

XXV Olimpíada Internacional de Física

Euclides Marega Jr.

Instituto de Física de São Carlos - USP

Caixa Postal 969, 13560-970 - São Carlos - SP, Brasil

Trabalho recebido em 6 de março de 1995

I. Apresentação

A XXV Olimpíada Internacional de Física foi realizada entre 12 e 18 de julho de 1994 na cidade de Pequim capital da República Popular da China. A prova é composta por questões teóricas e problemas experimentais. A seguir serão apresentados os problemas correspondentes as versões finais das provas. As questões experimentais foram adaptadas para que sua leitura fosse compreensível, sem que no entanto o seu conteúdo e objetivos fossem modificados. Sugestões de soluções podem ser enviadas a revista onde serão analisadas e posteriormente publicadas.

II. Prova teórica (duração: 5 horas)

Problema 1: Partícula Relativística

De acordo com a teoria da relatividade restrita, a relação entre a energia E , o momento linear p (quantidade de movimento), e a massa em repouso m de uma partícula livre é representada pela expressão abaixo:

$$E = (pc + mc^2)$$

Quando sobre esta partícula atua uma força conservativa a energia total, que é igual a soma de $(pc + mc^2)$ com a energia potencial, se conserva. Se a energia da partícula é muito alta, a energia de repouso pode ser desprezada (estas partículas são chamadas de partículas ultra-relativísticas).

i) Considere o movimento unidimensional de uma partícula ultra-relativística sujeita a uma força central de magnitude (módulo) f constante. Suponha que a partícula no instante $t = 0$ encontra-se na posição $x = 0$ com momento linear p . Descreva o movimento

da partícula construindo: a) o gráfico do momento linear p em função da coordenada espacial $x(p \text{ vs. } x)$; b) o gráfico de x como função de $t(x \text{ vs. } t)$, para um intervalo de tempo igual a um período do movimento. Expresse os valores das coordenadas de retorno, como função dos parâmetros p e f , e indique no gráfico de p em função de $x(p \text{ vs. } x)$, através de flexas, o sentido em que se realiza o movimento (utilize as respostas do item i.a).

ii) Um Méson é uma partícula composta por dois quarks. A massa de repouso do méson é igual a energia total do sistema formado pelos dois quarks dividida por c . Considere um modelo unidimensional para um Méson em repouso no qual supõe-se que os quarks movem-se sobre o eixo x e atraem-se mutuamente devido a força de magnitude constante f ; supõe-se que quando os quarks se encontram podem interpenetrar-se livremente. Para a interpretação do movimento ultra-relativista dos quarks a massa de repouso dos mesmos pode ser desprezada. Em $t = 0$ os quarks se encontram em $x = 0$. Construa em separado os gráficos de x como função de $t(x \text{ vs. } t)$ e de p como função de $t(p \text{ vs. } t)$, correspondentes aos movimentos de cada um dos quarks. Especifique nos gráficos as coordenadas dos pontos de retorno como função dos parâmetros M e f e indique nos gráficos de p com função de $x(p \text{ vs. } x)$ o sentido em que se realiza o movimento, determinando a distância máxima entre os quarks. Utilize as respostas anteriores.

iii) Com relação ao sistema de referência usado no item ii, este será representado como sistema S . O sistema de referência do laboratório será chamado de S' , e se move na direção negativa do eixo x com uma velocidade constante de $V = 0.60c$.

As coordenadas se relacionam de tal maneira que o

ponto $x = 0$ em S coincide com o ponto $x' = 0$ de S' no tempo $t = t' = 0$. Construa os gráficos de $x' = 0$ como função de $t' (x' \text{ vs. } t')$ para cada um dos quarks e especifique as coordenadas correspondentes aos pontos de retorno em termos de M, f e c . Determine a distância máxima entre os quarks no sistema de referência S' . Utilize-se dos resultados anteriores. As coordenadas de uma partícula nos sistemas de referência S e S' estão relacionadas através das transformações de Lorentz:

$x' = g(x + \beta ct) : t' = g(t + \beta x/c)$ onde, $\beta = V/c, g = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$ e V é a velocidade do sistema S com relação ao sistema S' .

iv) Para um Méson com uma energia de repouso $Mc = 140\text{MeV}$ e velocidade relativa ao sistema de laboratório S' igual a $0.60c$, determine sua energia E' no sistema de laboratório S' .

