



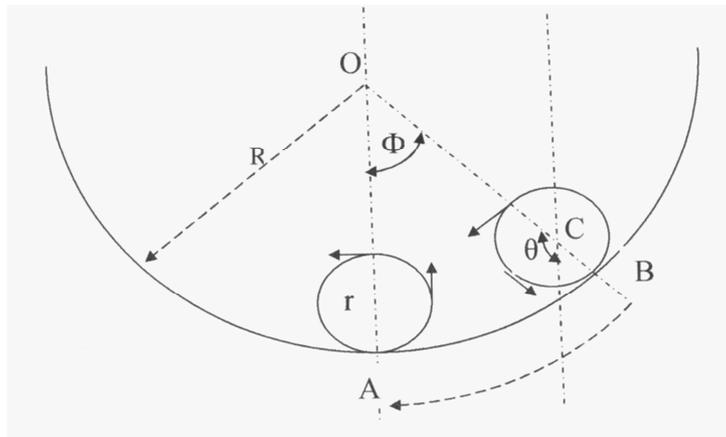
Caderno de Questões – Instruções

1. Este caderno de questões contém **QUATRO** folhas, incluindo esta com as instruções. Confira antes de começar a resolver a prova.
2. A prova é composta por **CINCO** questões. Cada questão tem o valor indicado no seu início. A prova tem valor total de **100 pontos**.
3. As respostas deverão ser transcritas no caderno de resposta, de acordo com as instruções nele contidas. Utilize somente o texto necessário para a compreensão da solução.
4. É permitido apenas o uso de caneta cor **azul ou preta**, régua, lápis e borracha. O uso do lápis e da borracha é permitido apenas no rascunho e no auxílio para a construção de gráficos.
5. Este caderno deve ser **devolvido** ao final da prova juntamente com o caderno de respostas.
6. O estudante deverá permanecer na sala, **no mínimo**, 90 minutos.
7. A prova tem duração de **QUATRO HORAS**

Nome:	Série:
Nº e tipo de documento de identificação apresentado:	
Nome da Escola:	
Cidade:	Estado:
e-mail:	
Assinatura	

Questão 1 (20 pontos) – Um cilindro de raio $r = 2\text{ m}$ e $m = 1,5\text{ kg}$ rola sobre uma superfície fixa de raio $R = 6\text{ m}$, sem deslizamento. Na posição do ângulo $\Phi = 30^\circ$ (posição B) a velocidade do centro de massa do cilindro é de 5 m/s dirigida para esquerda. Responda:

- (0,5) Indique no cilindro, na posição B ($\Phi = 30^\circ$), todas as forças atuantes (direção e sentido), e obtenha a relação entre os ângulos Φ e θ .
- (0,5) A velocidade tangencial no ponto de contacto entre o cilindro e a superfície fixa.
- (1,0) Determinem, na posição B ($\Phi = 30^\circ$), os valores de todas as forças atuantes no cilindro.



Questão 2 (20 pontos) – Um anel delgado de raio R tem ao longo de sua circunferência uma densidade linear de carga positiva λ com carga total Q_T . Um elétron pode movimentar-se livremente no eixo Z central do anel.

- (0,5) Determine o campo elétrico produzido em uma posição z_0 do eixo Z por um elemento de carga dq do anel carregado.
- (0,5) Determine o campo elétrico total produzido pelo anel na posição z_0 do eixo Z .
- (1,0) Determine a equação do movimento e a frequência de oscilação do elétron nas proximidades do centro do anel.

Questão 3 (20 pontos) – Um solenóide tem 100 espiras na forma de um quadrado de lado $1,0\text{ cm}$, por onde flui uma corrente de 200 mA . O eixo do solenóide coincide com o eixo z de um sistema de coordenadas cartesianas. O campo magnético uniforme é $\vec{B} = -(0,8\text{ T})\hat{i} + (0,6\text{ T})\hat{j} - (1,0\text{ T})\hat{k}$. Sendo os vetores $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$, vetores unitários na direção x, y, z respectivamente.

- (0,5) Determine o vetor momento de dipolo magnético do solenóide (direção, sentido e intensidade).
- (0,5) Determine o vetor torque sobre o solenóide (direção, sentido e intensidade).
- (0,5) Determine o ângulo entre o eixo do solenóide e a linha de força.
- (0,5) Ache a energia potencial magnética.

Questão 4 (20 pontos) – Considere difração da luz monocromática, de um comprimento de onda λ , numa fenda dupla de abertura “a” e separação “d”. Responda:

- (0,5) Mostre o perfil de intensidade da luz difratada para fenda dupla em comparação com a fenda única de abertura a.
- (0,5) O que ocorre na figura de difração quando o comprimento da onda da luz diminui?
- (0,5) O que ocorre na figura de difração quando a largura de cada fenda diminui?
- (0,5) O que ocorre na figura de difração quando a separação entre as fendas diminui?

