

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE FOGUETE A PROPULSÃO UTILIZANDO ÁGUA E PRESSÃO

VENTURA, Daylon Cortezi¹

MAGALHÃES, Leonardo Rodrigues²

FRANZINI, Otacílio Donisete³

RESUMO

O presente trabalho descreve a montagem de um sistema de propulsão que funciona com água e ar comprimido, utilizando como foguete garrafas descartáveis de refrigerante (PET) de 600ml, 1000ml e 2000ml. Apresenta ainda a relação do volume de água e pressão interna do foguete com o tempo de voo, e quais dos parâmetros têm maior relevância no presente experimento científico.

Palavras-chave: Foguete. Pressão D'água. Terceira Lei de Newton.

ABSTRACT

The present work describes the assembly of a propulsion system that works with water and compressed air, using as a rocket disposable bottles of refrigerant (PET) of 600ml, 1000ml and 2000ml. It presents the relation of the volume of water and internal pressure of the rocket with the time of flight, and which of the parameters has more relevance in the present scientific experiment.

Keywords: Rocket. Water Pressure. Newton's Third Law.

¹ Discente – UNIFEV – Centro Universitário de Votuporanga

² Discente – UNIFEV – Centro Universitário de Votuporanga

³ Mestre Engenharia Mecânica – UNESP – Ilha Solteira, especialista em Gestão da Produção na Indústria da Metal Mecânica, especialista em Gestão Empresarial e Finanças pela UNEMAT e Licenciado em Matemática pela UNIFEV. Trabalho como professor Universitário pela UNIFEV na área de Exatas e também no IFSP – Instituto Federal de São Paulo – Campus Votuporanga como Técnico de Laboratório em Mecânica.

INTRODUÇÃO

Não se sabe exatamente quando os primeiros foguetes de verdade apareceram. Há relatos de dispositivos parecidos com foguetes, no século I d.C., em que os chineses possuíam uma forma simples de pó para armas feito com salitre (nitrato de potássio), enxofre e pó de carvão. Usavam esse pó principalmente nas celebrações religiosas e em outras festividades. Para criar explosões, eles enchiam tubos de bambu com essa mistura e faziam com que pegassem fogo. [5]

Acredita-se que os primeiros verdadeiros foguetes tenham aparecido por acidente, quando algum desses tubos tenha falhado e, ao invés de explodir, tenha subido, impulsionado pelos gases e faíscas produzidas pela queima da pólvora.

Foguetes a água são modelos de foguetinhos caseiros que usam uma combinação de água e pressão para obter um lançamento, não sendo usado nenhum tipo de material inflamável. [5]

Uma garrafa PET (como as de refrigerante) é cheia com água, então ela é invertida na mesa de lançamentos. Usa-se uma bomba de bicicleta ou outra fonte qualquer de ar comprimido, que quando estiver comprimido o sistema de soltura o libera.

Além de sua suma importância para a área da Educação, é ainda possível trabalhar nos níveis de Ensino Fundamental, Ensino Médio e Ensino Superior conteúdos de Física a Matemática, como as Leis de Newton, Probabilidade e Estatística, Velocidade e Movimento, Parábolas, entre outros.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

O equacionamento do lançamento do foguete a propulsão a água pode ser entendido a partir da aplicação da segunda Lei de Newton. [4]

$$\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

Para a descrição do movimento do foguete, considera-se somente a força gravitacional (desprezando o atrito do ar) e que seu movimento é uniforme, com velocidade constante. Essa consideração é feita para tornar o cálculo mais simples e o resultado possui pouca margem de erro. No momento do lançamento existe uma ejeção de água, com isso o foguete vai perdendo massa ($M - \Delta H_2O$) e há um aumento na velocidade. [4]

A descrição do movimento do foguete pode ser encontrada através do equacionamento para determinar a velocidade do foguete, velocidade de escape da água e a equação de continuidade que podem ser adquiridos pelas referências [2, 4, 6].

