

Ficha — Gravitação Universal, movimento circular e satélites

11.º Ano

Física e Química A

4 páginas

12 exercícios

Objetivo: Aplicar a **Lei da Gravitação Universal** e a **Lei Fundamental da Dinâmica** ao movimento circular uniforme de **satélites**, explicar porque é que a órbita é «queda contínua», relacionar velocidade e período com o raio da órbita e enquadrar a exploração espacial no seu contexto histórico e tecnológico.

Revisão rápida

Lei da Gravitação Universal (Newton, *Principia*, 1687) — toda a massa atrai toda a massa:

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2 \quad \cdot \quad G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2 \text{ (medido por Cavendish, 1798)}$$

r = distância entre os **centros** · a força é **mútua** (par) · $f \propto 1/r^2$; dobrar a distância → força a $1/4$.

Peso na superfície: $P = m \cdot g$ com $g = G \cdot M_T / R_T^2 \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ — a **massa é constante**, o peso (força) depende do planeta. Na Lua, $g \approx 1,6 \text{ m/s}^2$.

MCU (satélite): a direção da velocidade muda sempre → há **aceleração centrípeta** $a = v^2/r$, na direção do centro — gerada pela gravidade. Igualando LGT e LFD:

$$G \cdot M \cdot m / r^2 = m \cdot v^2 / r \rightarrow v = \sqrt{(G \cdot M / r)} \quad \cdot \quad T = 2\pi r / v \rightarrow T^2 \propto r^3 \text{ (Kepler-3)}$$

Consequências: órbita mais alta → **v menor e T maior**. $GM_T \approx 3,98 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$; na superfície $v \approx 7,9 \text{ km/s}$ (1.ª velocidade cósmica); a ISS (~400 km) faz a volta em $\approx 92 \text{ min}$ a $\approx 7,7 \text{ km/s}$.

Órbita = queda contínua: o satélite cai, mas tem tanta velocidade horizontal que «foge» à curvatura da Terra — microgravidade é **queda livre**, não ausência de gravidade (a $\approx 8,7 \text{ m/s}^2$ a 400 km).

Estratégia: escrever LGT e LFD → igualar (m cancela-se) → isolar v → conferir unidades e ordens de grandeza.

Exercícios

1. Completar: a Lei da Gravitação Universal é $F = \underline{\hspace{2cm}}$; a constante G vale $\underline{\hspace{2cm}}$ e foi medida experimentalmente por $\underline{\hspace{2cm}}$ em 1798. A « r » na fórmula é a distância entre $\underline{\hspace{2cm}}$. Quem propôs a lei e em que obra/ano?

2. Calcula a força gravítica entre dois corpos de 100 kg e 200 kg separados por 2 m. O que este valor minúsculo revela sobre a gravidade à escala humana? Se a distância passasse para 4 m, que força terias?

3. Um astronauta tem 72 kg. (a) Qual é o seu peso na Terra e na Lua ($g = 1,6 \text{ m/s}^2$)? (b) Porque é que a massa se mantém e o peso não? (c) Num sistema de molas e numa balança de braço, o que mudaria na Lua?

4. Mostra que a aceleração da gravidade $a = G \cdot M / r^2$ não depende da massa do corpo que cai — repetindo o truque algébrico da queda livre ($P = m \cdot g$ e $F = m \cdot a$).

5. MCU: um satélite descreve um círculo a velocidade constante. Porque é que o movimento é variado mesmo com o velocímetro constante? Indica o que muda (módulo, direção, sentido) e a direção da aceleração e da resultante.

6. Deduz a velocidade do satélite: iguala $G \cdot M \cdot m / r^2$ (LGT) a $m \cdot v^2 / r$ (LFD no MCU) e isola v . Conclui: se o raio da órbita dobrar, o que acontece a v ?

7. Calcula a velocidade de um satélite na órbita mais baixa possível ($r \approx R_T = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$, $GM = 3,98 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$) — a 1.ª velocidade cósmica. Confirma que fica perto de 7,9 km/s.

8. Período e raio: a ISS orbita a $\approx 400 \text{ km}$ ($v \approx 7,7 \text{ km/s}$). (a) Usa $T = 2\pi r / v$ para estimar o período em minutos ($r \approx 6,77 \times 10^6 \text{ m}$) — confirma $\approx 92 \text{ min}$. (b) Se um satélite tripasse o raio da órbita, em que fator aumentaria T ? (Kepler-3: $T^2 \propto r^3$)

9. Microgravidade: a bordo da ISS diz-se que os astronautas estão «sem peso». (a) Explica porquê usando o conceito de queda livre contínua. (b) Calcula g a 400 km ($g \approx 9,8 \cdot (6371/6771)^2$) e refuta a ideia de que «ali não há gravidade».

10. Exploração espacial (pesquisa): apresenta três marcos com data (ex.: Sputnik, Gagarin, Apollo 11) e um avanço tecnológico atual (sondas robóticas, observatórios, comunicações) — porque é que a exploração é interdisciplinar?

11. Comparação gravitacional: (a) Um planeta duplica a massa e mantém o raio — como muda g ? (b) Outro tem raio triplo (mesma densidade média) — como muda g ? (c) Explica porque é que um satélite «pesa» (quase) o mesmo à superfície e a 400 km, mas a sua órbita exige 7,7 km/s.

12. Síntese histórica: diz a lenda que Newton pensou na queda da maçã ao ver uma árvore. Com base na LGT e na órbita da Lua, explica a unificação que isso ilustra: o que cai na Terra e o que orbita à volta dela seguem a mesma lei? O que isso mudou na forma de ver o céu (caráter provisório do conhecimento — Kepler → Newton →...)?

