

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Instituto de Física Gleb Wataghin – IFGW
F 609 - Tópicos de Ensino de Física I

João Arthur Portes Riccardi - RA 155888

**Relatório Final “Referenciais Não-inerciais:
Queda de uma garrafa furada”**

**Orientadora: Prof. Dr^a. Elisabeth Barolli ebarolli x(arroba)x
unicamp.br**

**Coordenador da disciplina: Prof. Dr. José J. Lunazzi lunazzi
x(arroba)x ifi.unicamp.br**



Campinas - 2º semestre de 2017

RESUMO

Este experimento didático consiste na observação do fluxo de água que vaza de uma garrafa furada ao abandoná-la em queda livre. Através dele, busca-se trazer à tona importantes questões a serem refletidas pelos alunos durante um curso básico de Física de nível médio, a saber, indagações acerca da importância de um sistema de referência ou referencial. Com um material simples e de baixo custo, podemos abordar tópicos de Física Moderna como, por exemplo, os princípios da Teoria Geral da Relatividade de Einstein, em geral esquecida em cursos de Ensino Médio e que constituem o principal foco deste trabalho.

Palavras-chave: Experimento de física sobre referenciais não-inerciais - Experimento garrafa furada - Experimento sobre Relatividade Geral - Elevador de Einstein - Princípio de Equivalência de Einstein

ABSTRACT

This didactic experiment consists on observing the water flux that leaks from a punctured bottle when abandoning it on free fall. Through it, one seeks to bring up important questions to be reflected by students during a basic course in Physics in High School, namely questions about the importance of a reference system. With a simple and low-cost material, we can approach Modern Physics' topics, such as principles of Einstein's General Theory of Relativity, often forgotten in High School courses and that constitute the main focus of this work.

Key-words: Non-inertial references physics' experiment - Punctured bottle experiment - General relativity experiment - Einstein's Elevator - Einstein's Principle of Equivalence

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Teoria

O princípio de equivalência de Einstein

Foi no escritório de patentes de Berna, na Suíça, onde trabalhava, que Einstein teve o que chamou de “a ideia mais fantástica” de sua vida. Nas palavras dele: “Da mesma forma que o campo elétrico gerado pela indução magnética, o campo gravitacional possui uma existência apenas relativa. *Porque para um observador que está caindo do telhado de uma casa, não existe (pelo menos em sua vizinhança imediata) um campo gravitacional.* [Os grifos são de Einstein]... O observador tem, portanto, todo o direito de imaginar que se encontra “em repouso”.” (Tipler, 2008)

Essa observação permitiu a Einstein a obtenção do postulado básico da sua teoria de Relatividade Geral: *Um campo gravitacional homogêneo é equivalente, sob todos os aspectos, a um referencial uniformemente acelerado.* A figura 1 ilustra bem esse postulado:

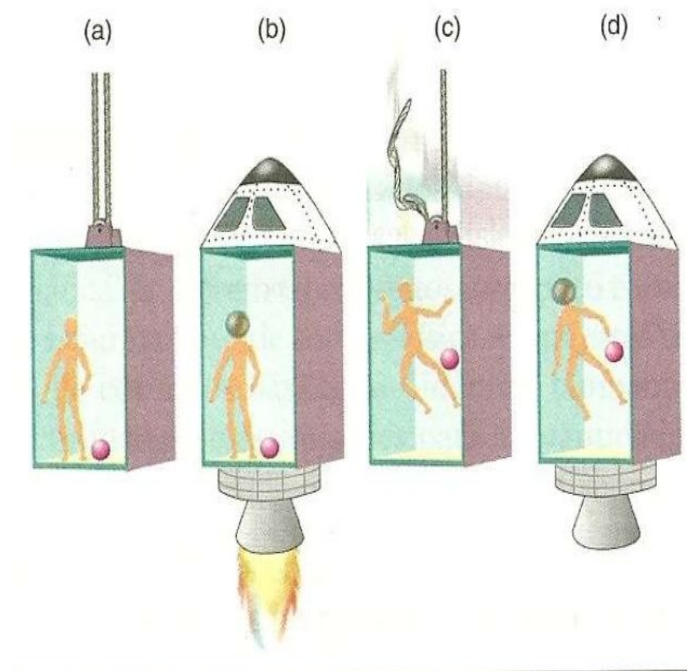


Figura 1 - Representação do Princípio de Equivalência. As situações (a) e (b) são equivalentes, assim como são as situações (c) e (d).

