# Quantização da Energia: Planck, Einstein e os Fotões

12.º Ano | Física | 4 páginas | 12 exercícios

**Competências que desenvolve:** Reconhecer, com base em pesquisa, o papel de Planck e de Einstein na introdução da quantização da energia e na teoria dos fotões, na origem da física quântica, e calcular a energia associada a cada pacote de radiação.

## Revisão rápida

- **Quantização:** a energia trocada não é contínua — vem em *porções* de tamanho fixo, o **quantum**: $E = hf = hc/\lambda$ ($h$ = 6,63 × 10⁻³⁴ J·s).
- **Planck (1900):** propôs que os osciladores de uma parede negra só emitiam e absorviam múltiplos inteiros de $hf$ — salvou a lei de Rayleigh–Jeans e abriu a porta.
- **Einstein (1905):** levou a ideia a sério para a *luz*: a radiação propaga-se em pacotes de energia $E = hf$ chamados **fótons** — é a explicação do efeito fotoelétrico.
- **Notação prática: 1 eV = 1,60 × 10⁻¹⁹ J** — unidade mais útil na atómica. Luz visível: 400–700 nm · 4,0–1,8 eV · 7,5–4,3 × 10¹⁴ Hz.

## Exercícios

**1. V/F — corrige as falsas: a) «A energia da luz varia de forma contínua.» ( ) b) «Um fóton de maior frequência tem mais energia.» ( ) c) «Planck foi quem propôs que a luz se propaga em pacotes.» ( ) d) «O valor de $h$ é o mesmo para toda a radiação.» ( )**

**2. Calcula a energia de um fóton de frequência 5,0 × 10¹⁴ Hz a) em joules b) em elétron-volts.**

**3. Pelo comprimento de onda: para luz de 500 nm (verde) calcula a) a frequência b) a energia em joules c) a energia em eV.**

**4. Conversão de unidades: a) expressa 3,0 eV em joules b) expressa 4,0 × 10⁻¹⁹ J em eV c) porque é que os eV facilitam o trabalho na física atómica?**

© 2026 Estudantices

5. Uma lâmpada de 100 W emite toda a sua potência em luz de 500 nm. a) que energia tem cada fóton? b) quantos fótons emite por segundo? c) porque é que esse número é tão grande?

6. Múltiplos de Planck: um oscilador só pode trocar energia em múltiplos de $hf$, com $f = 3{,}0 \times 10^{13}$ Hz. a) que energias são admissíveis? b) pode trocar 1,5 $hf$? c) e 7 $hf$? que valor é esse?

7. História e método: porque é que a hipótese de Planck foi considerada um «expediente» nos primeiros anos, e o que Einstein acrescentou ao defender que a quantização era da *luz* e não só dos osciladores?

8. Espectro do hidrogénio: a série de Balmer corresponde a transições para o nível $n = 2$, com comprimentos de onda de 656 · 486 · 434 e 410 nm. a) para que região do espetro pertencem? b) o que acontece à energia dos fótons ao passar do primeiro para o último?

© 2026 Estudantices

9. Comparação de radiações: ordena por energia crescente de fóton: micro-ondas (1 mm) · luz vermelha (700 nm) · luz violeta (400 nm) · raios X (0,10 nm). Justifica com $E = hc/\lambda$.

10. Duas fontes: uma laser azul de 10 mW e uma lâmpada vermelha de 100 W. a) que fótons têm mais energia? b) qual emite mais fótons por segundo? c) explica a aparente contradição.

11. Dimensão de $h$: deduz a unidade de $h$ a partir de $E = hf$ e confirma que a unidade de $E/\lambda$ é a de $hc/\lambda$.

12. Desdevolvimento. Explica o que significa dizer que a energia é quantizada, qual foi a anomalia experimental que obrigou Planck a propor a hipótese e porque é que essa proposta marca o início da física quântica.

© 2026 Estudantices

# Soluções — Quantização da Energia: Planck, Einstein e os Fotões

**1.** a) **F** — só aceita múltiplos inteiros de $hf$ b) **V** — $E = hf$ é diretamente proporcional c) **F** — foi **Einstein**; Planck quantizou os osciladores da parede negra d) **V** — $h$ é uma constante universal.

