



Física 12.º ano
Quinto teste — Onda-partícula.
Teoria atômica. Radioactividade

versão: 2,1

José Pedro do Amaral

16 de março de 2026

Nome / Turma / Data:

Instruções

Lê com atenção, responde com *rigor* e apresenta *todas* as etapas de raciocínio. Quando aplicável, usa unidades SI. Este teste está cotado para $\frac{100}{100}$.

Em todos os problemas (perguntas que não são de escolha múltipla), justifica com equações e unidades e desenha um rectângulo à volta de cada resposta numérica final dada.

Usa um máximo de **três** (3) casas decimais nas respostas.

Em caso de engano, indica claramente a nova escolha.

Boa sorte.

Constantes e relações úteis

$$c = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}, \quad h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$|e| = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}, \quad R_H = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1},$$

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}, \quad \frac{h}{m_e c} = 2,43 \times 10^{-3} \text{ nm} \quad (\text{comprimento de onda de Compton}).$$

1. (5 pts.) Um fóton tem comprimento de onda $\lambda = 620 \text{ nm}$. Qual é a sua energia em eV?

- a) 4,00 eV
- b) 0,500 eV
- c) $3,21 \times 10^{-19} \text{ eV}$
- d) 2,00 eV
- e) 1,00 eV

Resposta:

d) $E = hc/\lambda = (6,626 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)/(620 \times 10^{-9}) = 3,21 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,00 \text{ eV}$.

2. (5 pts.) Qual das afirmações seguintes descreve correctamente o efeito fotoeléctrico?

- a) Abaixo da frequência limite, nenhum electrão é emitido independentemente da intensidade da radiação incidente.
- b) Aumentar a intensidade da luz aumenta a energia cinética máxima dos fotoelectrões emitidos.
- c) A emissão de electrões depende apenas da intensidade da luz; frequências mais baixas produzem electrões mais energéticos.
- d) A energia cinética dos fotoelectrões é independente da frequência da radiação.
- e) A emissão fotoeléctrica é explicada pela natureza ondulatória da luz.

Resposta:

a)

3. (5 pts.) Um electrão e um protão têm a mesma energia cinética K . Qual é a razão dos respectivos comprimentos de onda de de Broglie, λ_e/λ_p ?

- a) $\lambda_e/\lambda_p = 1$
- b) $\lambda_e/\lambda_p = \sqrt{m_p/m_e} \approx 42,8$
- c) $\lambda_e/\lambda_p = m_p/m_e \approx 1836$
- d) $\lambda_e/\lambda_p = m_e/m_p \approx 5,45 \times 10^{-4}$
- e) $\lambda_e/\lambda_p = (m_p/m_e)^2 \approx 3,37 \times 10^6$

Resposta:

b) $\lambda = h/p = h/\sqrt{2mK}$; para mesma K , $\lambda \propto 1/\sqrt{m}$; $\lambda_e/\lambda_p = \sqrt{m_p/m_e} = \sqrt{1836} \approx 42,8$.

4. (5 pts.) No efeito de Compton, um fóton de raios X colide com um electrão em repouso e é disperso com ângulo $\theta = 90^\circ$. Qual é a variação de comprimento de onda $\Delta\lambda$?

- a) $\Delta\lambda = 4,86 \times 10^{-3} \text{ nm}$
- b) $\Delta\lambda = 0$
- c) $\Delta\lambda = -2,43 \times 10^{-3} \text{ nm}$
- d) $\Delta\lambda$ depende do comprimento de onda inicial
- e) $\Delta\lambda = 2,43 \times 10^{-3} \text{ nm}$

Resposta:

a) $\Delta\lambda = (h/m_e c)(1 - \cos 90^\circ) = 2,43 \times 10^{-3} \times 1 = 2,43 \times 10^{-3} \text{ nm}.$

5. (5 pts.) No modelo de Bohr do hidrogénio, qual é a energia do nível $n = 3$?

- a) $-1,51 \text{ eV}$
- b) $-13,6 \text{ eV}$
- c) $-3,40 \text{ eV}$
- d) $-0,85 \text{ eV}$
- e) $-6,80 \text{ eV}$

Resposta:

a) $E_3 = -13,6/9 = -1,51 \text{ eV}.$

6. (5 pts.) Um núcleo de $^{226}_{88}\text{Ra}$ emite uma partícula alfa. Quais são o número atómico Z e o número de massa A do núcleo filho?

- a) $Z = 88, \quad A = 222$
- b) $Z = 86, \quad A = 226$
- c) $Z = 86, \quad A = 222$
- d) $Z = 90, \quad A = 230$
- e) $Z = 84, \quad A = 222$

Resposta:

c) Emissão α : $Z \rightarrow Z - 2 = 86, A \rightarrow A - 4 = 222$. Núcleo filho: $^{222}_{86}\text{Rn}.$

7. (5 pts.) Uma amostra radioactiva tem período de semi-desintegração $T_{1/2} = 5,0$ h. Qual a fracção de núcleos que **permanece** após 20,0 h?

