



**Estratégia**  
Militares

**EXTENSIVO 2023**



**RESOLUÇÃO DE QUESTÕES**

FÍSICA MODERNA I E II



Prof. Vinícius Fulconi

**NÍVEL 3**

## SUMÁRIO

<b>1. LISTA DE QUESTÕES</b>	<b>3</b>
<b>2. GABARITO SEM COMENTÁRIOS</b>	<b>21</b>
<b>3. LISTA DE QUESTÕES COMENTADA</b>	<b>22</b>





## 1. LISTA DE QUESTÕES

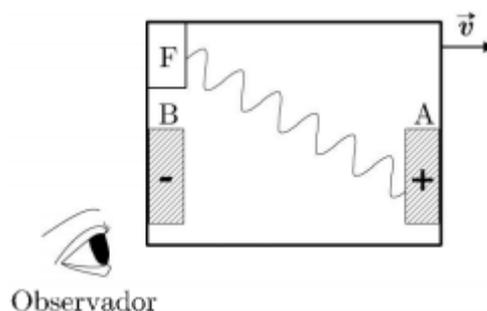
### 1. (ITA – 2020 – 1ª)

Considere uma teoria na qual a força de interação entre duas “cargas generalizadas”  $q_1$  e  $q_2$  em universos A-dimensionais é expressa por  $F_e = q_1 q_2 / (\kappa r^{N-1})$ , em que  $\kappa$  é uma constante característica do meio. A teoria também prevê uma força entre dois “polos generalizados”  $p_1$  e  $p_2$  expressa por  $F_m = p_1 p_2 / (\mu r^{N-1})$ , na qual  $\mu$  é outra constante característica do meio. Sabe-se ainda que um polo  $p$  pode interagir com uma corrente de carga,  $i$ , gerando uma força  $F = ip / (r^{N-2})$ . Em todos os casos,  $r$  representa a distância entre os entes interagentes. Considerando as grandezas fundamentais massa, comprimento, tempo e corrente de carga, assinale a alternativa que corresponde à fórmula dimensional de  $\kappa\mu$ .

- a)  $L^2 T^{-2}$
- b)  $L^{-2} T^2$
- c)  $L^{-2} T^{-2}$
- d)  $L^{1-N} T^2$
- e)  $L^{-2} T^{N-1}$

### 2. (ITA – 2020 – 1ª)

A figura ilustra um experimento numa plataforma que, no referencial de um observador externo, se move com velocidade  $\vec{v}$  constante de módulo comparável ao da velocidade da luz. No instante  $t_0$ , a fonte F emite um pulso de luz de comprimento de onda  $\lambda$  que incide sobre a placa metálica A, sendo por ela absorvido e, em consequência, emitindo elétrons, que são desacelerados pela diferença de potencial  $V_{AB}$ . Considerando que os elétrons atingem a placa B a partir do instante  $t$ , assinale a alternativa que referencia apenas variações independentes que diminuam o intervalo de tempo  $\Delta t = t - t_0$  medido pelo observador.



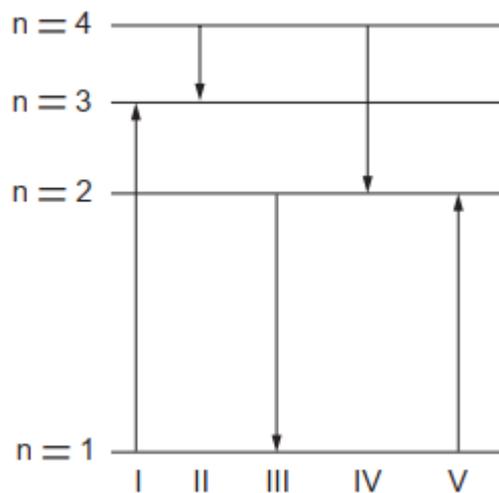
- a) Aumento de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- b) Diminuição de  $\lambda$ , diminuição de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- c) Diminuição de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- d) Diminuição de  $\lambda$ , diminuição de  $V_{AB}$ , aumento de  $v$ .
- e) Aumento de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , aumento de  $v$

**3. (ITA – 2020 – 2ª)**

Raios cósmicos interagem com átomos da atmosfera e produzem partículas instáveis X. Por meio de experimentos, constata-se que X decai em uma partícula Y e em um neutrino  $\nu$ , conforme a equação de decaimento  $X \rightarrow Y + \nu$ . Considerando desprezível a massa de repouso do neutrino e X inicialmente em repouso, determine a velocidade da partícula Y em termos de c e das massas de X e de Y.

**4. (ITA – 2000)**

O diagrama mostra os níveis de energia (n) de um elétron em um certo átomo. Qual das transições mostradas na figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?



- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.
- e) V.

**5. (ITA – 2000)**

Dobrando-se a energia cinética de um elétron não-relativístico, o comprimento de onda original de sua função de onda fica multiplicado por

- a)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .
- b)  $\frac{1}{2}$ .
- c)  $\frac{1}{4}$ .
- d)  $\sqrt{2}$ .
- e) 2.



**6. (ITA – 2002)**

Um trecho da música “Quanta”, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque ao lado. As frases “Quantum granulado no mel” e “Quantum ondulado do sal” relacionam-se, na Física, com

- a) Conservação de Energia.
- b) Conservação da Quantidade de Movimento.
- c) Dualidade Partícula-onda.
- d) Princípio da Causalidade.
- e) Conservação do Momento Angular.

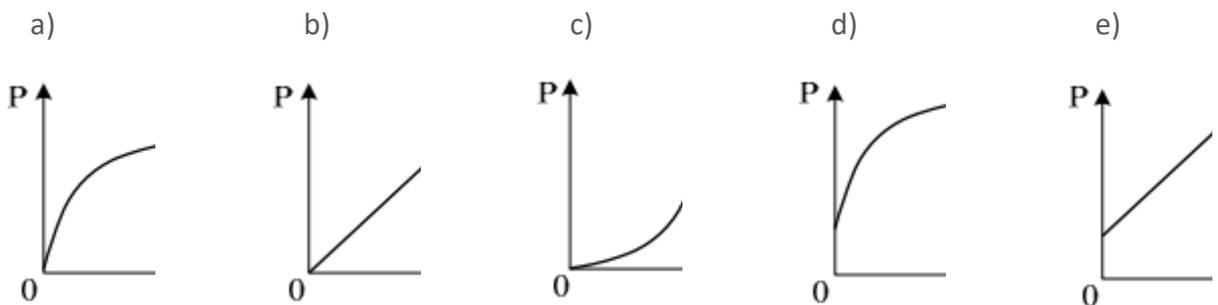
Fragmento infinitésimo,  
Quase que apenas  
mental,  
Quantum granulado no  
mel,  
Quantum ondulado do  
sal,  
Mel de urânio, sal de  
radio  
Qualquer coisa quase  
ideal.

**7. (ITA – 2002)**

Um átomo de hidrogênio tem níveis de energia discretos dados pela equação  $E_n = -\frac{13,6}{n^2} eV$ , em que  $\{n \in \mathbb{Z}/n \geq 1\}$ . Sabendo que um fóton de energia  $10,19 eV$  excitou o átomo do estado fundamental ( $n = 1$ ) até o estado  $p$ , qual deve ser o valor de  $p$ ? Justifique.

**8. (ITA – 2005)**

Qual dos gráficos abaixo melhor representa a taxa  $P$  de calor emitido por um corpo aquecido, em função de sua temperatura absoluta  $T$ ?

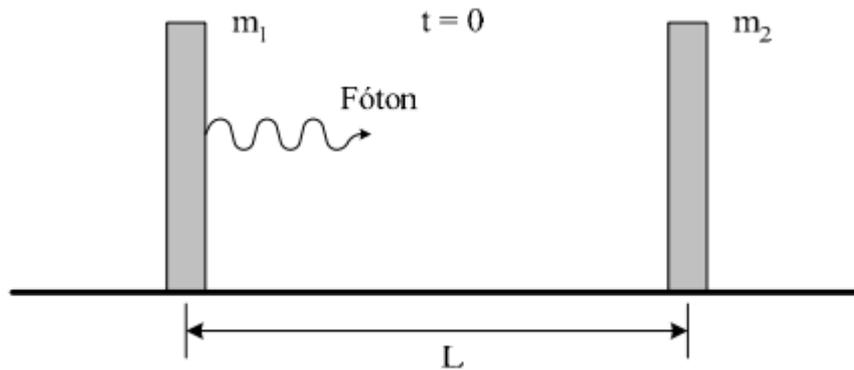


**9. (ITA – 2005)**

Experimentos de absorção de radiação mostram que a relação entre a energia  $E$  e a quantidade de movimento  $p$  de um fóton é  $E = pc$ . Considere um sistema isolado formado por dois blocos de massas  $m_1$  e  $m_2$ , respectivamente, colocados no vácuo, e separados entre si de uma distância  $L$ . No instante  $t = 0$ , o bloco de massa  $m_1$  emite um fóton que é posteriormente absorvido inteiramente por  $m_2$ , não havendo qualquer outro tipo de interação entre os blocos. (Ver figura). Suponha que  $m_1$  se tome  $m'_1$  em razão da emissão do fóton e, analogamente,  $m_2$  se tome  $m'_2$  devido à absorção desse fóton. Lembrando que esta questão também pode ser resolvida



com recursos da Mecânica Clássica, assinale a opção que apresenta a relação correta entre a energia do fóton e as massas dos blocos.



- a)  $E = (m_2 - m_1)c^2$ .
- b)  $E = (m'_1 - m'_2)c^2/2$ .
- c)  $E = (m'_2 - m_2)c^2/2$ .
- d)  $E = (m'_2 - m_2)c^2$ .
- e)  $E = (m_1 - m'_1)c^2$ .

### 10. (ITA – 2003)

Considere as seguintes afirmações:

I. No efeito fotoelétrico, quando um metal é iluminado por um feixe de luz monocromática, a quantidade de elétrons emitidos pelo metal é diretamente proporcional à intensidade do feixe incidente, independentemente da frequência da luz.

II. As órbitas permitidas ao elétron em um átomo são aquelas em que o momento angular orbital é  $nh/2\pi$ , sendo  $n = 1, 3, 5, \dots$ .

III. Os aspectos corpuscular e ondulatório são necessários para a descrição completa de um sistema quântico.

IV. A natureza complementar' do mundo quântico é expressa, no formalismo da Mecânica Quântica, pelo princípio de incerteza de Heisenberg.

Quais estão corretas?

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) I e IV.
- d) II e III.
- e) III e IV.

### 11. (ITA – 2003)



Utilizando o modelo de Bohr para o átomo, calcule o número aproximado de revoluções efetuadas por um elétron no primeiro estado excitado do átomo de hidrogênio, se o tempo de vida do elétron, nesse estado excitado, é de  $10^{-8}$  s. São dados: o raio da órbita do estado fundamental é  $5.3 \cdot 10^{-11}$  m e a velocidade do elétron nesta órbita é de  $2,2 \cdot 10^6$  m/s.

- a)  $1 \cdot 10^6$  revoluções.
- b)  $4 \cdot 10^7$  revoluções.
- c)  $5 \cdot 10^7$  revoluções.
- d)  $8 \cdot 10^6$  revoluções.
- e)  $9 \cdot 10^6$  revoluções.

### 12. (ITA – 2004)

O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga  $e$  que se move em órbitas circulares de raio  $r$ , em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana. O trabalho efetuado por esta força sobre o elétron ao percorrer a órbita do estado fundamental é

- a)  $-e^2/(2\epsilon_0 r)$ .
- b)  $e^2/(2\epsilon_0 r)$ .
- c)  $-e^2/(4\pi\epsilon_0 r)$ .
- d)  $e^2/r$ .
- e) n.d.a.

### 13. (ITA – 2004)

Num experimento que usa o efeito fotoelétrico, ilumina-se sucessivamente a superfície de um metal com luz de dois comprimentos de onda diferentes,  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ , respectivamente. Sabe-se que as velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos são, respectivamente,  $v_1$  e  $v_2$ , em que  $v_1 = 2v_2$ . Designando  $c$  a velocidade da luz no vácuo, e  $h$  constante de Planck, pode-se, então, afirmar que a função trabalho  $\phi$  do metal é dada por

- a)  $(2\lambda_1 - \lambda_2)hc/(\lambda_1\lambda_2)$ .
- b)  $(\lambda_2 - 2\lambda_1)hc/(\lambda_1\lambda_2)$ .
- c)  $(\lambda_2 - 4\lambda_1)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$ .
- d)  $(4\lambda_1 - \lambda_2)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$ .
- e)  $(2\lambda_1 - \lambda_2)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$ .

### 14. (ITA – 2004)



Um elétron é acelerado a partir do repouso por meio de uma diferença de potencial  $U$ , adquirindo uma quantidade de movimento  $p$ . Sabe-se que, quando o elétron está em movimento, sua energia relativística é dada por  $E = [(m_0c^2)^2 + p^2c^2]^{1/2}$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso do elétron e  $c$  a velocidade da luz no vácuo. Obtenha o comprimento de onda de De Broglie do elétron em função de  $U$  e das constantes fundamentais pertinentes.

### 15. (ITA – 2005)

Um átomo de hidrogênio inicialmente em repouso emite um fóton numa transição do estado de energia  $n$  para o estado fundamental. Em seguida, o átomo atinge um elétron em repouso que com ele se liga, assim permanecendo após a colisão. Determine literalmente a velocidade do sistema átomo + elétron após a colisão. Dados: a energia do átomo de hidrogênio no estado  $n$  é  $E_n = E_0/n^2$ ; o momento do fóton é  $h\nu/c$  e a energia deste é  $h\nu$ , em que  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  a frequência do fóton e  $c$  a velocidade da luz.

### 16. (ITA – 2005)

Num experimento, foi de  $5,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$  a velocidade de um elétron, medida com a precisão de 0,003%. Calcule a incerteza na determinação da posição do elétron, sendo conhecidos: massa do elétron  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  e constante de Planck reduzida  $\hbar = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

### 17. (ITA – 2006)

Einstein propôs que a energia da luz é transportada por pacotes de energia  $hf$ , em que  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da luz, num referencial na qual a fonte está em repouso. Explicou, assim, a existência de uma frequência mínima  $f_0$  para arrancar elétrons de um material, no chamado efeito fotoelétrico. Suponha que a fonte emissora de luz está em movimento em relação ao material. Assinale a alternativa correta.

- a) Se  $f = f_0$ , é possível que haja emissão de elétrons desde que a fonte esteja se afastando do material.
- b) Se  $f < f_0$ , é possível que elétrons sejam emitidos, desde que a fonte esteja se afastando do material.
- c) Se  $f < f_0$  não há emissão de elétrons qualquer que seja a velocidade da fonte.
- d) Se  $f > f_0$ , é sempre possível que elétrons sejam emitidos pelo material, desde que a fonte esteja se afastando do material.
- e) Se  $f < f_0$ , é possível que elétrons sejam emitidos, desde que a fonte esteja se aproximando do material.

### 18. (ITA – 2006)



No modelo proposto por Einstein, a luz se comporta como se sua energia estivesse concentrada em pacotes discretos, chamados de “quanta” de luz, e atualmente conhecidos por fótons. Estes possuem momento  $p$  e energia  $E$  relacionados pela equação  $E = pc$ , em que  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. Cada fóton carrega uma energia  $E = hf$ , em que  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da luz. Um evento raro, porém possível, é a fusão de dois fótons, produzindo um par elétron-pósitron, sendo a massa do pósitron igual à massa do elétron. A relação de Einstein associa a energia da partícula à massa do elétron ou pósitron, isto é,  $E = m_e c^2$ . Assinale a frequência mínima de cada fóton, para que dois fótons, com momentos opostos e de módulo iguais, produzam um par elétron-pósitron após a colisão.

- a)  $f = (4m_e c^2)/h$
- b)  $f = (m_e c^2)/h$
- c)  $f = (2m_e c^2)/h$
- d)  $f = (m_e c^2)/2h$
- e)  $f = (m_e c^2)/4h$

### 19. (ITA – 2007)

O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga  $-e$  e massa  $m$ , que se move em órbitas circulares de raio  $r$  em torno do próton, sob a influência da atração coulombiana. O raio  $r$  é quantizado, dado por  $r = n^2 a_0$ , onde  $a_0$  é o raio de Bohr e  $n = 1, 2, \dots$ . O período orbital para o nível  $n$ , envolvendo a permissividade do vácuo  $\epsilon_0$ , é igual a

- a)  $e/(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0})$
- b)  $(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0})/e$
- c)  $(\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})/e$
- d)  $(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})/e$
- e)  $e/(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})$

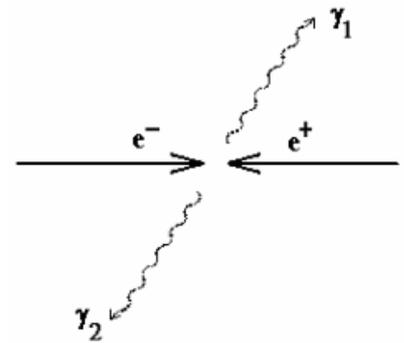
### 20. (ITA – 2007)

Aplica-se instantaneamente uma força a um corpo de massa  $m = 3,3 \text{ kg}$  preso a uma mola, e verifica-se que este passa a oscilar livremente com a frequência angular  $\omega = 10 \text{ rad/s}$ . Agora, sobre esse mesmo corpo preso à mola, mas em repouso, faz-se incidir um feixe de luz monocromática de frequência  $f = 500 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ , de modo que toda a energia seja absorvida pelo corpo, o que acarreta uma distensão de  $1 \text{ mm}$  da sua posição de equilíbrio. Determine o número de fótons contido no feixe de luz. Considere a constante de Planck  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

### 21. (ITA – 2008)



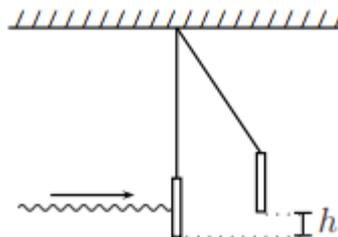
Um elétron e um pósitron, de massa  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , cada qual com energia cinética de  $1,20 \text{ MeV}$  e mesma quantidade de movimento, colidem entre si em sentidos opostos. Neste processo colisional as partículas aniquilam-se, produzindo dois fótons  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ . Sendo dados: constante de Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ; velocidade da luz  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $1 \text{ femtometro} = 1 \text{ fm} = 1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ , indique os respectivos valores de energia  $E$  e do comprimento de onda dos fótons.