Dados do problema: Fenda dupla: $I = I_m (\cos^2 \beta) \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha}\right)^2$; $\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta$; $\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$;

Questão 5 (20 pontos) – Em 1887 o físico Heinrich Hertz descobriu o efeito fotoelétrico. Neste efeito, metais iluminados com radiação luz, especialmente radiação ultravioleta, emitiam elétrons, que poderiam ser percebidos nas descargas entre dois eletrodos (catodo e anodo) no vácuo. As teorias físicas baseadas na mecânica Newtoniana e eletromagnética de Maxwell existentes na época explicavam o fenômeno do seguinte modo. A radiação eletromagnética pode ser expressa por ondas transversais;

$$\vec{E}_x = E_0 \sin(kz - \omega t)\hat{i} \text{ e } \vec{B}_y = B_0 \sin(kz - \omega t)\hat{j}$$

e que estes campos propagam em fase na direção z, são perpendiculares entre si, e a taxa de energia transportada por unidade de área é representada pelo vetor de Poynting, assim sendo;

- Os elétrons em metais podem ser excitados por ondas eletromagnéticas, representadas por ondas transversais, e podem ganhar energia cinética. Quando esta energia for igual ou superior a energia de ligação do elétron ao metal (catodo), conhecido como função trabalho, poderá escapar do metal em forma de efeito fotoelétrico.
- As ondas eletromagnéticas transferem energia para os elétrons continuamente. Portanto, mesmo com ondas de intensidades baixas, o elétron pode ganhar energia até conseguir a energia necessária para vencer a energia função trabalho. Assim, o elétron no metal (em torno de raio de Bohr), inicialmente com energia cinética baixa, ganha energia da radiação eletromagnética e deve existir um intervalo de tempo necessário para elétron conseguir a energia maior que função trabalho e escapar do metal.
- As ondas eletromagnéticas, isto é luz visível, sempre viajam a velocidade da luz, e possuem frequências muito altas, e no efeito fotoelétrico não deve depender do comprimento de onda utilizado porque tanto o comprimento da onda como a frequência estão na parte oscilatória (senoidal) da onda, e a potencia transferida é representada por vetor de Poynting S e a intensidade da onda é o valor médio do S.

Entretanto, as evidencias experimentais mostravam fatos que não eram explicáveis pelas teorias acima, tais como:

- iv) A emissão fotoelétrica depende fortemente da frequência da luz incidente, e para cada metal existe uma frequência crítica que abaixo do qual não existe a emissão de foto elétrons.
- v) A energia cinética dos elétrons emitidos por efeito fotoelétrico, para um mesmo metal, aumenta com a frequência de uma forma linear.
- vi) A emissão dos elétrons ocorre em um tempo muito pequeno quando da incidência da radiação eletromagnética no metal.
- vii) O numero de elétrons emitidos pela superfície metálica é proporcional a intensidade da radiação eletromagnética.

Para explicar este conflito entre as teorias físicas existentes na época e os fatos experimentais, em 1905 o físico Albert Einstein propôs a quantização da onda eletromagnética, $E = h\nu$. Onde ν é a frequência da radiação incidente, e h um constante denominado constante de Planck, e E é a energia de um fóton. Esta energia do fóton incidente seria relacionada com a energia cinética do elétron emitido e o função trabalho do material irradiado (catodo).

Responder as perguntas: **a), b) c)** baseada na teoria da mecânica Newtoniana e eletromagnética de Maxwell.

Responder as perguntas: **d), e) f)** baseados nos conceitos propostos pelo Einstein.

- a) (0,3) Desenhe os vetores de um campo eletromagnético composto por campo elétrico E_x e magnético B_y , propagando na direção Z , $(0 - 2\pi)$.
- b) (0,3) Qual a intensidade do campo necessário para causar a emissão fotoelétrica?
- c) (0,4) Qual o tempo necessário para causar a emissão fotoelétrica?
- d) (0,3) Obtenha o comprimento de onda acima do qual não há mais emissão fotoelétrica.
- e) (0,3) Mostre que a energia cinética dos elétrons emitidos tem dependência linear com a frequência da luz utilizada.
- f) (0,4) Mostre que o número de elétrons emitidos pela superfície metálica é proporcional a intensidade da radiação eletromagnética.

Dados do problema: Vetor de Poynting: $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$; Função trabalho do catodo: 2,0 eV;

Potencia da luz incidente 10 W, situada a 50 cm do catodo; Raio do Bohr: $r_B = 5,3 \times 10^{-11}$ m;

$c = 3 \times 10^8$ m/s; $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7}$ H/m; $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J; $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg; $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C;

$h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s