GUÍA DOCENTE · SIMULACIENCIA

Guía docente: simulación de órbitas e gravitación

Ficha rápida

A simulación reúne catro escenarios de mecánica orbital: a bala de canón de Newton, o Sistema Solar, as leis de Kepler e as estrelas binarias. En Galicia o seu uso principal é en 2.º de Bacharelato Física, con aplicacións en 1.º de Bacharelato e en 2.º e 4.º de ESO.

Dato	Detalle
Ligazón	simulaciencia.es/gl/simulacions/orbitas/
Cursos	2.º de Bacharelato Física (uso principal), 1.º de Bacharelato, 4.º de ESO, 2.º de ESO
Materia	Física e Química; Física de 2.º de Bacharelato
Duración orientativa	15–20 minutos de explicación coa simulación proxectada
Material	Proxector ou encerado dixital; funciona no navegador, tamén no móbil e na tableta, sen instalar nada. En pantallas estreitas o lenzo pasa arriba e os controis debaixo; para explicar é mellor unha pantalla grande
Coñecementos previos	Velocidade e forza; o peso como atracción da Terra. En Bacharelato, vectores e enerxía mecánica
Accesibilidade	Só tema escuro. No modo de Newton hai atallos de teclado: Intro dispara, Espazo pausa e R reinicia

Como funciona a simulación

O despregable da parte de arriba do panel esquerdo escolle o modo: «Bala de canón de Newton», «Sistema Solar», «Leis de Kepler» ou «Estrelas binarias». Todos teñen os botóns «⏸ Pausa» e «↺ Reiniciar» e unha fila «Velocidade» que acelera o tempo.

Modo	Que controla o docente	Que mostra
Bala de canón de Newton	Control «Velocidade inicial» de 0,58 a 12,65 km/s (empeza en 6,90 km/s). Botóns «Vc ≈ 6,89 km/s» e «Ve ≈ 9,75 km/s», «▶ Disparar» e velocidade 1×, 2×, 4×	A bala sae en horizontal desde unha montaña a 2017 km de altura. Deixa estela e o panel «Estado orbital» calcula a traxectoria
Sistema Solar	Clic nun planeta da lista «Planetas», velocidade 1×, 3×, 8×, 20× e zoom (−, 1:1, +)	Oito planetas en órbitas circulares. Ao escoller un, a lista dá T^2/a^3 e o lenzo mostra a (en AU) e T (en anos)
Leis de Kepler	Botóns «1.ª lei», «2.ª lei», «3.ª lei». Controis «Semieixo maior (a)» de 0,40 a 1,30 e «Excentricidade (e)» de 0,00 a 0,90 (empezan en 1,00 e 0,50)	Un corpo en órbita elíptica co Sol nun foco. Segundo a lei: raio vector, focos, perihelio e afelio, ou o cociente T^2/a^3
Estrelas binarias	«Estrela 1 (laranxa)» e «Estrela 2 (azul)» de 0,5 a 5,0 $M_\odot$ (empezan en 2,0 e 1,0) e «Separación» de 0,8 a 3,0 (empeza en 1,6)	Dúas estrelas en órbita circular arredor do centro de masas (cruz verde «CM»). Abaixo, Ec, Ep e E do sistema

Catro elementos sosteñen a explicación:

- **O panel «Estado orbital».** Durante o voo da bala dá Velocidade, Altitude, Traxectoria, Enerxía ε, Perixeo, Apoxeo, Período e número de órbitas. A traxectoria clasifícase en «Suborbital», «Órbita

circular», «Órbita elíptica» ou «Vel. de escape».

- **As marcas Vc e Ve.** O control marca a velocidade circular e a de escape. Os dous botóns fíxanas cun clic: deixan 6,90 km/s e 9,78 km/s, polo redondeo do control.
- **Os marcadores do debuxo.** Na órbita da bala, un punto amarelo marca o perixeo e un azul o apoxeo. Un círculo verde descontinuo é a órbita circular de referencia.
- **As cifras do lenzo.** En Kepler aparecen r, a e T^2/a^3. Nas binarias, a liña inferior dá Ec, Ep e E, que se conserva.

Cada modo ten unha tarxeta despregable, pechada ao entrar: «Experimento mental de Newton», «Lei de Kepler III ($T^2 \propto a^3$)», «As 3 leis de Kepler» e «Centro de masas e sistemas binarios». Resumen a teoría de cada escenario.