Deve ser lembrando que após ele atingir sua velocidade máxima, começará a desacelerar e depois a cair em queda livre, seguindo a equação da velocidade:

$$V = V_0 - gt \quad (2)$$

Após realizar os arranjos matemáticos, pode-se utilizar o equacionamento para o cálculo teórico do tempo de voo conforme a seguir:

$$t = 2 \cdot \left((-g \cdot \Delta t_s) + \left(\left(\sqrt{2 \cdot \frac{P_0}{\rho}} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{V_0}{V} \right)^2} \right) - \left(\frac{P_{atm}}{P_0} \right)} \right) \cdot \left(\left(\frac{\rho \cdot \Delta V}{(V_{H_2O} \cdot \rho) + \left(\frac{m_f}{10} \right)} \right) \right) \right) \right) / g \quad (3)$$

Para efeito de simplificação foi adotado o tempo de ascensão como tempo de queda do foguete, por isso o termo multiplicativo de valor 2 na equação (3).

2. METODOLOGIA

Para realização do experimento foram construídos foguetes e um sistema de pressurização e lançamento desses.

Para tanto, foram utilizadas duas garrafas PET para a construção da sua fuselagem, que é composta pela câmara de compressão e pelo bico, região frontal do foguete. Para a câmara de compressão, foi utilizada uma garrafa

inteira sem modificações. Nesta parte do foguete, estavam contidos a água e o ar comprimido. Para o bico, utilizou-se apenas a parte de cima da garrafa, cônica. Já para a união das partes, foram utilizadas cola de E.V.A. e isopor e reforçado com cola quente, fixando a parte cônica no fundo da outra garrafa inteira e observando sempre o alinhamento, como demonstra a Figura 1.

Na construção das aletas do foguete, responsáveis pela estabilidade durante o voo, utilizou-se papelão recortado no formato de triângulos proporcionais à altura e à largura da garrafa independente de qual volume, de modo que eles se encaixassem na parte cônica da garrafa inteira, utilizando cola quente. Na parte do bico, foi inserida uma tampa com um parafuso, uma porca e algumas arruelas, responsáveis por direcionar o foguete, conforme ilustra a Figura 1.



Figura 1 – Foguete de garrafa PET

O sistema de propulsão constou da base de lançamento e o aparato de pressurização que foi conectado à câmara de compressão do foguete. Para a construção da base uniram-se os tubos, luvas e conexões no formato de um “H” com uma conexão “T” no centro. O cilindro de aço 1020 com $\phi 45\text{mm} \times 150\text{mm}$ foi usinado para ter rosca de um lado para encaixar na base de lançamento, furos com rosca nas laterais para encaixe do manômetro e do bico para pressurização e um furo para encaixe do tubo e comunicação com o bico e o manômetro. O tubo foi encaixado na primeira peça e soldado, então sua união foi usinada para uma melhor aparência.

O cilindro de aço 1020 com $\phi 20\text{mm} \times 40\text{mm}$ foi usinado para ser encaixado no tubo, depois eles foram soldados e usinados para se ajustarem ao diâmetro da boca da garrafa. Então, foram feitos dois canais para que os “o-rings” fossem fixados e um furo passante para que o ar comprimido chegasse à garrafa. O cilindro de aço 1020 com $\phi 50\text{mm} \times 55\text{mm}$ foi furado e usinado para a confecção de uma luva para o sistema de soltura. Foram parafusados o bico e o manômetro em seus devidos orifícios, com o auxílio de fita teflon para evitar vazamentos, os “o-rings” foram postos e o conjunto rosqueado com a base, os “enforca gatos” e a abraçadeira de metal foram montados no tubo e, por fim, colocada a luva para o sistema de soltura.

A calibração do manômetro seguiu o procedimento do método indireto de calibração, gerando assim a curva de resposta conforme equação a seguir:

$$\textit{Equação de Resposta} = 1,120678493 x - 0,900586108 \quad (4)$$

Para o sistema de aquisição de dados foi usado um celular, um notebook e um software de edição de vídeo. Para o abastecimento do foguete foi utilizado uma proveta com suas devidas graduações.

Para o lançamento, uma bomba de ar foi conectada a uma torneira fechada, em que esta deveria ser conectada ao tubo de lançamento, enquanto a pressão de saída mostrada no manômetro do compressor foi ajustada com um incremento de 1 bar em relação a pressão de lançamento. O volume de água foi medido, acrescentando-se o volume do tubo para que no foguete houvesse o volume de lançamento.