- a) $1/4$
- b) $1/16$
- c) $1/8$
- d) $1/2$
- e) $1/32$

Resposta:

b) $t = 20,0 \text{ h} = 4 T_{1/2}$; $N/N_0 = (1/2)^4 = 1/16$.

8. (15 pts.) **Efeito fotoeléctrico — a constante de Planck.**

Uma superfície de **potássio** tem função de trabalho $\phi = 2,30$ eV. É iluminada com quatro comprimentos de onda diferentes; os potenciais de paragem medidos são indicados na tabela:

λ (nm)	V_s (V)
200	3,91
250	2,66
350	1,25
450	0,46

Formulário:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad K_{\max} = hf - \phi = eV_s, \quad f = \frac{c}{\lambda}, \quad f_c = \frac{\phi}{h}, \quad \lambda_c = \frac{hc}{\phi}.$$

- a) Para $\lambda = 250$ nm, calcula a energia do fotão em eV e verifica a consistência com o valor de V_s dado.
- b) Para $\lambda = 450$ nm, calcula $K_{\max}$ e confirma o valor de V_s .
- c) Determina a frequência limite f_c e o comprimento de onda limite λ_c para o potássio.

Resposta:

- a) $E = hc/\lambda = (6,626 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8)/(250 \times 10^{-9}) = 7,951 \times 10^{-19} \text{ J} = 4,97 \text{ eV}$. $K_{\max} = 4,97 - 2,30 = 2,67 \text{ eV} \approx 2,66 \text{ eV}$. (Diferença de arredondamento.) $V_s = 2,66 \text{ V}$.
- b) $E = hc/(450 \times 10^{-9}) = 4,418 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,76 \text{ eV}$. $K_{\max} = 2,76 - 2,30 = 0,46 \text{ eV}$; $V_s = 0,46 \text{ V}$.
- c) $f_c = \phi/h = (2,30 \times 1,60 \times 10^{-19})/(6,626 \times 10^{-34}) = 5,55 \times 10^{14} \text{ Hz}$. $\lambda_c = c/f_c = 3,00 \times 10^8 / 5,55 \times 10^{14} = 5,41 \times 10^{-7} \text{ m} = 541 \text{ nm}$.

9. (20 pts.) Átomo de hidrogénio — espectro de emissão e absorção.

Considera o modelo de Bohr do átomo de hidrogénio.

Formulário:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV}, \quad \Delta E = hf = \frac{hc}{\lambda}, \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad E_{\text{ion}} = -E_n.$$

- a) Calcula as energias dos níveis $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ e $n = 5$.
- b) Um electrão transita de $n_i = 5$ para $n_f = 1$ (série de Lyman). Calcula a energia do fotão emitido, a sua frequência e o seu comprimento de onda. Indica a que região do espectro electromagnético pertence.
- c) Usando a fórmula de Rydberg, determina o comprimento de onda da transição $n_i = 4 \rightarrow n_f = 2$ (série de Balmer) e indica a região espectral.
- d) Um átomo de hidrogénio no estado fundamental absorve um fotão de 12,09 eV. Para que nível n transita o electrão? O átomo fica ionizado? Justifica.

Resposta:

- a) $E_1 = -13,6 \text{ eV}$; $E_2 = -3,40 \text{ eV}$; $E_3 = -1,51 \text{ eV}$; $E_5 = -0,544 \text{ eV}$.
- b) $|\Delta E| = |E_5 - E_1| = |-0,544 - (-13,6)| = 13,056 \text{ eV} = 2,089 \times 10^{-18} \text{ J}$. $f = \Delta E/h = 2,089 \times 10^{-18} / 6,626 \times 10^{-34} = 3,153 \times 10^{15} \text{ Hz}$. $\lambda = c/f = 3,00 \times 10^8 / 3,153 \times 10^{15} = 9,515 \times 10^{-8} \text{ m} \approx 95,2 \text{ nm}$. Ultravioleta.
- c) $1/\lambda = R_H(1/4 - 1/16) = 1,097 \times 10^7 \times 3/16 = 2,057 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$. $\lambda = 4,862 \times 10^{-7} \text{ m} = 486 \text{ nm}$. Visível (azul-verde, risca H_β).
- d) $E_{n_f} = E_1 + \Delta E = -13,6 + 12,09 = -1,51 \text{ eV}$. $-13,6/n^2 = -1,51 \Rightarrow n^2 = 9 \Rightarrow n = 3$. Não fica ionizado: $12,09 \text{ eV} < 13,6 \text{ eV}$.

10. (20 pts.) Radioactividade — lei de desintegração e actividade.