Uso en cada curso

En 2.º de ESO a simulación introduce a gravitación como unha das forzas da natureza. En 4.º de ESO traballa a lei da gravitación universal, o peso e a enerxía mecánica. En 1.º de Bacharelato serve para o movemento circular, o tiro horizontal e a enerxía potencial. En 2.º de Bacharelato Física cobre o campo gravitacional, as órbitas e as leis de Kepler. Os contidos e os criterios de avaliación citados son os do currículo de Galicia (Decreto 156/2022, DOG do 26 de setembro de 2022, para ESO; Decreto 157/2022, da mesma data, para Bacharelato), que organiza cada curso en bloques.

En Galicia os fenómenos gravitatorios e as leis de Newton están en 2.º de ESO; o 3.º de ESO non ten bloque de interacción. Por iso a introdución á gravitación vai en 2.º.

2.º de ESO: introdución á gravitación

13–14 anos · 8th grade nos EUA · Year 9 no Reino Unido

Contidos. Bloque 4: «Fenómenos gravitatorios, eléctricos e magnéticos: experimentos sinxelos que evidencian a relación coas forzas da natureza» e «Aplicación das leis de Newton: observación de situacións cotiás ou de laboratorio que permiten entender como se comportan os sistemas materiais ante a acción das forzas e predicir os efectos destas...».

Criterios de avaliación. CA4.1 (identificar, comprender e explicar fenómenos cotiáns relacionados cos movementos e coas forzas) e CA4.4 (empregar as metodoloxías da ciencia na identificación e descrición de fenómenos relacionados cos movementos e as forzas).

Obxectivos. Entender que a gravidade que fai caer os obxectos é a mesma que mantén a Lúa e os planetas en órbita. Relacionar a velocidade de lanzamento coa traxectoria. Recoñecer que a atracción gravitatoria é mutua.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo Bala de canón. Poñer o control en 3,45 km/s e premer «▶ Disparar». A bala cae a pouca distancia e o panel di «Impacto coa Terra». Preguntar por que cae.
2. Subir a 5,75 km/s e disparar. A bala cae moito máis lonxe. Preguntar que pasaría se fose aínda máis rápida.
3. Premer «Vc ≈ 6,89 km/s» e disparar. A bala dá voltas sen tocar o chan: «Órbita circular». Explicar que segue caendo, pero a Terra cúrvase ao mesmo ritmo.
4. Abrir a tarxeta «Experimento mental de Newton» e lela. Concluír que a forza que fai caer unha mazá é a que mantén un satélite en órbita.

5. Modo Sistema Solar a 1×. Sinalar que a Terra dá unha volta en algo máis de 1 s e Neptuno tarda máis de 3 min. Canto máis lonxe do Sol, máis lenta é a órbita.
6. Pechar con Estrelas binarias: as dúas estrelas móvense. A atracción gravitatoria é mutua, non só «do grande sobre o pequeno».

4.º de ESO: gravitación universal, peso e enerxía mecánica

15–16 anos · 10th grade nos EUA · Year 11 no Reino Unido

Contidos. Bloque 4: «Lei da gravitación universal: atracción entre os corpos que compoñen o universo. Concepto de peso», «Principais forzas da contorna cotiá, recoñecemento do peso, a normal, o rozamento, a tensión ou o empuxe...» e «Predición e comprobación [...] utilizando ecuacións e gráficas da variación das principais magnitudes que describen o movemento dun corpo...». Bloque 3: «A enerxía: formulación e comprobación de hipóteses sobre as distintas formas de enerxía e aplicacións a partir das súas propiedades e do principio de conservación, como base para a experimentación e a resolución de problemas relacionados coa enerxía mecánica en situacións cotiás».

Criterios de avaliación. CA4.1 (comprender e explicar con rigor fenómenos cotiáns relacionados co movemento e coas forzas), CA4.2 (resolver problemas sobre o movemento e as forzas, expresando os resultados con corrección e precisión) e CA3.2 (resolver problemas sobre a enerxía e os seus procesos de intercambio).

O currículo galego non nomea o movemento circular uniforme; entra ao describir «as principais magnitudes que describen o movemento dun corpo».

