GUIA DOCENT · SIMULACIENCIA

Guia docent: simulació d'òrbites i gravitació

Fitxa ràpida

La simulació reuneix quatre escenaris de mecànica orbital: la bala de canó de Newton, el Sistema Solar, les lleis de Kepler i les estrelles binàries. A Catalunya el seu ús principal és a Física de 2n de Batxillerat, amb aplicacions a Física de 1r de Batxillerat, a 4t d'ESO i al bloc de 1r a 3r d'ESO.

Dada	Detall
Enllaç	simulaciencia.es/ca/simulacions/orbitas/
Cursos	Física de 2n de Batxillerat (ús principal), Física de 1r de Batxillerat, 4t d'ESO, 1r a 3r d'ESO
Matèria	Física i Química (ESO); Física (batxillerat)
Durada orientativa	15–20 minuts d'explicació amb la simulació projectada
Material	Projector o pissarra digital; funciona al navegador, també al mòbil i a la tauleta, sense instal·lar res. En pantalles estretes el llenç passa a dalt i els controls a sota; per explicar és millor una pantalla gran
Coneixements previs	Velocitat i força; el pes com a atracció de la Terra. Al batxillerat, vectors i energia mecànica
Accessibilitat	Només tema fosc. Al mode de Newton hi ha dreceres de teclat: Retorn dispara, Espai pausa i R reinicia

Com funciona la simulació

El desplegable de la part de dalt del tauler esquerre tria el mode: «Bala de canó de Newton», «Sistema Solar», «Lleis de Kepler» o «Estrelles binàries». Tots tenen els botons «⏸ Pausa» i «↺ Reinicia» i una fila «Velocitat» que accelera el temps.

Mode	Què controla el docent	Què mostra
Bala de canó de Newton	Control «Velocitat inicial» de 0,58 a 12,65 km/s (comença a 6,90 km/s). Botons «Vc ≈ 6,89 km/s» i «Ve ≈ 9,75 km/s», «▶ Dispara» i velocitat 1×, 2×, 4×	La bala surt en horitzontal des d'una muntanya a 2017 km d'altura. Deixa estela i el tauler «Estat orbital» calcula la trajectòria
Sistema Solar	Clic en un planeta de la llista «Planetes», velocitat 1×, 3×, 8×, 20× i zoom (−, 1:1, +)	Vuit planetes en òrbites circulars. En triar-ne un, la llista dona T^2/a^3 i el llenç mostra a (en AU) i T (en anys)
Lleis de Kepler	Botons «1a llei», «2a llei», «3a llei». Controls «Semieix major (a)» de 0,40 a 1,30 i «Excentricitat (e)» de 0,00 a 0,90 (comencen a 1,00 i 0,50)	Un cos en òrbita el·líptica amb el Sol en un focus. Segons la llei: radi vector, focus, periheli i afeli, o el quocient T^2/a^3
Estrelles binàries	«Estrella 1 (taronja)» i «Estrella 2 (blava)» de 0,5 a 5,0 $M_\odot$ (comencen a 2,0 i 1,0) i «Separació» de 0,8 a 3,0 (comença a 1,6)	Dues estrelles en òrbita circular al voltant del centre de masses (creu verda «CM»). A baix, Ec, Ep i E del sistema

Quatre elements sostenen l'explicació:

- **El tauler «Estat orbital».** Durant el vol de la bala dona Velocitat, Altitud, Trajectòria, Energia ε, Perigeu, Apogeu, Període i nombre d'òrbites. La trajectòria es classifica com a «Suborbital», «Òrbita circular», «Òrbita el·líptica» o «Vel. d'escapament».

- **Les marques Vc i Ve.** El control marca la velocitat circular i la d'escapament. Els dos botons les fixen amb un clic: deixen 6,90 km/s i 9,78 km/s, per l'arrodoniment del control.
- **Els marcadors del dibuix.** A l'òrbita de la bala, un punt groc marca el perigeu i un de blau l'apogeu. Un cercle verd discontinu és l'òrbita circular de referència.
- **Les xifres del llenç.** A Kepler apareixen r, a i T^2/a^3. A les binàries, la línia inferior dona Ec, Ep i E, que es conserva.

