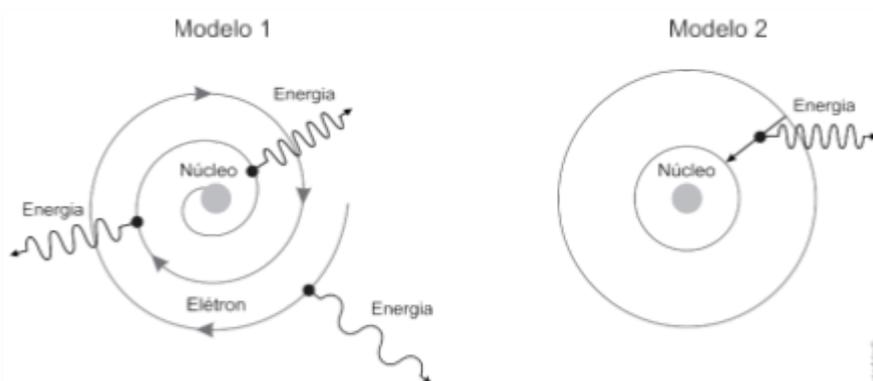


LISTA 2 – FÍSICA MODERNA - BOHR

1. (Unesp 2019) As figuras representam dois modelos, 1 e 2, para o átomo de hidrogênio. No modelo 1, o elétron move-se em trajetória espiral, aproximando-se do núcleo atômico e emitindo energia continuamente, com frequência cada vez maior, uma vez que cargas elétricas aceleradas irradiam energia. Esse processo só termina quando o elétron se choca com o núcleo. No modelo 2, o elétron move-se inicialmente em determinada órbita circular estável e em movimento uniforme em relação ao núcleo, sem emitir radiação eletromagnética, apesar de apresentar aceleração centrípeta. Nesse modelo a emissão só ocorre, de forma descontínua, quando o elétron sofre transição de uma órbita mais distante do núcleo para outra mais próxima.



A respeito desses modelos atômicos, pode-se afirmar que

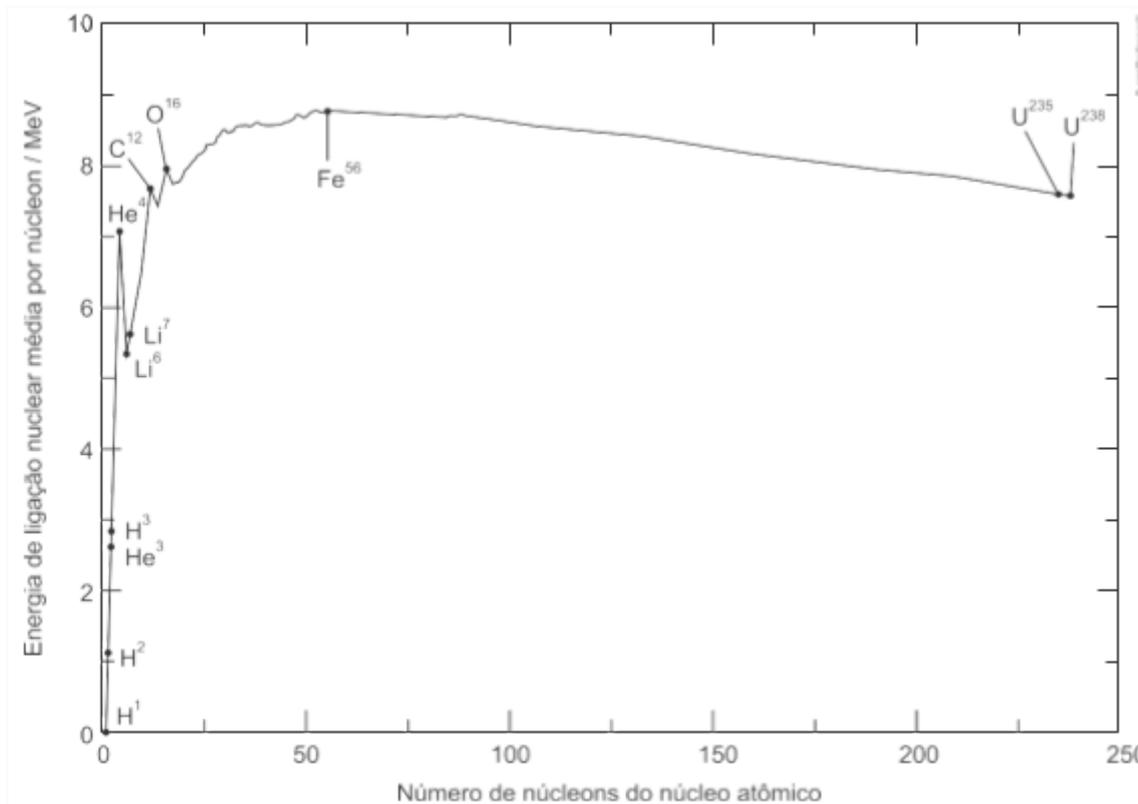
- o modelo 1, proposto por Bohr em 1913, está de acordo com os trabalhos apresentados na época por Einstein, Planck e Rutherford.
- o modelo 2 descreve as ideias de Thomson, em que um núcleo massivo no centro mantém os elétrons em órbita circular na eletrosfera por forças de atração coulombianas.
- os dois estão em total desacordo com o modelo de Rutherford para o átomo, proposto em 1911, que não previa a existência do núcleo atômico.
- o modelo 1, proposto por Bohr, descreve a emissão de fótons de várias cores enquanto o elétron se dirige ao núcleo atômico.
- o modelo 2, proposto por Bohr, explica satisfatoriamente o fato de um átomo de hidrogênio não emitir radiação o tempo todo.

