Problemas Olímpicos

Seleção e tradução:

José Evangelista Moreira
Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará
e-mail: ita@fisica.ufc.br

José Pedro Rino
Departamento de Física, Universidade Federal de S. Carlos
e-mail: djpr@df.ufscar.br

1 Como determinar experimentalmente o calor específico do petróleo usando uma balança, um calorímetro, um termômetro, um aquecedor elétrico, um cronômetro, petroleo líquido, água e acessórios? Discuta o procedimento experimental.

I Olimpíada Internacional de Física, Varsóvia - Polônia (1967)

2 Um andarilho encontra-se no meio de um grande deserto completamente plano. A alguma distância ele vê o que parece ser água na superfície do deserto. Conforme ele se aproxima da "água" ela parece estar se afastando, de modo que sua distância até a "água" se mantém como antes. Explique este fenômeno.

Calcule a temperatura no nível do solo para o fenômeno descrito acima, supondo que os olhos do andarilho estão a uma altura de 1,60 m acima do solo e que sua distância até a "água" é de 250 m. O índice de refração do ar a uma temperatura de 15 °C e pressão atmosférica normal é 1,000276. A temperatura do ar a uma altura acima de 1 m é suposta constante e igual a 30 °C, e a pressão do ar nas condições normais de pressão atmosférica é 0,1013 MPa.

Denote o índice de refração por n e suponha que n - 1 é proporcional à densidade do ar.

Discuta a precisão do resultado.

XV Olimpíada Internacional de Física, Sigtuna - Suécia (1984)

3 Uma expedição científica é enviada para uma ilha desabitada. Não há qualquer fonte de energia, mas os integrantes da expedição acham um tanque com um gás quimicamente inerte. Este gás é mais pesado do que o ar e sua pressão e temperatura são as mesmas da atmosfera ao seu redor. Os cientistas têm também dois tipos de membranas, uma que é permeável ao gás inerte e outra que é permeável somente ao ar.

Sugira uma maneira de como construir uma máquina capaz de produzir trabalho útil a partir dos itens disponíveis aos membros da expedição.

VII Olimpíada Internacional de Física, Varsóvia - Polônia (1974)

4 Neste problema analisaremos e interpretaremos as medidas realizadas em 1994 sobre a emissão de ondas de rádio emitidas por uma fonte composta situada dentro de nossa galáxia.

O receptor utilizado podia detectar ondas de rádio com comprimentos de vários centímetros. Na Figura 1 vemos imagens de curvas de igual intensidade de radiação (no estilo de uma curva de nível de uma superfície) correspondente a diferentes tempos (para seis datas diferentes). Os dois máximos de intensidade associados aos círculos menores podem ser interpretados como correspondentes a dois objetos que se afastam de um centro comum (marcado com uma cruz em cada uma das imagens; este centro é suposto fixo no espaço). As medições realizadas nos diferentes dias foram feitas na mesma hora. O segmento de um segundo de arco corresponde à escala da Figura 1 (1 sa = 1/3600 de um grau).

Esta seção apresentará problemas desafiadores que têm sido propostos em olimpíadas, gincanas e livros e comentará a solução dos mesmos.

A distância da Terra ao corpo celeste indicado com as cruzes é estimada em R = 12,5 kpc (1 kpc = 3,09. 10^{19} m). A velocidade da luz é c = 3 x 10^8 m/s. Cálculos de erros não são exigidos na solução.

a) Indique as posições angulares, em relação ao centro fixo comum dos dois objetos ejetados, como $\theta_1(t)$ e $\theta_2(t)$ ($\theta_1(t)$ corresponde ao objeto emissor à esquerda e $\theta_2(t)$ ao objeto emissor à direita e t é o tempo de observação expresso em dias). Considere o tempo igual a zero para a primeira observação. Indique, além disso, como ω_1 e ω_2 as correspondentes velocidades angulares observadas da Terra. Sejam também $v'_{1,\perp}$ e $v'_{2,\perp}$ as correspondentes velocidades transversais aparentes (normais à linha de observação da Terra).

Utilizando a figura, construa um gráfico de θ_1 e θ_2 em função do tempo (considere θ_1 positivo e θ_2 negativo, medidos a partir do centro comum) para determinar os módulos das velocidades angulares ω_1 e ω_2 expressas em milisegundos de arco por dia (msa/d).

Determine também os valores numéricos de $v'_{1,\perp}$ e $v'_{2,\perp}$ (alguns dos valores das velocidades transversais aparentes obtidas podem ser maiores que a velocidade da luz, causando um paradoxo aparente).

