

# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



## VESTIBULAR 2025

2ª FASE

### FÍSICA

#### INSTRUÇÕES

1. O tempo total para resolução da prova é de **quatro horas**.
2. Não é permitido deixar o local de exame antes de decorridas **duas horas** do início da prova.
3. Você poderá usar **apenas** caneta esferográfica de corpo transparente com tinta preta, lápis ou lapiseira, borracha, régua transparente simples e compasso. **É proibido portar qualquer outro material escolar.**
4. Certifique-se de que você recebeu um **caderno de questões e um caderno de soluções**.
5. Não é permitido destacar qualquer das folhas que compõem os cadernos de questões ou de soluções.
6. O caderno de questões é composto por **10 questões dissertativas** (numeradas de 01 a 10).
7. A resolução das questões deve ser apresentada nos respectivos cadernos de soluções, **no local destinado a cada questão**.
8. Apenas as resoluções presentes nos espaços destinados para uma dada questão serão consideradas na correção dessa questão. Não será considerado para correção o conteúdo das páginas de rascunho.
9. Nas questões que envolvem cálculo matemático, as **expressões numéricas devem ser resolvidas até o final**. Em caso contrário, poderá haver **prejuízo de nota** atribuída à solução.
10. É obrigatória a **devolução dos cadernos de questões e de soluções**, sob pena de **desclassificação do candidato**.
11. No dia 04/12/2024, serão divulgadas as médias obtidas nas provas da segunda fase.
12. **Aguarde o aviso para iniciar a prova. Ao terminá-la, avise o fiscal e aguarde-o no seu lugar.**

## FÍSICA

---

**Quando necessário, use os seguintes valores para as constantes:**

Aceleração local da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Velocidade da luz no vácuo  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

Constante de gravitação universal  $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ .

Massa da Terra  $M_{Terra} = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$ .

Raio da Terra  $R_{Terra} = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$ .

Permissividade elétrica no vácuo  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Energia de ionização do átomo de hidrogênio  $I_H = 13,6 \text{ eV}$ .

Massa do próton  $m_p = 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg} = 938 \text{ MeV}/c^2$ .

Carga elementar  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

---

**Questão 1.** O *quantum* de fluxo magnético  $\Phi_0$  pode ser definido como metade do fluxo magnético obtido a partir da combinação da constante de Planck  $h$ , da velocidade da luz  $c$  e da carga fundamental  $e$ . Considere um elétron se movendo em uma órbita circular de raio  $R$ , sob a ação de um campo magnético de modo que o fluxo magnético dentro de sua órbita é igual a  $\Phi_0$ . Faça o que se pede nos itens a seguir.

**a)** Obtenha a expressão para  $\Phi_0$ .

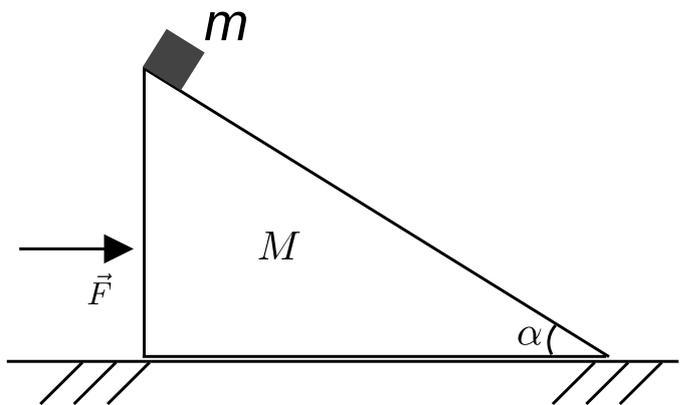
**b)** Sabendo que a velocidade do elétron é dada por  $\beta c$  ( $\beta \ll 1$ ), calcule o raio  $R$ , em termos de  $h$ ,  $c$ ,  $\beta$  e  $m_e$ , a massa do elétron.