- a)  $E = 1,20 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 2435 \text{ fm}$
- b)  $E = 1,20 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 1035 \text{ fm}$
- c)  $E = 1,71 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 726 \text{ fm}$
- d)  $E = 1,46 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 0,28 \cdot 10^{-2} \text{ fm}$
- e)  $E = 1,71 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 559 \text{ fm}$

**22. (ITA – 2009)**

Um feixe de laser com energia  $E$  incide sobre um espelho de massa  $m$  dependurado por um fio. Sabendo que o momentum do feixe de luz laser é  $E/c$ , em que  $c$  é a velocidade da luz, calcule a que altura  $h$  o espelho subirá.



**23. (ITA – 2010)**

No processo de fotossíntese, as moléculas de clorofila do tipo a nas plantas verdes apresentam um pico de absorção da radiação eletromagnética no comprimento de onda  $\lambda = 6,80 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Considere que a formação de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) por este processo de fotossíntese é descrita, de forma simplificada, pela reação:



Sabendo-se que a energia total necessária para que uma molécula de  $CO_2$  reaja é de  $2,34 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ , o número de fótons que deve ser absorvido para formar 1 mol de glicose é

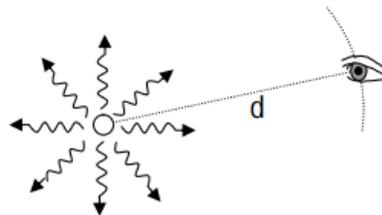
- a) 8.
- b) 24.
- c) 48.
- d) 120.



e) 240.

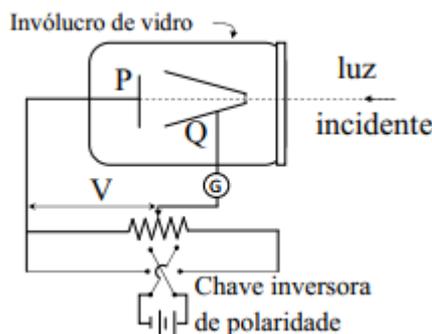
**24. (ITA – 2010)**

O olho humano é uma câmara com um pequeno diafragma de entrada (pupila), uma lente (cristalino) e uma superfície fotossensível (retina). Chegando à retina, os fótons produzem impulsos elétricos que são conduzidos pelo nervo ótico até o cérebro, onde são decodificados. Quando devidamente acostumada à obscuridade, a pupila se dilata até um raio de  $3\text{ mm}$  e o olho pode ser sensibilizado por apenas 400 fótons por segundo. Numa noite muito escura, duas fontes monocromáticas, ambas com potência de  $6 \cdot 10^{-5}\text{ W}$ , emitem, respectivamente, luz azul ( $\lambda = 475\text{ nm}$ ) e vermelha ( $\lambda = 650\text{ nm}$ ) isotropicamente, isto é, em todas as direções. Desprezando a absorção de luz pelo ar e considerando a área da pupila circular, qual das duas fontes pode ser vista a uma maior distância? Justifique com cálculos.



**25. (ITA – 2011)**

O aparato para estudar o efeito foto elétrico mostrado na figura consiste de um invólucro de vidro que encerra o aparelho em um ambiente no qual se faz vácuo. Através de uma janela de quartzo, luz monocromática incide sobre a placa de metal  $P$  e libera elétrons. Os elétrons são então detectados sob a forma de uma corrente, devido à diferença de potencial  $V$  estabelecida entre  $P$  e  $Q$ . Considerando duas situações distintas  $a$  e  $b$ , nas quais a intensidade da luz incidente em  $a$  é o dobro do caso  $b$ , assinale qual dos gráficos abaixo representa corretamente a corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial.

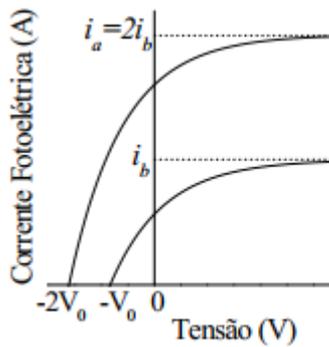


a)

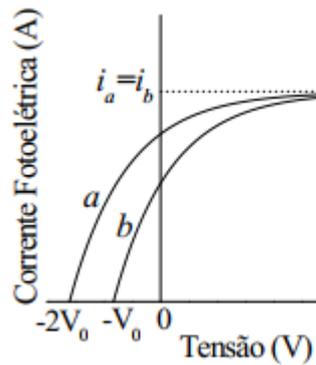
b)

c)

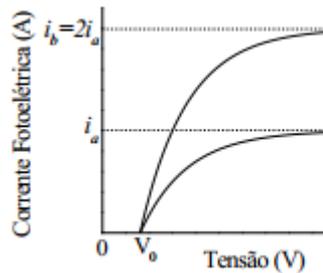
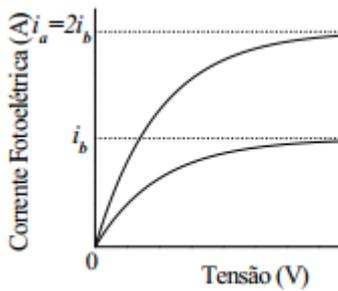
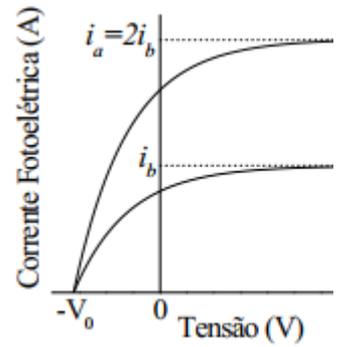




d)



e)



**26. (ITA – 2011)**

Obtenha uma expressão para as energias das órbitas do modelo de Bohr do átomo de Hidrogênio usando a condição de que o comprimento da circunferência de uma órbita do elétron ao redor do próton seja igual um número inteiro de comprimentos de onda de De Broglie do elétron.

**27. (ITA – 2012)**

Considere as seguintes afirmações:

I. As energias do átomo de Hidrogênio do modelo de Bohr satisfazem à relação,  $E_n = -13,6/n^2 eV$ , com  $n = 1, 2, 3, \dots$ ; portanto, o elétron no estado fundamental do átomo de Hidrogênio pode absorver energia menor que  $13,6 eV$ .

II. Não existe um limiar de frequência de radiação no efeito fotoelétrico.

III. O modelo de Bohr, que resulta em energias quantizadas, viola o princípio da incerteza de Heisenberg.

Então, pode-se afirmar que

- a) apenas a II é incorreta. d) apenas a I é incorreta.
- b) apenas a I e II são corretas. e) todas são incorretas.
- c) apenas a I e III são incorretas.



**28. (ITA – 2013)**

Considere as seguintes relações fundamentais da dinâmica relativística de uma partícula: a massa relativística  $m = m_0\gamma$ , o momentum relativístico  $p = m_0\gamma v$  e a energia relativística  $E = m_0\gamma c^2$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso da partícula e  $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$  é o fator de Lorentz. Demonstre que  $E^2 - p^2 c^2 = (m_0 c^2)^2$  e, com base nessa relação, discuta a afirmação: “Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz  $c$ ”.

**29. (ITA – 2014)**

É muito comum a ocorrência de impurezas em cristais semicondutores. Em primeira aproximação, a energia de ionização dessas impurezas pode ser calculada num modelo semelhante ao do átomo de hidrogênio. Considere um semicondutor com uma impureza de carga  $+e$  atraindo um elétron de carga  $-e$ . Devido a interações com os átomos da rede cristalina, o elétron, no semicondutor, possui uma massa igual a  $m_r m_0$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso do elétron e  $m_r$ , uma constante adimensional. O conjunto impureza/elétron está imerso no meio semicondutor de permissividade relativa  $\epsilon_r$ . A razão entre a energia de ionização desta impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio é igual a

- a) 1.
- b)  $m_r/\epsilon_r^2$ .
- c)  $\epsilon_r^2/m_r$ .
- d)  $m_r/\epsilon_r$ .
- e)  $\epsilon_r/m_r$ .

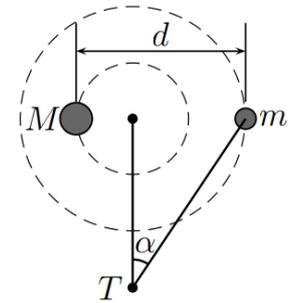
**30. (ITA – 2014)**

Considere um capacitor de placas paralelas ao plano  $yz$  tendo um campo elétrico de intensidade  $E$  entre elas, medido por um referencial  $S$  em repouso em relação ao capacitor. Dois outros referenciais,  $S'$  e  $S''$ , que se movem com velocidade de módulo  $v$  constante em relação a  $S$  nas direções de  $x$  e  $y$ , nesta ordem, medem as respectivas intensidades  $E'$  e  $E''$  dos campos elétricos entre as placas do capacitor. Sendo  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ , pode-se dizer que  $E'/E$  e  $E''/E$  são, respectivamente, iguais a

- a) 1 e 1.
- b)  $\gamma$  e 1.
- c) 1 e  $\gamma$ .
- d)  $\gamma$  e  $1/\gamma$ .
- e) 1 e  $1/\gamma$ .

**31. (ITA – 2014)**

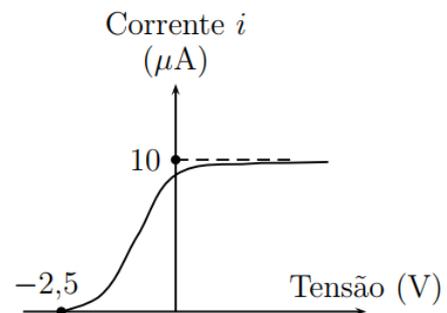
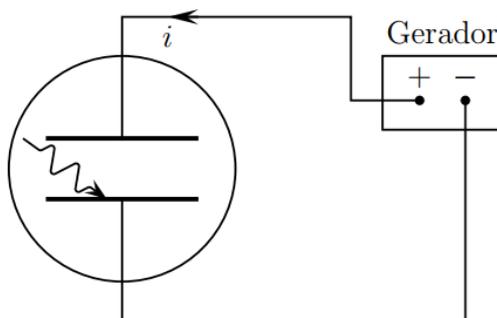
Um sistema binário é formado por duas estrelas esféricas de respectivas massas  $m$  e  $M$ , cujos centros distam  $d$  entre si, cada qual descrevendo um movimento circular em torno do centro de massa desse sistema. Com a estrela de massa  $m$  na posição mostrada na figura, devido ao efeito Doppler, um observador  $T$  da Terra detecta uma raia do espectro do hidrogênio, emitida por essa estrela, com uma frequência  $f$  ligeiramente diferente da sua frequência natural  $f_0$ . Considere a Terra em repouso em relação ao centro de massa do sistema e que o movimento das estrelas ocorre no mesmo plano de observação. Sendo as velocidades das estrelas muito menores que  $c$ , assinale a alternativa que explicita o valor absoluto de  $(f - f_0)/f_0$ . Se necessário, utilize  $(1 + x)^n \cong 1 + nx$  para  $x \ll 1$ .



- a)  $\sqrt{GM^2/[d(M + m)c^2]}$       b)  $\sqrt{Gm^2\text{sen}^2\alpha/[d(M + m)c^2]}$   
 c)  $\sqrt{Gm^2\text{cos}^2\alpha/[d(M + m)c^2]}$       d)  $\sqrt{GM^2\text{sen}^2\alpha/[d(M + m)c^2]}$   
 e)  $\sqrt{GM^2\text{cos}^2\alpha/[d(M + m)c^2]}$

**32. (ITA – 2014)**

Dois placas de um mesmo metal e com a mesma área de  $5,0 \text{ cm}^2$ , paralelas e próximas entre si, são conectadas aos terminais de um gerador de tensão ajustável. Sobre a placa conectada ao terminal negativo, faz-se incidir radiação e, por efeito fotoelétrico, aparece uma corrente no circuito, cuja relação com a tensão aplicada é explicitada no gráfico. Sabendo que a função trabalho do metal é de  $4,1 \text{ eV}$  e assumindo que na região de saturação da corrente todo fóton incidente sobre a placa gera um fotoelétron que é coletado, a medida da intensidade dessa radiação em  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  é igual a



- a) 13.  
 b) 8,2.  
 c) 6,6.  
 d) 3,2.  
 e) 1,6.

**33. (ITA – 2014)**



Uma amostra I de átomos de  $^{57}\text{Fe}$ , cujos núcleos excitados emitem fótons devido a uma transição nuclear, está situada a uma altura  $d$  verticalmente acima de uma amostra II de  $^{57}\text{Fe}$  que recebe a radiação emitida pela amostra I. Ao chegar a II, os fótons da amostra I sofrem um aumento de frequência devido à redução de sua energia potencial gravitacional, sendo, portanto, incapazes de excitar os núcleos de  $^{57}\text{Fe}$  dessa amostra. No entanto, essa incapacidade pode ser anulada se a amostra I se afastar verticalmente da amostra II com uma velocidade  $v$  adequada. Considerando  $v \ll c$  que a energia potencial gravitacional do fóton de energia  $\mathcal{E}$  pode ser obtida mediante sua “massa efetiva”  $\mathcal{E}/c^2$ , assinale a opção que explicita  $v$ . Se necessário, utilize  $(1 + x)^n \cong 1 + nx$  para  $x \ll 1$ .

- a)  $\sqrt{gd}$
- b)  $gd/c$
- c)  $2\sqrt{gd}$
- d)  $2gd/c$
- e)  $gd\sqrt{gd}/c^2$

### 34. (ITA – 2014)

Pontos quânticos são nanoestruturas que permitem a manipulação do estado quântico de um único elétron, sendo um caminho promissor para a Computação Quântica. Em primeira aproximação, um ponto quântico confina elétrons com um potencial semelhante ao de um oscilador harmônico, isto é, com uma energia potencial do tipo  $V(x) = m\omega^2 x^2/2$ , em que  $x$  é a posição da partícula em relação ao ponto de equilíbrio,  $m$  é a massa da partícula confinada,  $\omega = \sqrt{k/m}$  e  $k$  é a “constante de mola” (embora não seja este um conceito apropriado no mundo quântico). De acordo com a Mecânica Clássica, a energia mecânica deste oscilador pode variar continuamente de zero até infinito. Por outro lado, na Mecânica Quântica, a energia deste oscilador varia de forma discreta, de acordo com a expressão  $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega$ , em que  $n$  pode assumir os valores 0, 1, 2, .... Na descrição quântica do oscilador harmônico, o menor valor possível para a energia mecânica é  $\hbar\omega/2$ , diferentemente do previsto na Mecânica Clássica. Explique por que não é possível haver energia igual a zero na descrição quântica do oscilador harmônico.

### 35. (ITA – 2015)

No espaço sideral, luz incide perpendicular e uniformemente numa placa de gelo inicialmente a  $-10^\circ\text{C}$  e em repouso, sendo 99% refletida e 1% absorvida. O gelo então derrete pelo aquecimento, permanecendo a água aderida à placa. Determine a velocidade desta após a fusão de 10% do gelo.

- a) 3 mm/s. b) 3 cm/s. c) 3 dm/s. d) 3 m/s. e) 3 dam/s.

### 36. (ITA – 2015)



Considere as quatro proposições seguintes:

I. Os isótopos,  $^{16}O$  e  $^{18}O$  do oxigênio diferenciam-se por dois nêutrons.

II. Sendo de 24000 anos a meia-vida do  $^{239}Pu$ , sua massa de 600 g reduzir-se-á a 200 g após 72000 anos.

III. Um núcleo de  $^{27}Mg$  se transmuta em  $^{28}Al$  pela emissão de uma partícula  $\beta$ .

IV. Um fóton de luz vermelha incide sobre uma placa metálica causando a emissão de um elétron. Se esse fóton fosse de luz azul, provavelmente ocorreria a emissão de dois ou mais elétrons.

Então,

- a) apenas uma das proposições é correta.
- b) apenas duas das proposições são corretas.
- c) apenas três das proposições são corretas.
- d) todas elas são corretas.
- e) nenhuma delas é correta.

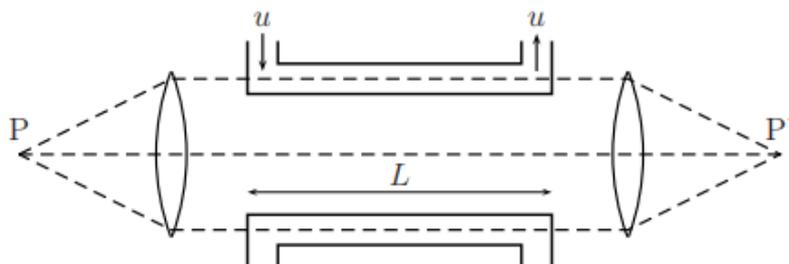
### 37. (ITA – 2015)

Um muon de meia-vida de 1,5 é criado a uma altura de 1 km da superfície da Terra devido à colisão de um raio cósmico com um núcleo e se desloca diretamente para o chão. Qual deve ser a magnitude mínima da velocidade do muon para que ele tenha 50% de probabilidade de chegar ao chão?

- a)  $6,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- b)  $1,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- c)  $1,8 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- d)  $2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- e)  $2,7 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

### 38. (ITA – 2015)

Luz de uma fonte de frequência  $f$  gerada no ponto  $P$  é conduzida através do sistema mostrado na figura. Se o tubo superior transporta um líquido com índice de refração  $n$  movendo-se com velocidade  $u$ , e o tubo inferior contém o mesmo líquido em repouso, qual o valor mínimo de  $u$  para causar uma interferência destrutiva no ponto  $P'$ ?



- a)  $\frac{c^2}{2 \cdot n \cdot L \cdot f}$



b) 
$$\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot n^2 - c \cdot n}$$

c) 
$$\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot n^2 + c \cdot n}$$

d) 
$$\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) - c \cdot n}$$

e) 
$$\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) + c \cdot n}$$

**39. (ITA – 2016)**

Enquanto em repouso relativo a uma estrela, um astronauta vê a luz dela como predominantemente vermelha, de comprimento de onda próximo a  $600 \text{ nm}$ . Acelerando sua nave na direção da estrela, a luz será vista como predominantemente violeta, de comprimento de onda próximo a  $400 \text{ nm}$ , ocasião em que a razão da velocidade da nave em relação à da luz será de

- a)  $1/3$ .
- b)  $2/3$ .
- c)  $4/9$ .
- d)  $5/9$ .
- e)  $5/13$ .

