente misturadas (RADFORD, 1972).

Se nos reportarmos, entretanto, não apenas ao ensino da ciência para crianças, mas também para adultos, a questão do brinquedo, nem por isso, perde o seu sentido. Adultos também brincam – eles apenas denominam suas brincadeiras de um modo diferente preferindo chamá-las de um hobby ou de um passatempo. Os adultos utilizam ferramentas, instrumentos ou equipamentos para brincarem; eles apenas não admitem chamar tais artefatos de brinquedos. De fato, eles denominam brincar com tais instrumentos de trabalhar. Todos nós parecemos necessitar de alguma forma de recreação ou brincadeira (RADFORD, 1972). Essa questão pode ser resumida, como colocava Einstein, em admitir-se que é necessário desenvolver na Educação a inclinação infantil para brincar (EINSTEIN, 1950).

O modo particular de Einstein encarar a articulação do pensamento de um modo estreitamente ligado às visualizações e às imagens – como ele mesmo acentua nas suas memórias referentes ao impacto que o primeiro contato com uma bússola lhe causou – é algo que tem atraído a atenção de vários pesquisadores. Max Wertheimer, o grande teórico da Gestalt, estudou esse tipo de raciocínio de Einstein, classificando-o como um exemplo maior de “*pensamento produtivo*” (WERTHEIMER, 1984).

Colella, Klopfer & Resnick (2001) compararam as semelhanças entre os pensamentos de Einstein e de Leonardo Da Vinci acentuando as suas formas peculiares de criarem modelos para melhor compreenderem os processos ocorridos no mundo ao seu redor. No caso particular de Einstein, os seus muitos *experimentos em pensamento*, dentre eles alguns célebres como o do “*paradoxo do espelho*” e o do “*elevador de Einstein*” – a ser ainda discutido no presente artigo – são exemplos destas tentativas arrojadas de visualizações de imagens antecipadas dos fenômenos físicos. Esses mesmos processos de visualização engendrados por Einstein foram estudados por Polland (1994) como formas particulares de criar imagens mentais para observações, análise e experimentações. Polland comparou tais imagens com outras construídas por outros cientistas notáveis como Newton, Tesla, Kekulé, Faraday e Galileu. Ele destacou, sobretudo, o papel desempenhado por tais imagens na construção do conhecimento. Mais recentemente, Newbold (1999) teceu interessantes similaridades entre os processos do pensamento científico de Einstein e o processo do pensamento artístico de Picasso (Relatividade e Pintura Cubista) sustentando que suas grandes contribuições guardavam fortes semelhanças cognitivas no terreno imagético ligadas às suas *inteligências múltiplas*.

Essa mediação de um pensamento centrado em imagens, característica essencial do pensamento de Einstein, segundo ele mesmo, tem sido igualmente alvo daqueles que trabalham com questões de dislexia (PATTEN, 1973; WEST, 1992). Parece, portanto, de real importância que se investigue o tipo de conexão vislumbrada pelo próprio Einstein entre as imagens sugeridas pelos brinquedos científicos e a produção do conhecimento. Um exemplo de particular importância que se oferece nesta direção específica é analisado no tópico seguinte deste presente artigo: o caso do *elevador de Einstein*.

IV. O Elevador de Einstein

Contava o físico Eric Rogers (ROGERS; COHEN, 1994, p. 233) que quando ele era ainda jovem, na década de 50, lecionava em Princeton e havia então sido colega de Einstein, naquela época já um homem de idade avançada. Rogers relata que nos aniversários de Einstein ele costumava presenteá-lo com um brinquedo ou um quebra-cabeça que contivesse algum princípio científico e que Einstein sempre apreciava muito aquele tipo de presente. Certa vez, ainda segundo Rogers, quando Einstein completou 76 anos, o presente foi um brinquedo realmente interessante.

O objeto presenteado a Einstein consistia de um quebra-cabeça envolvendo Física e derivado de um antigo brinquedo de crianças, aquele que tem uma bola atada à extremidade de um cordão cuja outra extremidade está amarrada no centro de um copo. O desafio é a criança lançar a bola e pegá-la de volta no copo.