Cada mode té una targeta desplegable, tancada en entrar: «Experiment mental de Newton», «Llei de Kepler III ($T^2 \propto a^3$)», «Les 3 lleis de Kepler» i «Centre de masses i sistemes binaris». Resumeixen la teoria de cada escenari.

Ús a cada curs

Al bloc de 1r a 3r d'ESO la simulació introdueix la gravitació a partir de les lleis de Newton. A 4t d'ESO treballa el pes, el moviment circular i l'energia mecànica. A Física de 1r de Batxillerat serveix per al moviment circular, el tir horitzontal i l'energia potencial. A Física de 2n de Batxillerat cobreix el camp gravitatori, les òrbites i les lleis de Kepler.

Els sabers i els criteris d'avaluació citats són els del currículum de Catalunya: Decret 175/2022 (DOGC núm. 8762, de 29 de setembre de 2022) per a l'ESO i Decret 171/2022 (DOGC núm. 8758, de 22 de setembre de 2022) per al batxillerat. A l'ESO, els sabers de 1r, 2n i 3r formen un sol bloc i cada centre decideix en quin curs treballa cada saber; 4t té el seu propi bloc. Al batxillerat, Física i Química són matèries separades des de 1r. Està previst que a partir del curs 2026-27 la Física i la Química de 1r de Batxillerat es fusionin en una sola matèria, «Física i Química»; quan se'n publiqui el currículum caldrà revisar l'apartat de 1r.

El currículum català d'ESO no anomena la llei de la gravitació universal en cap curs; a l'ESO la gravitació entra com a aplicació de les lleis de Newton i com a origen del pes.

Física de 2n de Batxillerat: camp gravitatori i lleis de Kepler

17–18 anys · 12th grade als EUA · Year 13 al Regne Unit

Sabers. Camp gravitatori: «Moment angular d'un objecte en un camp gravitatori: càlcul, relació amb les forces centrals i aplicació de la conservació en l'estudi del moviment», «Energia mecànica d'un objecte sotmès a un camp gravitatori: deducció del tipus de moviment que posseeix, càlcul del treball o balanços energètics existents en desplaçaments entre diferents posicions, velocitats i tipus de trajectòries» i «Lleis que es verifiquen en el moviment planetari i extrapolació al moviment de satèl·lits i cossos celestes».

Criteris d'avaluació. 1.2 (resoldre problemes plantejats a partir de situacions quotidianes de manera experimental i analítica), 2.1 (analitzar i comprendre l'evolució dels sistemes naturals amb models, lleis i teories de la física) i 5.2 (reproduir en laboratoris, reals o virtuals, processos físics modificant les variables que els condicionen).

Objectius. Classificar les trajectòries pel signe de l'energia mecànica. Relacionar la segona llei de Kepler amb la conservació del moment angular. Comprovar la tercera llei i la seva dependència de la massa central. Descriure un sistema de dos cossos al voltant del seu centre de masses.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Bala de canó amb «Vc» (6,90 km/s). El tauler dona $\varepsilon = -23{,}7$ km²/s², gairebé $-GM/2r = -23{,}8$ km²/s². Reiniciar amb 8,05 km/s: $\varepsilon = -15{,}1$ km²/s² i $a = -GM/2\varepsilon \approx 13\,200$ km. És la mitjana de les distàncies al

centre al perigeu i a l'apogeu.