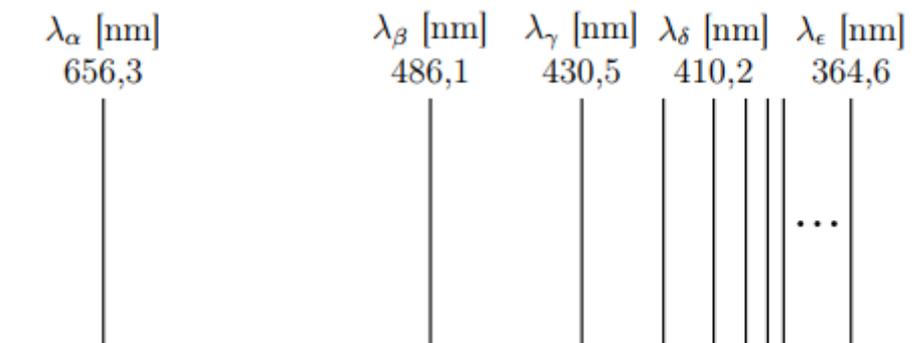
**40. (ITA – 2017)**

Uma placa é feita de um metal cuja função trabalho  $W$  é menor que  $h\nu$ , sendo  $\nu$  uma frequência no intervalo do espectro eletromagnético visível e  $h$  a constante de Planck. Deixada exposta, a placa interage com a radiação eletromagnética proveniente do Sol absorvendo uma potência  $P$ . Sobre a ejeção de elétrons da placa metálica nesta situação é correto afirmar que os elétrons

- a) não são ejetados instantaneamente, já que precisam de um tempo mínimo para acúmulo de energia.
- b) podem ser ejetados instantaneamente com uma mesma energia cinética para qualquer elétron.
- c) não podem ser ejetados pois a placa metálica apenas reflete toda a radiação.
- d) podem ser ejetados instantaneamente, com energia que depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.
- e) não podem ser ejetados instantaneamente e a energia cinética após a ejeção depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.

**41. (ITA – 2017)**

Num experimento que mede o espectro de emissão do átomo de hidrogênio, a radiação eletromagnética emitida pelo gás hidrogênio é colimada por uma fenda, passando a seguir por uma rede de difração. O espectro obtido é registrado em chapa fotográfica, cuja parte visível é mostrada na figura.



Pode-se afirmar que

- O modelo de Bohr explica satisfatoriamente as linhas do espectro visível do átomo de Hidrogênio.
- Da esquerda para a direita as linhas correspondem a comprimentos de onda do violeta ao vermelho.
- O espaçamento entre as linhas adjacentes decresce para um limite próximo ao infravermelho.
- As linhas do espectro encontrado são explicadas pelo modelo de Rutherford.
- Balmer obteve em 1885 a fórmula empírica para o comprimento de onda:  $\lambda = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , em que  $n = 3, 4 \dots$  e  $R$  é a constante de Rydberg.

#### 42. (ITA – 2018)

Contando com um prisma e um contador de número de fótons por segundo, deseja-se medir a temperatura de uma estrela com base no seu espectro eletromagnético obtido por meio de um telescópio.

- Projete esquematicamente esse experimento representando o prisma como um triângulo e o contador de fótons por segundo como um quadrado.
- Explique os conceitos usados em (a) para obter a temperatura da estrela.

#### 43. (ITA – 2018)

Um átomo de Hidrogênio emite um fóton de energia  $2,55 \text{ eV}$  na transição entre dois estados estacionários. A razão entre as velocidades dos elétrons nesses dois estados é  $1/2$ . Determine a energia potencial do elétron no estado final desse átomo, sabendo que energia total no estado  $n$  é  $E_n = -13,6/n^2 \text{ eV}$  e o raio é  $r = n^2 r_B$ , em que  $r_B$  é o raio de Bohr e  $n = 1, 2, 3, \dots$



**44. (ITA – 2019)**

Dentro de uma câmara de vácuo encontra-se um filamento  $F$  aquecido por meio de uma fonte elétrica externa de d.d.p.  $V_1$ . A radiação emitida por  $F$  atinge o eletrodo metálico  $E_1$ , que passa a emitir elétrons que podem ser coletados no eletrodo  $E_2$ , acarretando a corrente  $I$  medida num amperímetro. Uma segunda fonte externa, de d.d.p.  $V_2$ , é conectada ao circuito conforme ilustrado na figura. Um obstáculo  $O$  impede que  $E_2$  receba radiação do filamento  $F$ . Analise as seguintes afirmações:

I. A corrente  $I$  aumenta sempre que  $V_2$  aumenta e tende a um valor assintótico  $I_{max}$ .

II. Toda a radiação que incide em  $E_1$  pode causar ejeção de elétrons.

III. Para certo valor  $V_2 < 0$ , é possível obter uma corrente  $I$  invertida em relação ao sentido mostrado na figura.

IV. É possível ter  $I \neq 0$  para  $V_2 = 0$  com  $I$  dependente de  $V_1$ .

Estão corretas

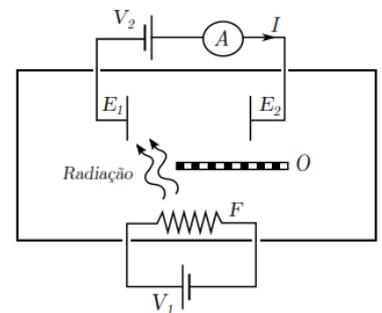
a) todas as afirmações

d) apenas II e IV.

b) apenas I, II e III.

e) apenas I, II e IV.

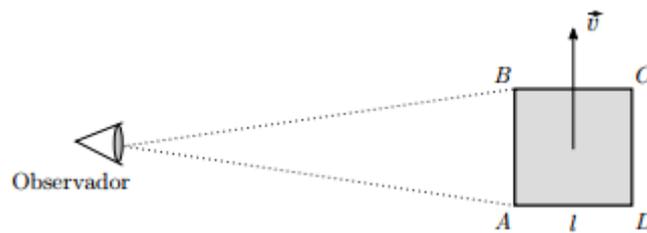
c) apenas I e IV.



**45. (ITA – 2019)**

Uma placa quadrada de vértices  $A, B, C, D$  e lado  $l$ , medido em seu referencial de repouso, move-se em linha reta com velocidade de módulo  $v$ , próximo ao da velocidade da luz no vácuo  $c$ , em relação a um observador localizado a uma distância muito maior que  $l$ , conforme ilustra a figura. A imagem percebida pelo observador é formada a partir dos raios de luz que lhe chegam simultaneamente. Sabe-se que o movimento da placa faz com que o observador a perceba girada. Determine em função de  $v$  e  $c$  o ângulo de giro aparente da placa e indique o seu sentido, sabendo que esta e o observador se situam num mesmo plano.





**46. (ITA – 2019)**

Considere um elétron confinado no interior de uma cavidade esférica de raio  $a$  cuja fronteira é intransponível.

(a) Estime o valor do módulo da velocidade ( $v$ ) e a energia total ( $E$ ) desse elétron em seu estado fundamental.

(b) De acordo com o modelo de Bohr, o estado de menor energia do elétron em um átomo de hidrogênio é caracterizado pela órbita circular de raio  $r_B$ , tendo o elétron a velocidade tangencial de módulo  $v_B$ . Obtenha a restrição em  $a/r_B$  para que ocorra a desigualdade  $v > v_B$ .



GABARITO



## 2. GABARITO SEM COMENTÁRIOS

1. B

2. B

$$3. \frac{c(m_x - m_y)}{m_x + m_y}$$

4. C

5. A

6. C

$$7. p = 2$$

8. C

9. D

10. E

11. D

12. E

13. D

$$14. \lambda = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{e \cdot U}{c}\right)^2 + 2 \cdot m_0 \cdot e \cdot U}}$$

$$15. v = \frac{1}{m_p + 2 \cdot m_e} \cdot \frac{E_0}{c} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$$

$$16. 4,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

17. E

18. B

19. D

$$20. 5 \cdot 10^{14} \text{ fótons}$$

21. C

$$22. h = \frac{2 \cdot E^2}{m^2 \cdot c^2 \cdot g}$$

23. C

25. C

$$26. E = -\frac{E_0}{n^2}; E_0 = \frac{e^2}{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot a_0}; a_0 = \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m \cdot e^2}$$

27. A

28. demonstraç o.

29. B

30. C

31. E

32. A

33. B

34. vide comentários.

35. B

36. A

37. E

38. D

39. E

40. D

41. A

42. a) vide esquema. b) vide comentários.

$$43. E_p = -6,8 \text{ eV}$$

44. C

$$45. \theta = \text{arc sen} \left( \frac{v}{c} \right)$$

$$46. \text{a) } E = \frac{3 \cdot h^2}{128 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot a^2} \text{ b) } \frac{a}{r_B} < \frac{\sqrt{3}}{4}$$



24. A luz vermelha pode ser vista a uma distância maior.

ESCLARECENDO!



### 3. LISTA DE QUESTÕES COMENTADA

#### 1. (ITA – 2020 – 1ª)

Considere uma teoria na qual a força de interação entre duas “cargas generalizadas”  $q_1$  e  $q_2$  em universos A-dimensionais é expressa por  $F_e = q_1 q_2 / (\kappa r^{N-1})$ , em que  $\kappa$  é uma constante característica do meio. A teoria também prevê uma força entre dois “polos generalizados”  $p_1$  e  $p_2$  expressa por  $F_m = p_1 p_2 / (\mu r^{N-1})$ , na qual  $\mu$  é outra constante característica do meio. Sabe-se ainda que um polo  $p$  pode interagir com uma corrente de carga,  $i$ , gerando uma força  $F = ip / (r^{N-2})$ . Em todos os casos,  $r$  representa a distância entre os entes interagentes. Considerando as grandezas fundamentais massa, comprimento, tempo e corrente de carga, assinale a alternativa que corresponde à fórmula dimensional de  $\kappa\mu$ .

- a)  $L^2 T^{-2}$
- b)  $L^{-2} T^2$
- c)  $L^{-2} T^{-2}$
- d)  $L^{1-N} T^2$
- e)  $L^{-2} T^{N-1}$

#### Comentários:

Sabemos que a unidade de força é:

$$[F] = [M][L][T]^{-2}$$

Dessa forma:

$$\left[ \frac{q_1 q_2}{\kappa r^{N-1}} \right] = [q]^2 [\kappa]^{-1} [L]^{N-1} = [M][L][T]^{-2} \rightarrow [\kappa] = [M]^{-1} [L]^{N-2} [T]^2 [q]^2$$



$$\left[ \frac{p_1 p_2}{\mu r^{N-1}} \right] = [p]^2 [\mu]^{-1} [L]^{N-1} = [M][L][T]^{-2} \rightarrow [\mu] = [M]^{-1} [L]^{N-2} [T]^2 [p]^2$$

$$\left[ \frac{ip}{r^{N-2}} \right] = [q][T]^{-1} [p][L]^{N-2} = [M][L][T]^{-2} \rightarrow [q][p] = [M][L]^{1-N} [T]^{-1}$$

Multiplicando a primeira e a segunda equação:

$$[\kappa][\mu] = [M]^{-2} [L]^{2N-4} [T]^4 ([p][q])^2$$

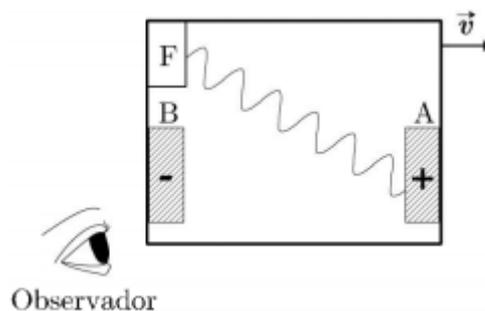
$$[\kappa][\mu] = [M]^{-2} [L]^{2N-4} [T]^4 ([M][L]^{1-N} [T]^{-1})^2$$

$$[\kappa][\mu] = [L]^{-2} [T]^2$$

**Gabarito: B**

## 2. (ITA – 2020 – 1ª)

A figura ilustra um experimento numa plataforma que, no referencial de um observador externo, se move com velocidade  $\vec{v}$  constante de módulo comparável ao da velocidade da luz. No instante  $t_0$ , a fonte F emite um pulso de luz de comprimento de onda  $\lambda$  que incide sobre a placa metálica A, sendo por ela absorvido e, em consequência, emitindo elétrons, que são desacelerados pela diferença de potencial  $V_{AB}$ . Considerando que os elétrons atingem a placa B a partir do instante t, assinale a alternativa que referencia apenas variações independentes que diminuam o intervalo de tempo  $\Delta t = t - t_0$  medido pelo observador.



- Aumento de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- Diminuição de  $\lambda$ , diminuição de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- Diminuição de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , diminuição de  $v$ .
- Diminuição de  $\lambda$ , diminuição de  $V_{AB}$ , aumento de  $v$ .
- Aumento de  $\lambda$ , aumento de  $V_{AB}$ , aumento de  $v$ .

### Comentários:

Pelas equações de Lorentz, sendo o referencial do vagão o linha:

$$t = \gamma \left( t' + \frac{vx'}{c^2} \right)$$



Como no final do experimento o elétron chega em B ( $x' = 0$ )

$$t = \gamma t'$$

Isso quer dizer que o tempo que o observador mede é maior que o tempo próprio (tempo que demora para o experimento terminar dentro do vagão). Como o tempo que demora para o experimento ocorrer não depende da velocidade que o vagão se move, quanto mais aumentarmos  $v$  mais vamos aumentar o  $\gamma$  e conseqüentemente o  $t$ . Logo para diminuirmos  $t$ , devemos diminuir  $v$ .

A partir de agora o problema deixa de ser de relatividade. Mudanças em  $\lambda$  e  $V_{AB}$  não afetarão na curvatura do espaço tempo. Simplesmente irão mudar  $t'$  (o tempo que o experimento demora para ocorrer), e mudarão  $t$  por causa disso, já que  $t$  é  $\gamma t'$ .

Veja que como o potencial está freando o elétron, quando maior o potencial mais tempo demora para o elétron chegar em B, logo devemos diminuir o potencial para diminuir o tempo.

Além disso, quando mais energia o elétron possui, mais rápido ele chega em B. Como a energia do elétron é a energia do fóton menos a função trabalho (constante) e a energia do fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda, ao diminuirmos o comprimento de onda diminuimos o tempo medido pelo referencial de fora da plataforma.

Assim temos que diminuir as três variáveis.

### Gabarito: B

### 3. (ITA – 2020 – 2ª)

Raios cósmicos interagem com átomos da atmosfera e produzem partículas instáveis X. Por meio de experimentos, constata-se que X decai em uma partícula Y e em um neutrino  $\nu$ , conforme a equação de decaimento  $X \rightarrow Y + \nu$ . Considerando desprezível a massa de repouso do neutrino e X inicialmente em repouso, determine a velocidade da partícula Y em termos de  $c$  e das massas de X e de Y.

#### Comentários:

Por conservação da quantidade de movimento:

$$p_y + p_\nu = 0$$

Por conservação de energia:

$$m_x c^2 = \sqrt{p_y^2 c^2 + m_y^2 c^4} + |p_\nu c|$$

Substituindo:

$$m_x c^2 = \sqrt{p_y^2 c^2 + m_y^2 c^4} + p_y c$$

$$(m_x c^2 - p_y c)^2 = p_y^2 c^2 + m_y^2 c^4$$



$$m_x^2 c^4 - 2p_y m_x c^3 + p_y^2 c^2 = p_y^2 c^2 + m_y^2 c^4$$

$$m_x^2 c - m_y^2 c = 2p_y m_x$$

$$c^2 (m_x^2 - m_y^2)^2 = \frac{4m_x^2 m_y^2 v_y^2}{1 - \frac{v_y^2}{c^2}}$$

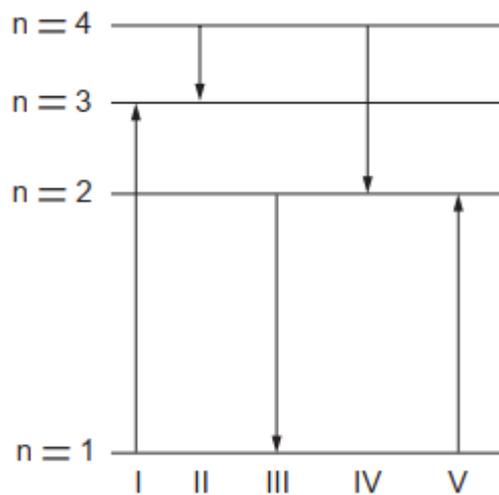
$$\frac{v_y^2}{c^2 - v_y^2} = \frac{(m_x^2 - m_y^2)^2}{4m_x^2 m_y^2} = K$$

$$v_y^2 = Kc^2 - Kv_y^2 \rightarrow v_y = \sqrt{\frac{Kc^2}{1+K}} = \frac{c(m_x^2 - m_y^2)}{m_x^2 + m_y^2}$$

**Gabarito:**  $\frac{c(m_x - m_y)}{m_x + m_y}$

**4. (ITA – 2000)**

O diagrama mostra os níveis de energia (n) de um elétron em um certo átomo. Qual das transições mostradas na figura representa a emissão de um fóton com o menor comprimento de onda?



- a) I.      b) II.      c) III.      d) IV.      e) V.

**Comentários:**

A energia do fóton emitido é igual à diferença dos níveis de energia. Mas, a energia do fóton também é dada por:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Unindo as duas equações:



$$\Delta E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta E}$$

Como  $h$  e  $c$  são fixos, o menor comprimento de onda será emitido pela mudança de nível mais energética. Assim, a opção que representa isso seria a opção 3.

**Gabarito: C**

---

### 5. (ITA – 2000)

Dobrando-se a energia cinética de um elétron não-relativístico, o comprimento de onda original de sua função de onda fica multiplicado por

- a)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ .      b)  $\frac{1}{2}$ .      c)  $\frac{1}{4}$ .      d)  $\sqrt{2}$ .      e) 2.

