



Física 12.^o ano
Sexto teste — LASERs. Incerteza.
NIR. Computação Quântica

versão: 1,0

José Pedro do Amaral

12 de maio 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.

1. (5 pts.) Dois sistemas físicos (*c-ons*) consideram-se *independentes* quando:
- a) os dois sistemas têm carga eléctrica oposta.
 - b) os dois sistemas estão sempre em superposição.
 - c) conhecer o estado de um permite inferir com certeza o estado do outro.
 - d) os dois sistemas têm a mesma forma exterior.
 - e) conhecer o estado de um não fornece qualquer informação sobre o estado do outro.
2. (5 pts.) Numa cavidade óptica de um laser, a função dos espelhos é, essencialmente:
- a) proteger o operador da radiação intensa produzida pelo meio activo.
 - b) absorver os fótons emitidos espontaneamente para reduzir o ruído de fundo.
 - c) reflectir os fótons repetidamente através do meio activo, aumentando o número de eventos de emissão estimulada e amplificando a luz coerente.
 - d) gerar emissão térmica adicional que ajude a excitar o meio activo.
 - e) filtrar os comprimentos de onda indesejados, deixando passar apenas a frequência laser.
3. (5 pts.) Os primeiros computadores electrónicos do século XX e os teares de Jacquard do século XIX partilham, como método de inserção de programa ou de dados, o uso de:
- a) interruptores manuais accionados por operador a cada instrução.
 - b) leitura óptica de código de barras.
 - c) transmissão sem fios por ondas de rádio.
 - d) cartões perfurados.
 - e) discos rígidos magnéticos.
4. (5 pts.) A posição de um electrão é conhecida com incerteza $\Delta x = 1,0 \times 10^{-10}$ m. Pelo princípio de incerteza de Heisenberg, qual é a incerteza mínima na sua quantidade de movimento, $\Delta p_{\min}$?
- a) $3,31 \times 10^{-24}$ kg · m/s
 - b) $5,27 \times 10^{-19}$ kg · m/s
 - c) $2,63 \times 10^{-25}$ kg · m/s
 - d) $5,27 \times 10^{-25}$ kg · m/s
 - e) $1,05 \times 10^{-24}$ kg · m/s
5. (5 pts.) Num circuito electrónico, as três funções principais que um transistor (ou uma válvula termiónica) pode desempenhar são:
- a) leitura, escrita e apagamento de bits em memória.

- b) amplificação, comutação (interruptor electrónico) e modelação de sinal.
- c) condução de calor, isolamento eléctrico e transformação de impedância.
- d) emissão térmica, absorção atómica e dispersão de Compton.
- e) rectificação, multiplexação e armazenamento persistente.

6. (5 pts.) Um díodo laser semiconductor emite radiação com comprimento de onda $\lambda = 808$ nm. Qual é a energia, em electrão-volt, de um fotão dessa radiação?

- a) 24,5 eV
- b) 3,08 eV
- c) 1,54 eV
- d) $2,46 \times 10^{-19}$ eV
- e) 0,77 eV

7. (5 pts.) Qual destas portas quânticas (*quantum gates*), aplicada a um qubit no estado $|0\rangle$, produz uma superposição uniforme $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$?

- a) Hadamard (H).
- b) CNOT.
- c) X (NOT quântico).
- d) Toffoli.
- e) Z.

Constantes

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

$$|e| = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad 1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

Onda electromagnética e fotão

$$c = \lambda f, \quad E_\gamma = hf = \frac{hc}{\lambda}.$$

Potência óptica de um feixe

$$N_{\gamma/s} = \frac{P}{E_\gamma}, \quad I = \frac{P}{A}, \quad A = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2.$$

($N_{\gamma/s}$: fotões por segundo; I : irradiância; A : área da secção transversal do feixe de diâmetro d .)

Princípio de incerteza de Heisenberg

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}, \quad \Delta p_{\min} = \frac{\hbar}{2 \Delta x}.$$

Quantidade de movimento e energia cinética (regime não-relativista)

$$p = mv, \quad \Delta v = \frac{\Delta p}{m}, \quad K = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{p^2}{2m}.$$

Algoritmo de Grover — escala

$$\text{passos clássicos (média)} \sim \frac{N}{2}, \quad \text{passos de Grover} \sim \sqrt{N}, \quad \text{vantagem quântica} \sim \frac{N/2}{\sqrt{N}} = \frac{\sqrt{N}}{2}.$$

8. (20 pts.) Um electrão está confinado a uma região de dimensões atómicas, $\Delta x = 1,0 \times 10^{-10}$ m, da ordem de grandeza do raio do átomo de hidrogénio.
- a) Calcula a incerteza mínima na quantidade de movimento do electrão, $\Delta p_{\min}$.
 - b) Determina a incerteza correspondente na velocidade do electrão, $\Delta v_{\min}$.
 - c) Estima a energia cinética mínima do electrão, $K_{\min}$, em electrão-volt. (Sugestão: toma Δp como uma estimativa da quantidade de movimento típica do electrão e usa $K = p^2/2m_e$.)
 - d) Comenta o resultado da alínea c) à luz das energias típicas dos níveis ligados do átomo de hidrogénio (da ordem de algumas dezenas de eV em valor absoluto).