Na situação (a), temos um elevador parado na Terra, onde podemos “sentir” nosso peso graças à reação normal do chão. Da mesma forma, teríamos a mesma sensação na situação (b) onde, embora não exista gravidade, existe uma mesma reação normal que nos permite “simular uma gravidade” (mesma sensação provocada pela reação normal).

No elevador em queda livre em (c), a reação normal é nula e por isso a sensação de peso não existe (estamos em repouso no referencial do elevador, caindo junto com ele com a mesma aceleração g). Analogamente em (d), teríamos a mesma sensação de ausência de peso se estivéssemos dentro de uma espaçonave sem gravidade e sem aceleração dos motores. Os pares de situações (a)-(b) e (c)-(d) são, portanto, indistinguíveis.

Aplicando a Equivalência de Einstein ao Teorema de Torricelli

Neste experimento, vamos explorar a situação de (c), observando que a água cessa em vazar da garrafa quando está em queda livre pelo simples fato de que, no referencial da garrafa, está parada, com a sensação de ausência de peso.

Outra forma de interpretar esse mesmo fenômeno é tomando a equação da velocidade de escoamento da água dada uma coluna de água de altura h (Teorema de Torricelli), como segue:

$$v = \sqrt{2gh}$$

De certa forma, o que fazemos nesse experimento é anular g (ao menos no referencial da garrafa) e, sendo assim, anulamos a velocidade com que a água flui para fora, isto é, cessamos o fluxo de água.

1.2 - Importância do trabalho

Visamos utilizar neste trabalho materiais recicláveis e de baixo custo, propondo assim acessibilidade até as escolas mais precárias do país. Trata-se de um importante fenômeno físico a ser observado, precursor dos problemas que foram tratados pela física moderna einsteiniana, haja visto que a mecânica newtoniana não dá conta totalmente de referenciais não-inerciais como nos estabelece a própria 1ª Lei de Newton. Sendo assim, é uma ótima oportunidade para se discutir

em aula a importância dos referenciais e até mesmo introduzir alguns tópicos problematizados em Física Moderna.

2. APARATO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Aparato

Este experimento didático é composto por uma garrafa pet reutilizada, com um furo próximo à sua base feito com um prego fino; água; uma corda para segurar a garrafa durante a queda; uma bacia plástica para coletar a água; um pano grande para o caso de algum vazamento inesperado e um suporte vertical de madeira desmontável onde colam-se papéis. As figuras 2 à 5 mostram o conjunto experimental.



Figura 2 - Detalhe do furo da garrafa



Figura 3 - Garrafa com a corda auxiliar



Figura 4 - Bacia utilizada para coletar a água



Figura 5 - Suporte de madeira com papéis

Procedimento

Coloca-se a bacia e o suporte vertical no chão, ambos sobre o pano para evitar encharcamentos. Em seguida, coloca-se água na garrafa furada, tampando-a rapidamente para evitar o escoamento pelo furo. Feito isso, entreabre-se a garrafa mirando o jato resultante da abertura na bacia para evitar encharcamento do pano (e do chão).

Segurando em uma das extremidades da corda e estando a outra presa à garrafa, abandonada-se essa última de modo que a reta que contém a trajetória do movimento seja paralela e próxima ao suporte vertical (a ideia é que, ao passar ao lado do suporte, o jato que cessou não molhe o papel). Por fim, observa-se o fenômeno, pedindo ideias explicativas para os alunos sobre o que ocorreu e porquê. Após as conjecturações, a água que jorrou para dentro da bacia pode ser reutilizada para uma nova demonstração, evitando assim que seja desperdiçada água e que o chão se encharque de maneira exagerada.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

Em repouso e tampada, a água vaza muito pouco pelo furo da garrafa, pois a pressão atmosférica combate a pressão da coluna de água. Já entreaberta (mas ainda em repouso), a água é ejetada para fora da garrafa pois a pressão atmosférica agora atua auxiliando a coluna de água.