2. Buscar el llindar d'escapament. Amb 9,66 km/s, ε = −0,8 km²/s²: el tauler indica «Òrbita el·líptica» amb un apogeu d'uns 464 000 km. Amb 9,78 km/s, ε = +0,3 km²/s² i la bala s'escapa.
3. Mode Lleis de Kepler, «1a llei». Moure l'excentricitat de 0,00 a 0,90. El Sol queda en un focus i l'altre focus és buit. Periheli a(1 − e) i afeli a(1 + e).
4. «2a llei» amb e = 0,90 a 1×. El cos passa pel periheli 19 vegades més ràpid que per l'afeli, perquè r·v es conserva: (1 + e)/(1 − e) = 19. El sector groc és l'àrea escombrada en l'últim instant: estret i llarg a l'afeli, ample i curt al periheli, amb la mateixa àrea.
5. «3a llei» i moure a de 0,40 a 1,30. T passa d'1,590 a 9,313, però T^2/a^3 queda en 39,48 = $4\pi^2/GM$, amb GM = 1. Canviar e: el període no varia.
6. Estrelles binàries amb els valors inicials. Les estrelles giren en radis 0,53 i 1,07, en raó inversa a les seves masses. A baix es llegeix Ec = 0,625, Ep = −1,250 i E = −0,625. En òrbita circular Ec = −E = −Ep/2.

Física de 1r de Batxillerat: moviment circular, tir horitzontal i energia potencial

16–17 anys · 11th grade als EUA · Year 12 al Regne Unit

Sabers. Cinemàtica: «Variables que influeixen en un moviment rectilini i circular: magnituds i unitats emprades...» i «Descripció i argumentació de la relació de la trajectòria d'un moviment compost amb les magnituds que el descriuen». Estàtica i dinàmica: «Descripció i argumentació de la relació entre la mecànica vectorial aplicada sobre una partícula o un sòlid rígid amb el seu estat de repòs o moviment...». Energia: «Càlcul de l'energia potencial i l'energia cinètica d'un sistema senzill: aplicació a la conservació de l'energia mecànica en sistemes conservatius i no conservatius...».

Criteris d'avaluació. 1.2 (resoldre problemes plantejats a partir de situacions quotidianes aplicant les lleis i les teories científiques), 2.3 (integrar els models, les teories i les lleis de la física en la validació de les hipòtesis) i 3.1 (utilitzar de manera rigorosa el Sistema Internacional d'Unitats).

El currículum català de 1r no anomena la força centrípeta ni l'energia potencial gravitatòria −GMm/r; la seqüència les presenta com a pas cap al camp gravitatori de 2n.

Objectius. Deduir la velocitat orbital igualant el pes a la força centrípeta. Veure el tir horitzontal com a cas límit d'una òrbita. Fer servir Ep = −GMm/r quan mgh deixa de valer. Introduir la velocitat d'escapament.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Mode Bala de canó amb 0,58 km/s, el mínim del control. La bala surt en horitzontal i descriu un arc fins a terra, com un tir horitzontal. Explicar que la paràbola és l'aproximació amb g uniforme.
2. Escriure la condició d'òrbita circular: $GMm/r^2 = mv^2/r$, per tant $v = \sqrt{(GM/r)}$. Amb GM = $3{,}986 \cdot 10^5$ km³/s² i r = 8388 km surt 6,89 km/s, el valor del botó «Vc».
3. Prémer «Vc», disparar i llegir el període. Amb T = 2πr/v surt 7646 s ≈ 127,4 min. El tauler dona 127,9 min perquè el control deixa 6,90 km/s.
4. Reiniciar amb 8,05 km/s. L'energia ε es manté en −15,1 km²/s² mentre l'altitud canvia 9600 km. Explicar que amb aquests canvis d'altura mgh no serveix i cal fer servir −GMm/r.
5. Prémer «Ve ≈ 9,75 km/s» i disparar. Mostrar que Ve = √2 · Vc i que amb energia ε positiva la bala s'escapa.