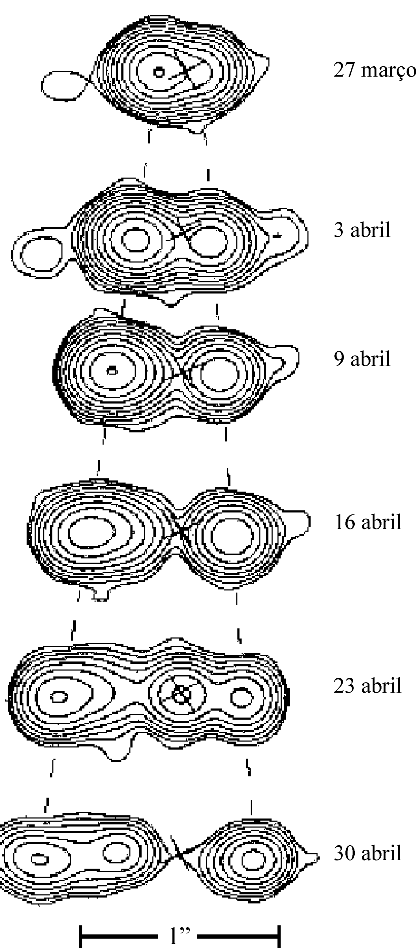


Figura 1. Emissão de rádio de uma fonte em nossa galáxia.

b) Para resolver o aparente paradoxo que surgiu no item (a), considere o seguinte problema: seja uma fonte luminosa, movendo-se a uma velocidade $\vec{v}$ com um ângulo ϕ ($0 < \phi < \pi$) em relação à direção do raio R de um observador em O, como mostra a Figura 2.

Expresse o módulo de $\vec{v}$ como $v = \beta c$, sendo c a velocidade da luz. A distância ao observador é R. A velocidade transversal aparente $v'_{\perp}$ para o observador em O é a distância transversal percorrida dividida pelo tempo de chegada a O, dos sinais que partem em instantes diferentes da fonte. A velocidade angular medida pelo observador é ω.

Determine $v'_{\perp}$ e ω em termos de β, R, e ϕ.

c) Suponha que os dois objetos ejetados, descritos na introdução e na parte (a) deste problema, estão se movendo em direções opostas com o mesmo módulo da velocidade $v = \beta c$. Logo, os resultados da parte (b) permitem calcular β e ϕ a partir das velocidades angulares ω_1 e ω_2 e a distância R. Considere que ϕ corresponde ao objeto que, na parte (a), foi designado como 1. Deduza expressões para β e ϕ em termos de quantidades conhecidas e determine seus valores numéricos a partir dos dados da parte (a).

d) No problema de um único objeto, considerado na parte (b), encontre a condição para que a velocidade transversal aparente $v'_{\perp}$ seja maior que a velocidade c da luz. Escreva esta condição na forma $\beta > f(\phi)$ e dê uma expressão analítica para a função $f(\phi)$ na folha de respostas. Desenhe na folha de gráficos o plano (β, ϕ) e assinale a região fisicamente relevante dos valores de β e ϕ, para os quais se cumpre a condição $v'_{\perp} > c$. Sombreie o interior da região mencionada.

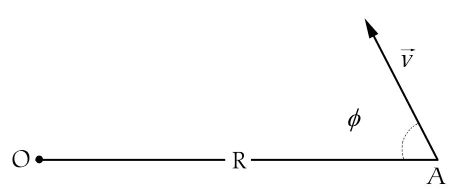


Figura 2: O observador está em O e a posição original da fonte de rádio está em A. O vetor velocidade é v.

e) Novamente, no problema de um só objeto da parte (b) encontre uma expressão para o valor máximo $(v'_{\perp})_{\text{máx}}$ de $v'_{\perp}$ em termos de β. Escreva seus resultados no lugar correspondente da folha de resposta. Observe que $(v'_{\perp})_{\text{máx}}$ tende a infinito quando β se aproxima de 1.

f) As estimativas do valor de R dado na introdução não são muito confiáveis. Por isso, alguns investigadores estão procurando formas melhores e mais diretas de determinar R. Uma idéia é a seguinte: suponha que podemos identificar e medir os comprimentos de onda λ_1 e λ_2 da radiação dos dois objetos ejetados, afetados pelo efeito Doppler, correspondentes ao mesmo comprimento de onda original λ_0 da fonte em repouso. A partir da expressão relativística do efeito Doppler $\lambda = \lambda_0 (1- \beta \cos f)(1-\beta^2)^{-(1/2)}$ e supondo, como antes, que os objetos se movem em sentidos opostos com o mesmo módulo da velocidade v, mostre que β pode ser expresso em termos de λ_0, λ_1 e λ_2 como

$$\beta = \sqrt{1 - \frac{\alpha \lambda_0^2}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2}}$$

Escreva o valor numérico do coeficiente α.