2. (Uem-pas 2023) Uma partícula de massa m se move com uma velocidade tangencial v em torno de um corpo esférico, de massa M , em repouso em relação a um referencial inercial. A origem do sistema de referência é colocada no centro de M , e o raio da trajetória da partícula é igual a R . Sobre esse sistema de dois corpos, assinale o que for **correto**.

- Se o módulo da velocidade tangencial for constante, a aceleração tangencial da partícula será nula, mas haverá uma aceleração resultante devido à mudança da direção de \vec{v} .
- Nesse sistema, a velocidade angular $\vec{\omega}$ da partícula de massa m será nula.
- No modelo atômico de Bohr, um elétron, em um átomo, move-se em uma órbita circular estável, e o movimento está de acordo com as leis de Newton na mecânica clássica.
- Mantendo-se o módulo da velocidade tangencial constante, a força necessária para manter a trajetória circular do corpo de massa m , em torno do corpo de massa M , diminuirá com o aumento do raio da trajetória.
- No átomo de hidrogênio, de acordo com o modelo atômico de Bohr, se o elétron se encontra no estado fundamental, a órbita do movimento é estável.

3. (Ufrgs 2023) O gráfico abaixo indica o valor da energia de ligação média por núcleon *versus*

o número de núcleons (número de massa), para núcleos atômicos. Por núcleon, entende-se um componente do núcleo atômico, próton ou nêutron. A energia (nas ordenadas) é informada em MeV (10^6 elétron-volts).



Observando o gráfico, pode-se chegar a conclusões sobre reações nucleares que liberam grande quantidade de energia potencialmente aproveitável, as chamadas fissão e fusão nucleares.

Assinale a alternativa que apresenta uma afirmação correta a respeito dessas reações.

- A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
- A fissão nuclear ocorre pela quebra de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
- A fusão nuclear ocorre pela quebra de determinados núcleos localizados no final da curva (à direita).
- A fissão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).
- A fusão nuclear ocorre pela união de determinados núcleos localizados no início da curva (à esquerda).