#### Comentários:

O comprimento de onda De Broglie é dado por:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

Ao dobrar-se a energia cinética, temos:

$$\begin{aligned} 2 \cdot E_i &= E_f \\ \frac{m \cdot v_i^2}{2} \cdot 2 &= \frac{m \cdot v_f^2}{2} \\ v_f &= v_i \cdot \sqrt{2} \end{aligned}$$

Portanto:

$$\begin{aligned} \lambda_i &= \frac{h}{m \cdot v_i} \\ \lambda_f &= \frac{h}{m \cdot v_f} = \frac{h}{m \cdot v_i} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\lambda_i}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

**Gabarito: A**

---



**6. (ITA – 2002)**

Um trecho da música “Quanta”, de Gilberto Gil, é reproduzido no destaque ao lado. As frases “Quantum granulado no mel” e “Quantum ondulado do sal” relacionam-se, na Física, com

- Conservação de Energia.
- Conservação da Quantidade de Movimento.
- Dualidade Partícula-onda.
- Princípio da Causalidade.
- Conservação do Momento Angular.

**Comentários:**

O termo “quantum granulado” dá ideia de uma partícula, enquanto que “quantum ondulado” dá ideia de onda. Dessa forma, as frases relacionam-se com a dualidade partícula-onda.

Fragmento infinitésimo,  
Quase que apenas  
mental,  
Quantum granulado no  
mel,  
Quantum ondulado do  
sal,  
Mel de urânio, sal de  
radio  
Qualquer coisa quase  
ideal.

**Gabarito: C****7. (ITA – 2002)**

Um átomo de hidrogênio tem níveis de energia discretos dados pela equação  $E_n = -\frac{13,6}{n^2} eV$ , em que  $\{n \in \mathbb{Z}/n \geq 1\}$ . Sabendo que um fóton de energia  $10,19 eV$  excitou o átomo do estado fundamental ( $n = 1$ ) até o estado  $p$ , qual deve ser o valor de  $p$ ? Justifique.

**Comentários:**

Pelo modelo de Bohr:

$$\Delta E = -13,6 \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$-10,19 = -13,6 \cdot \left( 1 - \frac{1}{p^2} \right)$$

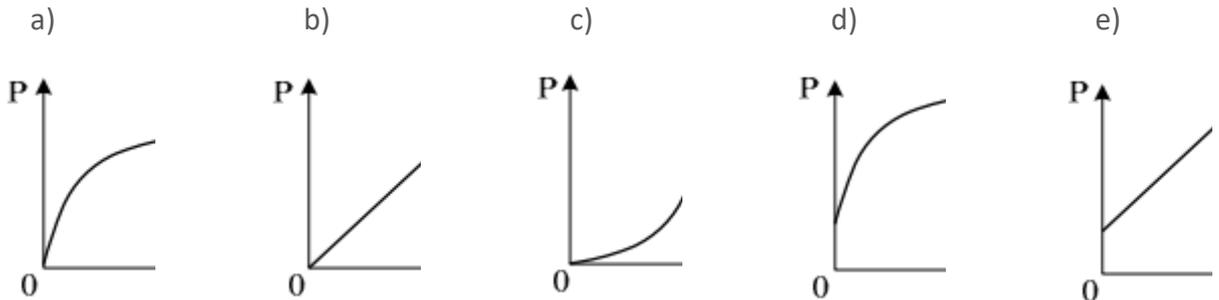
$$\frac{1}{4} = 1 - \frac{1}{p^2}$$

$$\boxed{p = 2}$$

**Gabarito:  $p = 2$** 

**8. (ITA – 2005)**

Qual dos gráficos abaixo melhor representa a taxa  $P$  de calor emitido por um corpo aquecido, em função de sua temperatura absoluta  $T$ ?

**Comentários:**

O calor irradiado por segundo por um corpo é dado por:

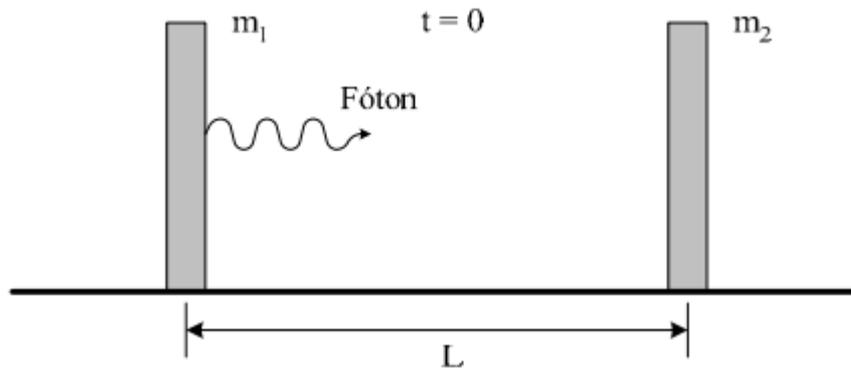
$$R = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

Portanto, varia com a quarta potência da temperatura. Assim, o único gráfico que pode representar esta função é o da letra c.

**Gabarito: C****9. (ITA – 2005)**

Experimentos de absorção de radiação mostram que a relação entre a energia  $E$  e a quantidade de movimento  $p$  de um fóton é  $E = pc$ . Considere um sistema isolado formado por dois blocos de massas  $m_1$  e  $m_2$ , respectivamente, colocados no vácuo, e separados entre si de uma distância  $L$ . No instante  $t = 0$ , o bloco de massa  $m_1$  emite um fóton que é posteriormente absorvido inteiramente por  $m_2$ , não havendo qualquer outro tipo de interação entre os blocos. (Ver figura). Suponha que  $m_1$  se tome  $m'_1$  em razão da emissão do fóton e, analogamente,  $m_2$  se tome  $m'_2$  devido à absorção desse fóton. Lembrando que esta questão também pode ser resolvida com recursos da Mecânica Clássica, assinale a opção que apresenta a relação correta entre a energia do fóton e as massas dos blocos.





- a)  $E = (m_2 - m_1)c^2$ .
- b)  $E = (m'_1 - m'_2)c^2/2$ .
- c)  $E = (m'_2 - m_2)c^2/2$ .
- d)  $E = (m'_2 - m_2)c^2$ .
- e)  $E = (m_1 - m'_1)c^2$ .

**Comentários:**

Embora possa ser resolvido pela mecânica clássica, a questão aborda a relação entre massa e energia, onde:

$$E = m \cdot c^2$$

A massa do fóton é dada por:

$$m = m_1 - m'_1 = m'_2 - m_2$$

Portanto:

$$E = (m_1 - m'_1) \cdot c^2 = (m'_2 - m_2) \cdot c^2$$

A única alternativa correta, portanto, é a letra D.

**Gabarito: D**

**10. (ITA – 2003)**

Considere as seguintes afirmações:

I. No efeito fotoelétrico, quando um metal é iluminado por um feixe de luz monocromática, a quantidade de elétrons emitidos pelo metal é diretamente proporcional à intensidade do feixe incidente, independentemente da frequência da luz.

II. As órbitas permitidas ao elétron em um átomo são aquelas em que o momento angular orbital é  $nh/2\pi$ , sendo  $n = 1, 3, 5, \dots$ .



III. Os aspectos corpuscular e ondulatório são necessários para a descrição completa de um sistema quântico.

IV. A natureza complementar' do mundo quântico é expressa, no formalismo da Mecânica Quântica, pelo princípio de incerteza de Heisenberg.

Quais estão corretas?

- a) I e II.
- b) I e III.
- c) I e IV.
- d) II e III.
- e) III e IV.

#### Comentários:

I) Incorreto. O efeito fotoelétrico só ocorre para frequências de onda acima da frequência de corte. A partir da frequência de corte a quantidade de elétrons será proporcional à intensidade da luz incidente, entretanto o enunciado afirma “independentemente da frequência da luz”.

II) Incorreto. De acordo com o modelo de Bohr, os estados estacionários permitidos são aqueles em que o momento angular é dado por  $\frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$ , para  $n = 1, 2, 3 \dots$

III) Correto. A dualidade onda-partícula é necessária para a compreensão dos fenômenos quânticos.

IV) Correto. O princípio da incerteza de Heisenberg relaciona o caráter corpuscular e ondulatório, tratando-os como complementares e não contraditórios como anteriormente pensado.

#### Gabarito: E

---

#### 11. (ITA – 2003)

Utilizando o modelo de Bohr para o átomo, calcule o número aproximado de revoluções efetuadas por um elétron no primeiro estado excitado do átomo de hidrogênio, se o tempo de vida do elétron, nesse estado excitado, é de  $10^{-8}$  s. São dados: o raio da órbita do estado fundamental é  $5.3 \cdot 10^{-11}$  m e a velocidade do elétron nesta órbita é de  $2,2 \cdot 10^6$  m/s.

- a)  $1 \cdot 10^6$  revoluções.
- b)  $4 \cdot 10^7$  revoluções.
- c)  $5 \cdot 10^7$  revoluções.
- d)  $8 \cdot 10^6$  revoluções.
- e)  $9 \cdot 10^6$  revoluções.



**Comentários:**

O raio fundamental  $a_0$  é usado para encontrar os demais raios nos átomos hidrogenóides.

$$r = \frac{n^2}{Z} \cdot a_0$$

Onde:

- $n$  é o número da camada;
- $Z$  é o número de prótons;
- $a_0$  é o raio fundamental.

Para o hidrogênio:

$$r = n^2 \cdot a_0$$

Para o primeiro estado excitado,  $n = 2$ :

$$r = 4 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} = 21,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

Dos postulados de Bohr:

$$L = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$$

E:

$$L = m \cdot v \cdot r$$

Assim, temos que  $v_1$  (estado fundamental) e  $v_2$  (estado excitado):

$$m \cdot v_1 \cdot a_0 = \frac{h}{2 \cdot \pi}$$

$$m \cdot v_2 \cdot r = \frac{2 \cdot h}{2 \cdot \pi}$$

Dividindo as equações:

$$\frac{r}{a_0} \cdot \frac{v_2}{v_1} = 2$$

$$4 \cdot \frac{v_2}{v_1} = 2$$

$$v_2 = \frac{v_1}{2}$$

$v_1$  foi dado no enunciado, portanto, sabe-se que  $v_2 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ . Agora, calculando-se o período do movimento:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 21,2 \cdot 10^{-11}}{1,1 \cdot 10^6} \cong 121 \cdot 10^{-17}$$

Dividindo o tempo de vida pelo período tem-se o número de voltas:

$$N = \frac{t}{T} = \frac{10^{-8}}{121 \cdot 10^{-17}} \cong 8 \cdot 10^6$$



**Gabarito: D****12. (ITA – 2004)**

O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga  $e$  que se move em órbitas circulares de raio  $r$ , em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana. O trabalho efetuado por esta força sobre o elétron ao percorrer a órbita do estado fundamental é

- a)  $-e^2/(2\varepsilon_0 r)$ .
- b)  $e^2/(2\varepsilon_0 r)$ .
- c)  $-e^2/(4\pi\varepsilon_0 r)$ .
- d)  $e^2/r$ .
- e) n.d.a.

**Comentários:**

No modelo de Bohr, a força elétrica atua como força centrípeta e a força centrípeta em um MCU não realiza trabalho.

**Gabarito: E****13. (ITA – 2004)**

Num experimento que usa o efeito fotoelétrico, ilumina-se sucessivamente a superfície de um metal com luz de dois comprimentos de onda diferentes,  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ , respectivamente. Sabe-se que as velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos são, respectivamente,  $v_1$  e  $v_2$ , em que  $v_1 = 2v_2$ . Designando  $c$  a velocidade da luz no vácuo, e  $h$  constante de Planck, pode-se, então, afirmar que a função trabalho  $\phi$  do metal é dada por

- a)  $(2\lambda_1 - \lambda_2)hc/(\lambda_1\lambda_2)$ .
- b)  $(\lambda_2 - 2\lambda_1)hc/(\lambda_1\lambda_2)$ .
- c)  $(\lambda_2 - 4\lambda_1)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$ .
- d)  $(4\lambda_1 - \lambda_2)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$ .
- e)  $(2\lambda_1 - \lambda_2)hc/(3\lambda_1\lambda_2)$

**Comentários:**

A energia cinética máxima de um elétron emitido pelo efeito fotoelétrico é dada por:

$$E_{c\text{máx}} = h \cdot f - \phi = \frac{h \cdot c}{\lambda} - \phi$$



Assim, para os dois casos citados:

$$E_{c_{máx_1}} - E_{c_{máx_2}} = \frac{h \cdot c}{\lambda_1} - \frac{h \cdot c}{\lambda_2}$$

$$\frac{m}{2} \cdot (v_1^2 - v_2^2) = h \cdot c \cdot \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)$$

$$\frac{m}{2} \cdot 3 \cdot v_2^2 = h \cdot c \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2}$$

$$\frac{m \cdot v_2^2}{2} = \frac{h \cdot c}{3} \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2}$$

Por coincidência, esta é a energia cinética máxima para o comprimento  $\lambda_2$ . Assim:

$$E_{c_{máx_2}} = h \cdot \frac{c}{\lambda_2} - \phi$$

$$\phi = h \cdot \frac{c}{\lambda_2} - \frac{m \cdot v_2^2}{2}$$

$$\phi = h \cdot c \cdot \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} \right)$$

$$\phi = h \cdot c \cdot \left( \frac{4 \cdot \lambda_1 - \lambda_2}{3 \cdot \lambda_1 \cdot \lambda_2} \right)$$

**Gabarito: D**

#### 14. (ITA – 2004)

Um elétron é acelerado a partir do repouso por meio de uma diferença de potencial  $U$ , adquirindo uma quantidade de movimento  $p$ . Sabe-se que, quando o elétron está em movimento, sua energia relativística é dada por  $E = [(m_0 c^2)^2 + p^2 c^2]^{1/2}$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso do elétron e  $c$  a velocidade da luz no vácuo. Obtenha o comprimento de onda de De Broglie do elétron em função de  $U$  e das constantes fundamentais pertinentes.

#### Comentários:

Pelo teorema da energia cinética, temos:

$$\Delta E = e \cdot U$$

$$\sqrt{(m_0 \cdot c^2)^2 + p^2 \cdot c^2} - m_0 \cdot c^2 = e \cdot U$$

$$(m_0 \cdot c^2)^2 + p^2 \cdot c^2 = e^2 \cdot U^2 + 2 \cdot m_0 \cdot c^2 \cdot e \cdot U + m_0^2 \cdot c^4$$

$$p^2 \cdot c^2 = e^2 \cdot U^2 + 2 \cdot m_0 \cdot c^2 \cdot e \cdot U$$

$$p = \sqrt{\left( \frac{e \cdot U}{c} \right)^2 + 2 \cdot m_0 \cdot e \cdot U}$$



Assim, o comprimento de onda De Broglie é dado por:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{e \cdot U}{c}\right)^2 + 2 \cdot m_0 \cdot e \cdot U}}$$

**Gabarito:**  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{e \cdot U}{c}\right)^2 + 2 \cdot m_0 \cdot e \cdot U}}$

---

### 15. (ITA – 2005)

Um átomo de hidrogênio inicialmente em repouso emite um fóton numa transição do estado de energia  $n$  para o estado fundamental. Em seguida, o átomo atinge um elétron em repouso que com ele se liga, assim permanecendo após a colisão. Determine literalmente a velocidade do sistema átomo + elétron após a colisão. Dados: a energia do átomo de hidrogênio no estado  $n$  é  $E_n = E_0/n^2$ ; o momento do fóton é  $h\nu/c$  e a energia deste é  $h\nu$ , em que  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  a frequência do fóton e  $c$  a velocidade da luz.

#### Comentários:

A energia do fóton é dada pela diferença de energia entre os níveis:

$$E_{\text{fóton}} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$$

Mas, a energia do fóton se relaciona à sua quantidade de movimento por:

$$p_{\text{fóton}} = \frac{E_{\text{fóton}}}{c} = \frac{E_0}{c} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$$

Mas, pela conservação da quantidade de movimento:

$$|p_{\text{fóton}}| = |p_{\text{átomo}}|$$

E, com a colisão com o elétron:

$$p_{\text{antes}} = p_{\text{depois}}$$

$$\frac{E_0}{c} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right) = (m_p + 2 \cdot m_e) \cdot v$$

$$v = \frac{1}{m_p + 2 \cdot m_e} \cdot \frac{E_0}{c} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$$

$m_p$  é a massa do próton e  $m_e$  é a massa do elétron. Aqui considera-se que o elétron não emitiu nenhum fóton para reduzir sua energia ao nível fundamental.

**Gabarito:**  $v = \frac{1}{m_p + 2 \cdot m_e} \cdot \frac{E_0}{c} \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1\right)$

---



**16. (ITA – 2005)**

Num experimento, foi de  $5,0 \cdot 10^3 \text{ m/s}$  a velocidade de um elétron, medida com a precisão de  $0,003\%$ . Calcule a incerteza na determinação da posição do elétron, sendo conhecidos: massa do elétron  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  e constante de Planck reduzida  $\hbar = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

**Comentários:**

Pela incerteza de Heisenberg:

$$\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

Pelo enunciado:

$$\Delta p = m_e \cdot \Delta v = m_e \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^3 = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 15 \cdot 10^{-2} = 136,5 \cdot 10^{-33} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Assim:

$$136,5 \cdot 10^{-33} \cdot \Delta x = \frac{1,1 \cdot 10^{-34}}{2}$$

$$\Delta x = \frac{1,1 \cdot 10^{-1}}{273} = 4,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

**Gabarito:  $4,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}$**

---

**17. (ITA – 2006)**

Einstein propôs que a energia da luz é transportada por pacotes de energia  $hf$ , em que  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da luz. num referencial na qual a fonte está em repouso. Explicou, assim, a existência de uma frequência mínima  $f_0$  para arrancar elétrons de um material, no chamado efeito fotoelétrico. Suponha que a fonte emissora de luz está em movimento em relação ao material. Assinale a alternativa correta.