Problema 2 - O imã supercondutor

Os imãs supercondutores são atualmente amplamente utilizados em laboratórios para gerarem campos magnéticos extremamente altos. Os mais comuns são os solenóides construídos com fio supercondutor. O maravilhoso destes imãs é a possibilidade de produção de altos campos magnéticos sem que haja dissipação de energia devido ao efeito Joule, dado que a resistência elétrica dos fios supercondutores é zero quando o imã é submerso em hélio líquido ($4,2\text{K}$).

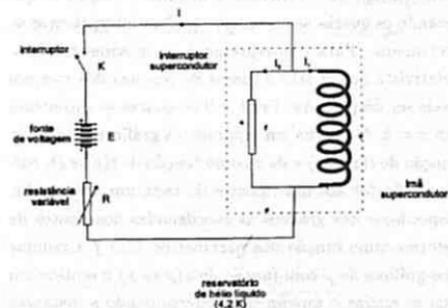


Figura 1

Usualmente ao solenóide conecta-se um interruptor supercondutor de desenho especial, tal como mostra a figura 1. O valor da resistência r do interruptor pode variar de $r = 0$ no "estado supercondutor" e $r = r_0$

quando no "estado normal". Quando a resistência está no estado supercondutor ($r = 0$), o imã pode operar no modo permanente, a corrente elétrica circula indefinidamente através do imã e do interruptor sem perdas. Este modo permanente produz um campo magnético muito estável e que pode manter-se por longos períodos de tempo sem que a fonte de alimentação externa esteja conectada. Os detalhes do interruptor supercondutor não aparecem na figura 1, consiste de um fio supercondutor de tamanho pequeno imerso no banho de hélio líquido. Ao ser aquecido este passa ao estado normal. O valor típico da resistência r é de alguns ohms e suponhamos que neste caso seja de 5Ω . A indutância (coeficiente de auto-indução) do imã depende de seu tamanho, o qual será adotado neste caso igual a 10H (henry). Pode-se variar a corrente total I mediante a resistência R (figura 1).

Atenção:

As questões devem ser respondidas nos gráficos que as seguem.

i) Suponha que a corrente total I e a resistência r do interruptor supercondutor variam com o tempo conforme mostram as figuras 2a e 2b respectivamente, e que as correntes I_1 e I_2 que circulam pelo imã e pelo interruptor são em princípio iguais. Como estas variam entre t_1 e t_4 ? Represente a resposta gráfica nas figuras 2c e 2d respectivamente.

ii) Suponhamos que o interruptor K (ver figura 1) fecha no instante $t = 0$, quando $r = 0$, $I_1 = 0$ e $R = 7,5\Omega$, e a corrente total é $0,5\text{A}$. Mantendo-se K fechado, a resistência r do interruptor supercondutor varia conforme mostra a figura 3b. Construa os gráficos que representam a dependência de I, I_1 e I_2 com o tempo, nas figuras 3a, 3c e 3d respectivamente.

iii) O interruptor supercondutor (estado normal) pode suportar apenas a passagem de correntes pequenas, no caso menores que $0,5\text{A}$, queimando-se no caso de correntes maiores que este valor. Suponha que o imã supercondutor está funcionando no modo permanente, ou seja, $I = 0$, $I_1 = i_1$ (por exemplo 20A) e $I_2 = -i_1$, como está mostrado na figura 4 entre o intervalo de $t = 0$ a $t = 3$ minutos. Deseja-se realizar um experimento fazendo com que a corrente do imã seja reduzida a zero. Como deveria ser o procedimento. Construa as representações gráficas relativas às variações com o

tempo dos parâmetros I , r , I_1 e I_2 nos gráficos correspondentes da figura 4

iv) Suponha que o imã esteja funcionando no modo permanente com uma corrente circulando pela bobina de 20A, entre $t = 0$ e $t = 3$ minutos (figura 5). Como poderia-se mudar a corrente para um modo permanente com 30 A? Construa os gráficos correspondentes nas figuras de 5a a 5d.