4. (Upf 2023) Após a aula de Física na escola de Ensino Médio, num dia em que a professora ministrou conteúdos de Física Moderna abordando os modelos atômicos, um grupo de alunos conversa e faz as seguintes afirmações:

- No seu modelo atômico, Bohr considera que cada elétron se movimenta em uma órbita circular estável em torno do núcleo, não havendo assim emissão de radiação por parte do elétron.
- Ao criar o seu modelo atômico, Bohr utilizou a ideia de Planck, segundo a qual os elétrons podem ser arrancados de certos metais pela incidência de um feixe de luz.
- Em um átomo de hidrogênio, o elétron se movimenta em órbitas circulares em torno do próton devido à ação de uma força centrípeta que se origina da interação gravitacional entre as massas das partículas.

Prof. Dr. Yuri Alexandre Meyer

IV. Em um átomo de hidrogênio, o módulo da força de atração eletrostática entre o próton no núcleo e o elétron girando ao seu redor é maior do que o módulo da força gravitacional entre as massas das partículas.

Está correto apenas o que se afirma em:

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

5. (Famerp 2023) No modelo do átomo de hidrogênio proposto por Bohr, os elétrons só podem ocupar certos estados estacionários e a energia de cada um desses estados é dada, em

elétron-volts (eV), por $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$, sendo n o número quântico principal do estado

$$n^2$$

considerado. Apenas ao passar de um estado para outro o elétron absorve ou emite uma quantidade de energia que corresponde à diferença entre as energias desses dois estados.

Nesse modelo, quando um elétron faz uma transição do estado $n = 2$ para o estado $n = 3$, ele absorve uma quantidade de energia que é de, aproximadamente,

- a) 1,89 eV.
- b) 1,51 eV.
- c) 2,72 eV.
- d) 3,40 eV.
- e) 4,53 eV.

6. (Fcmscsp 2022) A geração de energia no interior do Sol se dá por meio de fusões nucleares. O processo consiste basicamente na fusão de 4 núcleos de hidrogênio para formar 1 núcleo de hélio, sendo que a massa do núcleo produzido é menor que a soma das massas

dos núcleos iniciais. Essa diminuta diferença de massa, $4,7 \times 10^{-29}$ kg, é convertida em

energia de acordo com a expressão proposta por Einstein: $E = m \cdot c^2$, sendo E a energia gerada, m a diferença de massa e c a velocidade da

luz no vácuo (3×10^8 m/s).

Sabendo-se que o Sol produz energia na razão de $3,9 \times 10^{26}$ J/s e considerando que toda energia seja gerada pelo processo de fusão de núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, a ordem de grandeza do número dessas fusões que ocorrem no interior do Sol a cada segundo é

- a) 10^{45} .
- b) 10^{32} .
- c) 10^{18} .
- d) 10^{38} .
- e) 10^{24} .

7. (Ufjf-pism 3 2022) No início do século XX Niels Bohr, trabalhando no laboratório de E. Rutherford, propôs um modelo atômico que admitia que o elétron, no átomo de hidrogênio, deslocava-se em uma órbita circular sob a influência da interação coulombiana com o núcleo positivo, em acordo com a mecânica clássica. Nesse modelo é possível obter uma estabilidade mecânica, mas o átomo seria eletricamente instável, pois o elétron estaria acelerado e, conseqüentemente, irradiaria energia eletromagnética colapsando o átomo. Para resolver esse problema, Niels Bohr *postulou* que o elétron poderia deslocar-se em certas órbitas, sem irradiar. Estas órbitas foram denominadas de *estados estacionários*. Nesse modelo, o estado fundamental é uma órbita circular que tem distância média entre o elétron e

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Faculdade de Tecnologia – FT

Prof. Dr. Yuri Alexandre Meyer

o núcleo de aproximadamente $5,0 \times 10^{-11} \text{m}$.

Use se necessário: $k = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 /$

C^2 ; carga do elétron $e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; massa
do

elétron $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

- a) Determine o valor da energia potencial eletrostática do conjunto próton-elétron.
 b) Neste modelo, a estimativa da velocidade escalar tangencial do elétron para uma órbita circular no estado fundamental é de $v_e = 2,0 \times 10^6$ m/s. Qual a energia aproximadamente total do sistema próton-elétron?
 c) No modelo de Bohr, as possíveis energias para o elétron do átomo de hidrogênio podem ser calculadas por meio da expressão $E_n = -E/n^2$, onde E_n representa a energia relativa a cada nível, E é uma constante e n é qualquer número inteiro positivo. Neste modelo, obtenha a energia de ionização para o elétron de um átomo de hidrogênio que está no nível fundamental.