- a) Se  $f = f_0$ , é possível que haja emissão de elétrons desde que a fonte esteja se afastando do material.
- b) Se  $f < f_0$ , é possível que elétrons sejam emitidos, desde que a fonte esteja se afastando do material.
- c) Se  $f < f_0$  não há emissão de elétrons qualquer que seja a velocidade da fonte.
- d) Se  $f > f_0$ , é sempre possível que elétrons sejam emitidos pelo material, desde que a fonte esteja se afastando do material.
- e) Se  $f < f_0$ , é possível que elétrons sejam emitidos, desde que a fonte esteja se aproximando do material.

**Comentários:**

O efeito fotoelétrico requer uma frequência incidente sobre a placa maior que a frequência de corte. Caso a frequência emitida seja menor que a frequência de corte, ainda é possível, através da aproximação da placa com a fonte atingir-se uma frequência incidente maior que a frequência de corte, devido ao efeito Doppler.

**Gabarito: E**

---

### 18. (ITA – 2006)

No modelo proposto por Einstein, a luz se comporta como se sua energia estivesse concentrada em pacotes discretos, chamados de “quanta” de luz, e atualmente conhecidos por fótons. Estes possuem momento  $p$  e energia  $E$  relacionados pela equação  $E = pc$ , em que  $c$  é a velocidade da luz no vácuo. Cada fóton carrega uma energia  $E = hf$ , em que  $h$  é a constante de Planck e  $f$  é a frequência da luz. Um evento raro, porém possível, é a fusão de dois fótons, produzindo um par elétron-pósitron, sendo a massa do pósitron igual à massa do elétron. A relação de Einstein associa a energia da partícula à massa do elétron ou pósitron, isto é,  $E = m_e c^2$ . Assinale a frequência mínima de cada fóton, para que dois fótons, com momentos opostos e de módulo iguais, produzam um par elétron-pósitron após a colisão.

a)  $f = (4m_e c^2)/h$

b)  $f = (m_e c^2)/h$

c)  $f = (2m_e c^2)/h$

d)  $f = (m_e c^2)/2h$

e)  $f = (m_e c^2)/4h$

#### Comentários:

Fazendo-se a conservação da energia antes e depois da formação:

$$E_{\text{fótons}} = E_{\text{pósitron}} + E_{\text{elétron}}$$

Como pede-se a frequência mínima, considera-se que não há energia cinética após a formação das partículas. Assim:

$$2 \cdot h \cdot f = m_p \cdot c^2 + m_e \cdot c^2 = 2 \cdot m_e \cdot c^2$$

$$f = \frac{m_e \cdot c^2}{h}$$

**Gabarito: B**

---

### 19. (ITA – 2007)

O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga  $-e$  e massa  $m$ , que se move em órbitas circulares de raio  $r$  em torno do próton, sob a influência da



atração coulombiana. O raio  $r$  é quantizado, dado por  $r = n^2 a_0$ , onde  $a_0$  é o raio de Bohr e  $n = 1, 2, \dots$ . O período orbital para o nível  $n$ , envolvendo a permissividade do vácuo  $\epsilon_0$ , é igual a

- a)  $e/(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0})$
- b)  $(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\epsilon_0 m a_0})/e$
- c)  $(\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})/e$
- d)  $(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})/e$
- e)  $e/(4\pi a_0 n^3 \sqrt{\pi \epsilon_0 m a_0})$

**Comentários:**

Pelos postulados de Bohr, a força elétrica atua como força centrípeta:

$$F_{el} = F_{cp}$$

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{T}\right)^2 \cdot r$$

$$T^2 = \frac{16 \cdot \pi^3 \cdot m \cdot r^3 \cdot \epsilon_0}{e^2}$$

$$T = \frac{4 \cdot \pi \cdot r \cdot \sqrt{\pi \cdot r \cdot \epsilon_0 \cdot m}}{e}$$

$$T = \frac{4 \cdot \pi \cdot n^3 \cdot a_0 \cdot \sqrt{\pi \cdot a_0 \cdot \epsilon_0 \cdot m}}{e}$$

**Gabarito: D**

**20. (ITA – 2007)**

Aplica-se instantaneamente uma força a um corpo de massa  $m = 3,3 \text{ kg}$  preso a uma mola, e verifica-se que este passa a oscilar livremente com a frequência angular  $\omega = 10 \text{ rad/s}$ . Agora, sobre esse mesmo corpo preso à mola, mas em repouso, faz-se incidir um feixe de luz monocromática de frequência  $f = 500 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ , de modo que toda a energia seja absorvida pelo coipo, o que acarreta uma distensão de  $1 \text{ mm}$  da sua posição de equilíbrio. Determine o número de fótons contido no feixe de luz. Considere a constante de Planck  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

**Comentários:**

Para um MHS massa-mola:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \rightarrow 100 = \frac{k}{3,3} \rightarrow k = 3,3 \cdot 10^2$$

Agora, fazendo-se a conservação de energia:



$$E_{\text{fótons}} = E_{\text{elástica}}$$

$$n \cdot h \cdot f = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

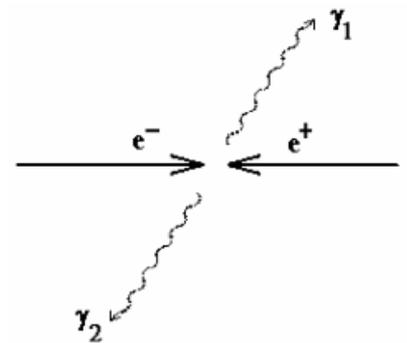
$$n = \frac{k \cdot x^2}{2 \cdot h \cdot f}$$

$$n = \frac{3,3 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 5 \cdot 10^{14}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ fótons}$$

**Gabarito:  $5 \cdot 10^{14}$  fótons**

**21. (ITA – 2008)**

Um elétron e um pósitron, de massa  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , cada qual com energia cinética de  $1,20 \text{ MeV}$  e mesma quantidade de movimento, colidem entre si em sentidos opostos. Neste processo colisional as partículas aniquilam-se, produzindo dois fótons  $\gamma_1$  e  $\gamma_2$ . Sendo dados: constante de Planck  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ; velocidade da luz  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;  $1 \text{ femtometro} = 1 \text{ fm} = 1 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ , indique os respectivos valores de energia  $E$  e do comprimento de onda dos fótons.



- a)  $E = 1,20 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 2435 \text{ fm}$
- b)  $E = 1,20 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 1035 \text{ fm}$
- c)  $E = 1,71 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 726 \text{ fm}$
- d)  $E = 1,46 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 0,28 \cdot 10^{-2} \text{ fm}$
- e)  $E = 1,71 \text{ MeV}$ ;  $\lambda = 559 \text{ fm}$

**Comentários:**

Fazendo-se a conservação de energia:

$$E_{\text{pósitron}} + E_{\text{elétron}} = E_{\text{fótons}}$$

Mas:

$$E_{\text{pósitron}} = E_{\text{elétron}} = m_0 \cdot c^2 + E_c$$

Assim:

$$2 \cdot (9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 + 1,2 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 2 \cdot E_{\text{fóton}}$$

$$E_{\text{fóton}} \cong 82 \cdot 10^{-15} + 1,92 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

$$\boxed{E_{\text{fóton}} = 1,71 \text{ MeV}}$$

E:



$$\frac{h \cdot c}{\lambda} = E_{\text{fóton}}$$

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_{\text{fóton}}}$$

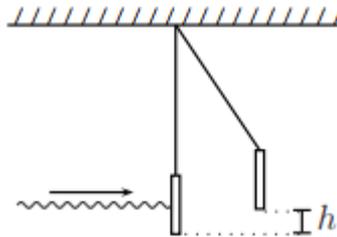
$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{2,736 \cdot 10^{-13}} = 7,26 \cdot 10^{-13}$$

$$\boxed{\lambda = 726 \text{ fm}}$$

**Gabarito: C**

**22. (ITA – 2009)**

Um feixe de laser com energia  $E$  incide sobre um espelho de massa  $m$  pendurado por um fio. Sabendo que o momentum do feixe de luz laser é  $E/c$ , em que  $c$  é a velocidade da luz, calcule a que altura  $h$  o espelho subirá.



**Comentários:**

Pela conservação da quantidade de movimento:

$$P_{\text{antes}} = P_{\text{depois}}$$

$$P_{\text{fóton incidente}} = P_{\text{fóton refletido}} + P_{\text{espelho}}$$

Considera-se  $|P_{\text{fóton incidente}}| \cong |P_{\text{fóton refletido}}|$ , assim:

$$P_{\text{fótons}} = \frac{E}{c}$$

Assim:

$$\frac{E}{c} = -\frac{E}{c} + m \cdot v$$

$$2 \cdot \frac{E}{c} = m \cdot v$$

$$v = \frac{2 \cdot E}{m \cdot c}$$

Pela conservação de energia:



$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h$$

$$h = \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{4 \cdot E^2}{2 \cdot m^2 \cdot c^2 \cdot g} = \frac{2 \cdot E^2}{m^2 \cdot c^2 \cdot g}$$

**Gabarito:**  $h = \frac{2 \cdot E^2}{m^2 \cdot c^2 \cdot g}$

### 23. (ITA – 2010)

No processo de fotossíntese, as moléculas de clorofila do tipo a nas plantas verdes apresentam um pico de absorção da radiação eletromagnética no comprimento de onda  $\lambda = 6,80 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ . Considere que a formação de glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) por este processo de fotossíntese é descrita, de forma simplificada, pela reação:



Sabendo-se que a energia total necessária para que uma molécula de  $CO_2$  reaja é de  $2,34 \cdot 10^{-18} \text{ J}$ , o número de fótons que deve ser absorvido para formar 1 mol de glicose é

- a) 8.
- b) 24.
- c) 48.
- d) 120.
- e) 240.

#### Comentários:

A energia necessária para produzir um mol de glicose é dado por:

$$E_{glicose} = 6 \cdot 2,34 \cdot 10^{-18} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 84,24 \cdot 10^5$$

A energia de cada fóton é dada por:

$$E_{fóton} = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,8 \cdot 10^{-7}} = 2,925 \cdot 10^{-19}$$

Assim:

$$N = \frac{E_{glicose}}{E_{fóton}}$$

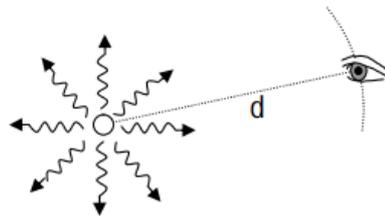
$$N = \frac{84,24 \cdot 10^5}{2,925 \cdot 10^{-19}} = 28,8 \cdot 10^{24} \cong 48 \cdot 10^{23} = 48 \text{ mols}$$

A questão pede quantos mols de fótons são necessários para formar 1 mol de glicose. Entretanto, as afirmativas são em número de fótons, não número de mols, portanto, entende-se que o exercício formulou mal o enunciado, devendo ter sido pedido o número de fótons necessários para produção de 1 molécula de glicose.



**Gabarito: C****24. (ITA – 2010)**

O olho humano é uma câmara com um pequeno diafragma de entrada (pupila), uma lente (cristalino) e uma superfície fotossensível (retina). Chegando à retina, os fótons produzem impulsos elétricos que são conduzidos pelo nervo ótico até o cérebro, onde são decodificados. Quando devidamente acostumada à obscuridade, a pupila se dilata até um raio de  $3\text{ mm}$  e o olho pode ser sensibilizado por apenas 400 fótons por segundo. Numa noite muito escura, duas fontes monocromáticas, ambas com potência de  $6 \cdot 10^{-5}\text{ W}$ , emitem, respectivamente, luz azul ( $\lambda = 475\text{ nm}$ ) e vermelha ( $\lambda = 650\text{ nm}$ ) isotropicamente, isto é, em todas as direções. Desprezando a absorção de luz pelo ar e considerando a área da pupila circular, qual das duas fontes pode ser vista a uma maior distância? Justifique com cálculos.

**Comentários:**

A energia de cada fóton é dada por:

$$E_{\text{fóton}} = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

A potência luminosa que chega aos olhos do observador é de:

$$P_{\text{observador}} = \frac{I}{A}$$

O número de fótons que chega ao observador por segundo é de:

$$N = \frac{P_{\text{observador}}}{E_{\text{fóton}}}$$

$$N = \frac{I}{A \cdot E_{\text{fóton}}}$$

Assim:

$$A = \frac{I}{N \cdot E_{\text{fóton}}}$$

A área é dependente da distância. Quanto maior a distância, maior a área. Portanto, a relação entre as áreas fica:



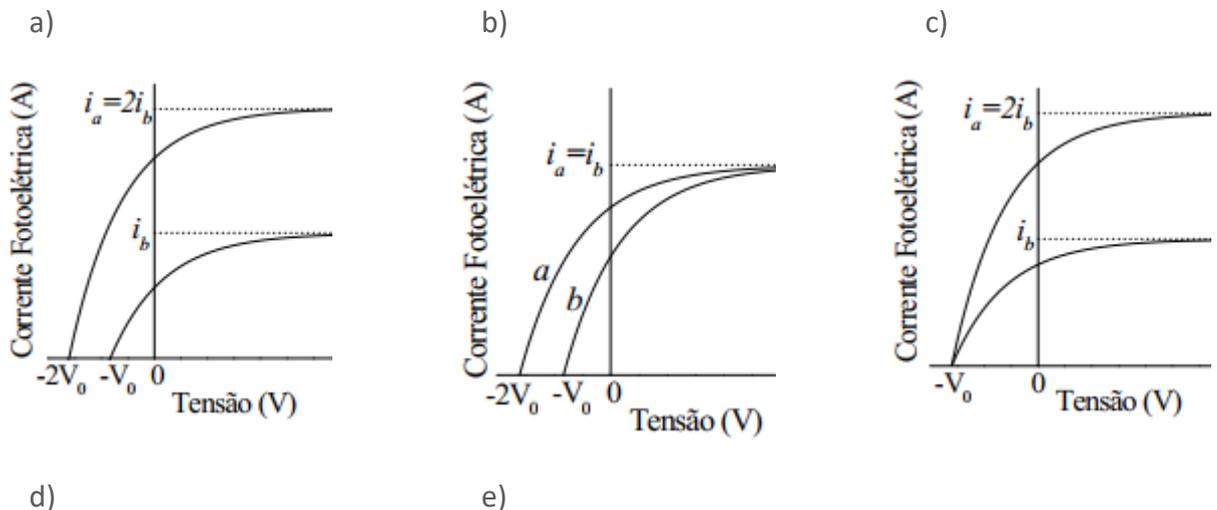
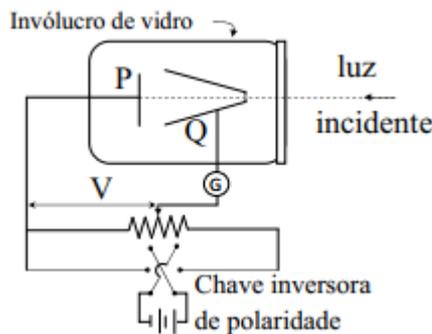
$$\frac{A_{\text{vermelha}}}{A_{\text{azul}}} = \frac{\left(\frac{I}{N \cdot E_{\text{vermelha}}}\right)}{\left(\frac{I}{N \cdot E_{\text{azul}}}\right)} = \frac{E_{\text{azul}}}{E_{\text{vermelha}}} = \frac{h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{azul}}}}{h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{vermelha}}}} = \frac{\lambda_{\text{vermelha}}}{\lambda_{\text{azul}}} > 1$$

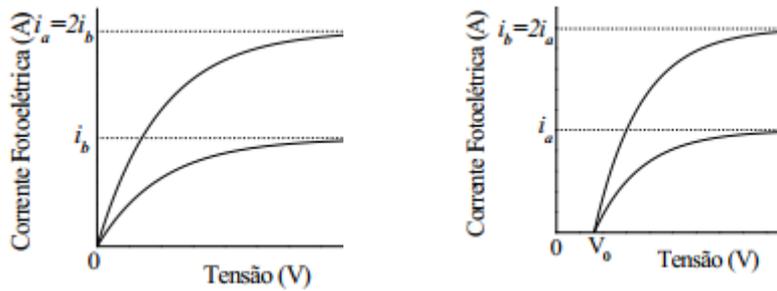
Logo, a distância a que se pode enxergar a luz vermelha é maior.

**Gabarito: A luz vermelha pode ser vista a uma distância maior.**

**25. (ITA – 2011)**

O aparato para estudar o efeito foto elétrico mostrado na figura consiste de um invólucro de vidro que encerra o aparelho em um ambiente no qual se faz vácuo. Através de uma janela de quartzo, luz monocromática incide sobre a placa de metal *P* e libera elétrons. Os elétrons são então detectados sob a forma de uma corrente, devido à diferença de potencial *V* estabelecida entre *P* e *Q*. Considerando duas situações distintas *a* e *b*, nas quais a intensidade da luz incidente em *a* é o dobro do caso *b*, assinale qual dos gráficos abaixo representa corretamente a corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial.





**Comentários:**

A intensidade luminosa incidente, considerando fótons de um único comprimento de onda, é proporcional ao número de fótons incidentes. A energia cinética está relacionada somente à frequência. Portanto, entre as situações A e B, dobra-se a quantidade de fótons incidentes dobrando, assim, a quantidade e elétrons ejetados. Entretanto, a energia cinética dos elétrons se mantém, dessa forma, não se varia a tensão de corte. Logo, a alternativa correta é C.

**Gabarito: C**

**26. (ITA – 2011)**

Obtenha uma expressão para as energias das órbitas do modelo de Bohr do átomo de Hidrogênio usando a condição de que o comprimento da circunferência de uma órbita do elétron ao redor do próton seja igual um número inteiro de comprimentos de onda de De Broglie do elétron.