4t d'ESO: pes, moviment circular i energia mecànica

15–16 anys · 10th grade als EUA · Year 11 al Regne Unit

Sabers. La interacció: «Identificació i representació de les principals forces de l'entorn quotidià, com ara el pes, la normal, el fregament, la tensió o l'empenta...» i «Predicció i comprovació, utilitzant l'experimentació i el raonament logicomatemàtic, de les magnituds, equacions i gràfiques principals que descriuen el moviment d'un cos...». L'energia: «Formulació i comprovació d'hipòtesis sobre les diferents formes d'energia i les seves aplicacions a partir de les seves propietats i del principi de conservació, per a la resolució de problemes relacionats amb l'energia mecànica en situacions quotidianes i de rellevància social».

Criteris d'avaluació. 1.2 (interpretar i predir el comportament de fenòmens quotidians argumentant-lo amb models, lleis i teories), 2.3 (portar a terme l'experimentació i interpretar-ne els resultats amb eines matemàtiques) i 3.2 (utilitzar adequadament les unitats de mesura i les eines matemàtiques).

El currículum català de 4t no anomena el moviment circular uniforme ni la gravitació universal; entren en descriure «les magnituds, equacions i gràfiques principals que descriuen el moviment d'un cos» i en reconèixer el pes.

Objectius. Identificar el pes com la força que corba la trajectòria d'un satèl·lit. Descriure una òrbita circular com un moviment circular uniforme. Explicar amb l'energia mecànica per què el satèl·lit accelera en acostar-se a la Terra.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Mode Bala de canó amb el valor inicial, 6,90 km/s. Disparar. El tauler marca «Òrbita circular» amb velocitat constant i «Període» de 127,9 min. És un moviment circular uniforme.
2. Preguntar quina força actua sobre la bala. Només el seu pes. A 2017 km d'altura val $g = 9{,}8 \times (6371 / 8388)^2 \approx 5{,}7$ m/s². No hi ha «ingravidesa» per manca de gravetat.
3. Reiniciar amb 8,05 km/s i disparar: «Òrbita el·líptica». La velocitat baixa fins a uns 3,75 km/s a l'apogeu (11 642 km d'altitud) i torna a pujar.
4. Assenyalar que «Energia ε» queda fixa en −15,1 km²/s² durant tota la volta. En pujar, l'energia cinètica es converteix en potencial i, en baixar, passa al contrari.
5. Provar 10,35 km/s. L'energia surt positiva (+6,1 km²/s²) i el tauler acaba en «🚀 Escapament gravitatori». La bala ja no torna.

1r a 3r d'ESO: introducció a la gravitació

12–15 anys · 7th–9th grade als EUA · Year 8–10 al Regne Unit

Sabers. Interacció: «Aplicació de les lleis de Newton per entendre com es comporten els sistemes materials davant l'acció de les forces i predir-ne els efectes en situacions quotidianes i de seguretat viària» i «Descripció dels efectes de les forces a partir d'observacions de fenòmens quotidians o de situacions simulades en el laboratori».

Criteris d'avaluació. 1.2 (interpretar i predir el comportament de fenòmens quotidians relacionant-lo amb models, lleis i teories) i 2.1 (plantejar preguntes sobre fenòmens quotidians i formular hipòtesis que es puguin contrastar).

El currículum català de 1r a 3r no anomena la gravitació ni les òrbites; entren com a exemple de les lleis de Newton i dels efectes d'una força sobre el moviment.

Objectius. Entendre que la gravetat que fa caure els objectes és la mateixa que manté la Lluna i els planetes en òrbita. Relacionar la velocitat de llançament amb la trajectòria. Reconèixer que l'atracció gravitatòria és mútua.

Seqüència d'explicació (15–20 min).