Obxectivos. Identificar o peso como a forza que curva a traxectoria dun satélite. Describir unha órbita circular como un movemento circular uniforme. Explicar coa enerxía mecánica por que o satélite acelera ao achegarse á Terra.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo Bala de canón co valor inicial, 6,90 km/s. Disparar. O panel marca «Órbita circular» con velocidade constante e «Período» de 127,9 min. É un movemento circular uniforme.
2. Preguntar que forza actúa sobre a bala. Só o seu peso. A 2017 km de altura vale $g = 9{,}8 \times (6371 / 8388)^2 \approx 5{,}7$ m/s². Non hai «ingravidez» por falta de gravidade.
3. Reiniciar con 8,05 km/s e disparar: «Órbita elíptica». A velocidade baixa ata uns 3,75 km/s no apoxeo (11 642 km de altitude) e volve subir.
4. Sinalar que «Enerxía ε» queda fixa en −15,1 km²/s² durante toda a volta. Ao subir, a enerxía cinética convértese en potencial e, ao baixar, ocorre o contrario.
5. Probar 10,35 km/s. A enerxía sae positiva (+6,1 km²/s²) e o panel remata en «Escape gravitatorio». A bala xa non volve.

1.º de Bacharelato: movemento circular, tiro horizontal e enerxía potencial

16–17 anos · 11th grade nos EUA · Year 12 no Reino Unido

Contidos. Bloque 5: «Variables cinemáticas que interveñen nun movemento rectilíneo e circular: magnitudes e unidades empregadas...» e «Expresión da traxectoria dun movemento composto en función das magnitudes que o describen». Bloque 6: «Relación da mecánica vectorial aplicada sobre unha partícula ou un sólido ríxido co seu estado de repouso ou de movemento...». Bloque 7: «Enerxía potencial e enerxía cinética dun sistema sinxelo: aplicación á conservación da enerxía mecánica en sistemas conservativos e non conservativos...».

Criterios de avaliación. CA5.2 (resolver problemas sobre movementos aplicando os conceptos da cinemática), CA6.1 (aplicar as leis da dinámica newtoniana e os seus teoremas de conservación na análise do movemento dos corpos) e CA7.2 (resolver problemas sobre transferencia de enerxía mecánica aplicando o teorema de conservación).

O currículo galego de 1.º non nomea a forza centrípeta nin a enerxía potencial gravitatoria −GMm/r; a secuencia preséntaas como paso cara ao campo gravitacional de 2.º.

Obxectivos. Deducir a velocidade orbital igualando o peso á forza centrípeta. Ver o tiro horizontal como caso límite dunha órbita. Usar Ep = −GMm/r cando mgh deixa de valer. Introducir a velocidade de escape.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Modo Bala de canón con 0,58 km/s, o mínimo do control. A bala sae en horizontal e describe un arco ata o chan, como un tiro horizontal. Explicar que a parábola é a aproximación con g uniforme.
2. Escribir a condición de órbita circular: $GMm/r^2 = mv^2/r$, logo $v = \sqrt{(GM/r)}$. Con $GM = 3{,}986 \cdot 10^5$ km³/s² e r = 8388 km sae 6,89 km/s, o valor do botón «Vc».
3. Premer «Vc», disparar e ler o período. Con $T = 2\pi r/v$ sae 7646 s ≈ 127,4 min. O panel dá 127,9 min porque o control deixa 6,90 km/s.
4. Reiniciar con 8,05 km/s. A enerxía ε mantense en −15,1 km²/s² mentres a altitude cambia en 9600 km. Explicar que con eses cambios de altura mgh non serve e hai que usar −GMm/r.
5. Premer «Ve ≈ 9,75 km/s» e disparar. Mostrar que $Ve = \sqrt{2} \cdot Vc$ e que con enerxía ε positiva a bala escapa.

2.º de Bacharelato (Física): campo gravitacional e leis de Kepler

17–18 anos · 12th grade nos EUA · Year 13 no Reino Unido

Contidos. Bloque 2, «Campo gravitacional»: «Gravitación universal. [...] – Momento angular dun obxecto nun campo gravitacional: cálculo, relación coas forzas centrais e aplicación da súa conservación no estudo do seu movemento» e «Órbitas gravitacionais e Universo. – Leis que se verifican no movemento planetario e extrapolación ao movemento de satélites e corpos celestes. – Enerxía mecánica dun obxecto sometido a un campo gravitacional: tipo de órbita que posúe, cálculo do traballo ou os balances enerxéticos existentes en desprazamentos entre distintas posicións, así como en cambios das súas velocidades e tipos de traxectorias...».

Criterios de avaliación. CA2.2 (resolver problemas de gravitación newtoniana de maneira analítica e experimental virtual) e CA2.3 (analizar e comprender a evolución dos sistemas de corpos en interacción gravitacional).