**Comentários:**

Pelo enunciado:

$$2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot \lambda_{de\ Broglie}$$

$$2 \cdot \pi \cdot r = n \cdot \frac{h}{m \cdot v}$$

$$m \cdot v \cdot r = \frac{n \cdot h}{2 \cdot \pi}$$

Adotando-se a força centrípeta como sendo a força elétrica:

$$\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Pela expressão do momento angular:

$$v^2 = \frac{n^2 \cdot h^2}{m^2 \cdot r^2 \cdot 4 \cdot \pi^2}$$



Substituindo na resultante centrípeta:

$$\frac{e^2}{4 \cdot m \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r} = \frac{n^2 \cdot h^2}{m^2 \cdot r^2 \cdot 4 \cdot \pi^2}$$

$$r = n^2 \cdot \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m \cdot e^2} = n^2 \cdot a_0$$

Onde  $a_0$  é o raio fundamental. A energia é dada pela soma das energias cinéticas e potenciais:

$$E = E_c + E_p = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r}$$

$$E = \frac{e^2}{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r} - \frac{e^2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot r} = -\frac{e^2}{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot n^2 \cdot a_0} = -\frac{E_0}{n^2}$$

Onde:

$$-E_0 = \frac{e^2}{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot a_0};$$

$$-a_0 = \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m \cdot e^2}.$$

---

**Gabarito:**  $E = -\frac{E_0}{n^2}; E_0 = \frac{e^2}{8 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot a_0}; a_0 = \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m \cdot e^2}$

## 27. (ITA – 2012)

Considere as seguintes afirmações:

I. As energias do átomo de Hidrogênio do modelo de Bohr satisfazem à relação,  $E_n = -13,6/n^2 eV$ , com  $n = 1, 2, 3, \dots$ ; portanto, o elétron no estado fundamental do átomo de Hidrogênio pode absorver energia menor que  $13,6 eV$ .

II. Não existe um limiar de frequência de radiação no efeito fotoelétrico.

III. O modelo de Bohr, que resulta em energias quantizadas, viola o princípio da incerteza de Heisenberg.

Então, pode-se afirmar que

- a) apenas a II é incorreta. d) apenas a I é incorreta.  
 b) apenas a I e II são corretas. e) todas são incorretas.  
 c) apenas a I e III são incorretas.

### Comentários:

I) Correto. Ele deve receber energia igual à diferença entre dois níveis. Portanto, ao saltar do estado fundamental para um estado excitado  $n$ , a energia fornecida deve ser:

$$\Delta E = 13,6 \cdot \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) < 13,6$$



II) Incorreto. O limiar é a frequência de corte, definida pela função trabalho.

III) Correto. O modelo de Bohr não obedece à dualidade onda-partícula, analisando somente o caráter corpuscular.

### Gabarito: A

#### 28. (ITA – 2013)

Considere as seguintes relações fundamentais da dinâmica relativística de uma partícula: a massa relativística  $m = m_0\gamma$ , o momentum relativístico  $p = m_0\gamma v$  e a energia relativística  $E = m_0\gamma c^2$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso da partícula e  $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$  é o fator de Lorentz. Demonstre que  $E^2 - p^2 c^2 = (m_0 c^2)^2$  e, com base nessa relação, discuta a afirmação: “Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz  $c$ ”.

#### Comentários:

A partir da energia relativística, temos:

$$E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2$$

$$E^2 = m_0^2 \cdot \gamma^2 \cdot c^4$$

$$E^2 = m_0^2 \cdot \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot c^4$$

$$E^2 \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = m_0^2 \cdot c^4$$

$$E^2 - (m_0 \cdot \gamma \cdot v \cdot c)^2 = m_0^2 \cdot c^4$$

$$E^2 - (p \cdot c)^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

Supondo massa de repouso nula:

$$E^2 - (p \cdot c)^2 = 0$$

$$E = p \cdot c$$

Mas:

$$E = m \cdot c^2$$

$$p = m \cdot v$$

Logo:

$$m \cdot c^2 = m \cdot v \cdot c$$

$$c = v$$

Portanto, para que o fóton viaje à velocidade da luz, sua massa de repouso deve ser nula.



**Gabarito: demonstração.****29. (ITA – 2014)**

É muito comum a ocorrência de impurezas em cristais semicondutores. Em primeira aproximação, a energia de ionização dessas impurezas pode ser calculada num modelo semelhante ao do átomo de hidrogênio. Considere um semicondutor com uma impureza de carga  $+e$  atraindo um elétron de carga  $-e$ . Devido a interações com os átomos da rede cristalina, o elétron, no semicondutor, possui uma massa igual a  $m_r m_0$ , em que  $m_0$  é a massa de repouso do elétron e  $m_r$ , uma constante adimensional. O conjunto impureza/elétron está imerso no meio semicondutor de permissividade relativa  $\epsilon_r$ . A razão entre a energia de ionização desta impureza e a energia de ionização do átomo de hidrogênio é igual a

- a) 1.
- b)  $m_r/\epsilon_r^2$ .
- c)  $\epsilon_r^2/m_r$ .
- d)  $m_r/\epsilon_r$ .
- e)  $\epsilon_r/m_r$ .

**Comentários:**

Para o átomo de hidrogênio, a força elétrica é a resultante centrípeta:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_0 \cdot v^2}{r} \quad (eq. 1)$$

Pelo 4º postulado de Bohr, temos a quantização do momento angular do elétron:

$$m_0 \cdot v \cdot r = \frac{n \cdot h}{2\pi}$$

$$v^2 = \frac{n^2 \cdot h^2}{4\pi^2 \cdot m_0^2 \cdot r^2} \quad (eq. 2)$$

Substituindo (2) em (1), temos:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} = \frac{m_0}{r} \cdot \frac{n^2 \cdot h^2}{4\pi^2 \cdot m_0^2 \cdot r^2}$$

$$r = n^2 \cdot \frac{h^2 \cdot \epsilon_0}{\pi \cdot m_0 \cdot e^2}$$

$$\underbrace{\hspace{10em}}_{a_0}$$

Lembrando que  $a_0$  é o raio de Bohr. Então:

$$\boxed{r = n^2 \cdot a_0}$$

A energia total é a composição da energia potencial elétrica e energia cinética:



$$\begin{aligned}
 E_t &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} + \frac{m_0 \cdot v^2}{2} \\
 E_t &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} \cdot r \cdot \frac{m_0 \cdot v^2}{r} \\
 E_t &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} + \frac{1}{2} \cdot r \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} \\
 E_t &= -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 \cdot r} = -\frac{e^2}{\underbrace{8\pi\epsilon_0 \cdot a_0}_{E^2}} \cdot \frac{1}{n^2} \\
 E_t &= -\frac{E^2}{n^2}
 \end{aligned}$$

Em que  $E^2$  é a energia de ionização. Quando aplicamos a mesma metodologia para a impureza, temos que:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2} &= \frac{m_r m_0 \cdot v^2}{r} \\
 r &= n^2 \cdot a_0 \cdot \frac{\epsilon_r}{m_r}
 \end{aligned}$$

Agora, a energia total é dada por:

$$\begin{aligned}
 E' &= -\frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r} + \frac{m_r m_0 \cdot v^2}{2} \\
 E' &= -\frac{E^2}{\underbrace{n^2}_{E_t}} \cdot \frac{m_r}{\epsilon_r^2} \\
 \boxed{\frac{E'}{E_t} &= \frac{m_r}{\epsilon_r^2}}
 \end{aligned}$$

### Gabarito: B

#### 30. (ITA – 2014)

Considere um capacitor de placas paralelas ao plano  $yz$  tendo um campo elétrico de intensidade  $E$  entre elas, medido por um referencial  $S$  em repouso em relação ao capacitor. Dois outros referenciais,  $S'$  e  $S''$ , que se movem com velocidade de módulo  $v$  constante em relação a  $S$  nas direções de  $x$  e  $y$ , nesta ordem, medem as respectivas intensidades  $E'$  e  $E''$  dos campos elétricos entre as placas do capacitor. Sendo  $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ , pode-se dizer que  $E'/E$  e  $E''/E$  são, respectivamente, iguais a

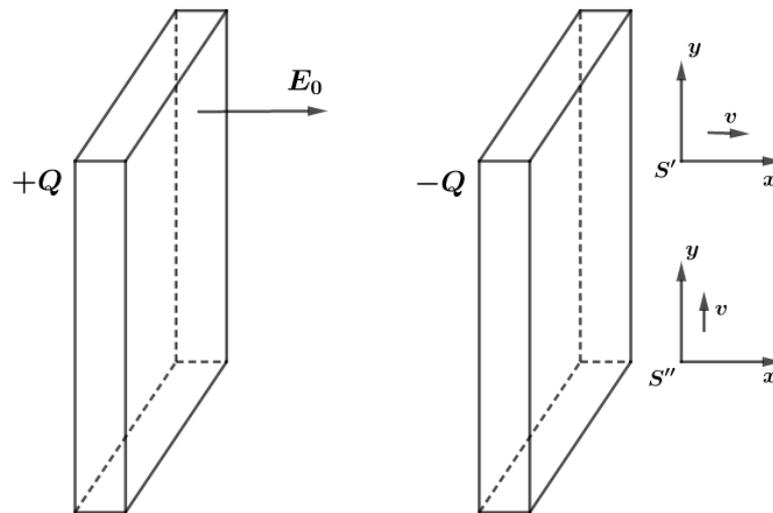
- a) 1 e 1.
- b)  $\gamma$  e 1.
- c) 1 e  $\gamma$ .



d)  $\gamma$  e  $1/\gamma$ .

e)  $1$  e  $1/\gamma$ .

**Comentários:**



Para o referencial em repouso, temos:

$$\vec{E} = E_0 \hat{i}$$

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{A \cdot \epsilon_0}$$

No referencial  $S'$ , que se move com velocidade  $\vec{v} = v \hat{i}$  relativa a  $S$ , os comprimentos medidos ao longo do eixo  $x$  são contraídos (em relação a  $S$ ). Como o campo elétrico em  $S$  não depende de nenhum comprimento medido em  $x$ , logo:

$$E' = E_0 \Rightarrow \boxed{\frac{E'}{E_0} = 1}$$

No referencial  $S''$ , as distâncias medidas em relação ao eixo  $y$  são contraídas, logo a área do capacitor será diminuída em  $S''$ . Então:

$$A'' = \Delta z'' \cdot \Delta y'' \Rightarrow A'' = \Delta z \cdot \frac{\Delta y}{\gamma}$$

$$A'' = \frac{A}{\gamma}$$

O campo elétrico no referencial  $S''$  é dado por:

$$E'' = \frac{Q}{A'' \cdot \epsilon_0} \Rightarrow E'' = \frac{Q}{\frac{A}{\gamma} \cdot \epsilon_0}$$



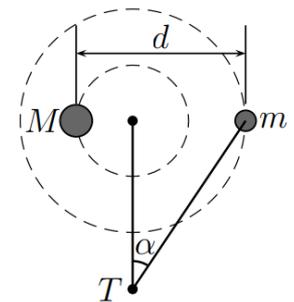
$$E'' = \gamma \cdot \frac{Q}{\underbrace{A \cdot \epsilon_0}_{E_0}}$$

$$\boxed{\frac{E''}{E_0} = \gamma}$$

**Gabarito: C**

**31. (ITA – 2014)**

Um sistema binário é formado por duas estrelas esféricas de respectivas massas  $m$  e  $M$ , cujos centros distam  $d$  entre si, cada qual descrevendo um movimento circular em torno do centro de massa desse sistema. Com a estrela de massa  $m$  na posição mostrada na figura, devido ao efeito Doppler, um observador  $T$  da Terra detecta uma raia do espectro do hidrogênio, emitida por essa estrela, com uma frequência  $f$  ligeiramente diferente da sua frequência natural  $f_0$ . Considere a Terra em repouso em relação ao centro de massa do sistema e que o movimento das estrelas ocorre no mesmo plano de observação. Sendo as velocidades das estrelas muito menores que  $c$ , assinale a alternativa que explicita o valor absoluto de  $(f - f_0)/f_0$ . Se necessário, utilize  $(1 + x)^n \cong 1 + nx$  para  $x \ll 1$ .



- a)  $\sqrt{GM^2/[d(M + m)c^2]}$
- b)  $\sqrt{Gm^2 \text{sen}^2 \alpha/[d(M + m)c^2]}$
- c)  $\sqrt{Gm^2 \text{cos}^2 \alpha/[d(M + m)c^2]}$
- d)  $\sqrt{GM^2 \text{sen}^2 \alpha/[d(M + m)c^2]}$
- e)  $\sqrt{GM^2 \text{cos}^2 \alpha/[d(M + m)c^2]}$

**Comentários:**

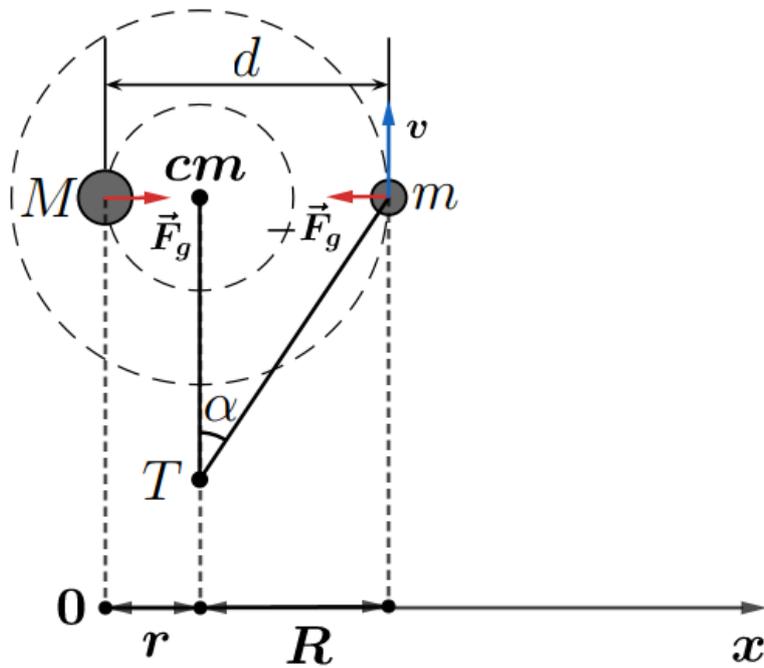
O efeito relativístico é dado por:

$$f = \sqrt{\frac{1 \pm \beta}{1 \mp \beta}} \cdot f_0$$

Em que  $\beta$  é a razão entre  $v_{rel}$  e a velocidade da luz  $c$ . Então, inicialmente devemos determinar a velocidade relativa entre a estrela de massa  $m$  e a Terra. Lembrando que a Terra está em repouso em relação ao centro de massa do sistema binário.

Centro de massa do sistema binário:

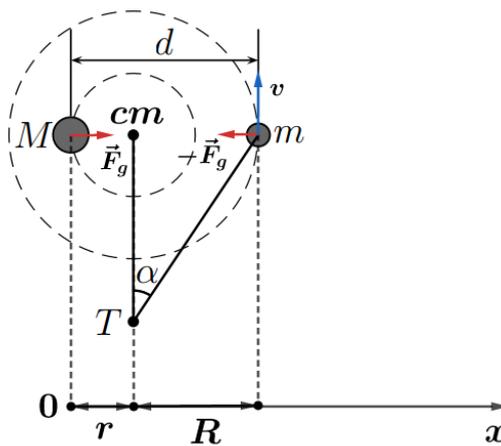




$$x_{cm} = r = \frac{M \cdot 0 + m \cdot d}{M + m}$$

$$x_{cm} = \left( \frac{m}{M + m} \right) \cdot d$$

Agora, precisamos determinar a velocidade da estrela de massa  $m$  em relação ao centro de massa.



Note que a força gravitacional é a resultante centrípeta, então:

$$R_{cp} = F_g \Rightarrow m \cdot \frac{v^2}{R} = \frac{GMm}{d^2}$$

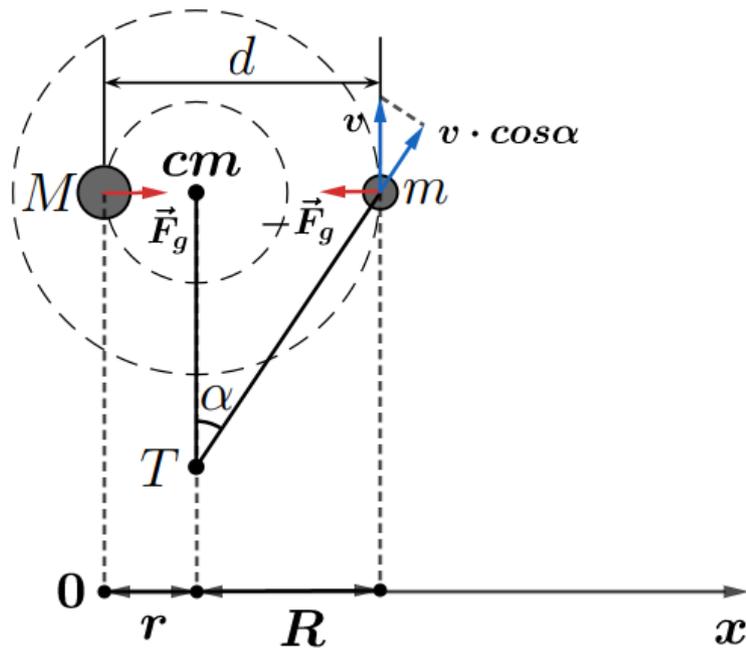
$$v^2 = R \cdot \frac{GM}{d^2} \Rightarrow v^2 = (d - r) \cdot \frac{GM}{d^2}$$

$$v^2 = \left[ d - \left( \frac{m}{M + m} \right) \cdot d \right] \cdot \frac{GM}{d^2}$$



$$v = \sqrt{\frac{GM^2}{d(M+m)}}$$

Considerando a estrela de massa  $m$  descrevendo o movimento no sentido anti-horário, temos:



Então:

$$v_{rel} = v \cdot \cos \alpha$$

Com isso, nosso  $\beta$  é dado por:

$$\beta = \frac{v \cdot \cos \alpha}{c}$$

Do enunciado, sabemos que a velocidade das estrelas é bem menor que a velocidade da luz. Portanto,  $\beta \ll 1$ . Voltando a expressão do efeito Doppler relativístico, temos:

$$f = \sqrt{\frac{1 \pm \beta}{1 \mp \beta}} \cdot f_0$$

Como o observador está se afastando da fonte (a estrela está se afastando do observador, segundo nossa convenção do movimento da estrela), então a frequência para o observador é de:

$$f = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \cdot f_0$$

$$f = \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot f_0$$

$$f = (1 + \beta)^{\frac{1}{2}} \cdot (1 - \beta)^{-\frac{1}{2}} \cdot f_0$$



$$\begin{aligned}
 (1+x)^n &\cong 1+nx \\
 f &= \left(1+\frac{1}{2}\beta\right) \cdot \left(1-\left(-\frac{1}{2}\right)\cdot\beta\right) \cdot f_0 \\
 f &= \left(1+\frac{1}{2}\cdot\beta\right)^2 \cdot f_0 \\
 f &= \left(1+2\cdot\frac{1}{2}\cdot\beta\right) \cdot f_0 \\
 f &= (1+\beta) \cdot f_0 \\
 \Rightarrow \frac{f-f_0}{f_0} &= \beta
 \end{aligned}$$