1. Mode Bala de canó. Posar el control a 3,45 km/s i prémer «▶ Dispara». La bala cau a poca distància i el tauler diu «💥 Impacte amb la Terra». Preguntar per què cau.
2. Pujar a 5,75 km/s i disparar. La bala cau molt més lluny. Preguntar què passaria si fos encara més ràpida.
3. Prémer «Vc ≈ 6,89 km/s» i disparar. La bala fa voltes sense tocar el terra: «Òrbita circular». Explicar que continua caient, però la Terra es corba al mateix ritme.
4. Obrir la targeta «Experiment mental de Newton» i llegir-la. Concloure que la força que fa caure una poma és la que manté un satèl·lit en òrbita.
5. Mode Sistema Solar a 1×. Assenyalar que la Terra fa una volta en poc més d'1 s i Neptú triga més de 3 min. Com més lluny del Sol, més lenta és l'òrbita.
6. Tancar amb Estrelles binàries: les dues estrelles es mouen. L'atracció gravitatòria és mútua, no només «del gran sobre el petit».

Concepcions alternatives que ajuda a corregir

La simulació ataca sobretot la idea que en òrbita no hi ha gravetat i la imatge d'òrbites molt allargades a velocitat constant. Cada fila indica la idea prèvia freqüent i com desmuntar-la amb la simulació.

Idea de l'alumnat	Idea correcta	Com mostrar-ho
«En òrbita no hi ha gravetat»	El satèl·lit està en caiguda lliure contínua; a 2017 km d'altura g encara val uns 5,7 m/s²	Bala de canó amb «Vc»: la bala cau sempre cap a la Terra, però mai arriba a terra
«Per continuar en òrbita cal una força cap endavant»	Només actua la gravetat, dirigida al centre; la velocitat tangent es manté per inèrcia	Bala de canó amb «Vc»: la fletxa de la velocitat és tangent i no hi ha motor. La bala fa voltes sense parar
«Si es llança més ràpid, cau més lluny però sempre acaba caient»	Per sobre d'un llindar la bala orbita, i amb energia positiva s'escapa	Bala de canó amb 5,75 km/s (impacte), 6,90 km/s (òrbita) i 10,35 km/s (escapament)
«Les òrbites dels planetes són el·lipses molt allargades»	Gairebé totes són quasi circulars; la de la Terra té e ≈ 0,017	Lleis de Kepler, «1a llei», amb e = 0,02: el radi vector r només varia entre 0,98 i 1,02
«El Sol és al centre de l'òrbita»	El Sol ocupa un dels focus; el centre de l'el·lipse és buit	«1a llei» amb e = 0,50: el Sol és en un focus i l'altre focus es veu buit
«Un planeta va sempre a la mateixa velocitat»	Va més ràpid a prop del Sol i més lent lluny	«2a llei» amb e = 0,90 a 1×: el cos passa pel periheli 19 vegades més ràpid que per l'afeli
«En una parella d'estrelles la gran està quieta i la petita gira»	Totes dues giren al voltant del centre de masses	Binàries amb 2,0 i 1,0 M☉: radis 0,53 i 1,07. Amb 5,0 i 0,5 M☉ la gran gairebé no es mou, com el Sol

Simplificacions que convé conèixer

La simulació prioritza que es vegin les idees clau i per això comprimeix escales i fa servir unitats normalitzades. Convé conèixer aquestes llicències per no reforçar idees incorrectes sense voler.

1. **Una muntanya de 2017 km.** La Terra fa 120 px a 53,1 km/px i la muntanya 38 px. Així la bala surt a 8388 km del centre. No hi ha atmosfera, fregament ni rotació terrestre. Convé dir-ho: un canó real arran de terra necessitaria uns 7,9 km/s.