No caso, o artefato apresentado a Einstein era uma derivação daquele antigo brinquedo. Ele consistia de uma bola de metal amarrada a um fio leve e encerrada em um globo transparente. Inicialmente, a bola era colocada dependurada para fora do copo, como mostrado na figura ao lado. A outra extremidade do fio mergulhava pelo copo e atravessava um cilindro oco ligando-se a uma mola bem leve e flexível no extremo da qual era atado um pesinho em forma de bastão. O desafio era a partir dessa posição inicial da bola dependurada para fora do copo encontrar um método infalível de colocá-la para dentro do mesmo. Havia, ainda, algumas condições de contorno a serem conhecidas no problema:

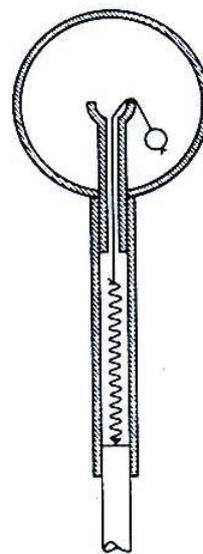


Fig. 1- Elevador de brinquedo³.

- O globo e o tubo transparente não podiam ser abertos;
- A bola era feita de bronze;
- A mola já estava inicialmente esticada e tensa, mas não o suficiente para puxar sozinha a bola para dentro do copo;
- O bastão era bastante longo em comparação com a bola de metal;
- Havia um método infalível de resolver o problema e que não deveria ser confundido com possíveis soluções casuais obtidas agitando-se aleatoriamente o brinquedo.

Rogers recorda que Einstein ficou encantado com aquele pequeno brinquedo recebido de presente e tratou imediatamente de resolver o problema realizando com sucesso e alegria um experimento com o mesmo.

Bernard Cohen, também presente naquela ocasião, recorda igualmente o modo como Einstein interagiu com aquele brinquedo. Einstein virou-se para Cohen e exclamou: *“Espere aí, eu preciso mostrar-lhe o meu presente de aniversário”* (ROGERS; COHEN, 1994, p. 234). Em seguida, Einstein foi até o seu escritório e pegou o brinquedo acima descrito. *“Veja”, disse Einstein, “este brinquedo é feito como um modelo para ilustrar o princípio da equivalência. A pequena bola está atada a uma mola que penetra neste pequeno tubo. A mola puxa a bola para dentro do copo, mas*

³ Retirado de: ROGERS, E.; COHEN, B. The Equivalence Principle Demonstrated. In: JENNISSON, B.; OGBORN, J.(Ed.). **Wonder & Delight: Essays in Science Education in Honour of the Life and Work of Eric Rogers 1902-1990**. Bristol: Institute of Physics Publishing, p. 234.

não é suficientemente forte para trazê-la para dentro do mesmo, pois para isso teria que sobrepujar a força gravitacional que puxa a bola para baixo". Ao dizer isso, Einstein deu um largo sorriso e os seus olhos brilharam de alegria ao dizer: "*E agora, o Princípio da Equivalência*". Segurando o brinquedo pelo meio do tubo, ele lançou-o para cima e deixou-o cair, segurando-o no ar. "*Ao deixá-lo cair*", disse ele, "*de acordo com o Princípio da Equivalência não haverá força gravitacional. Assim, a mola será suficientemente forte para puxar a bolinha para dentro do copo de plástico*".

Esse é um relato realmente interessante, não apenas pelo testemunho que ele apresenta da importância que Einstein dava à alegria na aprendizagem da ciência, assim como também às possibilidades ilustrativas dos brinquedos em particular. No tópico seguinte discutimos brevemente o significado do Princípio da Equivalência de um modo qualitativo e em seguida analisamos alguns outros brinquedos alternativos àquele apresentado a Einstein (o "*elevador de Einstein*") e que também se servem para ilustrar brilhantemente o Princípio da Equivalência, até mesmo de um modo mais fácil.