Obxectivos. Clasificar as traxectorias polo signo da enerxía mecánica. Relacionar a segunda lei de Kepler coa conservación do momento angular. Comprobar a terceira lei e a súa dependencia da masa central. Describir un sistema de dous corpos arredor do seu centro de masas.

Secuencia de explicación (15–20 min).

1. Bala de canón con «Vc» (6,90 km/s). O panel dá ε = −23,7 km²/s², case −GM/2r = −23,8 km²/s². Reiniciar con 8,05 km/s: ε = −15,1 km²/s² e a = −GM/2ε ≈ 13 200 km. É a media das distancias ao centro no perixeo e no apoxeo.
2. Buscar o limiar de escape. Con 9,66 km/s, ε = −0,8 km²/s²: o panel indica «Órbita elíptica» cun apoxeo duns 464 000 km. Con 9,78 km/s, ε = +0,3 km²/s² e a bala escapa.

3. Modo Leis de Kepler, «1.ª lei». Mover a excentricidade de 0,00 a 0,90. O Sol queda nun foco e o outro foco está baleiro. Perihelio a(1 − e) e afelio a(1 + e).
4. «2.ª lei» con e = 0,90 a 1×. O corpo pasa polo perihelio 19 veces máis rápido que polo afelio, porque r·v se conserva: (1 + e)/(1 − e) = 19. O sector amarelo é a área varrida no último instante: estreito e longo no afelio, ancho e curto no perihelio, coa mesma área.
5. «3.ª lei» e mover a de 0,40 a 1,30. T pasa de 1,590 a 9,313, pero T^2/a^3 queda en 39,48 = $4\pi^2/GM$, con GM = 1. Cambiar e: o período non varía.
6. Estrelas binarias cos valores iniciais. As estrelas xiran en raios 0,53 e 1,07, en razón inversa ás súas masas. Abaixo lese Ec = 0,625, Ep = −1,250 e E = −0,625. En órbita circular Ec = −E = −Ep/2.

Concepcións alternativas que axuda a corrixir

A simulación ataca sobre todo a idea de que en órbita non hai gravidade e a imaxe de órbitas moi alongadas a velocidade constante. Cada fila indica a idea previa frecuente e como desmontala coa simulación.

Idea do alumnado	Idea correcta	Como mostralo
«En órbita non hai gravidade»	O satélite está en caída libre continua; a 2017 km de altura g aínda vale uns 5,7 m/s²	Bala de canón con «Vc»: a bala cae sempre cara á Terra, pero nunca chega ao chan
«Para seguir en órbita fai falta unha forza cara adiante»	Só actúa a gravidade, dirixida ao centro; a velocidade tanxente mantense por inercia	Bala de canón con «Vc»: a frecha da velocidade é tanxente e non hai motor. A bala dá voltas sen parar
«Se se lanza máis rápido, cae máis lonxe pero sempre acaba caendo»	Por riba dun limiar a bala orbita, e con enerxía positiva escapa	Bala de canón con 5,75 km/s (impacto), 6,90 km/s (órbita) e 10,35 km/s (escape)
«As órbitas dos planetas son elipses moi alongadas»	Case todas son case circulares; a da Terra ten e ≈ 0,017	Leis de Kepler, «1.ª lei», con e = 0,02: o raio vector r só varía entre 0,98 e 1,02
«O Sol está no centro da órbita»	O Sol ocupa un dos focos; o centro da elipse está baleiro	«1.ª lei» con e = 0,50: o Sol está nun foco e o outro foco vese baleiro
«Un planeta vai sempre á mesma velocidade»	Vai máis rápido preto do Sol e máis lento lonxe	«2.ª lei» con e = 0,90 a 1×: o corpo pasa polo perihelio 19 veces máis rápido que polo afelio
«Nunha parella de estrelas a grande está quieta e a pequena xira»	As dúas xiran arredor do centro de masas	Binarias con 2,0 e 1,0 M☉: raios 0,53 e 1,07. Con 5,0 e 0,5 M☉ a grande apenas se move, coma o Sol

Simplificacións que convén coñecer

A simulación prioriza que se vexan as ideas clave e para iso comprime escalas e usa unidades normalizadas. Convén coñecer estas licenzas para non reforzar ideas incorrectas sen querer.