2. **«Òrbita circular» amb marge.** Abans de disparar, l'etiqueta del control diu «Suborbital» per sota de la velocitat mínima que evita el xoc (uns 6,40 km/s), «Vel. d'escapament» des de la velocitat d'escapament exacta i «Òrbita circular» entre 0,97·Vc i 1,03·Vc, encara que aquestes òrbites són lleugerament el·líptiques. El tauler «Estat orbital» dona la classificació exacta durant el vol.
3. **Temps accelerat.** A 1× cada segon real són 1500 s de vol. L'òrbita circular de 127,9 min dura uns 5 s a la pantalla.
4. **Sistema Solar amb distàncies comprimides al dibuix.** Les òrbites són circulars i uniformes. Mercuri, Venus, la Terra i Mart es dibuixen a la seva distància real; Júpiter, Saturn, Urà i Neptú, a 3,20, 4,40, 5,50 i 6,50 UA en lloc de 5,20, 9,54, 19,19 i 30,07, perquè hi càpiguen. La targeta de Kepler ho avisa.
5. **Les dades sí que són reals.** La llista i l'etiqueta del planeta fan servir el semieix i el període reals, així que T^2/a^3 dona entre 0,999 i 1,001 per als vuit planetes. La tercera llei es pot comprovar amb tots, però no mesurant distàncies a la pantalla.
6. **Salts a velocitats altes.** Al Sistema Solar, a 20× cada fotograma avança 0,27 anys. Mercuri fa més d'una volta per fotograma i sembla moure's a poc a poc o al revés. A Kepler amb e = 0,90 convé fer servir 1×, perquè el cos salta al periheli.
7. **Kepler en unitats normalitzades.** GM val 1, així que T^2/a^3 surt 39,48 ($4\pi^2$), no 1 com amb anys i UA. El Sol és fix, com si tingués massa infinita. L'ombrejat de la «2a llei» és l'àrea escombrada en els últims 40 fotogrames, la mateixa a tota l'òrbita; no es pot comparar amb un sector d'una altra volta perquè només es veu l'últim.
8. **Binàries només circulars i sense unitats reals.** Cada canvi de control reinicia una òrbita circular; no hi ha binàries excèntriques. Les masses diuen $M_\odot$, però G val 1 i la separació i les energies no tenen unitats. La mida de les estrelles creix amb la massa sense escala real.
9. **L'estrella lleugera pot sortir de la pantalla.** Amb separació 3,0 i masses 5,0 i 0,5 $M_\odot$, la lleugera gira a 2,73 unitats del centre de masses. La pantalla només mostra unes 2,27 unitats cap a cada costat. Per projectar, reduir la separació o acostar les dues masses.

Fitxa d'activitats de l'alumnat

La fitxa d'activitats segueix l'esquema prediu, observa i explica. Cada activitat porta un enllaç a la simulació ja preparada, així que funciona a l'aula d'informàtica, amb tauletes o com a tasca a casa. Es descarrega en Word i LibreOffice per adaptar-la.

Curs	Activitats	Durada orientativa
1r a 3r d'ESO	Abans de començar, activitats 1, 2, 4 i 6, problemes 1 i 4 d'Aplica el que has après i Autoavaluació	Una sessió de 50–55 minuts
4t d'ESO	Fitxa completa excepte Per ampliar	Una sessió, o dues si es fan a classe els problemes
Física de 1r de Batxillerat	Activitats 2 i 3, problema 3 i apartats 1 i 2 de Per ampliar	Una sessió
Física de 2n de Batxillerat	Activitats 3, 5 i 6 i Per ampliar complet	Una sessió

La taula d'«Abans de començar» recull sis idees prèvies sobre la gravitació. Convé no corregir-la al principi: l'alumnat hi torna a «Revisa les teves idees». Les dades del tauler «Estat orbital» oscil·len unes centèsimes durant la volta perquè la simulació integra el moviment pas a pas.