V. Einstein e o Princípio da Equivalência

Dentre os vários postulados propostos por Einstein ao longo de sua muito produtiva atividade científica encontra-se o *Princípio da Equivalência*. O princípio da equivalência estabelece que a gravidade e a aceleração são indistinguíveis uma da outra. Ele afirma que não existe nenhum experimento que possa distinguir a aceleração ocasionada por um campo gravitacional da aceleração inercial devida a uma simples mudança de velocidades.

Einstein contava que a origem dessa sua idéia havia-lhe ocorrido, quando ainda trabalhando no Registro de Patentes em Berna, em 1907, ele assistira, da janela do seu escritório, à queda de um pintor do alto de um andaime. Durante o pequeno intervalo daquela queda, ele pensou sobre qual seria a sensação vivenciada pelo pintor e passou a refletir sobre qual seria a diferença entre uma queda livre e uma simples ausência de aceleração. Ele concluiu que não havia nenhuma diferença entre esses dois fenômenos. O princípio da equivalência é, portanto uma generalização desta conceitualização.

Para ilustrar este princípio, Einstein costumava utilizar alguns *experimentos em pensamento* envolvendo *elevadores imaginários*. Ele comparava, assim, vários fenômenos distintos relacionados com acelerações e ocorridos dentro de um elevador. Dentre tais experimentos em pensamento, dois deles merecem um certo destaque.

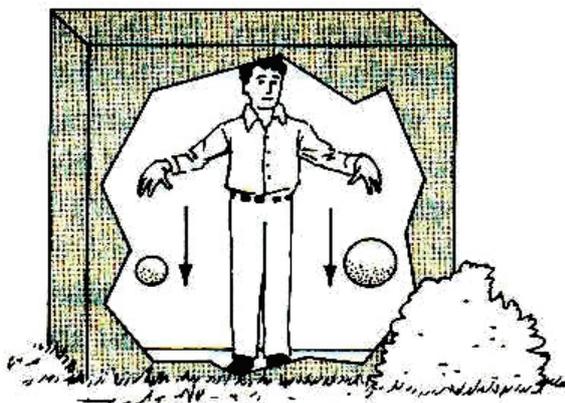


Fig. 2 - Primeiro experimento: primeira explicação⁴.

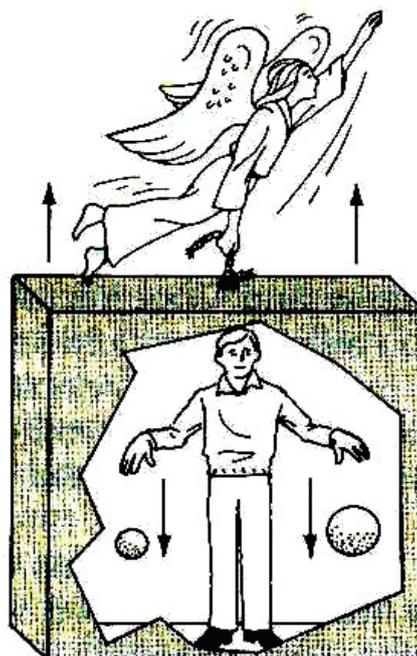


Fig. 3 - Primeiro experimento: segunda explicação⁴.

No **primeiro experimento**, imaginamos uma pessoa no interior de uma caixa fechada (elevador imaginário). Esta pessoa sente uma força empurrando-a para baixo, contra o piso da caixa. Ao mesmo tempo, duas esferas largadas de suas mãos caem por igual. Como podemos explicar um tal fenômeno?

Einstein afirma que há duas explicações possíveis, mas não mutuamente excludentes.

A **primeira explicação** consiste em supor que a força experimentada pela pessoa no interior da caixa é devida à gravidade. A caixa pode estar se movendo com uma velocidade constante e próxima a algum planeta, como mostra a Fig. 2.