1. **Unha montaña de 2017 km.** A Terra mide 120 px a 53,1 km/px e a montaña 38 px. Así a bala sae a 8388 km do centro. Non hai atmosfera, rozamento nin rotación terrestre. Convén dicilo: un canón real a rente do chan necesitaría uns 7,9 km/s.
2. **«Órbita circular» con marxe.** Antes de disparar, a etiqueta do control di «Suborbital» por debaixo da velocidade mínima que evita o choque (uns 6,40 km/s), «Vel. de escape» desde a velocidade de

escape exacta e «Órbita circular» entre 0,97·Vc e 1,03·Vc, aínda que esas órbitas son lixeiramente elípticas. O panel «Estado orbital» dá a clasificación exacta durante o voo.

3. **Tempo acelerado.** A 1× cada segundo real son 1500 s de voo. A órbita circular de 127,9 min dura uns 5 s en pantalla.
4. **Sistema Solar con distancias comprimidas no debuxo.** As órbitas son circulares e uniformes. Mercurio, Venus, a Terra e Marte debúxanse á súa distancia real; Xúpiter, Saturno, Urano e Neptuno, a 3,20, 4,40, 5,50 e 6,50 UA en vez de 5,20, 9,54, 19,19 e 30,07, para que caiban. A tarxeta de Kepler avísao.
5. **Os datos si son reais.** A lista e a etiqueta do planeta usan o semieixo e o período reais, así que T^2/a^3 dá entre 0,999 e 1,001 para os oito planetas. A terceira lei pódese comprobar con todos, pero non medindo distancias na pantalla.
6. **Saltos a velocidades altas.** No Sistema Solar, a 20× cada fotograma avanza 0,27 anos. Mercurio dá máis dunha volta por fotograma e parece moverse amodo ou ao revés. En Kepler con e = 0,90 convén usar 1×, porque o corpo salta no perihelio.
7. **Kepler en unidades normalizadas.** GM vale 1, así que T^2/a^3 sae 39,48 ($4\pi^2$), non 1 como con anos e UA. O Sol está fixo, coma se tivese masa infinita. O sombreado da «2.ª lei» é a área varrida nos últimos 40 fotogramas, a mesma en toda a órbita; non se pode comparar cun sector doutra volta porque só se ve o último.
8. **Binarias só circulares e sen unidades reais.** Cada cambio de control reinicia unha órbita circular; non hai binarias excéntricas. As masas din $M_\odot$, pero G vale 1 e a separación e as enerxías non teñen unidades. O tamaño das estrelas crece coa masa sen escala real.
9. **A estrela lixeira pode saírse.** Con separación 3,0 e masas 5,0 e 0,5 $M_\odot$, a lixeira xira a 2,73 unidades do centro de masas. A pantalla só mostra unhas 2,27 unidades cara a cada lado. Para proxectar, reducir a separación ou achegar as dúas masas.

Ficha de actividades do alumnado

A ficha de actividades segue o esquema predí, observa e explica. Cada actividade leva unha ligazón á simulación xa preparada, así que funciona na aula de informática, con tabletas ou como tarefa na casa. Descárgase en Word e LibreOffice para adaptala.

Curso	Actividades	Duración orientativa
2.º de ESO	Antes de comezar, actividades 1, 2, 4 e 6, problemas 1 e 4 de Aplica o aprendido e Autoavaliación	Unha sesión de 50–55 minutos
4.º de ESO	Ficha completa salvo Para ampliar	Unha sesión, ou dúas se se fan na clase os problemas
1.º de Bacharelato	Actividades 2 e 3, problema 3 e apartados 1 e 2 de Para ampliar	Unha sesión
2.º de Bacharelato Física	Actividades 3, 5 e 6 e Para ampliar completo	Unha sesión

A táboa de «Antes de comezar» recolle seis ideas previas sobre a gravitación. Convén non corrixila ao principio: o alumnado volve a ela en «Revisa as túas ideas». Os datos do panel «Estado orbital» oscilan unhas centésimas durante a volta porque a simulación integra o movemento paso a paso.