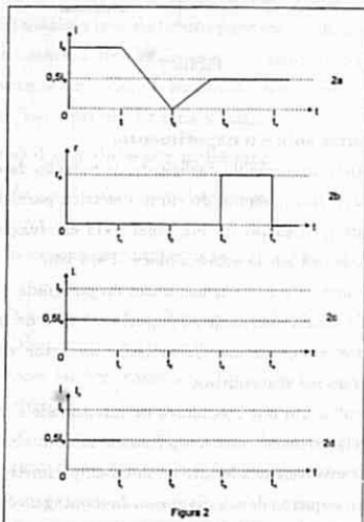


Figure 2

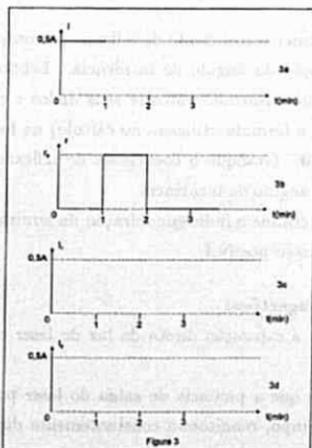


Figure 3

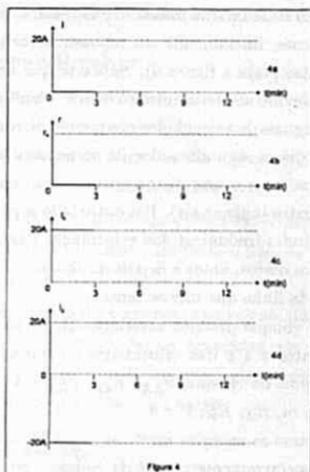


Figure 4

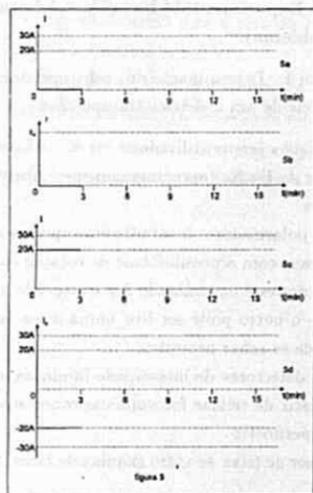


Figure 5

Problema 3 - Colisão entre discos com atrito superficial

Um disco homogêneo A, massa m e raio R , translada-se sem rodar sobre um plano horizontal (x, y) , sem atrito e com velocidade V paralela ao eixo x e a uma distância b do mesmo. Este disco choca-se com

outro disco B de mesma massa m e espessura, mas com raio diferente, inicialmente em repouso na origem das coordenadas (veja a figura 6). Supõe-se que depois do choque e devido ao atrito entre os discos, resultam componentes iguais de velocidades nos pontos de contato de ambos os discos segundo a direção perpendicular a uma reta que une os centros dos discos no momento da colisão (componentes tangenciais). Por outro lado supõe-se que as magnitudes (módulos) das velocidades relativas dos centros dos discos, antes e depois do choque, são iguais ao longo da linha que une os centros.

1) Para o choque descrito anteriormente, determine as componentes x e y das velocidades de translação dos discos depois do choque, V'_{Ax} , V'_{Ay} , V'_{Bx} e V'_{By} como função de m , R_A , R_B , V e b .

2) Determine as energias cinéticas E'_A e E'_B dos discos A e B respectivamente depois da colisão, como função de m , R_A , R_B , V e b .

II. Prova Experimental (duração: 2,5 horas para cada problema)

Problema 1 - Determinação do coeficiente de reflexão da superfície de um dielétrico transparente.

Materiais a serem utilizados:

- Laser de He-Ne (aproximadamente 1,5 mW), não polarizado.

- Dois polarizadores montados em suportes graduados em graus com a possibilidade de rotação sobre seu eixo. Um destes é denominado A e é colocado na saída do laser e o outro pode ser fixo numa mesa ou trilho óptico onde se achar necessário.