Uma **segunda explicação** igualmente plausível é a de que a caixa esteja no espaço sideral, bem longe da influência gravitacional de outros corpos; mas que esteja sendo acelerada, quem sabe, por foguetes ou por algum anjo que a esteja puxando aceleradamente para cima, como mostra a Fig. 3.

Um **segundo experimento** consiste em imaginar uma pessoa no interior de uma caixa que não sente a ação de nenhuma força. Como explicar tal sensação? Como no problema anterior, há também duas explicações possíveis, agora, entretanto, mutuamente excludentes.

⁴ Retirado de: HOFFMANN, B. **Relativity and its Roots**. New York: Dover Publications Inc., 1999.

A **primeira explicação** possível é a de que a caixa esteja no espaço sideral, longe de quaisquer outros corpos que possam exercer sobre a mesma uma força gravitacional e que, além disso, ela não esteja acelerada.

A **segunda explicação** é simplesmente a de que a caixa esteja em queda livre em um campo gravitacional. Este é o caso ilustrado pelo elevador de brinquedo de Einstein, como visto anteriormente. Deste modo, conclui Einstein, não existe nenhum experimento que possa ser feito e que possa decidir qual das explicações é a correta, tanto no primeiro quanto no segundo experimento em pensamento. Assim sendo, as duas explicações em cada um dos casos são totalmente equivalentes. De um modo mais geral: se duas situações são indistinguíveis uma da outra elas podem ser tidas como idênticas.

Einstein, propositalmente, limitou a faixa das suas considerações ao referencial da caixa (ou elevador), deixando de lado outras possíveis conseqüências que poderiam ocorrer em outros referenciais. Uma discussão mais aprofundada do princípio da equivalência está fora dos propósitos do presente artigo. Uma discussão pormenorizada desse princípio e de suas implicações cosmológicas faz parte do cenário habitual de um curso de Relatividade Geral. Na Relatividade Geral, o espaço não é interpretado como no caso Newtoniano em que ele é visto como sendo um imenso vazio sem absolutamente nada a não ser a força da gravidade que rege o movimento da matéria no Universo. Na Relatividade Geral, contudo, a idéia newtoniana de espaço é substituída pela de um contínuo espaço-tempo que obedece às equações de Einstein. Por outro lado, o significado das equações de Einstein para a Relatividade Geral pode ser resumido metaforicamente nas palavras de Misner, Thorne & Wheeler: “*O espaço diz à matéria como se mover e a matéria diz ao espaço como se curvar*” (1973, p.5).

O que está aqui, em causa, entretanto, é algo bem mais básico: é a simples possibilidade de ilustrarmos concretamente os experimentos em pensamento de Einstein com elevadores em situações reais de fácil realização. O brinquedo apresentado a Einstein por Eric Rogers, deste modo, parece ser um bom exemplo de uma tal possibilidade.

Se um elevador de brinquedo da Einstein não estiver disponível pode-se usar algumas alternativas para o mesmo, ou seja, alguns modelos alternativos de elevadores de Einstein.



Fig. 4 - Elevador com ressonador⁵.

Um segundo modelo alternativo de elevador de Einstein é ainda mais simples do que o primeiro com um ressonador, acima descrito. Ele consiste de um pequeno balde com dois pesos dependurados e ligados ao fundo do mesmo, conforme a figura 5. Um dos pesos está ligado por uma borracha enquanto o outro está atado ao fundo do balde por um fio de nylon inextensível. Ao soltarmos o conjunto no ar, o pesinho tracionado pela borracha é puxado para dentro do balde.



Fig. 5 - Elevador com elástico⁵.

Há ainda outras possibilidades de montagens alternativas para o *elevador de Einstein*, dentre elas uma das mais interessantes (e um pouco mais trabalhosa) consiste em uma lanterna de pilhas modificada que só acende quando em queda livre. Os seus detalhes de montagem e funcionamento estão descritos pormenorizadamente em

⁵ Retirado de: <www.scienco.com.br>.