Soluções — Gravitação Universal e satélites

11.º Ano

Física e Química A

Resolução completa

1. $F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$ · $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ · Cavendish (1798) · entre os **centros** das massas. Proposta por **Isaac Newton**, *Principia*, **1687**.

2. $F = 6,67 \times 10^{-11} \cdot (100 \cdot 200) / 2^2 = 6,67 \times 10^{-11} \cdot 5000 \approx 3,3 \times 10^{-7} \text{ N}$ — força minúscula: a gravidade é a **mais fraca das quatro interações**; só «pesa» (nota: a 4 m, r dobra → F fica a $1/4$; $\approx 8,3 \times 10^{-8} \text{ N}$).

3. (a) Terra: $P = 72 \cdot 9,8 = 705,6 \text{ N}$ ($\approx 706 \text{ N}$) · Lua: $P = 72 \cdot 1,6 \approx 115 \text{ N}$. (b) A **massa** é a quantidade de matéria (não muda de planeta); o **peso** é a **força** com que o planeta atrai essa massa — depende de g . (c) A **balança de molas** mede a força (peso) → marcaria $1/6$ ($\approx 115 \text{ N}$); a **balança de braço** compara massas com pesos-padrão à mesma gravidade → continuaria a indicar **72 kg**. Força muda, massa não.

4. Peso: $P = m \cdot g$; pela LGT o corpo é atraído com $F = G \cdot M_T \cdot m / r^2$. 2.ª lei: $F = m \cdot a \rightarrow m \cdot a = G \cdot M_T \cdot m / r^2 \rightarrow$ **a cancela-se** → $a = G \cdot M_T / r^2$. Todos os corpos caem com o mesmo a — **independe da massa** (a força sim, é proporcional a m ; a resistência do ar é que quebra o padrão).

5. O **módulo** mantém-se, mas a **direção** muda continuamente → a velocidade (vetor) varia → há **aceleração centrípeta** $a = v^2 / r$, dirigida ao **centro** (perpendicular a v). A resultante é essa aceleração: gerada pela gravidade, que é precisamente a força necessária para «curvar» a trajetória — sem ela, o satélite seguiria em linha reta.

6. $G \cdot M \cdot m / r^2 = m \cdot v^2 / r \rightarrow m$ cancela-se, um r cancela-se: $v^2 = G \cdot M / r \rightarrow v = \sqrt{G \cdot M / r}$. r dobra → v passa a $\sqrt{1/2} \approx 0,71$ do valor — **diminui**: órbitas mais altas são mais «lentas».

7. $v = \sqrt{(3,98 \times 10^{14} / 6,37 \times 10^6)} = \sqrt{(6,25 \times 10^7)} \approx 7\,900 \text{ m/s} \approx 7,9 \text{ km/s}$ ✓ — é a **1.ª velocidade cósmica** (mínima para orbitar na superfície; a 2.ª $\approx 11,2 \text{ km/s}$ escaparia à gravidade — vetor de lançamento).

8. (a) $T = 2\pi \cdot 6,77 \times 10^6 / 7\,700 \approx 5\,540 \text{ s} \approx 92 \text{ min}$ ✓ (≈ 16 voltas/dia). (b) $T^2 \propto r^3 \rightarrow r$ triplica → $T = 3^{2/3} \approx 2,08$ vezes maior (na verdade, $\times \sqrt[3]{27} \approx 3$).

9. (a) Astronauta e estação estão ambos em **queda livre** com o mesmo a → nenhum «apóia» no outro → sensação de sem-peso (é o princípio da balança de Einstein; não há parede a empurrar-nos para a balança). (b) $g = 9,8 \cdot (6371/6771)^2 \approx 9,8 \cdot 0,885 \approx 8,7 \text{ m/s}^2$ — gravidade a 88 % da superfície! A microgravidade é **queda livre contínua**, não ausência de gravidade.

10. Três de: **Sputnik 1 (1957)** — 1.º artificial · **Iuri Gagarin (1961)** — 1.º homem no espaço · **Apollo 11 (1969)** — 1.ª alunissagem · Mir (1986) / ISS (1998–) · sondas (Voyager, rovers em Marte). Avanço atual: comunicações por satélite/GPS, observatórios (James Webb), microgravidade para materiais/medicina. É interdisciplinar porque exige **física** (órbitas, combustão), **engenharia** (materiais, controlo), **biologia/medicina** (efeitos da microgravidade) e **computação** (navegação e dados).

11. (a) $g \propto M \rightarrow g$ dobra. (b) $g \propto 1/r^2 \rightarrow r$ triplica → g fica a $1/9$. (c) A 400 km, g só cai de 9,8 para $\approx 8,7$ — o «peso» quase não muda; o que muda é que a órbita exige **v de 7,7 km/s** para o satélite estar em **queda livre contínuo** (estar em órbita $\neq$ estar apoiado — a balança só marcaria se houvesse superfície a empurrar).

12. A **maçã** e a **Lua** são atraídas pela Terra com a **mesma lei** ($F = G \cdot M \cdot m / r^2$): a maçã cai porque a Terra a atrai e a Lua «cai» continuamente — mas com tanta velocidade lateral que a Terra curva-se na mesma taxa que ela cai (queda contínua). Antes: céu $\neq$ Terra (Aristóteles); **Kepler** descreveu as órbitas (leis empíricas, 1609–1619); **Newton explicou-as** com uma lei única (1687); mais tarde a relatividade refinou-a. É o exemplo clássico do **caráter provisório do conhecimento**: cada modelo é o melhor do seu tempo e é ultrapassado por observações e matemática melhores.

Nota: quatro blocos — LGT e constante G · peso vs massa · MCU de satélites (v , T , r) · queda contínua + exploração espacial. Fecha o Organizador 1 (Mecânica) com as fichas 1–2.