9. (20 pts.) Uma base de dados não ordenada contém N entradas. Procuramos a única entrada que satisfaz uma certa condição.
- a) Em computação clássica, qual é o número médio de passos necessários para encontrar a entrada correcta?
 - b) Indica, em função de N , o número aproximado de passos do algoritmo de Grover em computação quântica.
 - c) Para $N = 1,0 \times 10^6$, calcula o número médio de passos clássicos e o número aproximado de passos de Grover. Determina o factor de vantagem quântica (razão entre os dois) para este N .
 - d) Repete os cálculos da alínea anterior para $N = 1,0 \times 10^{12}$.
 - e) Identifica brevemente (até quatro linhas) qual a operação quântica subjacente à vantagem do algoritmo de Grover.

- 10.** (15 pts.) Um laser de hélio-néon (HeNe) emite luz vermelha coerente com comprimento de onda $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ e potência óptica $P = 1,5 \text{ mW}$. O feixe emergente tem secção transversal aproximadamente circular, com diâmetro $d = 1,0 \text{ mm}$.
- a) Calcula a energia, em joule e em electrão-volt, de um fóton da radiação emitida.
 - b) Determina a frequência da radiação.
 - c) Calcula o número médio de fótons emitidos por segundo pelo laser.
 - d) Determina a intensidade (irradiância) do feixe à saída, expressa em W/m^2 .

11. (2 pts.) As válvulas termiónicas, apesar de tecnologicamente ultrapassadas, mantêm-se em uso em alguns nichos. A razão habitualmente apontada é:
- a) terem um tempo de vida útil superior ao dos transístores de silício.
 - b) permitirem maior densidade de integração em circuitos digitais modernos.
 - c) consumirem menos energia eléctrica do que os transístores equivalentes.
 - d) serem mais resistentes a campos electromagnéticos intensos, próprios de ambientes industriais.
 - e) introduzirem distorções harmónicas suaves, consideradas «musicais», sendo apreciadas em amplificadores de guitarra e em áudio de alta-fidelidade.
12. (2 pts.) Quando se mede uma propriedade observável de um sistema quântico que se encontra numa superposição de estados, o resultado da medição:
- a) preserva integralmente a superposição original.
 - b) é sempre o mesmo, independentemente do estado quântico inicial.
 - c) é sempre nulo, por interferência destrutiva total entre as amplitudes.
 - d) é um valor único e definido; a função de onda colapsa nesse estado, perdendo-se a superposição anterior.
 - e) é a média ponderada de todos os valores possíveis presentes na superposição.
13. (2 pts.) Para que um sistema funcione efectivamente como laser (acção laser sustentada), é necessário que:
- a) ambos os espelhos da cavidade sejam totalmente reflectores.
 - b) a fonte de bombeamento seja, ela própria, outro laser de maior potência.
 - c) o meio activo se encontre à temperatura do zero absoluto.
 - d) haja inversão de população no meio activo e o ganho óptico supere as perdas da cavidade.
 - e) o meio activo seja sempre um cristal sólido (nunca um gás ou um semiconductor).
14. (2 pts.) A analogia entre um ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*) e um computador quântico actual baseia-se no facto de, em ambos:
- a) operarem a temperaturas próximas do zero absoluto.
 - b) a informação do problema estar incorporada na própria estrutura física do circuito (sequência de portas, oráculo), e não num programa carregado em memória separada.
 - c) ambos serem capazes de executar qualquer algoritmo clássico universal sem restrições.
 - d) possuírem internamente CPUs e GPUs, à semelhança dos computadores comuns.
 - e) serem ambos fisicamente reconfiguráveis em tempo real, instrução a instrução.

15. (2 pts.) O princípio de incerteza de Heisenberg estabelece que:

- a) deixa de ser válido a temperaturas próximas do zero absoluto.
- b) o princípio só se aplica a partículas com massa, não a fótons.
- c) o produto $\Delta x \cdot \Delta p$ tem um limite inferior intrínseco $\geq \hbar/2$, consequência da natureza ondulatória da matéria e não da qualidade dos instrumentos.
- d) o produto $\Delta x \cdot \Delta p$ pode ser tornado arbitrariamente pequeno através de melhorias tecnológicas dos instrumentos de medição.
- e) é uma manifestação macroscópica da segunda lei da termodinâmica.