**Questão 2.** Considere uma barra homogênea de comprimento  $L$  e massa  $M$ , suspensa horizontalmente por uma corda vertical que tem um nó fixo no teto e outro numa das extremidade da barra ( $x = 0$ ). Uma massa  $m$  está pendurada na outra extremidade ( $x = L$ ), e uma distribuição de forças é aplicada ao longo da barra, de forma que o sistema se encontra em equilíbrio estático. Essa distribuição pode ser descrita por  $N$  forças, que obedecem à relação de recorrência  $\vec{F}_n = \frac{\vec{F}_{n-1}}{2}$  ( $n = 0, 1, \dots, N - 1$ ), aplicadas nos pontos  $x_n = 2^{-n}L$ . Calcule, em termos de  $M, m, g, L$  e  $N$ ,

a) a força  $F_0$ ;

b) a força de tração da corda.

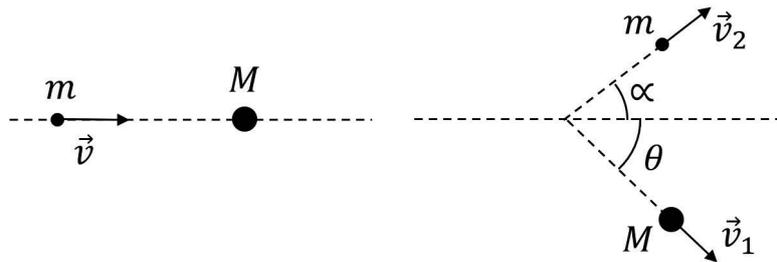
**Questão 3.** Considere um objeto de massa  $m$  que se movimenta sobre uma cunha de massa  $M$ , inclinação  $\alpha$  e coeficiente de atrito  $\mu$ . A cunha se move horizontalmente para a direita, sob a ação de uma força  $\vec{F}$  em uma superfície lisa. Considere que, inicialmente, o sistema se encontra em repouso, com esse objeto no topo da cunha. Sabe-se que o intervalo de tempo que ele leva para chegar ao solo com a cunha em movimento é o triplo do que levaria se a cunha estivesse fixa. Com base nessas informações, calcule, em função de  $m$ ,  $M$ ,  $\alpha$ ,  $\mu$  e  $g$ , a magnitude



- da aceleração da cunha;
- da força normal que o plano inclinado faz no objeto;
- da força  $\vec{F}$ .

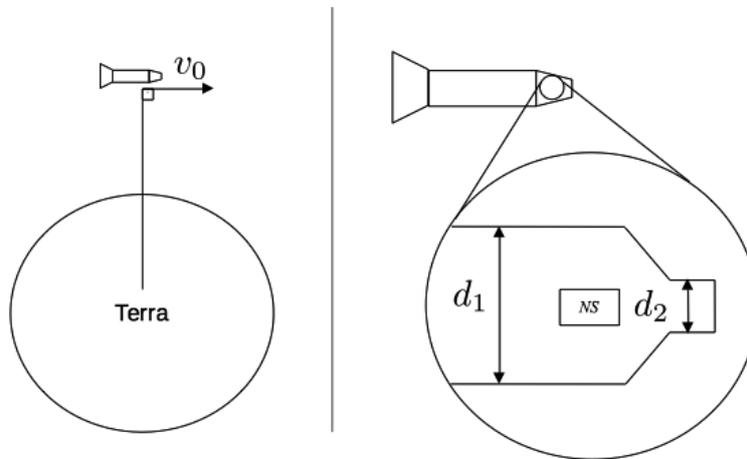
**Questão 4.** Um objeto de massa  $m$  se movimenta em direção a outro objeto de massa  $M$  inicialmente em repouso. Após a colisão, a velocidade dos objetos forma, respectivamente, ângulos  $\alpha$  e  $\theta$  com a horizontal. Faça o que se pede nos itens a seguir.