Rabizá (1985, p. 47). De um modo geral, todos esses modelos de elevadores de Einstein aqui descritos constituem-se em brinquedos que servem muito bem para ilustrar de forma divertida o Princípio da Equivalência.

Um terceiro modelo alternativo de elevador de Einstein é de longe o de montagem mais simples. Ele consiste em um simples copo com dois orifícios no interior do qual coloca-se água. Segurando-se o mesmo, a água derrama como mostra a figura 6. Entretanto, soltando-se o copo, ele cai sem que um único pingo saia do seu interior, até que o seguremos novamente em plena queda. Só, então, a água torna a derramar do copinho. A explicação é a mesma dos exemplos anteriores e se constitui, deste modo, em outro brinquedo ilustrativo do Princípio da equivalência.

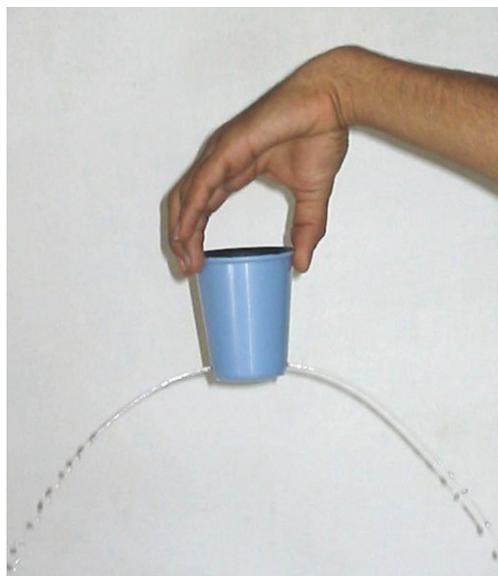


Fig. 6 - Elevador com água⁵.

VI. Conclusões

Os estudos sobre o uso de brinquedos na aprendizagem da ciência costumam centrar suas atenções na possibilidade de ilustrar determinados conceitos da Física clássica. Entretanto, mesmo em tais casos, a Física subjacente a tais brinquedos não é geralmente evidenciada de modo conveniente. No presente artigo mostramos que certos brinquedos podem servir também para evidenciar alguns princípios básicos da Física Moderna. O desafio aqui colocado é o de estender tais estudos de modo a evidenciar de forma mais clara os princípios físicos contidos nos vários campos da Física Clássica e mesmo da Física Moderna.

Referências

ANGIER, N. Fun and Learning with Science Toys. **Discover**, v. 2, n.12, p. 46-51, dec. 1981.

BOTH, R. Toys and Physical Principles. **South Australian Science Teachers Association Journal**, n. 791, p. 44-50, mar. 1979.

CALAPRICE, A. **Assim falou Einstein**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1998.

CHUONG-DAI, V. Toying with Physics. **Techniques: making education and career connections**, v. 72, n. 5, p. 14-17, may 1997.

COLELLA, V.; KLOPFER, E.; RESNICK, M. **Adventures in modeling: exploring complex, dynamic systems with StarLogo**. Williston, VT: Teachers College Press, 2001.

DIAMOND, J. Deflection of light by gravity: a physical approach. **The Physics Teacher**, v. 20, n. 8, p. 543-545, nov. 1982.

DISESSA, A. An elementary formalism for general relativity. **American Journal of Physics**, v. 49, n. 5, p. 401-11, may 1981.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A evolução da Física**. Lisboa: Edição Livros do Brasil, 1982.

EINSTEIN, A. **Como vejo o mundo**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981.

EINSTEIN, A. **Escritos da maturidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1996.

EINSTEIN, A. **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1982.

EINSTEIN, A. **Out of my later years**. New York: Philosophical Library, 1950.

GONÇALVES, E. A formação de um atleta. **Jornal do Brasil**, domingo, 13 de agosto de 2000.

FRIEDHOFFER, B. **Toying around with Science: the Physics behind toys and gags**. New York: Franklin Watts Ed, 1995.