O foguete foi abastecido com o uso do funil, para que, logo em seguida, fosse encaixado o tubo na garrafa e o sistema de soltura fosse fixado. A base de lançamento do foguete foi repousada no chão a 90° , a torneira foi aberta e verificada na pressão no manômetro da base, quando a pressão desejada fosse atingida a torneira ia sendo fechada, e, ao acionar o sistema de gravação de vídeo, o sistema de soltura ia sendo liberado, e quando o foguete atingisse o solo, o sistema de gravação seria desligado.

Para facilitar o procedimento, utilizou-se a pressão nominal indicada no manômetro da base de lançamento, esta pressão foi corrigida no tratamento dos dados.

Após a filmagem de todos os lançamentos, os vídeos foram analisados e os tempos de voo foram obtidos com o auxílio do software de edição, contando-se o tempo entre o primeiro frame do lançamento até o frame em que o foguete toca o chão.

Para os lançamentos variaram-se as pressões de 3bar, 4bar, 5bar por ser o limite da bomba de ar, combinados com os volumes de $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ e $\frac{3}{7}$ do volume de cada garrafa com água. Para cada combinação foram realizados 5 lançamentos.

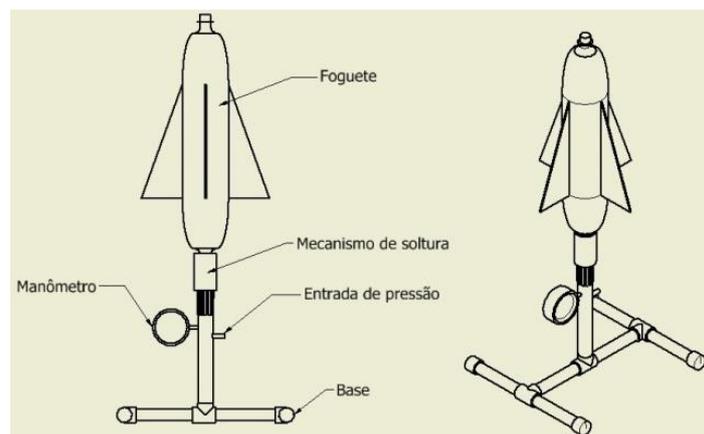


Figura 2 – Base experimental

3. DADOS E RESULTADOS

Após a obtenção dos resultados das medições dos tempos em relação ao volume e pressão, eles foram compilados em um software de tratamento estatístico com o fim de calcular as médias e desvios padrões de cada combinação.

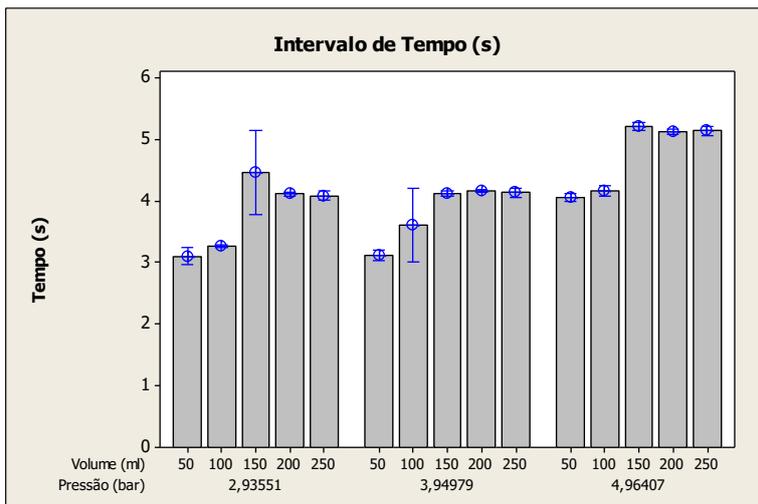


Gráfico 1 – Valores médios e desvio padrão para garrafa de 600 ml.

Pôde-se notar que para as garrafas com 600 ml independente da pressão há um ganho no tempo de voo com o aumento no volume de água até 150ml, a partir desse ponto o aumento do volume de água provoca um decaimento no tempo de voo. Além disso, com exceção da pressão de 2,93551 bar para 150 ml e 3,94979 bar para 100 ml, verificou-se que o desvio padrão no experimento de garrafas com 600 ml apresentou em torno de 5% do tempo de voo, mostrando que os testes foram bem executados.