- Dois detectores de intensidade luminosa, que podem consistir de células fotovoltaicas conectadas a um micro-amperímetro

- Divisor de feixe de vidro (lâmina de faces planas e paralelas).

- Lâmina dielétrica transparente, para a qual o coeficiente de reflexão e o índice de refração devem ser determinados (pode ser utilizada uma lâmina de vidro comum).

- A lâmina deve ser montada num suporte giratório graduado que permita a medida do ângulo de incidência da luz proveniente do laser.

- Suporte para o laser com ajuste para que o feixe possa ser alinhado na direção horizontal a superfície.

- Papel para gráficos.

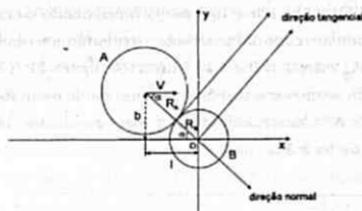


Figura 6

Perguntas sobre o experimento:

a) Determinação do coeficiente de reflexão da componente p (componente do campo elétrico paralela ao plano de incidência) da luz polarizada em função do ângulo de incidência sobre a placa. Para isto:

(i) Encontre o eixo de transmissão do polaróide A mediante a escala graduada do suporte. O eixo de transmissão é a direção de transmissão do vetor campo elétrico da luz transmitida.

(ii) Escolha um dos medidores de intensidade e verifique a relação linear entre a intensidade incidente sobre a célula fotovoltaica e a leitura do microamperímetro. Esboce um esquema de seu diagrama da montagem óptica. Mostre seus dados e cálculos na forma de uma tabela incluindo a fórmula utilizada. Gráfique os resultados obtidos.

(iii) Determine o coeficiente de reflexão da componente p , em função do ângulo de incidência. Esboce o esquema óptico utilizado. Mostre seus dados e cálculos (incluindo a fórmula utilizada no cálculo) na forma de uma tabela. Gráfique o coeficiente de reflexão como função do ângulo de incidência

b - Determine o índice de refração da lâmina com a maior precisão possível.

Dicas e sugestões:

- Evite a exposição direta da luz do laser em seus olhos.

- Dado que a potência de saída do laser pode flutuar no tempo, monitore-a constantemente durante o tempo de realização do experimento a fim de permitir

a correção, ou seja, normalização dos resultados experimentais obtidos.

- Se o ângulo de incidência θ_B é tal que $\text{tg}(\theta_B) = n$ (índice de refração) a luz refletida está totalmente polarizada num plano.

Problema II - A caixa Negra

É entregue uma caixa negra com dois terminais de conexão (bornes). No interior da caixa negra pode haver no máximo três elementos passivos. Pede-se encontrar a natureza dos elementos que constituem o circuito equivalente entre os dois terminais, assim como seus valores. Não é permitido abrir a caixa.

Material que deve ser utilizado:

- Um osciloscópio com dois canais.
- Um gerador de sinais.
- Resistências padrões com valor fixo de 100Ω (0.5%).
- Cabos de conexão (banana-banana).
- Cabos coaxiais com terminação banana.
- Papel log-log, papel semi-log e papel milimetrado se necessário.

Obs: A determinação do esquema do circuito equivalente, bem como dos valores dos componentes deverá

ser realizado com os materiais acima listados.

Problema a Resolver:

1 - Esboce o esquema do circuito utilizado para a realização do experimento.

2 - Apresente na forma de tabelas os resultados obtidos assim como os cálculos realizados.

Construa os gráficos das curvas experimentais com os resultados, utilizando para tanto o tipo de papel que achar conveniente.

3 - Indique qual é o circuito equivalente da caixa negra e os nomes dos diferentes elementos que o compõe e seus valores. Escreva todos os cálculos realizados e as fórmulas utilizadas obter os valores.

Instruções e dicas:

(a) Realize o experimento trabalhando num intervalo de frequência compreendido entre 100 Hz e 50 kHz.

(b) A voltagem de saída pico a pico do gerador de sinais não deve ser inferior a 1,0 V.

(c) Ao conectar os cabos, coloque-os de tal forma que a interferência elétrica (ruído) seja mínimo.

Observação: Neste caso o leitor poderá propor um circuito e descrever o método utilizado para a solução.