8. (Unichristus - Medicina 2021) **LASERS**

O *laser*, diferentemente da luz emitida por uma lâmpada incandescente que se espalha por todo o ambiente, não espalha os seus raios de luz, incidindo-os praticamente no mesmo ponto. De acordo com o modelo de Bôhr, o elétron poderia “saltar” de um estado de menor energia para outro de maior energia ao ser excitado e retornaria ao seu estado inicial de forma muito lenta. Nesse momento seria possível produzir a emissão estimulada de luz, o *laser*, com a ajuda de um agente externo, por exemplo, um fóton, como representada na figura a seguir:



Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/>.
Acesso em: 6 fev. 2021.

Baseando-se no texto e na figura representada anteriormente e considerando que Δt representa a variação de tempo, pode-se afirmar que

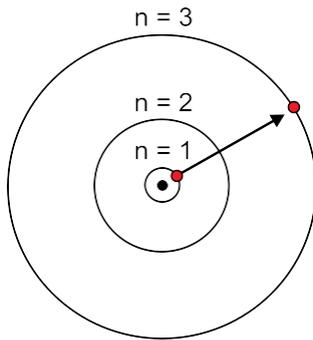
- a) $\Delta t_2 > \Delta t_1$.
 b) $\Delta t_2 = \Delta t_1$.
 c) $E_2 < E_1$.
 d) $E_2 > E_1$.
 e) $E_2 = E_1$.

9. (Fcmscsp 2021) Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr propôs um modelo para explicar o átomo de hidrogênio no qual o elétron, ao girar ao redor do próton, só podia ocupar órbitas

cujas energias fossem dadas pela relação $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ eV, sendo n o número da órbita e eV

n^2

(elétron-volt) a unidade de energia.



(www.sbfisica.org.br. Adaptado.)

Quando o elétron se encontra no estado fundamental do átomo de hidrogênio, ou seja, na órbita $n = 1$, a energia vale $-13,6$ eV. Para transitar a órbitas com n maiores, o elétron deve absorver quantidades bem definidas de energia.

Segundo o modelo de Bohr, ao sofrer uma transição da órbita $n = 1$ para a órbita $n = 3$, o elétron deve absorver uma quantidade de energia de, aproximadamente,

- a) 18,1 eV.
- b) 9,1 eV.
- c) 15,1 eV.
- d) 4,5 eV.
- e) 12,1 eV.

10. (Fgv 2020) De acordo com a teoria da relatividade de Einstein, a conversão de massa em energia é regida pela expressão $E = m \cdot c^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, que é igual

a 3×10^8 m/s. No interior do Sol, ocorrem fusões nas quais quatro átomos de hidrogênio se unem para formar um átomo de hélio. A massa dos quatro átomos de hidrogênio é ligeiramente maior que a de um átomo de hélio, e essa diferença, que é de aproximadamente

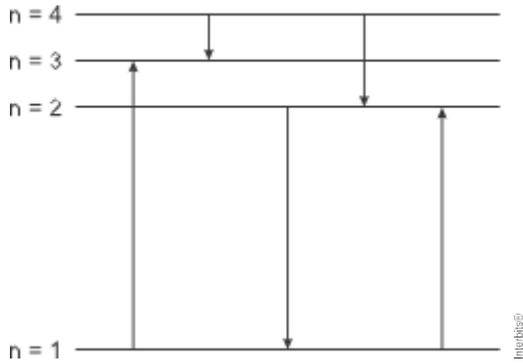
$5,0 \times 10^{-29}$ kg, é convertida em energia.

Sabe-se que a energia produzida no interior do Sol, a cada segundo, é cerca de $3,6 \times 10^{28}$ J.