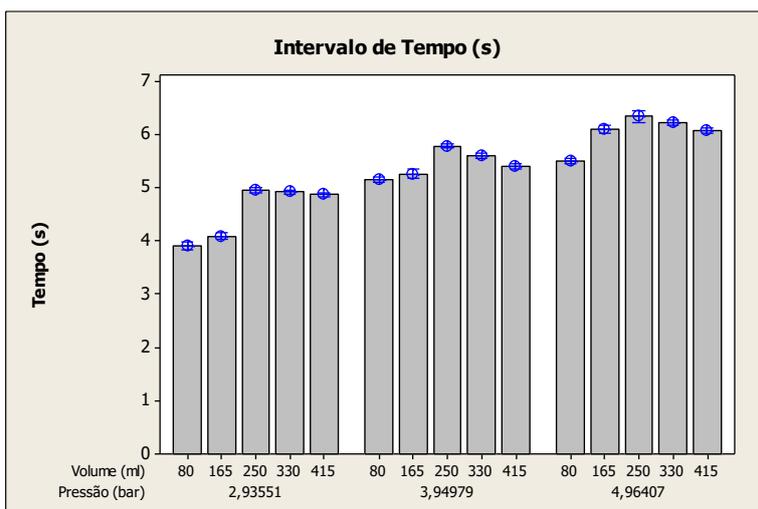


Gráfico 2 – Valores médios e desvio padrão para garrafa de 1000 ml.

Pôde-se notar ainda que para garrafas com 1000ml, independente da pressão, há um ganho no tempo de voo com o aumento no volume de água até 250ml, a partir desse ponto o aumento do volume de água provoca um decaimento no tempo de voo. Além disso, verificou-se que o desvio padrão no experimento de garrafas com 1000ml apresentou em torno de 5% do tempo de voo mostrando que os testes foram bem executados.

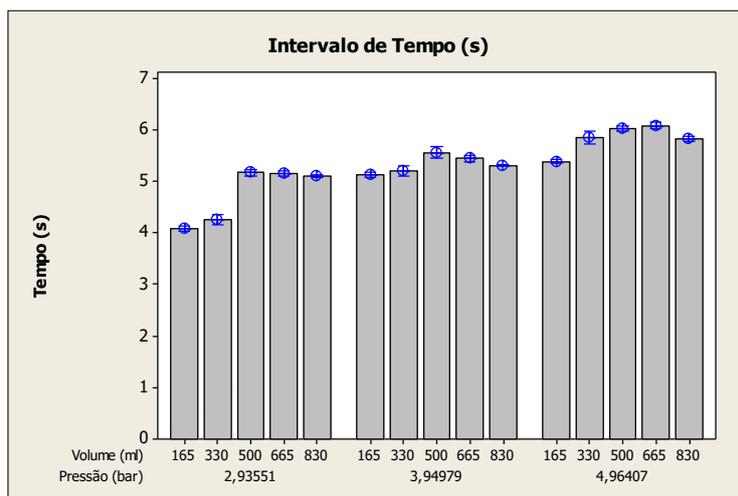


Gráfico 3 – Valores médios e desvio padrão para garrafa de 2000 ml.

Observou-se também que para as garrafas com 2000ml independente da pressão há um ganho no tempo de voo com o aumento no volume de água de 500ml até 665ml, a partir desse ponto o aumento do volume de água provoca um decaimento no tempo de voo. Além disso, constatou-se que o desvio padrão no experimento de garrafas com 2000ml apresentou em torno de 5% do tempo de voo mostrando que os testes foram bem executados.

Os gráficos 4, 5 e 6 mostraram que há várias combinações de pressão e volume cujo resultado é um mesmo tempo de voo, e que com o aumento da pressão o tempo de voo torna-se cada vez mais independente do volume de água.

