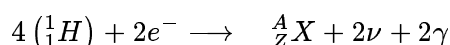


- ✓ Esta prova tem duração de 100 minutos. ✓ É proibido o uso de calculadoras.
 ✓ Escreva de forma legível. ✓ Resolva cada questão em sua folha própria.
 ✓ Justifique as fórmulas utilizadas que não constam do formulário. ✓ Após 60 min, a compreensão do enunciado passa a fazer parte da questão.

- 1— Uma estrela tem massa $2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$ e irradia com potência constante de $4,4 \times 10^{26} \text{ W}$, através do ciclo *próton-próton*, que pode ser representado pela reação



onde e^- representa o elétron; ν , o neutrino e γ a radiação γ associados ao processo. Em cada reação há liberação de $Q \approx 20 \text{ MeV}$ e o início das reações deu-se há cerca de 5×10^9 anos atrás.

- (1,0) Identifique o núcleo $\frac{A}{Z}\text{X}$; ou seja, dê os valores de A e Z e o símbolo X do elemento correspondente;
- (0,5) Calcule a energia total E que já foi liberada pela estrela;
- (0,5) Calcule o número N_ν de neutrinos produzidos;
- (0,5) Calcule a fração $\left(\frac{\Delta m}{m} \right)$ da massa que foi consumida durante a vida da estrela.

- 2— A função de onda do átomo de hidrogênio no estado fundamental é dada por

$$\Psi(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-\frac{r}{a_0}}$$

onde a_0 é o raio de Bohr, considerado conhecido.

- (1,0) Calcule o raio médio (ou valor esperado) $\langle r \rangle$ do elétron neste estado, em função de a_0 ;
- (0,5) Quais são os valores possíveis de L e L_z para um elétron na subcamada $3d$ do hidrogênio?
- (1,0) Quais são os números quânticos (n, ℓ, m_ℓ, m_s) para cada um dos três elétrons do átomo de lítio no estado fundamental?

3— Uma molécula diatômica de massa reduzida μ absorve fótons através de transições entre os estados vibracionais $\nu \rightarrow \nu + 1$ e estados rotacionais. Medindo o espectro de energia dos fótons absorvidos, obtem-se um espectro que pode ser expresso por $E = A + Bm$ onde A e B são constantes dadas e $m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

a. (1.0) A energia dos níveis de rotação e de vibração de uma molécula diatômica é dada por

$$E_{j,\nu} = \left(\nu + \frac{1}{2}\right) \hbar\omega_o + \frac{\hbar^2}{2I} [J(J+1)]$$

onde I é o momento de inércia da molécula, $\hbar = h/2\pi$ e ω_o é a frequência angular natural de oscilação da molécula. Reproduza a tabela abaixo na folha de prova, com as expressões da variação de energia ΔE , em termos de \hbar^2 , I e ω_o entre os vários níveis rotacionais indicados para as transições possíveis. (Um dos valores é indicado, como exemplo.)

J _{inicial} /J _{final}	0	1	2	3
0				
1				
2		$\hbar\omega_o - 2\hbar^2/I$		
3				

b. (0,5) Determine a expressão da frequência fundamental de oscilação ω_o da molécula;

c. (0,5) Determine a expressão da separação r_o entre os dois átomos da molécula;

d. (0,5) Determine o momento angular L da molécula após a transição correspondente a $m = -3$;

4— A solução da equação de Schrödinger para o átomo de hidrogênio mostra que as funções de onda dos orbitais dependem de *quatro* números quânticos n , ℓ , m_ℓ e m_s .

a. (1.0) Na tabela abaixo, identifique quais são os orbitais fisicamente possíveis para o átomo de hidrogênio, apontando quais correspondem a estados degenerados de energia:

Estado	n	ℓ	m_ℓ	m_s
A	3	0	-3	-3/2
B	4	3	-3	-1/2
C	3	0	0	+1/2
D	3	2	-2	-1/2
E	4	0	0	+1/2
F	4	-2	2	-1/2
G	3	0	0	0
H	4	2	-2	-3/2
I	4	2	-2	-1/2
J	3	1	2	+1/2

b. (1.0) Orbitais de átomos com mais de um elétron são também especificados da mesma maneira.

Ora, sabendo-se que em geral a energia do elétron numa camada *aumenta* com o momento angular orbital, qual é a configuração eletrônica do Zinco, símbolo Zn, com número atômico 30;

c. (0.5) Qual a energia de Fermi para o Zinco? (Dado: $M_{Zn} = 65,37 \text{ g/mol}$, $\rho_{Zn} = 7,14 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

Formulário

$$\begin{array}{lll}
 E = mc^2 & 1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} & 1\text{kg} \approx 5,5 \times 10^{29} \text{ MeV}/c^2 \quad 1 \text{ ano} \approx 3,2 \times 10^7 \text{ s} \\
 L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar & L_z = m_\ell \hbar & \int_0^\infty x^n e^{-x} dx = n! \quad dv = 4\pi r^2 dr \\
 I = \mu r^2 & N_o = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} &
 \end{array}$$

$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{3n}{8\pi} \right)^{\frac{2}{3}} = 3,65 \times 10^{-19} n^{\frac{2}{3}} \text{ eV} \cdot m^2$$

$$1u = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg} \approx 930 \text{ MeV}/c^2$$

<i>Z</i>	elemento	Símbolo	A	massa(<i>u</i>)
0	neutron	<i>n</i>	1	1,008665
1	hidrogênio	<i>H</i>	1	1,007825
	deutério	<i>D</i>	2	2,014102
	trítio	<i>T</i>	3	3,016049
2	hélio	<i>He</i>	3	3,016029
		<i>He</i>	4	4,002603
3	lítio	<i>Li</i>	6	6,015123
		<i>Li</i>	7	7,016005