Gravitação, Leis de Kepler e Velocidade de Escape

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

Competências que desenvolve: Interpretar as interações entre massas através da grandeza campo gravítico, aplicar a Lei da Gravitação Universal e o papel das Leis de Kepler e conservar a energia mecânica no campo gravítico para determinar a velocidade de escape, relacionando-a com a existência de atmosfera nos planetas.

Revisão rápida

- **Lei da Gravitação Universal:** $F = G \cdot m_1 m_2 / r^2$ (G = 6,67 × 10⁻¹¹ N·m²/kg²) — sempre *atrativa*, entre duas massas, depende só de $m_1 m_2 / r^2$.
- **Campo gravítico de uma massa pontual:** $g = GM/r^2$ — é a força por unidade de massa ($g = F/m$), direcionado para a massa. À superfície da Terra dá 9,8 m/s²; ao dobro do raio cai para **um quarto**.
- **Leis de Kepler:** (1) órbitas são elipses com o Sol num foco · (2) *raios-vetores varrem áreas iguais em tempos iguais* · (3) $T^2 \propto a^3$ — quanto maior o semi-eixo maior, mais demorado o ano.
- **Velocidade de escape:** $v_{esc} = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2gR)}$ — velocidade mínima para o corpo escapar *sem motor*, com energia cinética igual ao poço gravítico GMm/R. Só depende de M e R.

Exercícios

1. V/F — corrige as falsas: a) «A força gravítica é sempre repulsiva entre duas massas.» ( ) b) «Se a distância entre duas massas dobrar, a força gravítica fica com um quarto.» ( ) c) «O campo gravítico numa massa pontual é inversamente proporcional ao quadrado da distância.» ( ) d) «Um satélite mais afastado tem um período orbital menor.» ( )

2. Usando M_T = 5,97 × 10²⁴ kg e R_T = 6,37 × 10⁶ m, calcula o campo gravítico à superfície da Terra (G = 6,67 × 10⁻¹¹ N·m²/kg²) e compara com 9,8 m/s².

3. Com o mesmo dado, determina o campo gravítico a $2R_T$ do centro da Terra. Explica porque é que um astronauta na Estação Espacial (≈ 400 km de altitude) «não sente» gravidade.

4. Dois corpos de 100 kg estão a 1,0 m um do outro. a) calcula a força gravítica entre eles b) por que é que não se notam na vida quotidiana?

© 2026 Estudantices

5. 3.ª Lei de Kepler: a Terra demora 1 ano a rodear o Sol e Marte 1,88 anos. a) qual é o semi-eixo maior da órbita de Marte, em UA? b) o que se deduz sobre a posição relativa das duas órbitas? c) se um planeta tivesse 8 anos de período, qual seria o seu semi-eixo?

6. Velocidade de escape: calcula para a Terra, para a Lua (M = 7,35 × 10^{22} kg · R = 1,74 × 10^{6} m) e para Marte (M = 6,39 × 10^{23} kg · R = 3,39 × 10^{6} m). Comenta a ordem de grandeza de cada valor.

7. Satélite geoestacionário (período = 24 h = 86 164 s): a) calcula a distância ao centro da Terra b) calcula a sua velocidade orbital c) confirma que $v_{esc} = \sqrt{2} \cdot v_{orb}$.

8. Atmosferas dos planetas: a velocidade de escape da Terra é 11,2 km/s e a de Marte 5,0 km/s. a) porque é que a Lua não tem atmosfera? b) porque é que o hélio escapa da Terra e o azoto não? (relaciona a velocidade de escape com a velocidade térmica das moléculas)

9. Energia mecânica num campo gravítico: escreve a energia mecânica de um satélite de massa m em órbita de raio r e mostra porque é que ela é negativa. O que acontece a E quando r aumenta?

© 2026 Estudantices

10. Leis de Kepler — liga cada afirmação à lei correta: (1.ª · 2.ª · 3.ª) a) «Uma linha que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais» → __ b) «A órbita é uma elipse» → __ c) «T^2 é proporcional a a^3» → __ — de que lei é consequência a existência de satélites artificiais?

11. História e método: explica em 3 frases como as observações de Kepler permitiram a Newton enunciar a Lei da Gravitação Universal, e o que é que a lei de Newton acrescenta à de Kepler.

12. Desenvolvimento. Um foguete tem de atingir 11,2 km/s para escapar da Terra. Explica, pela conservação da energia mecânica, de onde vem essa expressão, porque é que ela não depende da massa do foguete e o que se perde ao abandonar a massa do propulsor.

© 2026 Estudantices

Soluções — Gravitação, Leis de Kepler e Velocidade de Escape

1. a) **F** — entre massas é sempre atrativa b) **V** — $F \propto 1/r^2$, logo ao dobro da distância resta 1/4 c) **V** — $g = GM/r^2$ d) **F** — pela 3.ª lei, quanto maior a órbita maior é T.