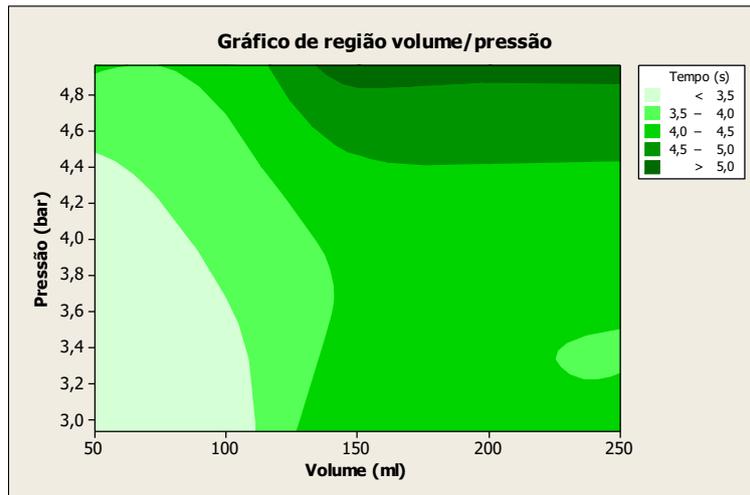


Gráfico 4 – Combinação de tempo entre volume/pressão 600 ml.

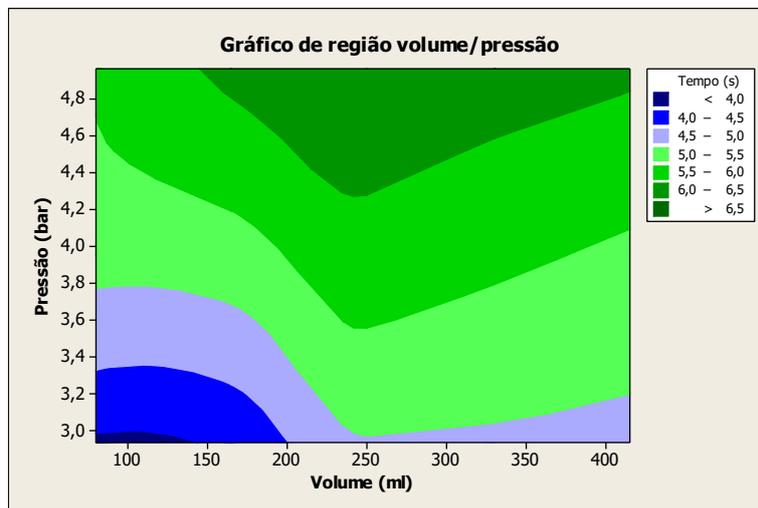


Gráfico 5 – Combinação de tempo entre volume/pressão 1000 ml.

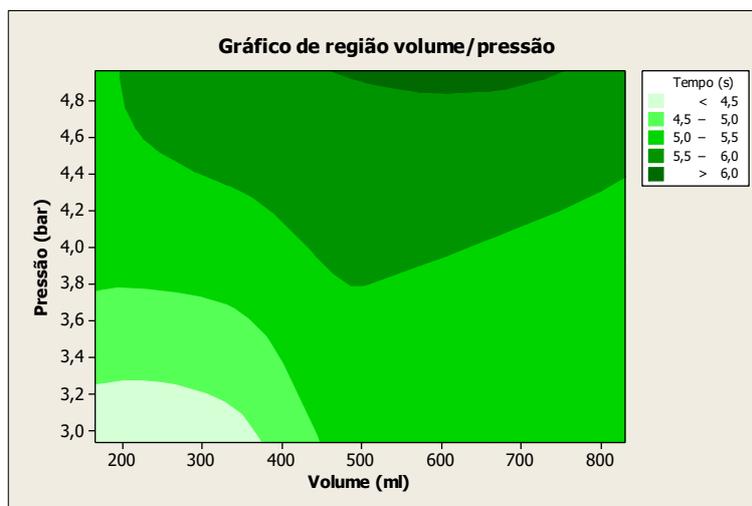


Gráfico 6 – Combinação de tempo entre volume/pressão 2000 ml.