O isótopo $^{198}_{79}\text{Au}$ (ouro-198) tem período de semi-desintegração $T_{1/2} = 2,69$ dias e é usado em medicina nuclear. Uma amostra contém inicialmente $N_0 = 3,0 \times 10^{15}$ núcleos.

Formulário:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, \quad N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}, \quad A = \lambda N, \quad 1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegração/s.}$$

- a) Determina a constante de desintegração λ em s^{-1} .
- b) Calcula a actividade inicial A_0 da amostra em becquerel.
- c) Calcula o número de núcleos que permanecem após 8,07 dias e a fracção da amostra que se desintegrou nesse período.
- d) O $^{198}_{79}\text{Au}$ sofre desintegração β^- . Escreve a equação nuclear completa e indica o número atómico e o número de massa do núcleo filho.

Resposta:

a) $T_{1/2} = 2,69 \times 86400 = 2,324 \times 10^5 \text{ s}$. $\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0,6931 / 2,324 \times 10^5 = 2,982 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

b) $A_0 = \lambda N_0 = 2,982 \times 10^{-6} \times 3,0 \times 10^{15} = 8,95 \times 10^9 \text{ Bq} \approx 8,95 \text{ GBq}$.

c) $t = 8,07 \text{ dias} = 3 T_{1/2}$. $N = (1/2)^3 \times 3,0 \times 10^{15} = 3,75 \times 10^{14}$ núcleos. Fracção desintegrada: $1 - 1/8 = 7/8 = 87,5\%$.

d) $^{198}_{79}\text{Au} \rightarrow ^{198}_{80}\text{Hg} + \beta^- + \bar{\nu}_e$. Núcleo filho: $Z = 80$ (Mercúrio), $A = 198$.

11. (2 pts.) A equação de Dirac, formulada em 1928, foi uma extensão relativista da mecânica quântica. Qual foi a sua consequência mais notável?

- a) Demonstrou que os electrões não têm spin.
- b) Estabeleceu o princípio de exclusão que impede dois fermões de ocupar o mesmo estado quântico.
- c) Previu a existência de antimatéria, nomeadamente do positrão como antipartícula do electrão.
- d) Provou que a velocidade da luz é o limite máximo para qualquer partícula com massa.
- e) Explicou a estabilidade dos núcleos atômicos através da força nuclear forte.

Resposta:

c)

12. (2 pts.) Qual das seguintes afirmações sobre o princípio de incerteza de Heisenberg é correcta?

- a) É uma limitação tecnológica que desaparece com instrumentos suficientemente precisos.
- b) Aplica-se apenas a partículas com massa, não a fotões.
- c) Afirma que é impossível conhecer simultaneamente a energia e a carga de uma partícula.
- d) Só é relevante a temperaturas próximas do zero absoluto.
- e) Resulta da natureza ondulatória da matéria: localizar espacialmente uma partícula exige um pacote de ondas com grande dispersão em quantidade de movimento.

Resposta:

e)

13. (2 pts.) Na desintegração β^- , o número de massa A conserva-se mas o número atómico Z aumenta por 1. Qual é a razão correcta para esta conservação de A ?

- a) O electrão emitido é absorvido pelo núcleo, compensando a perda de um neutrão.
- b) A energia libertada na desintegração compensa a variação de massa.
- c) O antineutrino emitido transporta o número de massa em excesso.
- d) Um neutrão converte-se num protão: o número total de nucleões no núcleo não se altera, pois um nucleão substitui outro.
- e) A conserva-se porque a carga total do sistema se mantém constante.

Resposta:

d)

14. (2 pts.) A série de Lyman, a série de Balmer e a série de Paschen diferem entre si. Qual é a característica que as distingue?

- a) O número quântico inicial n_i da transição.
- b) A carga do núcleo do átomo envolvido.
- c) A intensidade do campo magnético externo aplicado.
- d) O número de electrões que participam simultaneamente na transição.
- e) O número quântico final n_f para o qual o electrão transita.

Resposta:

e) Lyman: $n_f = 1$; Balmer: $n_f = 2$; Paschen: $n_f = 3$.

15. (2 pts.) De acordo com a hipótese de de Broglie, a uma partícula com quantidade de movimento p está associado um comprimento de onda $\lambda = h/p$. Qual das seguintes afirmações descreve correctamente a consequência desta relação?

- a) Quanto maior for a quantidade de movimento da partícula, maior será o comprimento de onda associado e mais evidentes serão os efeitos ondulatórios.
- b) Quanto maior for a quantidade de movimento da partícula, menor será o comprimento de onda associado, tornando os efeitos ondulatórios difíceis de observar.
- c) A relação aplica-se apenas a fotões, não a partículas com massa.
- d) O comprimento de onda associado depende da carga da partícula, não da sua quantidade de movimento.
- e) Partículas com massa não podem manifestar difracção, independentemente do valor de λ .

Resposta:

b)