2. $g = GM/R^2 = (6{,}67\times10^{-11} \times 5{,}97\times10^{24}) / (6{,}37\times10^{6})^2 = 3{,}98\times10^{14} / 4{,}06\times10^{13} =$ **9,81 m/s²** ✓ — confirma o valor de referência.

3. A 2R: g cai para 1/4 → $9{,}81/4 =$ **2,45 m/s²** (na realidade, a 400 km fica ~8,7 m/s²). O astronauta não sente ausência de gravidade: está em **queda livre permanente** com o veículo — ambos aceleram a 8,7 m/s², e por isso tudo parece sem peso.

4. a) $F = 6{,}67\times10^{-11} \times 100 \times 100 / 1^2 =$ **6,67 × 10⁻⁷ N** b) porque G é minúsculo: a força é da ordem de um décimo de milionésimo de newton — invisível ao lado de atrito, elasticidade e correntes de ar.

5. a) $a^3 = T^2 \rightarrow a = (1{,}88^2)^{1/3} = 3{,}534^{1/3} =$ **1,52 UA** b) Marte está, em média, 1,52 vezes mais afastado do Sol do que a Terra c) $a = (8^2)^{1/3} = 64^{1/3} =$ **4,0 UA**.

6. $v_{esc} = \sqrt{(2GM/R)}$ → Terra **11,2 km/s** · Lua $\sqrt{(2 \times 6{,}67\times10^{-11} \times 7{,}35\times10^{22} / 1{,}74\times10^{6})} =$ **2,37 km/s** · Marte **5,0 km/s**. Quanto menor a massa e o raio, menor a energia que é preciso vencer — por isso a Lua nem sequer retém um invólucro gasoso.

7. a) $r = (GMT^2/4\pi^2)^{1/3} = (3{,}986\times10^{14} \times 7{,}424\times10^{9} / 39{,}48)^{1/3} =$ **42 150 km** (≈ 35 800 km de altitude) b) $v = \sqrt{(GM/r)} = \sqrt{(3{,}986\times10^{14} / 4{,}215\times10^{7})} =$ **3,07 km/s** c) $v_{esc} = \sqrt{2} \times 3{,}07 =$ **4,34 km/s** ✓ e, à mesma distância, $\sqrt{(2GM/r)}$ dá exatamente isso.

8. a) a Lua tem $v_{esc} \approx 2{,}4\ km/s$, e a energia solar mantém as moléculas leves em movimento rápido — escapam todas, e nunca se formou atmosfera b) à temperatura ambiente, o hélio (massa 4 u) tem velocidade térmica muito superior à do azoto (28 u); como v_{esc} da Terra é finita, as moléculas mais ligeiras ultrapassam-na e perdem-se — é por isso que a Terra envelhece em hélio.

9. $E = E_c + U = \tfrac{1}{2}mv^2 - GMm/r$, e como $\tfrac{1}{2}mv^2 = GMm/2r$ em órbita, vem $\boldsymbol{E = -GMm/2r}$. É negativa porque *escolhemos* zero de energia no infinito — significa que o corpo está **ligado** e é preciso fornecer energia o para libertar. Quando r aumenta, $|E|$ diminui, ou seja E **aumenta** (torna-se menos negativo).

10. a) **2.ª lei** b) **1.ª lei** c) **3.ª lei**. A existência de satélites artificiais é consequência da **3.ª lei** — permite calcular o raio de uma órbita a partir do período pretendido (é como se calculou a órbita geoestacionária).

11. (modelo) Kepler mediu durante décadas a posição de Marte e enunciou leis *descritivas*: dizem *como* os planetas se movem, mas não *porquê*. Newton assumiu que a mesma força que faz cair uma maçã governa as órbitas e, combinando-a com $F = ma$ em movimento circular, deduziu $F = GMm/r^2$. A lei de Newton **explica e generaliza** as de Kepler: de $T^2 \propto a^3$ para o caso particular de órbitas quase circulares, deduz-se a 3.ª lei — e passa a servir para qualquer par de massas, não só para planetas em volta do Sol.

12. (modelo) No lançamento, a energia mecânica tem de passar de $-GMm/R$ (no solo) a 0 (no infinito, em repouso), logo é preciso $\Delta E = +GMm/R$ — igual à energia cinética mínima, $\tfrac{1}{2}mv_{esc}^2$. Igualando, $\tfrac{1}{2}mv_{esc}^2 = GMm/R$ e a **massa cancela-se**: $v_{esc} = \sqrt{(2GM/R)}$, um valor que depende só do planeta. O propulsor é abandonado porque a aceleração final depende da **razão entre as massas** final e inicial (equação dos foguetes): largar combustível queimado é largar massa morta, mas obriga a carregar tudo o que se vai perder no caminho.

© 2026 Estudantices