- a) Determine as expressões para os módulos de  $\vec{v}_1$  e  $\vec{v}_2$  em função de  $\alpha$ ,  $\theta$  e  $v$ .
- b) Denotando a variação relativa entre a energia cinética final e inicial do sistema por  $\delta$ , determine a razão  $m/M$  em função de  $\theta$  e  $\delta$ , para  $\alpha = 90^\circ$ .
- c) Calcule o valor numérico da razão  $M/m$ , para  $\theta = 30^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$  e perda relativa de 60% de energia cinética depois da colisão.

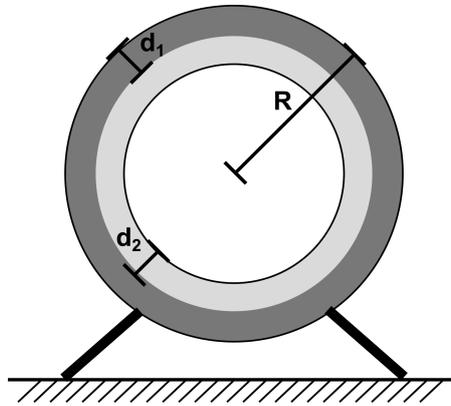


**Questão 5.** Considere um veículo lançador de nanossatélites (VLNS) de massa  $M_V$  a uma altitude  $h$  e com velocidade  $v_0$ , perpendicular ao raio da Terra em relação a um referencial inercial centrado na Terra. Um nanossatélite (NS) de massa  $m$  encontra-se imerso em um fluido incompressível armazenado em um tubo localizado na extremidade do VLNS, conforme a figura. O tubo possui dois diâmetros distintos: um de valor  $d_1$  e outro de valor  $d_2 < d_1$ . Durante a ejeção, o NS acompanha a velocidade do fluido, que vale  $v_1$  em  $d_1$ , em relação ao VLNS. Considere a massa e o raio da Terra como sendo, respectivamente,  $M_T$  e  $R_T$ , a constante da gravitação universal como  $G$  e a massa do fluido como desprezível. Determine

- a velocidade de ejeção do NS, com relação ao VLNS, em termos de  $v_0$ ,  $v_1$ ,  $d_1$  e  $d_2$ ;
- qual diâmetro  $d_2$  permite que o NS entre em órbita circular.



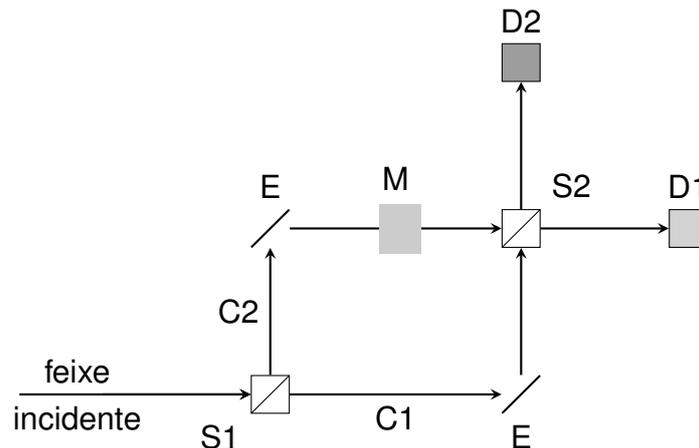
**Questão 6.** Uma sonda tripulada foi projetada para resistir ao calor da atmosfera de mercúrio, que pode atingir uma temperatura  $T_0 = 430 \text{ }^\circ\text{C}$ . A sonda tem uma estrutura semelhante à de uma casca esférica composta por duas camadas, como mostra a figura. A camada externa, de espessura  $d_1$ , é composta por um material rígido de condutividade térmica  $K_1$ . A camada interna, de espessura  $d_2$ , é composta por um material termorresistente e isolante térmico de condutividade térmica  $K_2$ . O raio externo da estrutura é igual a  $R$ .



Considerando a situação descrita acima, faça o que se pede nos itens a seguir.