GAIR, J.; STANCLIFFE, D. Talking about toys: an investigation of children's ideas about force and energy. **Research in Science and Technological Education**, v. 6, n. 2, p. 167-180, 1988.

HOFFMANN, B. **Relativity and its roots**. New York: Dover Publications Inc., 1999.

LEVINSTEIN, H. The Physics of Toys. **The Physics Teacher**, v. 20, n. 6, p. 358-365, sep. 1982.

LUCIE, P. **Física com Martins e Eu**. v. 1. Rio de Janeiro: Raval Artes Gráficas Ltda, 1969.

MACKEOWN, P. Gravity is Geometry. **The Physics Teacher**, v. 22, n. 9, p. 557-564, dec. 1984.

MEDEIROS, A. A Física dos brinquedos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, I, 1997, Águas de Lindóia. **Atas...**

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. Desvendando o mistério do duplo cone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, set. 2003.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. **Einstein e a Educação**, Livro no Prelo, 2005.

MEDEIROS, C.; MEDEIROS, A. Brincando e aprendendo com o mistério. **ABCEducatio**, ano 5, v. 37, ago. de 2004.

MEDEIROS, C.; MEDEIROS, A. Einstein e a sua concepção de educação. **A Física na Escola**, submetido à publicação, 2005.

MEDEIROS, C.; MEDEIROS, A.; MONTEIRO, M. Physical similarities and dissimilarities between two interesting toys. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HANDS ON EXPERIMENTS IN PHYSICS EDUCATION - ICPE-GIREP, 1998, Duisburg, Germany.

MISNER, C.; THORNE, K.; WHEELER, J. **Gravitation**. San Francisco: W. H. Freeman & Company, 1973.

NEWBOLD, C. Multiple intelligences and the artistic imagination: a case study of Einstein and Picasso. **Clearing House**, v. 72, n. 3, p. 153-156, jan-feb. 1999.

NILSSON, P. Physics toys in school education and for public understanding of Science. In: GIREP CONFERENCE: PHYSICS IN NEW FIELDS, 2002, LUND, Sweden.

PATTEN, B. Visually mediated thinking: a report of the case of Albert Einstein. **Journal of Learning Disabilities**, v. 6, n. 7, p. 415-420, aug-sept. 1973.

POLLAND, M. Scientific visualization: a synthesis of historical data. Research Report ED 369651. Educational Resource Information Center, 1994.

RABIZÁ, F. El cosmos en tu casa. Moscu: Editorial Mir, 1985.

RADFORD, D. Science from toys. London: Macdonald Educational , 1972.

RITCHIE, C. Making scientific toys. London: Lutterworth Press, 1975.

Roboz, E. H. **Albert Einstein: reminiscences of his life and our life together.** Iowa: Iowa University Press, 1991.

ROGERS, E. Physics for the inquiring mind. Princeton: Princeton University Press, 1977.

ROGERS, E.; COHEN, B. The Equivalence Principle demonstrated. In: JENNISON, B.; OGBORN, J.(Ed.). **Wonder & delight: essays in science education in honour of the life and work of Eric Rogers 1902-1990.** Bristol: Institute of Physics Publishing.

STAUFFER, F. Seeds of General Relativity. **The Physics Teacher**, v. 22, n. 1, p. 27-28, jan. 1984.

TAYLOR, B. Toying with Physics. **Science and Children**, v. 26, n. 6, p. 18-20, mar. 1989.

THOMSEN, D. In the beginning was quantum gravity. **Science News**, v. 124, n. 10, p. 152-153,157, sept. 1983.

UCKE, C. Toys for learning Physics. In: GIREP SEMINAR: DEVELOPING FORMAL THINKING IN PHYSICS, 2001, Udine, Italy.

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes, 1984.

WERTHEIMER, M. **Productive Thinking.** Chicago: University of Chicago Press, 1982.

WEST, T. A future of reversals: dyslexic talents in a world of computer visualization. **Annals of Dyslexia**, v. 42, p. 124-139, 1992.