Finalmente, ao abandonar a garrafa, vemos que a água não molha o papel do suporte de madeira e que portanto o jato de fato cessa em fluir para fora da garrafa durante a queda livre, como mostrado na figura 6. Para aqueles que não conseguiram ver que o jato cessa em fluir, além da evidência do papel seco, o autor também gravou um vídeo da garrafa caindo em câmera lenta, disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=BcG08-TnTIg>.



Figura 6 - Garrafa vazando em repouso. Em seguida, imagem da queda livre, onde o vazamento cessa.

4. O EVENTO DE CONSULTA À COMUNIDADE E MAIS DEMONSTRAÇÕES

O evento de consulta à comunidade teve uma modesta contribuição nesse trabalho, já que o experimento foi demonstrado apenas 2 vezes, uma para um grupo de 4 alunos e outra para 2 professores. Embora o número de apresentações tenha sido modesto, essas foram consideradas positivas, pois os alunos ficaram impressionados com o cessar do fluxo de água para fora da garrafa enquanto essa caía.

Essas duas apresentações também contribuíram para o aumento da didática do autor do trabalho, haja visto que foi necessário explicar a analogia feita com o elevador de Einstein e o Princípio de Equivalência.

Além do evento, o autor mostrou o vídeo feito para alguns alunos do colégio onde trabalha e para alguns colegas de profissão que disseram conseguir observar que o jato cessa em fluir, uma vez que o vídeo estava em câmera lenta. Por fim, dois alunos do coordenador da disciplina também viram o experimento ao vivo, podendo constatar que de fato a garrafa não molha os papéis do suporte ao cair.

5. CONCLUSÃO

O experimento foi bem sucedido, tendo em vista que foi possível inferir que de fato a água cessa em vazar pois não molha o papel do suporte durante a queda. No que diz respeito à filmagem, a transparência da água foi um complicador mas que pode ser solucionado via adição de xarope de groselha, que tingiu o fluido e contrastou com a cor clara da parede.

Além disso, se trata de um experimento bastante simples em termos de montagem do aparato experimental e que é imune à restrições orçamentárias, haja visto que o custo dos materiais é bastante baixo.

Por fim, cabe ressaltar que o uso desse experimento é uma maneira interessante de se introduzir discussões acerca de tópicos de Física Moderna tais como a Relatividade no contexto do Ensino Médio.

“Meu orientador concorda com o expressado neste relatório pré-final e deu a seguinte opinião: O experimento proposto e realizado com sucesso tem como uma de suas características principais o fato de ser um experimento simples, de baixo-custo, que ilustra bem o princípio da equivalência de Einstein. Além disso, como descrito neste relatório final, foi possível produzir um vídeo em câmera lenta publicado no youtube, e que pode ser acessado por meio do link indicado. O relatório produzido comunica muito bem todo o processo de planejamento e desenvolvimento do experimento, bem como a dedicação de João Arthur para que o experimento fosse bem sucedido.”

6. REFERÊNCIAS

-Os vídeos que inspiraram esse trabalho (pesquisa no YouTube: *general relativity experiment*)

<https://www.youtube.com/watch?v=0jjFjC30-4A> - Nesse vídeo, o professor Brian Greene da Universidade de Columbia é entrevistado por Stephen Colbert com o intuito de fornecer à audiência leiga noções gerais sobre a teoria da relatividade geral de Einstein. Para tanto, Greene utiliza de dois experimentos, o primeiro é o mesmo que apresento neste trabalho e o segundo é o clássico experimento do “tecido espacial”.

<https://www.youtube.com/watch?v=HneFM-BvZj4> - Esse vídeo apresenta uma nova entrevista com Brian Greene sobre a rejeição que Einstein tinha com a Mecânica Quântica e sobre como lhe ocorreu a ideia da Teoria da Relatividade Geral. Novamente, o professor faz uso do experimento que desenvolvi neste trabalho.

-Embasamento teórico:

TIPLER, Paul A. e LLEWELLYN, Ralph A. Física Moderna. Cap. 2, p. 60 e 61

BAUER, Wolfgang, WESTFALL, Gary D. e DIAS, Helio Física para Universitários: Relatividade oscilações, ondas e calor. Cap. 1, p. 30

-Imagens:

<https://www.slideshare.net/matuff/fisica-moderna-5665362> - Visitado em 26/09