- a)** Expresse a condutividade térmica efetiva da sonda em função de  $R$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  e  $d$ , em que  $d = d_1 = d_2$  e  $R \gg d$ .
- b)** Estime a potência, em kW, que um refrigerador deve ter para manter a temperatura interna da sonda em  $T_i = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ , assumindo que  $R = 20 \text{ m}$ ,  $d_1 = d_2 = 30 \text{ cm}$ ,  $K_1 = 50 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$ ,  $K_2 = 0,020 \text{ W/(m }^\circ\text{C)}$  e que a máquina refrigeradora tem um coeficiente de performance ideal.

**Questão 7.** O interferômetro de Mach-Zehnder é um dispositivo óptico que, através do uso de espelhos semirrefletores, divide um feixe de luz em duas partes, uma refletida e uma transmitida, de igual intensidade. Essas duas partes percorrem dois caminhos distintos, C1 e C2, e depois são recombinadas, permitindo observar padrões de interferência. O interferômetro possui como componentes dois detectores, D1 e D2, dois espelhos semirrefletores, S1 e S2, e dois espelhos de reflexão total E, conforme ilustra a figura. A cada reflexão, ocorre um avanço de  $1/4$  de comprimento de onda,  $\lambda/4$ . Por outro lado, a onda transmitida não sofre defasagem. Sabendo que o feixe incidente é uma onda senoidal de intensidade  $I_0$ , faça o que se pede nos itens a seguir.

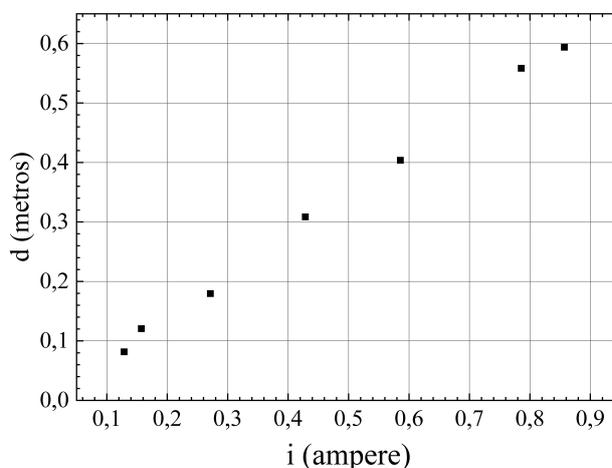
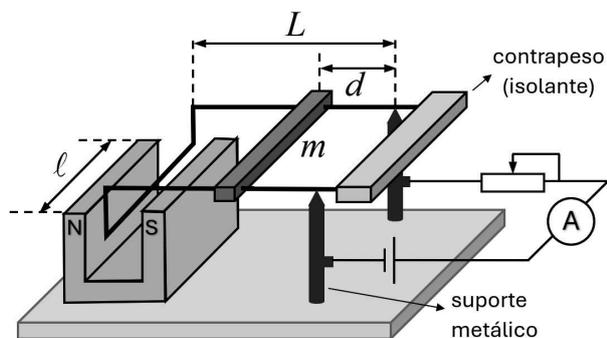


- Determine a intensidade medida por cada um dos detectores. Justifique.
- Considere agora que um material M, que causa um deslocamento de fase de  $\phi$  na onda transmitida, seja inserido no caminho entre E e S2. Esboce os gráficos de intensidade versus deslocamento de fase  $\phi$ , correspondentes à detecção de fótons em D1 e D2, para  $\phi = [0, 2\pi]$ .
- Se o feixe incidente fosse composto por apenas um fóton, discuta se ele iria percorrer um caminho específico até um dos detectores.

**Questão 8.**  $N$  partículas ( $N > 2$ ) de massa  $m$  e carga de módulo  $q$  descrevem movimentos circulares uniformes de raio  $R$  com a mesma velocidade angular. As partículas interagem gravitacional e eletricamente. Sabendo que todas as partículas descrevem a mesma trajetória e que apenas duas delas possuem cargas positivas, faça o que se pede nos itens a seguir.