Portanto, a quantidade de prótons que se fundem no interior do Sol, a cada segundo, é

- a) $1,6 \times 10^{20}$.
- b) $4,8 \times 10^{32}$.
- c) $3,2 \times 10^{40}$.
- d) $7,2 \times 10^{56}$.
- e) $2,2 \times 10^{65}$.

11. (Udesc 2017) O diagrama da figura abaixo mostra os níveis de energia para um elétron em um determinado átomo.



Das transições entre os níveis de energia mostradas na figura, assinale a alternativa que representa a emissão de um fóton com maior energia.

- a) de $n = 4$ para $n = 3$
- b) de $n = 1$ para $n = 3$
- c) de $n = 2$ para $n = 1$
- d) de $n = 1$ para $n = 2$
- e) de $n = 4$ para $n = 2$

12. (Uff-pism 3 2016) Em um reator nuclear, átomos radioativos são quebrados pelo processo de fissão nuclear, liberando energia e átomos de menor massa atômica. Esta energia é convertida em energia elétrica com um aproveitamento de aproximadamente 30%. A teoria da relatividade de Einstein torna possível calcular a quantidade de energia liberada no processo de fissão nuclear. Nessa teoria, a energia de uma partícula é calculada pela expressão

$$E = mc^2, \text{ onde } m = m_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$1 + (v/c)^2$. Em uma residência comum, se consome, em média,

200 kWatt – hora por mês. Neste caso, **CALCULE** qual deveria ser a massa, em quilogramas, necessária para se manter essa residência por um ano, considerando que a transformação de massa em energia ocorra no repouso.

Dado: $c = 3 \times 10^8$ m/s.

- a) $3,6 \times 10^{-8}$ kg
- b) $6,3 \times 10^{-5}$ kg
- c) $3,2 \times 10^{-7}$ kg
- d) $9,6 \times 10^{-8}$ kg
- e) $5,3 \times 10^{-5}$ kg

Gabarito:

Resposta da questão 1:

[E]

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Física]

O modelo 1 está de acordo com o que foi proposto por Rutherford em 1911, com a descoberta do núcleo atômico, pequeno com cerca de dez a cem mil vezes o tamanho do átomo, denso representando a massa do átomo e com os elétrons girando ao seu redor em órbitas circulares. Mais tarde, descobriu-se que cargas elétricas em movimento perdem energia, assim os elétrons do átomo de Rutherford ao perder energia por emissão contínua chegariam a se chocarem com o núcleo, desestabilizando-o. Bohr propôs que os níveis de energia seriam quantizados e para cada átomo teríamos um padrão de emissão e absorção característicos, assim iniciando as análises espectrais das linhas de absorção e emissão de diversos átomos. Bohr comprovou essas linhas para o átomo de hidrogênio e calculou as órbitas possíveis de acordo com a mecânica quântica, representado pelo modelo 2. Logo, a resposta correta é da alternativa [E].

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Química]

- [A] Incorreto. Com o passar do tempo Rutherford começou a perceber que o seu modelo apresentava algumas falhas. Ele admitia que os elétrons (negativos) teriam que girar ao redor do núcleo (positivo), senão eles seriam atraídos para o centro do átomo e a eletrosfera deixaria de existir, ou seja, o átomo entraria em colapso, vide modelo 1. Porém, as ideias de Max Planck e Albert Einstein não foram aproveitadas nesta época.
- [B] Incorreto. A teoria de Niels Böhrr encontra uma comprovação matemática e experimental eficiente para o átomo de hidrogênio. Ele demonstrou que a energia total (energia cinética mais a potencial) do elétron de um átomo de hidrogênio pode ser quantizada, conforme descreve o modelo 2 aproveitando as ideias de Max Planck e Albert Einstein.
- [C] Incorreto. Os dois modelos representados pelas figuras do enunciado preveem a existência do núcleo atômico.
- [D] Incorreto. O modelo 1 prevê o “colapso atômico”. Pela física clássica, a aceleração de um elétron é a mudança de sua velocidade ou de sua direção de movimento num dado intervalo de tempo. No caso de um elétron em movimento circular, ele sofre aceleração em direção ao núcleo (aceleração centrípeta), pois caso contrário ele seguiria em linha reta (“pela tangente”).
- [E] Correto. O modelo 2, proposto por Böhrr, explica satisfatoriamente o fato de um átomo de hidrogênio não emitir radiação o tempo todo. Neste caso a radiação eletromagnética teria apenas um comprimento de onda (λ), conseqüentemente, a energia do fóton teria apenas um valor.