Para efeito de comparação com o equacionamento encontrado na bibliografia, foi construída uma tabela para mostrar a diferença em termos percentuais destes valores:

Volume	Pressão (bar)	Garrafa 600 ml			Garrafa de 1000 ml			Garrafa de 2000 ml		
		t. teórico (s)	t. medido (s)	Diferença	t. teórico (s)	t. medido (s)	Diferença	t. teórico (s)	t. medido (s)	Diferença
1/12	2,46	3,17	3,10	-2,29%	3,35	3,92	17,13%	3,57	4,09	14,62%
1/12	3,58	3,91	3,12	-20,13%	4,12	5,16	25,32%	4,39	5,13	16,89%
1/12	4,70	4,53	4,06	-10,34%	4,80	5,50	14,65%	5,08	5,39	6,03%
1/6	2,46	3,17	3,26	2,81%	3,26	4,10	25,59%	3,37	4,27	26,60%
1/6	3,58	3,95	3,61	-8,64%	4,07	5,27	29,58%	4,20	5,21	24,03%
1/6	4,70	4,61	4,17	-9,49%	4,74	6,11	28,86%	4,90	5,86	19,68%
1/4	2,46	2,91	4,46	53,45%	2,95	4,97	68,46%	3,01	5,17	71,56%
1/4	3,58	3,69	4,12	11,70%	3,75	5,79	54,52%	3,83	5,57	45,54%
1/4	4,70	4,34	5,20	19,86%	4,41	6,35	44,03%	4,50	6,03	33,92%
1/3	2,46	2,54	4,11	62,03%	2,57	4,92	91,63%	2,59	5,15	98,63%
1/3	3,58	3,31	4,16	25,56%	3,36	5,60	66,90%	3,39	5,45	60,62%
1/3	4,70	3,95	5,13	29,96%	4,00	6,23	55,80%	4,05	6,08	50,28%
3/7	2,46	2,08	4,08	95,97%	2,08	4,87	134,25%	2,10	5,10	142,91%
3/7	3,58	2,86	4,16	45,38%	2,87	5,41	88,61%	2,90	5,13	76,94%
3/7	4,70	3,48	5,14	47,70%	3,49	6,09	74,32%	3,59	5,84	62,57%

Tabela 1- Dados Compilados do Foguete com 600, 1000 e 2000 ml

Um dos prováveis motivos para diferenças pode estar no fato de se ter desprezado as diferenças de tempo de voo na ascensão e queda do foguete. A diferença também pode ser explicada pela presença de fluxos de ar perpendiculares à trajetória que podem ter inclinado o foguete e por efeito de planador o tempo ter sido afetado.

CONCLUSÃO

O trabalho foi de extrema importância para a complementação dos conhecimentos dos conteúdos de Estatística e Cálculo, além dos conhecimentos em Física.

Concluiu-se que, por um lado, o tempo de voo é dependente tanto da pressão quanto do volume de água, mas que um aumento no volume acima de aproximadamente um quarto do volume do foguete se transforma em algo ineficiente, reduzindo o tempo de voo dele.

Por outro lado, o aumento de pressão se mostrou mais efetivo no prolongamento do tempo de voo do que os acréscimos de volume de água, sempre aumentando o tempo de voo e, finalmente, suas pequenas variações

provocaram melhoras significativas do que grandes aumentos relativos no volume de água.

REFERÊNCIAS

[1] DE SOUZA, James Alves. **Um foguete de garrafas PET**. Departamento de Física, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.

[2] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Mecânica** (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.). Rio de Janeiro, v. 1, 4ª ed.

[3] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica** (Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.), Rio de Janeiro, v. 2, 4ª ed.

[4] KAGAN, D; BUCHHOLTZ L.; KLEIN, L. **The Physics Teacher** **33**, **159** (1995). 33.

[5] NASA, National Aeronautics and Space Administration. **Foguetes: Manual do professor de Ciências, Matemática e Tecnologia**. Washington. D.C., 1996.

[6] NUSSENYVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações, Ondas e Calor** (Editora Edgard Blücher LTDA, 2002), v. 2, 4ª ed.

[7] PEROTTI, Barrio. **Theoretical and experimental analysis of the physics of water rockets**. European journal of physics [0143-0807]:2010 vol:31 iss:5 pg:1131 -1147.

[8] WILDMARK, S.A. **The Physics Teacher** **36**, **148** (1998).