- a) Determine uma configuração para a qual a situação descrita seja fisicamente possível.
- b) Calcule o módulo da força resultante em cada partícula na configuração determinada.
- c) Calcule a velocidade angular de cada partícula na configuração determinada.

**Questão 9.** Uma balança de corrente montada sobre uma base isolante horizontal é composta por um ímã, um circuito elétrico, uma massa móvel  $m$  e um contrapeso, ambos isolantes. O circuito é constituído de um arranjo metálico móvel, apoiado sobre suportes metálicos, ligados a uma diferença de potencial (d.d.p.), um amperímetro e um potenciômetro. Uma extremidade do arranjo, com comprimento  $\ell = 10$  cm e situada a uma distância  $L = 1,0$  m dos pontos de apoio, localiza-se entre os polos do ímã, sob a influência de seu campo magnético. Considere que o campo magnético, no interior do ímã, é uniforme, está na direção horizontal e é desprezível fora do ímã. A outra extremidade possui um contrapeso que equilibra o arranjo metálico. Uma massa móvel  $m$ , isolante, está posicionada a uma distância  $d$  dos pontos de apoio no arranjo metálico, conforme ilustrado na figura. Durante o experimento, a distância  $d$  do objeto é variada, então mede-se a corrente  $i$  necessária para equilibrar a balança quando  $m = 10$  mg. Os resultados das medições são apresentados em um gráfico. A partir desses dados, estime o valor do campo magnético do ímã.

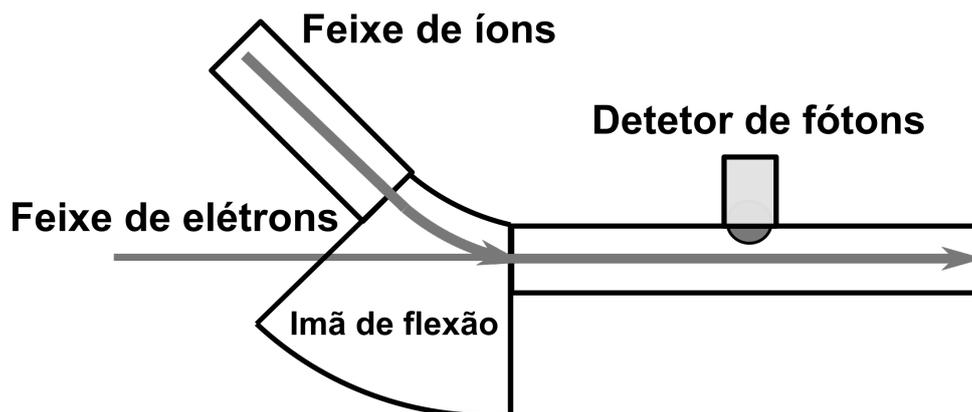


**Questão 10.** Em uma câmara de alto vácuo, um feixe monoenergético de elétrons é misturado a um feixe colimado e monoenergético de íons totalmente ionizados, conforme mostra a figura. As velocidades dos elétrons e dos íons são iguais. A abertura de um detector de fótons é apontada perpendicularmente à direção dos feixes misturados. Foram feitos três experimentos a baixas energias: o primeiro com um feixe de prótons, o segundo com um feixe de hélio totalmente ionizado e o terceiro com um feixe de oxigênio totalmente ionizado. Em um quarto experimento, usando um feixe de prótons relativísticos, o detector de fótons é apontado paralelamente à direção dos feixes misturados.

Considerando essa situação experimental, determine

**a)** as energias máximas dos fótons em eV detectadas no primeiro, segundo e terceiro experimentos;

**b)** um valor aproximado para o desvio percentual da máxima energia do fóton no quarto experimento com relação à máxima energia do fóton do primeiro experimento, considerando que a energia cinética dos íons, no referencial do laboratório, era de 234,5 MeV no quarto experimento.



## RASCUNHO

---