Resposta da questão 2:

01 + 04 + 08 + 16 = 29.

- [01] Verdadeira. Caso a velocidade tangencial seja constante, a aceleração tangencial será nula. Porém, por se tratar de um MCU, a aceleração resultante será a aceleração centrípeta.
- [02] Falsa. Como há velocidade tangencial, a velocidade angular não será nula, pois:
- $$\omega = \frac{v}{R}$$
- [04] Verdadeira. O modelo de Bohr se baseia no equilíbrio dinâmico do movimento circular dos elétrons em torno do núcleo dos átomos devido às interações elétricas entre eles. E este modelo está de acordo com as leis da mecânica clássica.
- [08] Verdadeira. A força necessária é dada por:

$$F = \frac{mv^2}{R}$$

Ou seja, com o aumento do raio da trajetória, a força necessária diminui.

[16] Verdadeira. Nas condições descritas, a órbita do movimento é estável.

Resposta da questão 3:

[E]

A fissão nuclear decorre da quebra dos núcleos atômicos pesados (como o do urânio) em núcleos mais leves. Já a fusão nuclear é dada pela combinação de núcleos leves (como o de alguns dos elementos localizados no início da curva como o deutério H^2 e o trítio H^3), formando um núcleo mais pesado e liberando altas quantidades de energia.

Resposta da questão 4:

[D]

[I] Verdadeira. O modelo atômico de Bohr consistia no movimento de elétrons através de órbitas circulares definidas em torno de um núcleo carregado positivamente, não havendo emissão de radiação por parte dos elétrons.

[II] Falsa. A emissão de elétrons de materiais metálicos após a incidência de luz foi primeiramente observada por A. E. Becquerel e posteriormente confirmado por H. Hertz, mas foi Einstein quem primeiramente descreveu o efeito, que ficou conhecido como efeito fotoelétrico.

[III] Falsa. As partículas interagem devido às forças nucleares, e não gravitacionais.

[IV] Verdadeira. A força de atração entre o próton e o elétron no átomo de hidrogênio possui módulo maior do que o módulo da força gravitacional entre as massas das partículas.

Resposta da questão 5:

[A]

A quantidade de energia absorvida é de aproximadamente:

$$\Delta E = E_3 - E_2 = -\frac{13,6}{3^2} + \frac{13,6}{2^2}$$

$$\Delta E = \frac{-4 \cdot 13,6 + 9 \cdot 13,6}{36}$$

$$\Delta E = \frac{5 \cdot 13,6}{36} = \frac{68}{36}$$

$$\therefore \Delta E \cong 1,89 \text{ eV}$$

Resposta da questão 6:

[D]

A energia liberada (E_1) em cada reação é:

$$E = mc^2 = 4,7 \times 10^{-29} \times (3 \times 10^8)^2 \Rightarrow E = 4,7 \times 10^{-29} \times \frac{9 \times 10^{16}}{10^2} = 4,23 \times 10^{-13}$$

Sendo N o número de fusões, vem:

$$E = NE_1 \quad E = \frac{3,9 \times 10^{26}}{\Rightarrow N =} \quad \overset{38}{\text{---}} \quad \overset{37}{E_1 = 4,2 \times 10^{-12} = 0,9 \times 10} \quad \boxed{\text{OG } 10^{38} \text{ s}^{-1}} \Rightarrow N = 9 \times 10 \quad \Rightarrow$$