**2.** a) $E = hf = 6{,}63\times10^{-34}\times5{,}0\times10^{14} =$ **3,32 × 10⁻¹⁹ J** b) $E = 3{,}32\times10^{-19}/1{,}60\times10^{-19} =$ **2,07 eV**.

**3.** a) $f = c/\lambda = 3{,}0\times10^{8}/5{,}0\times10^{-7} =$ **6,0 × 10¹⁴ Hz** b) $E = hc/\lambda = 1{,}989\times10^{-25}/5{,}0\times10^{-7} =$ **3,98 × 10⁻¹⁹ J** c) **2,49 eV**.

**4.** a) $3{,}0\times1{,}60\times10^{-19} =$ **4,8 × 10⁻¹⁹ J** b) $4{,}0\times10^{-19}/1{,}60\times10^{-19} =$ **2,5 eV** c) porque as energias atómicas são da ordem de $10^{-19}J$ — em eV ficam números como 2 ou 5, fáceis de comparar e de registar numa tabela.

**5.** a) $E = 3{,}98\times10^{-19}J$ b) $N = P/E = 100/3{,}98\times10^{-19} =$ **2,5 × 10²⁰ fótons/s** c) porque cada fóton é minúsculo: para entregar 100 J por segundo é preciso um número enorme de pacotes — é a soma deles que dá a sensação de luz contínua.

**6.** a) $E_n = n\times6{,}63\times10^{-34}\times3{,}0\times10^{13} = n\times1{,}99\times10^{-20}J$, com $n$ = 1, 2, 3… b) **não** — $n$ tem de ser inteiro c) sim: $7hf =$ **1,39 × 10⁻¹⁹ J**.

**7.** (modelo) A hipótese parecia artificiosa porque nada na física clássica explicava porque é que um oscilador só podia trocar frações fixas de energia — não havia mecanismo, apenas um ajuste matemático que funcionava. Einstein deu-lhe corpo físico ao afirmar que a própria luz é granular: os fótons existem antes de qualquer oscilador, e a sua energia $hf$ é a que é observada no efeito fotoelétrico. Com isso, a quantização deixou de ser um truque de contabilidade e passou a ser uma propriedade da radiação — daí a decisão de o Nobel de 1921 ir para essa explicação.

**8.** a) todas entre 400 e 700 nm → **luz visível** (vermelho a violeta) b) o comprimento de onda diminui, logo a energia **aumenta**: de 656 nm (1,89 eV) para 410 nm (3,02 eV) — quanto maior o salto para $n$ = 2, maior a energia do fóton emitido.

**9.** Ordem crescente de energia: **micro-ondas (1 mm) < vermelho (700 nm) < violeta (400 nm) < raios X (0,10 nm)**. Como $E \propto 1/\lambda$, maior comprimento de onda significa menor energia — a diferença entre micro-ondas e raios X é de sete ordens de grandeza.

**10.** a) o **laser azul** ($\lambda$ menor → $f$ maior) b) a **lâmpada vermelha de 100 W**, de longe c) a potência mede energia *por segundo*, não energia *por fóton*: a lâmpada entrega muita mais energia no total, mas em fótons individuais de energia menor.

**11.** $[h] = [E]/[f] = J\cdot s$. Para $hc/\lambda$: $[J\cdot s][m/s]/[m] = J$ ✓ — a expressão devolve energia, como é exigido.

**12.** (modelo) Dizer que a energia é quantizada é dizer que só existem valores discretos numa sequência — como degraus, e não como rampa: um sistema pode estar com $hf$ ou $2hf$, mas nunca com $1{,}5hf$. Planck viu-se obrigado a propor isto porque a física clássica previa que um oscilador pudesse reter *qualquer* energia, o que levava ao colapso da lei de Rayleigh–Jeans no ultravioleta: os modos de alta frequência acumulavam energia sem limite (a «catástrofe ultravioleta»). Quantizá-los em $hf$ impediu essa acumulação e fez a previsão coincidir com o espetro medido. É por isso que 1900 é a data de nascimento da física quântica: um ajuste forçado, mas com consequências — e Einstein mostrou em 1905 que a quantização não era dos osciladores, mas da luz.

© 2026 Estudantices