Finalmente, é possível notar que as medidas de λ_1 e λ_2 podem representar, na prática, uma nova maneira de estimar a distância.

XXIX Olimpíada Internacional de Física - Islândia (1998)

5 (a) Um fóton de freqüência f possui uma massa inercial efetiva m determinada por sua energia. Podemos supor que ele tem uma massa gravitacional igual à sua massa inercial. Desta forma, um fóton, emitido da superfície de uma estrela, perderá energia quando escapar do campo gravitacional da mesma. Mostre que a variação na freqüência do fóton quando escapa da superfície de uma estrela para o infinito é dada por

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{GM}{Rc^2}$$

para $\Delta f << f$, sendo G a constante de gravitação, R o raio da estrela, c a velocidade da luz e M a massa da estrela.

Desta forma, o deslocamento para o vermelho de uma linha espectral, medida bastante longe da estrela, pode ser usada para medir a razão M/R. O conhecimento de R permite-nos determinar a massa da estrela.

(b) Uma espaçonave não tripulada é lançada em um experimento para medir ambos a massa M e o raio R de uma estrela em nossa galáxia. Quando a espaçonave aproxima sua objetiva radialmente, fótons emitidos de íons de He^+ na superfície da estrela são monitorados via excitação de ressonância dos feixes de íons de He^+ em uma câmara de testes dentro da espaçonave. Absorção ressonante ocorre somente se os íons He^+ tiverem uma velocidade na direção da estrela que compensem exatamente o alargamento para o vermelho. A velocidade ($v = \beta c$) dos íons de He^+, na espaçonave relativa à estrela na absorção ressonante, é medida como função da distância d da superfície (mais próxima) da estrela. Os dados experimentais são mostrados na tabela em anexo. Utilizando os dados da Tabela 1, determine graficamente a massa M e o raio R da estrela. Não há necessidade em estimar incertezas em sua resposta.

Tabela 1. Dados para a condição de ressonância

Parâmetro de velocidade	$\beta = v/c$ (10^{-5})	3,352	3,279	3,195	3,077	2,955
Distância da superfície da estrela	d (10^8 m)	38,90	19,98	13,32	8,99	6,67

Para determinar R e M em tal experimento, é usual considerar uma correção na freqüência devido ao recuo do átomo emissor. (O movimento térmico alarga as linhas de emissão sem deslocar a posição de seu máximo e podemos, então, supor que todo efeito térmico tenha sido considerado).

Seja E a diferença de energia entre dois níveis atômicos de energia, com o átomo em repouso em cada caso. Suponha que o átomo decai ao repouso, produzindo um fóton e o recuo de um átomo. Obtenha a expressão relativística para a energia hf do fóton emitido em termos de E e da massa de repouso inicial m_0 do átomo.

Desta forma, faça uma estimativa numérica do desvio relativístico de freqüência para o caso dos íons de He^+. Sua resposta necessariamente deve ser muito menor que o desvio gravitacional para o vermelho obtido na parte (b).

Dados:

Velocidade da luz

$c = 3{,}0 \times 10^8$ m/s

Energia de repouso do He

$m_0c^2 = 4 \times 938$ (MeV)

Energia de Bohr

$E_n = -13{,}6\ Z^2/n^2$ (eV)

Constante gravitacional

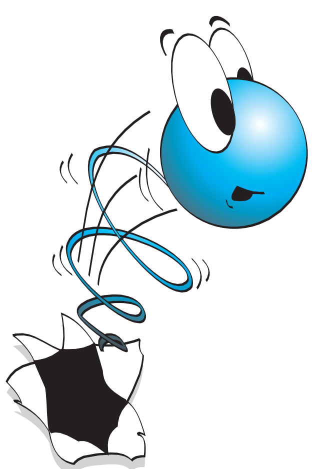
$G = 6{,}7 \times 10^{-11}$ Nm^2 kg^2

XXVII Olimpíada Internacional de Física - Austrália (1996)

Envie a sua solução para Prof. José E. Moreira: ita@fisica.ufc.br

Soluções comentadas no próximo número de *Física na Escola*.

XIV Simpósio Nacional de Ensino de Física



Atividades propostas

- ✓ Conferência de abertura
- ✓ Palestras
- ✓ Mesas redondas
- ✓ Fóruns e debates
- ✓ Oficinas
- ✓ Cursos
- ✓ Painéis
- ✓ Mostras
- ✓ Circo
- ✓ Atividades culturais em geral

Natal - 2 a 6 de julho de 2001

Acompanhe a programação no site da SBF

PARTICIPE!