Resposta da questão 7:

a) Energia potencial eletrostática do conjunto próton-elétron:

$$U = -\frac{ke^2}{d}$$

$$9 \cdot 10^9 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2$$

$$U = -\frac{\quad}{\quad} \quad 5 \cdot 10^{-11}$$

$$\therefore U = -4,6 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

b) Energia total do sistema próton-elétron:

$$E_T = U + \frac{mve^2}{2}$$

$$9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (2 \cdot 10^6)^2$$

$$E_T = -4,6 \cdot 10^{-18} + \frac{\quad}{2}$$

$$\therefore E_T = -2,8 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

c) Energia de ionização para o elétron de um átomo de hidrogênio no nível fundamental:

$$E_1 = -\frac{E_T}{1}$$

$$\therefore E_1 = 2,8 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Resposta da questão 8:

[D]

A energia emitida na emissão estimulada deve ser maior que a energia devida ao retorno lento ao estado inicial. Logo:

$$E_2 > E_1$$

Resposta da questão 9:

[E]

Aplicando a relação dada, obtemos:

$$\Delta E = E_3 - E_1 = -\frac{13,6}{3} + \frac{13,6}{1}$$

$$\therefore \Delta E \cong 12,1 \text{ eV}$$

Resposta da questão 10:

[C]

Prof. Dr. Yuri Alexandre Meyer

Energia gerada pela fusão dos átomos de hélio:

$$E = mc^2 = 5 \cdot 10^{-29} \cdot (3 \cdot 10^8$$

$$)^2 E = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Logo, o número N de prótons que se fundem no interior do Sol, a cada segundo, é de:

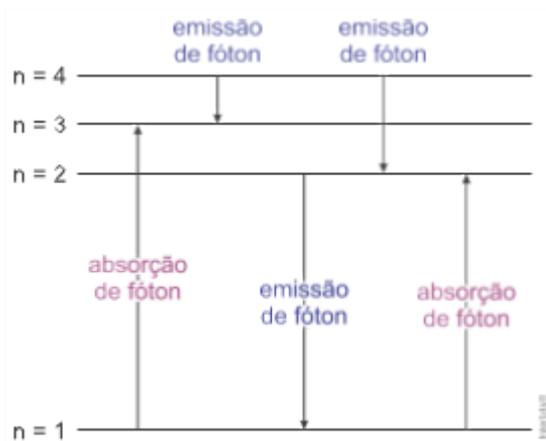
$$N = \frac{4 \cdot 3,6 \cdot 10^{28}}{4,5 \cdot 10^{-12}}$$

$$\therefore N = 3,2 \cdot 10^{40}$$

Resposta da questão 11:

[C]

A emissão de um fóton ocorre quando o elétron transita de níveis energéticos maiores (mais distantes do núcleo) para níveis mais internos (próximos do núcleo). Esse fóton emitido tem a energia igual à energia dos níveis transitados. No diagrama, essas emissões ocorrem, portanto, de níveis maiores para níveis menores, sendo a transição do nível 2 para o nível 1 com maior energia.



Resposta da questão 12:

[C]

A energia útil consumida pela residência em 1 ano (12 meses) é:

$$E_U = 200 \text{ kW} \cdot h \times 12 = 2400 \text{ kW} \cdot h = (2400 \times 10^3 \text{ W}) \times (3,6 \times 10^3 \text{ s}) = 8,64 \times 10^9 \text{ W} \cdot \text{s} \Rightarrow$$

$$E_U = 8,64 \times 10^9 \text{ J.}$$

Considerando o rendimento de 30%, a energia total produzida pela fissão é:

$$\eta = \frac{E_U}{E_T} \Rightarrow E_T = \frac{E_U}{\eta} = \frac{8,64 \times 10^9}{0,3} \Rightarrow E_T = 2,88 \times 10^{10} \text{ J.}$$

Usando a relação massa-energia:

$$E_T = m_0 c^2 \Rightarrow m = \frac{E_T}{c^2} = \frac{2,88 \times 10^{10}}{9 \times 10^{16}} \Rightarrow m = 3,2 \times 10^{-7} \text{ kg}$$