Lembrando que:

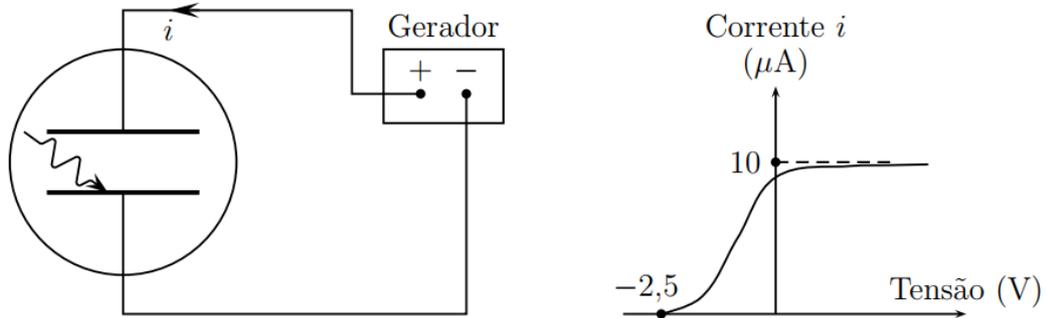
$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{v \cdot \cos \alpha}{c} \text{ e } v = \sqrt{\frac{GM^2}{d(M+m)}} \\
 \frac{f-f_0}{f_0} &= \frac{v \cdot \cos \alpha}{c} \\
 \frac{f-f_0}{f_0} &= \frac{\sqrt{\frac{GM^2}{d(M+m)}} \cdot \cos \alpha}{c} \\
 \boxed{\frac{f-f_0}{f_0} &= \sqrt{\frac{GM^2 \cdot \cos^2 \alpha}{d(M+m) \cdot c^2}}}
 \end{aligned}$$

**Gabarito: E**

### 32. (ITA – 2014)

Duas placas de um mesmo metal e com a mesma área de  $5,0 \text{ cm}^2$ , paralelas e próximas entre si, são conectadas aos terminais de um gerador de tensão ajustável. Sobre a placa conectada ao terminal negativo, faz-se incidir radiação e, por efeito fotoelétrico, aparece uma corrente no circuito, cuja relação com a tensão aplicada é explicitada no gráfico. Sabendo que a função trabalho do metal é de  $4,1 \text{ eV}$  e assumindo que na região de saturação da corrente todo fóton incidente sobre a placa gera um fotoelétron que é coletado, a medida da intensidade dessa radiação em  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  é igual a





- a) 13.
- b) 8,2.
- c) 6,6.
- d) 3,2.
- e) 1,6.

**Comentários:**

Inicialmente, podemos determinar a energia do fóton, segundo a relação do efeito fotoelétrico:

$$E_{fóton} = h \cdot f = E_{c_{máx}} + W$$

Note que a energia cinética máxima pode ser calculada pela tensão de corte mostrada no gráfico da corrente pela tensão:

$$E_{c_{máx}} = q_e \cdot |V_r|$$

$$E_{c_{máx}} = e \cdot 2,5$$

$$E_{c_{máx}} = 2,5 \text{ eV}$$

Logo, a energia do fóton é dada por:

$$E_{fóton} = 4,1 + 2,5 = 6,6 \text{ eV}$$

De acordo com o enunciado, na região de saturação da corrente, todo fóton incidente sobre a placa gera um fotoelétron que é coletado, então:

$$i = \frac{q}{\Delta t} = \frac{n \cdot e}{\Delta t} \Rightarrow \frac{n}{\Delta t} = \frac{i}{e}$$

Da definição de intensidade de radiação na placa, temos:

$$I = \frac{Pot}{A} \Rightarrow I = \frac{\frac{n \cdot E_{fóton}}{\Delta t}}{A} \Rightarrow I = \frac{n}{\Delta t} \cdot \frac{E_{fóton}}{A}$$

$$I = \frac{10 \mu A}{e} \cdot \frac{6,6 \text{ eV}}{5 \text{ cm}^2}$$

$$I = 13,2 \mu W / \text{cm}^2$$

**Gabarito: A**



**33. (ITA – 2014)**

Uma amostra I de átomos de  $^{57}\text{Fe}$ , cujos núcleos excitados emitem fótons devido a uma transição nuclear, está situada a uma altura  $d$  verticalmente acima de uma amostra II de  $^{57}\text{Fe}$  que recebe a radiação emitida pela amostra I. Ao chegar a II, os fótons da amostra I sofrem um aumento de frequência devido à redução de sua energia potencial gravitacional, sendo, portanto, incapazes de excitar os núcleos de  $^{57}\text{Fe}$  dessa amostra. No entanto, essa incapacidade pode ser anulada se a amostra I se afastar verticalmente da amostra II com uma velocidade  $v$  adequada. Considerando  $v \ll c$  que a energia potencial gravitacional do fóton de energia  $\mathcal{E}$  pode ser obtida mediante sua “massa efetiva”  $\mathcal{E}/c^2$ , assinale a opção que explicita  $v$ . Se necessário, utilize  $(1 + x)^n \cong 1 + nx$  para  $x \ll 1$ .

- a)  $\sqrt{gd}$
- b)  $gd/c$
- c)  $2\sqrt{gd}$
- d)  $2gd/c$
- e)  $gd\sqrt{gd}/c^2$

**Comentários:**

O fóton emitido pelo átomo tem energia  $\mathcal{E} = h \cdot f_0$ , que seria suficiente para excitar outro átomo igual a ele.

Entretanto, como há um aumento da energia (devido a energia potencial), ele não consegue excitar o outro.

Para que ele consiga, ele deve se afastar com velocidade  $v$ , de tal modo que a frequência aparente que chega ao outro corresponda a um fóton com energia  $\mathcal{E}$ .

Então:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}' &= h \cdot f' \\ \mathcal{E}' &= \mathcal{E} + m_{\text{efetiva}} \cdot g \cdot d \\ \mathcal{E}' &= \mathcal{E} + \frac{\mathcal{E}}{c^2} \cdot g \cdot d \\ h \cdot f' &= h \cdot f_0 + \frac{(h \cdot f_0)}{c^2} \cdot g \cdot d \\ f' &= f_0 \left( 1 + \frac{g \cdot d}{c^2} \right)\end{aligned}$$

De acordo com o efeito Doppler relativístico, temos:



$$f_0 = f_0 \left(1 + \frac{g \cdot d}{c^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

$$1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c} = \left(1 + \frac{g \cdot d}{c^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{c}\right)$$

$$1 + \frac{v}{2c} = 1 - \frac{v}{2c} + \frac{g \cdot d}{c^2} - \frac{g \cdot d \cdot v}{2c^3}$$

$$v = \frac{2g \cdot d \cdot c}{2c^2 + g \cdot d}$$

Como  $g \cdot d \ll 2c^2$ , então:

$$v = \frac{g \cdot d}{c}$$

### Gabarito: B

#### 34. (ITA – 2014)

Pontos quânticos são nanoestruturas que permitem a manipulação do estado quântico de um único elétron, sendo um caminho promissor para a Computação Quântica. Em primeira aproximação, um ponto quântico confina elétrons com um potencial semelhante ao de um oscilador harmônico, isto é, com uma energia potencial do tipo  $V(x) = m\omega^2 x^2/2$ , em que  $x$  é a posição da partícula em relação ao ponto de equilíbrio,  $m$  é a massa da partícula confinada,  $\omega = \sqrt{k/m}$  e  $k$  é a “constante de mola” (embora não seja este um conceito apropriado no mundo quântico). De acordo com a Mecânica Clássica, a energia mecânica deste oscilador pode variar continuamente de zero até infinito. Por outro lado, na Mecânica Quântica, a energia deste oscilador varia de forma discreta, de acordo com a expressão  $E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega$ , em que  $n$  pode assumir os valores 0, 1, 2, .... Na descrição quântica do oscilador harmônico, o menor valor possível para a energia mecânica é  $\hbar\omega/2$ . diferentemente do previsto na Mecânica Clássica. Explique por que não é possível haver energia igual a zero na descrição quântica do oscilador harmônico.

#### Comentários:

Devemos sempre ter em mente que no mundo quântico impera o princípio da incerteza de Heisenberg:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Ele estabelece que não se pode determinar com precisão a posição ou a velocidade do ponto quântico. Assim, se houver total certeza de que  $x = 0$ , não há mínima condição de se determinar a energia cinética. Dessa forma, a energia total nula é impossível.



Outra forma de encarar este problema seria analisar a expressão:

$$\left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \hbar \cdot \omega = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot x^2}{2}$$

Para  $n = 0$  temos a mínima energia que é proporcional ao quadrado da frequência angular. Teoricamente, essa energia se tornaria nula se fosse atingido o zero absoluto, o que é impossível segundo a 3ª Lei da Termodinâmica.

**Gabarito: vide comentários.**

**35. (ITA – 2015)**

No espaço sideral, luz incide perpendicular e uniformemente numa placa de gelo inicialmente a  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  e em repouso, sendo 99% refletida e 1% absorvida. O gelo então derrete pelo aquecimento, permanecendo a água aderida à placa. Determine a velocidade desta após a fusão de 10% do gelo.

- a) 3 mm/s. b) 3 cm/s. c) 3 dm/s. d) 3 m/s. e) 3 dam/s.

**Comentários:**

A energia da luz incidente é dada por:

$$E = m \cdot c^2 \rightarrow \frac{E}{c} = m \cdot c = p_{\text{luz}}$$

Pela conservação do momento, tem-se:

$$p_{\text{antes}} = p_{\text{depois}}$$

$$p_{\text{incidente}} = p_{\text{refletido}} + p_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\frac{E}{c} = -\frac{E'}{c} + m \cdot v \rightarrow E + E' = m \cdot v \cdot c$$

Foi dado no enunciado que:

$$E' = 0,99 \cdot E$$

Assim:

$$1,99 \cdot E = m \cdot v \cdot c$$

A energia absorvida pelo gelo é dada por:

$$0,01 \cdot E = m \cdot c \cdot \Delta T + \frac{m}{10} \cdot L + \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Substituindo a energia encontrada anteriormente:

$$0,01 \cdot m \cdot v \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{1,99} = m \cdot 0,5 \cdot 4,2 \cdot 10^3 \cdot 10 + \frac{m}{10} \cdot 80 \cdot 4,2 \cdot 10^3 + m \cdot \frac{v^2}{2}$$



$$5 \cdot 10^{-3} \cdot v \cdot 3 \cdot 10^8 = 21000 + 33600 + \frac{v^2}{2}$$

$$v^2 - 3 \cdot 10^6 \cdot v + 109200 = 0$$

$$v \cong 3,64 \text{ cm/s} \cong 3 \text{ cm/s}$$

**Gabarito: B****36. (ITA – 2015)**

Considere as quatro proposições seguintes:

I. Os isótopos,  $^{16}\text{O}$  e  $^{18}\text{O}$  do oxigênio diferenciam-se por dois nêutrons.

II. Sendo de 24000 anos a meia-vida do  $^{239}\text{Pu}$ , sua massa de 600 g reduzir-se-á a 200 g após 72000 anos.

III. Um núcleo de  $^{27}\text{Mg}$  se transmuta em  $^{28}\text{Al}$  pela emissão de uma partícula  $\beta$ .

IV. Um fóton de luz vermelha incide sobre uma placa metálica causando a emissão de um elétron. Se esse fóton fosse de luz azul, provavelmente ocorreria a emissão de dois ou mais elétrons.

Então,

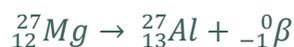
- a) apenas uma das proposições é correta.
- b) apenas duas das proposições são corretas.
- c) apenas três das proposições são corretas.
- d) todas elas são corretas.
- e) nenhuma delas é correta.

**Comentários:**

I. Correta: O  $^{16}_8\text{O}$  possui 8 prótons e 8 nêutrons, já o  $^{18}_8\text{O}$  possui 8 prótons e 10 nêutrons. Portanto, eles se diferenciam por 2 nêutrons.

II. Incorreta. Após 72.000 anos, que corresponde a 3 períodos de meia-vida ( $3 \cdot 24000 = 72000$ ), a massa de 600 g de  $^{239}\text{Pu}$  se reduzirá a 75 g.

III. Incorreta. Em uma emissão de uma partícula  $\beta$ , o  $^{27}\text{Mg}$  se transmuta em  $^{27}\text{Al}$ , e não  $^{28}\text{Al}$ , de acordo com a equação:



IV. Incorreta. No efeito fotoelétrico, cada fóton pode remover apenas um elétron. O fóton de luz azul, que é mais energético que o fóton de luz vermelha, fará com que o elétron arrancado saia com maior velocidade apenas.

**Gabarito: A**

**37. (ITA – 2015)**

Um muon de meia-vida de 1,5  $\mu\text{s}$  é criado a uma altura de 1 km da superfície da Terra devido à colisão de um raio cósmico com um núcleo e se desloca diretamente para o chão. Qual deve ser a magnitude mínima da velocidade do muon para que ele tenha 50% de probabilidade de chegar ao chão?

- a)  $6,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
- b)  $1,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- c)  $1,8 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- d)  $2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- e)  $2,7 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

**Comentários:**

Como a meia vida do múon é de 1,5  $\mu\text{s}$ , se a velocidade for suficiente para que o múon chegue à superfície nesse tempo, metade terá decaído, ou seja, a probabilidade de um múon atingir a superfície será de 50%. Portanto:

$$u = \frac{d}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{d}{u}$$

Mas, este valor de tempo é para o referencial do múon. Portanto:

$$\Delta t = \Delta t' \cdot \gamma$$

Onde  $\Delta t'$  é o tempo do referencial do múon. Para a meia vida do múon:

$$\frac{1000}{u} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

$$\frac{10^6}{u^2} = \frac{2,25 \cdot 10^{-12}}{1 - \frac{u^2}{c^2}}$$

$$10^6 - 10^6 \cdot \frac{u^2}{c^2} = 2,25 \cdot 10^{-12} \cdot u^2$$

$$10^6 \cdot 9 \cdot 10^{16} - 10^6 \cdot u^2 = 2,25 \cdot 10^{-12} \cdot 9 \cdot 10^{16} \cdot u^2$$

$$20,25 \cdot 10^4 \cdot u^2 + 10^6 \cdot u^2 = 9 \cdot 10^{22}$$

$$1,2025 \cdot 10^6 \cdot u^2 = 9 \cdot 10^{22}$$

$$u^2 = \frac{9}{1,2025} \cdot 10^{16}$$

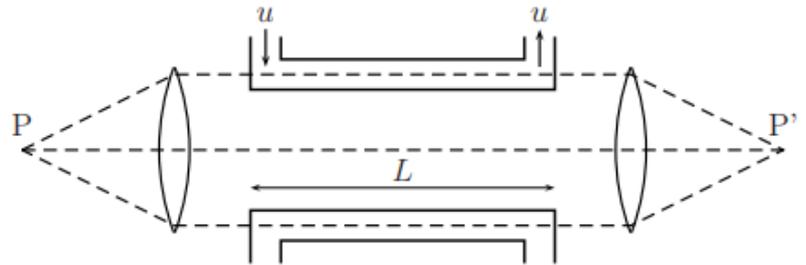
$$u = 2,735 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cong 2,7 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

**Gabarito: E**


**38. (ITA – 2015)**

Luz de uma fonte de frequência  $f$  gerada no ponto  $P$  é conduzida através do sistema mostrado na figura. Se o tubo superior transporta um líquido com índice de refração  $n$  movendo-se com velocidade  $u$ , e o tubo inferior contém o mesmo líquido em repouso, qual o valor mínimo de  $u$  para causar uma interferência destrutiva no ponto  $P'$ ?

- a)  $\frac{c^2}{2 \cdot n \cdot L \cdot f}$   
 b)  $\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot n^2 - c \cdot n}$   
 c)  $\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot n^2 + c \cdot n}$   
 d)  $\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) - c \cdot n}$   
 e)  $\frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) + c \cdot n}$


**Comentários:**

Inicialmente, precisamos calcular a velocidade da luz em cada tubo, em relação ao referencial do laboratório.

- Tubo inferior:

$$v_1 = \frac{c}{n}$$

- Tubo superior:

$$v_2 = \frac{v_1 + u}{1 + \frac{v_1 \cdot u}{c^2}}$$

$$v_2 = \frac{\frac{c}{n} + u}{1 + \frac{\frac{c}{n} \cdot u}{c^2}}$$

$$v_2 = \frac{\frac{c + u \cdot n}{n}}{\frac{c \cdot n + u}{c \cdot n}} = \left( \frac{c + u \cdot n}{c \cdot n + u} \right) \cdot c$$

A diferença entre  $v_1$  e  $v_2$  faz com que o percurso  $L$  seja feito em tempos diferentes,  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente. Podemos associar a diferença de tempo  $\Delta t$  a uma diferença de fase  $\Delta\varphi$ :

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{L}{v_1} - \frac{L}{v_2}$$

$$\Delta t = \frac{L}{\frac{c}{n}} - \frac{L}{\left( \frac{c + u \cdot n}{c \cdot n + u} \right) \cdot c}$$

Logo, para haver interferência destrutiva no ponto  $P'$ , é necessário que:



$$\Delta\varphi = (2m + 1) \cdot \pi, \text{ com } m = 0, 1, 2, \dots$$

Além disso, vale lembrar que:

$$\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T}$$

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{T} \cdot \Delta t \text{ ou } \Delta\varphi = 2\pi f \cdot \Delta t$$

Logo:

$$(2m + 1) \cdot \pi = 2\pi f \cdot \left[ \frac{L}{\frac{c}{n}} - \frac{L}{\left(\frac{c + u \cdot n}{c \cdot n + u}\right) \cdot c} \right]$$

Para o valor mínimo de  $u$ , temos  $m = 0$ . Portanto:

$$\begin{aligned} \pi &= 2\pi f \cdot \left[ \frac{L}{\frac{c}{n}} - \frac{L}{\left(\frac{c + u \cdot n}{c \cdot n + u}\right) \cdot c} \right] \\ 1 &= \frac{2 \cdot L \cdot f}{c} \left( n - \frac{c \cdot n + u}{c + u \cdot n} \right) \\ 1 &= \frac{2 \cdot L \cdot f}{c} \left( \frac{n \cdot c + u \cdot n^2 - c \cdot n - u}{c + u \cdot n} \right) \\ c^2 + u \cdot n \cdot c &= 2 \cdot L \cdot f \cdot u(n^2 - 1) \\ u[2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) - n \cdot c] &= c^2 \\ u &= \frac{c^2}{2 \cdot L \cdot f \cdot (n^2 - 1) - c \cdot n} \end{aligned}$$

### Gabarito: D

#### 39. (ITA – 2016)

Enquanto em repouso relativo a uma estrela, um astronauta vê a luz dela como predominantemente vermelha, de comprimento de onda próximo a  $600 \text{ nm}$ . Acelerando sua nave na direção da estrela, a luz será vista como predominantemente violeta, de comprimento de onda próximo a  $400 \text{ nm}$ , ocasião em que a razão da velocidade da nave em relação à da luz será de

- a)  $1/3$ .
- b)  $2/3$ .
- c)  $4/9$ .
- d)  $5/9$ .
- e)  $5/13$ .