Solucións

Apartado	Solución
Antes de comezar	Todas falsas. a) Hai gravidade: a Estación cae continuamente cara á Terra, igual que os astronautas (actividade 2). b) Só actúa a gravidade; a velocidade mantense por inercia (actividade 2). c) Por riba de certa velocidade a bala orbita, e máis rápido escapa (actividades 1 e 3). d) O Sol está nun foco da elipse (actividade 5). e) Vai máis rápido preto do Sol (actividade 5). f) As dúas xiran arredor do centro de masas (actividade 6)
Actividade 1	3,45 km/s: chega ao chan preto, «Impacto coa Terra». 5,75 km/s: chega ao chan moito máis lonxe, tamén impacto. 6,90 km/s: non chega, «Órbita circular». Cae porque a Terra a atrae (o seu peso). En órbita segue caendo cara á Terra, pero avanza tan rápido que o chan se curva ao mesmo ritmo e nunca o alcanza
Actividade 2	Velocidade entre 6,87 e 6,90 km/s, altitude entre 2017 e 2060 km, período 127,9 min; o número de órbitas aumenta. É un movemento circular uniforme: cambia a dirección da velocidade, non o seu valor. Só actúa o peso, dirixido cara ao centro da Terra; non hai ningunha forza cara adiante
Actividade 3	8,05 km/s: «Órbita elíptica»; 8,05 km/s no perixeo (2017 km) e uns 3,75 km/s no apoxeo (11 643 km); $\varepsilon = -15{,}1$ km²/s² sempre; período 251,6 min. 10,35 km/s: «Vel. de escape» e logo «Escape gravitatorio»; $\varepsilon = +6{,}1$ km²/s². Vai máis rápida preto da Terra: ao afastarse, a enerxía cinética transfórmase en potencial e, ao achegarse, ao revés, coa enerxía mecánica constante. Con ε positiva a bala ten enerxía suficiente para afastarse indefinidamente
Actividade 4	Mercurio: 0,387 AU, 0,241 anos. Terra: 1,000 e 1,000. Marte: 1,524 e 1,881. Xúpiter: 5,203 e 11,86. Neptuno: 30,07 e 164,8. $T^2/a^3 \approx 1{,}00$ en todos (entre 0,999 e 1,002). Canto máis lonxe está o planeta, máis tarda en dar a volta (percorre máis camiño e máis amodo). T^2/a^3 é igual para todos os planetas do Sistema Solar: terceira lei de Kepler
Actividade 5	e = 0: circunferencia, o Sol no centro. e = 0,50: elipse; o Sol está nun foco e o outro foco está baleiro. e = 0,90: elipse moi alongada. Na 2.ª lei o planeta vai moito máis rápido preto do Sol (perihelio) que lonxe (afelio); a área varrida é estreita e longa lonxe do Sol e ancha e curta preto, pero vale o mesmo en tempos iguais. Con e = 0,02 a órbita é case unha circunferencia: debuxala moi estirada dá unha idea falsa
Actividade 6	2,0 e 1,0: a estrela 2 (menor masa) fai a órbita máis grande, o dobre que a 1; o CM está máis preto da estrela 1. 3,0 e 3,0: órbitas iguais, CM no punto medio. 5,0 e 0,5: a estrela 2 fai case toda a órbita; a 1 case non se move e o CM está case nela. As forzas gravitatorias son unha parella de acción e reacción: as dúas estrelas atráense coa mesma forza. O Sol ten tanta masa que o CM do sistema Sol-Terra está dentro do Sol
Aplica o aprendido	1) $P = m \cdot g$: 70 kg · 9,8 m/s² = 686 N na superficie; 70 kg · 8,7 m/s² ≈ 609 N na Estación. Si pesa; flota porque el e a Estación caen xuntos. 2) $a^3 = T^2 = 64$, a = 4 AU. 3) $v = 2\pi r / T = 2\pi \cdot 8388$ km / (128 · 60 s) ≈ 6,86 km/s, moi preto dos 6,90 km/s do panel. 4) A Lúa cae continuamente cara á Terra, pero a súa velocidade tanxente fai que nunca chegue: está en órbita
Para ampliar	1) $v = \sqrt{(GM/r)} = \sqrt{(3{,}986 \cdot 10^5 / 8388)} \approx 6{,}89$ km/s, o valor de «Vc». 2) $\sqrt{2} \cdot 6{,}89 \approx 9{,}75$ km/s, o valor de «Ve». Con 9,66 km/s, ε ≈ −0,8 km²/s² (órbita elíptica moi alongada); con 9,78 km/s, ε ≈ +0,3 km²/s² (escapa). 3) T pasa de 1,590 (a = 0,40) a 9,313 (a = 1,30) e T^2/a^3 mantense en $39{,}48 = 4\pi^2/GM$. O período non depende da excentricidade, só do semieixo maior

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guía publicada baixo licenza CC BY-SA 4.0: podes adaptala e compartila citando a autoría e coa mesma licenza. Versión actualizada e simulación en simulaciencia.es/gl/guias/orbitas/.