**Comentários:**

Trata-se do fenômeno de Doppler relativístico:

$$- \lambda_{aparente} = 400 \text{ nm}$$

$$- \lambda_{emitido} = 600 \text{ nm}$$

$$\frac{f_{aparente}}{f_{emitido}} = \frac{\frac{c}{\lambda_{aparente}}}{\frac{c}{\lambda_{emitido}}} = \frac{\lambda_{emitido}}{\lambda_{aparente}} = \frac{3}{2}$$

Assim:

$$f_{aparente} = f_{emitido} \cdot \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{3}{2} = \frac{1 + \frac{v}{c}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\frac{9}{4} = \frac{1 + 2 \cdot \frac{v}{c} + \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$13 \cdot \frac{v^2}{c^2} + 8 \cdot \frac{v}{c} - 5 = 0$$

$$\frac{v}{c} = \frac{-8 \pm \sqrt{64 + 260}}{26} = \frac{-8 \pm 18}{26}$$

$$\frac{v}{c} = -1 \text{ ou } \frac{v}{c} = \frac{5}{13}$$

A primeira resposta não convém. Portanto:  $\frac{v}{c} = \frac{5}{13}$ .

**Gabarito: E****40. (ITA – 2017)**

Uma placa é feita de um metal cuja função trabalho  $W$  é menor que  $h\nu$ , sendo  $\nu$  uma frequência no intervalo do espectro eletromagnético visível e  $h$  a constante de Planck. Deixada exposta, a placa interage com a radiação eletromagnética proveniente do Sol absorvendo uma potência  $P$ . Sobre a ejeção de elétrons da placa metálica nesta situação é correto afirmar que os elétrons

a) não são ejetados instantaneamente, já que precisam de um tempo mínimo para acúmulo de energia.



- b) podem ser ejetados instantaneamente com uma mesma energia cinética para qualquer elétron.
- c) não podem ser ejetados pois a placa metálica apenas reflete toda a radiação.
- d) podem ser ejetados instantaneamente, com energia que depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.
- e) não podem ser ejetados instantaneamente e a energia cinética após a ejeção depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.

**Comentários:**

Pelo efeito fotoelétrico:

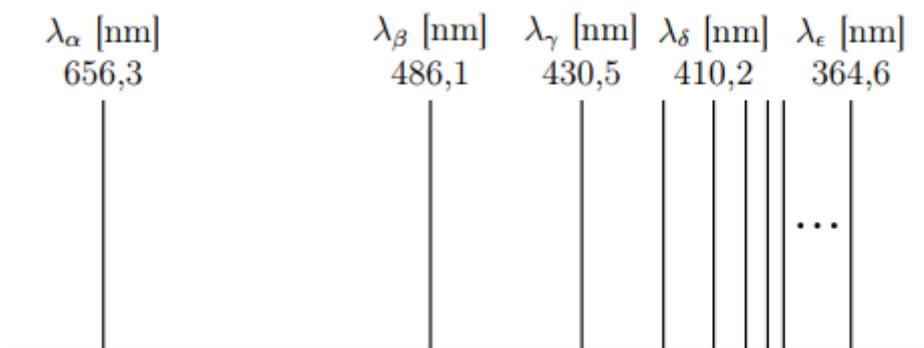
$$E_c = h \cdot \nu - W$$

A radiação solar é uma composição de radiação de todo o espectro do visível, além de algumas radiações além do espectro do visível. Portanto, a luz solar pode ejetar elétrons com energias cinéticas variando de acordo com a frequência do fóton absorvido da luz solar.

**Gabarito: D**

**41. (ITA – 2017)**

Num experimento que mede o espectro de emissão do átomo de hidrogênio, a radiação eletromagnética emitida pelo gás hidrogênio é colimada por uma fenda, passando a seguir por uma rede de difração. O espectro obtido é registrado em chapa fotográfica, cuja parte visível é mostrada na figura.



Pode-se afirmar que

- a) O modelo de Bohr explica satisfatoriamente as linhas do espectro visível do átomo de Hidrogênio.
- b) Da esquerda para a direita as linhas correspondem a comprimentos de onda do violeta ao vermelho.



c) O espaçamento entre as linhas adjacentes decresce para um limite próximo ao infravermelho.

d) As linhas do espectro encontrado são explicadas pelo modelo de Rutherford.

e) Balmer obteve em 1885 a fórmula empírica para o comprimento de onda:  $\lambda = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , em que  $n = 3, 4 \dots$  e  $R$  é a constante de Rydberg.

### Comentários:

O modelo de Bohr explica satisfatoriamente o espectro de emissão de qualquer átomo hidrogenoide.

### Gabarito: A

#### 42. (ITA – 2018)

Contando com um prisma e um contador de número de fótons por segundo, deseja-se medir a temperatura de uma estrela com base no seu espectro eletromagnético obtido por meio de um telescópio.

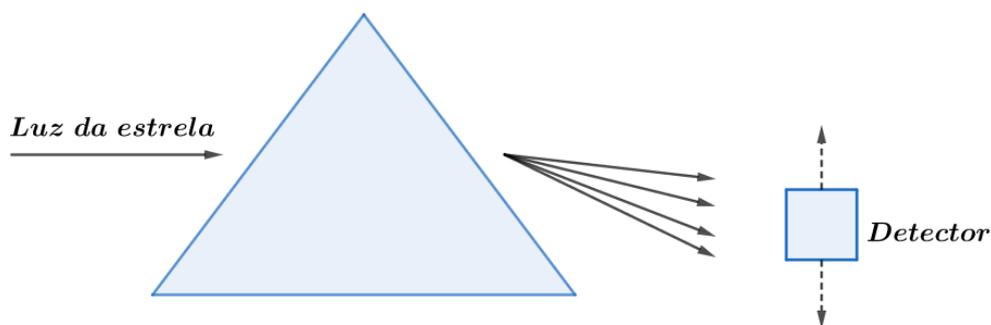
(a) Projete esquematicamente esse experimento representando o prisma como um triângulo e o contador de fótons por segundo como um quadrado.

(b) Explique os conceitos usados em (a) para obter a temperatura da estrela.

### Comentários:

a)

Esquematicamente:



b)

Os raios incidentes, considerados paralelos, são decompostos ao passarem pelo prisma. Então, o detector tem como função medir onde incide maior número de fótons. Baseado na posição, estando o prisma bem definido (ângulo de abertura e índice de refração), calcula-se o comprimento que incide



naquela posição. O comprimento de onda onde a incidência for máxima é o chamado  $\lambda_{pico}$ . Então, pela Lei de Wien:

$$T = \frac{2,898 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{pico}} K$$

Notar que se considera que o comprimento de onda incidente é igual ao comprimento de onda emitido (desprezando-se o efeito Doppler).

### Gabarito: a) vide esquema b) vide comentários

#### 43. (ITA – 2018)

Um átomo de Hidrogênio emite um fóton de energia  $2,55 \text{ eV}$  na transição entre dois estados estacionários. A razão entre as velocidades dos elétrons nesses dois estados é  $1/2$ . Determine a energia potencial do elétron no estado final desse átomo, sabendo que energia total no estado  $n$  é  $E_n = -13,6/n^2 \text{ eV}$  e o raio é  $r = n^2 r_B$ , em que  $r_B$  é o raio de Bohr e  $n = 1, 2, 3, \dots$

#### Comentários:

Como:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

A diferença de energia entre níveis, e no caso, a energia do fóton emitido é dada por:

$$\Delta E = 13,6 \cdot \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right), n_1 < n_2$$

Para  $n_1 = 1$ , todas as emissões terão energia maior ou igual à  $10,2 \text{ eV}$  ( $n_2 = 2$ ) e menor ou igual a  $13,6 \text{ eV}$ .

Para  $n_1 = 2$ , todas as emissões terão energia maior ou igual à  $1,89 \text{ eV}$  ( $n_2 = 3$ ) e menor ou igual a  $3,4 \text{ eV}$ .

Portanto,  $n_1 = 2$ .

$$2,55 = 13,6 \cdot \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$0,1875 = 0,25 - \frac{1}{n_2^2}$$

$$0,0625 = \frac{1}{n_2^2} \rightarrow n_2 = 4$$

No modelo de Bohr, de órbitas circulares:



$$E_c = -\frac{1}{2} \cdot E_p$$

O estado final pedido é para  $n = 2$ . A energia desse estado é dada por:

$$E_2 = -\frac{13,6}{4} = -3,4 \text{ eV}$$

E:

$$E_2 = E_c + E_p = -\frac{1}{2} \cdot E_p + E_p = \frac{1}{2} \cdot E_p$$

$$-3,4 = \frac{1}{2} \cdot E_p$$

$$\boxed{E_p = -6,8 \text{ eV}}$$

**Gabarito: –6,8 eV**

#### 44. (ITA – 2019)

Dentro de uma câmara de vácuo encontra-se um filamento  $F$  aquecido por meio de uma fonte elétrica externa de d.d.p.  $V_1$ . A radiação emitida por  $F$  atinge o eletrodo metálico  $E_1$ , que passa a emitir elétrons que podem ser coletados no eletrodo  $E_2$ , acarretando a corrente  $I$  medida num amperímetro. Uma segunda fonte externa, de d.d.p.  $V_2$ , é conectada ao circuito conforme ilustrado na figura. Um obstáculo  $O$  impede que  $E_2$  receba radiação do filamento  $F$ . Analise as seguintes afirmações:

I. A corrente  $I$  aumenta sempre que  $V_2$  aumenta e tende a um valor assintótico  $I_{max}$ .

II. Toda a radiação que incide em  $E_1$  pode causar ejeção de elétrons.

III. Para certo valor  $V_2 < 0$ , é possível obter uma corrente  $I$  invertida em relação ao sentido mostrado na figura.

IV. É possível ter  $I \neq 0$  para  $V_2 = 0$  com  $I$  dependente de  $V_1$ .

Estão corretas

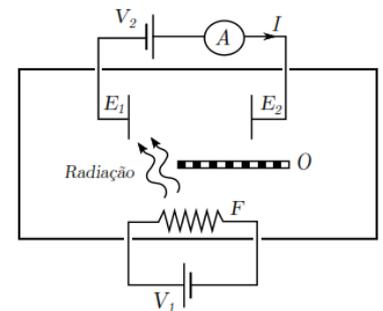
a) todas as afirmações

d) apenas II e IV.

b) apenas I, II e III.

e) apenas I, II e IV.

c) apenas I e IV.



**Comentários:**



I. VERDADEIRO. De fato, quanto maior o  $V_2$ , mais elétrons chegam à placa  $E_2$ . Por outro lado, o limite de elétrons arrancados de  $E_1$  não é dado por  $V_2$ , mas sim por  $V_1$ , pelo efeito fotoelétrico. Com isso, a corrente alcança um valor máximo por causa da saturação. Esse resultado foi apresentado no experimento de Lenard.

II. FALSO. Para o efeito fotoelétrico, sabemos que a energia com que os elétrons são arrancados depende da energia do fóton incidente e da função trabalho do material, como mostra a equação:

$$E_{cinética} = E_{fóton} - \phi.$$

Em que  $\phi$  é denominado função trabalho do material. Assim, se a energia do fóton ( $E_{fóton} = hf$ ) não for maior que a função trabalho ( $\phi$ ), nenhum elétron será arrancado.

III. FALSO. Mesmo com a mudança da voltagem, o sentido dos elétrons ejetados seria o mesmo (de  $E_1$  para  $E_2$ ), portanto, a fotocorrente nunca mudaria de sentido.

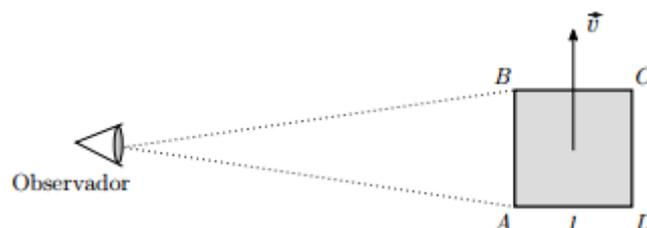
IV. VERDADEIRO. O aumento de  $V_1$  acarreta aumento da corrente no filamento, e conseqüente aumento da temperatura pelo Efeito Joule. Com base no modelo corpuscular, uma certa quantidade de fótons atingirá  $E_1$  e, estatisticamente, uma certa quantidade atingirá o eletrodo  $E_2$ .

**Gabarito: C**



**45. (ITA – 2019)**

Uma placa quadrada de vértices  $A, B, C, D$  e lado  $l$ , medido em seu referencial de repouso, move-se em linha reta com velocidade de módulo  $v$ , próximo ao da velocidade da luz no vácuo  $c$ , em relação a um observador localizado a uma distância muito maior que  $l$ , conforme ilustra a figura. A imagem percebida pelo observador é formada a partir dos raios de luz que lhe chegam simultaneamente. Sabe-se que o movimento da placa faz com que o observador a perceba girada. Determine em função de  $v$  e  $c$  o ângulo de giro aparente da placa e indique o seu sentido, sabendo que esta e o observador se situam num mesmo plano.

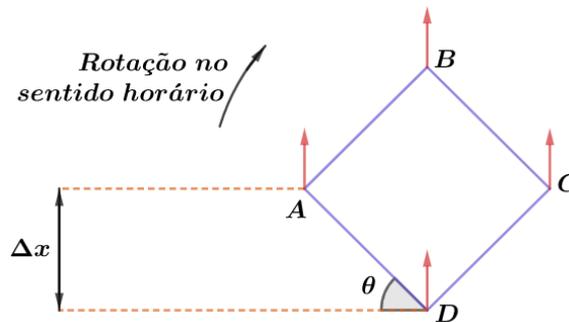


**Comentários:**

Inicialmente, devemos perceber que a luz proveniente dos pontos  $D$  e  $C$  percorre uma distância  $l$  a mais que aquela oriunda dos pontos  $A$  e  $B$ . Ao mesmo tempo, os pontos  $A$  e  $B$  se deslocam



verticalmente ( $\Delta x = v \cdot \Delta t$ ) e, assim, os raios que chegam simultâneos no observador serão aqueles que saíram de A e B após esse deslocamento. Por causa disso, o observador terá a impressão de rotação como mostrado na figura logo abaixo:



Portanto, teremos que:

$$\Delta x = v \cdot \Delta t \text{ e } \Delta t = \frac{l}{c} \Rightarrow \boxed{\Delta x = \frac{v \cdot l}{c}}$$

Então:

$$\text{sen } \theta = \frac{\Delta x}{l} = \frac{\frac{v \cdot l}{c}}{l} = \frac{v}{c} \Rightarrow \boxed{\theta = \text{arc sen} \left( \frac{v}{c} \right)}$$

**Gabarito:**  $\theta = \text{arc sen} \left( \frac{v}{c} \right)$



**46. (ITA – 2019)**

Considere um elétron confinado no interior de uma cavidade esférica de raio  $a$  cuja fronteira é intransponível.

(a) Estime o valor do módulo da velocidade ( $v$ ) e a energia total ( $E$ ) desse elétron em seu estado fundamental.

(b) De acordo com o modelo de Bohr, o estado de menor energia do elétron em um átomo de hidrogênio é caracterizado pela órbita circular de raio  $r_B$ , tendo o elétron a velocidade tangencial de módulo  $v_B$ . Obtenha a restrição em  $a/r_B$  para que ocorra a desigualdade  $v > v_B$ .

**Comentários:**

a)

Segundo o princípio da incerteza de Heisenberg, tem-se:



$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$

Em que  $\Delta x = 2a$  (diâmetro da cavidade),  $\Delta p = m \cdot v$  ( $v$  representa o valor médio da velocidade) e  $h$  é a constante de Planck. Para uma direção, podemos escrever que:

$$m \cdot v_x \cdot (2a) = \frac{h}{4\pi} \Rightarrow v_x = \frac{h}{8 \cdot \pi \cdot m \cdot a}$$

Para as direções  $y$  e  $z$ , teremos:

$$v_y = v_z = v_x = \frac{h}{8 \cdot \pi \cdot m \cdot a}$$

Logo, o valor médio da velocidade do elétron é de:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \Rightarrow v = \frac{h \cdot \sqrt{3}}{8 \cdot \pi \cdot m \cdot a}$$

A energia total deste elétron é apenas a cinética. Portanto:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow E = \frac{3 \cdot h^2}{128 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot a^2}$$

b)

Segundo o postulado de Bohr, o momento angular quantizado é dado por:

$$L = m \cdot r_B \cdot v_B = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

Para o estado fundamental,  $n = 1$ . Então:

$$v_B = \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot r_B}$$

Para a condição solicitada, temos:

$$v > v_B \Rightarrow \frac{h \cdot \sqrt{3}}{8 \cdot \pi \cdot m \cdot a} > \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot r_B} \Rightarrow \frac{a}{r_B} < \frac{\sqrt{3}}{4}$$

**Gabarito:** a)  $E = \frac{3 \cdot h^2}{128 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot a^2}$  b)  $\frac{a}{r_B} < \frac{\sqrt{3}}{4}$

ESCLARECENDO!



 @prof.maldonado