Solucions

Apartat	Solució
Abans de començar	Totes falses. a) Hi ha gravetat: l'Estació cau contínuament cap a la Terra, igual que els astronautes (activitat 2). b) Només actua la gravetat; la velocitat es manté per inèrcia (activitat 2). c) Per sobre de certa velocitat la bala orbita, i més ràpid s'escapa (activitats 1 i 3). d) El Sol és en un focus de l'el·lipse (activitat 5). e) Va més ràpid a prop del Sol (activitat 5). f) Totes dues giren al voltant del centre de masses (activitat 6)
Activitat 1	3,45 km/s: arriba a terra a prop, «💥 Impacte amb la Terra». 5,75 km/s: arriba a terra molt més lluny, també impacte. 6,90 km/s: no hi arriba, «Òrbita circular». Cau perquè la Terra l'atreu (el seu pes). En òrbita continua caient cap a la Terra, però avança tan ràpid que el terra es corba al mateix ritme i mai l'atrapa
Activitat 2	Velocitat entre 6,87 i 6,90 km/s, altitud entre 2017 i 2060 km, període 127,9 min; el nombre d'òrbites augmenta. És un moviment circular uniforme: canvia la direcció de la velocitat, no el seu valor. Només actua el pes, dirigit cap al centre de la Terra; no hi ha cap força cap endavant
Activitat 3	8,05 km/s: «Òrbita el·líptica»; 8,05 km/s al perigeu (2017 km) i uns 3,75 km/s a l'apogeu (11 643 km); $\varepsilon = -15{,}1$ km²/s² sempre; període 251,6 min. 10,35 km/s: «Vel. d'escapament» i després «🚀 Escapament gravitatori»; $\varepsilon = +6{,}1$ km²/s². Va més ràpida a prop de la Terra: en allunyar-se, l'energia cinètica es transforma en potencial i, en acostar-se, al revés, amb l'energia mecànica constant. Amb ε positiva la bala té prou energia per allunyar-se indefinidament
Activitat 4	Mercuri: 0,387 AU, 0,241 anys. Terra: 1,000 i 1,000. Mart: 1,524 i 1,881. Júpiter: 5,203 i 11,86. Neptú: 30,07 i 164,8. $T^2/a^3 \approx 1{,}00$ en tots (entre 0,999 i 1,002). Com més lluny és el planeta, més triga a fer la volta (recorre més camí i més a poc a poc). T^2/a^3 és igual per a tots els planetes del Sistema Solar: tercera llei de Kepler
Activitat 5	e = 0: circumferència, el Sol al centre. e = 0,50: el·lipse; el Sol és en un focus i l'altre focus és buit. e = 0,90: el·lipse molt allargada. A la 2a llei el planeta va molt més ràpid a prop del Sol (periheli) que lluny (afeli); l'àrea escombrada és estreta i llarga lluny del Sol i ampla i curta a prop, però val el mateix en temps iguals. Amb e = 0,02 l'òrbita és gairebé una circumferència: dibuixar-la molt estirada dona una idea falsa
Activitat 6	2,0 i 1,0: l'estrella 2 (menys massa) fa l'òrbita més gran, el doble que la 1; el CM és més a prop de l'estrella 1. 3,0 i 3,0: òrbites iguals, CM al punt mitjà. 5,0 i 0,5: l'estrella 2 fa gairebé tota l'òrbita; la 1 gairebé no es mou i el CM és gairebé en ella. Les forces gravitatòries són una parella d'acció i reacció: les dues estrelles s'atreuen amb la mateixa força. El Sol té tanta massa que el CM del sistema Sol-Terra és dins del Sol
Aplica el que has après	1) $P = m \cdot g$: 70 kg · 9,8 m/s² = 686 N a la superfície; 70 kg · 8,7 m/s² ≈ 609 N a l'Estació. Sí que pesa; sura perquè ell i l'Estació cauen junts. 2) $a^3 = T^2 = 64$, a = 4 UA. 3) $v = 2\pi r / T = 2\pi \cdot 8388$ km / (128 · 60 s) ≈ 6,86 km/s, molt a prop dels 6,90 km/s del tauler. 4) La Lluna cau contínuament cap a la Terra, però la seva velocitat tangent fa que mai hi arribi: està en òrbita
Per ampliar	1) $v = \sqrt{(GM/r)} = \sqrt{(3{,}986 \cdot 10^5 / 8388)} \approx 6{,}89$ km/s, el valor de «Vc». 2) $\sqrt{2} \cdot 6{,}89 \approx 9{,}75$ km/s, el valor de «Ve». Amb 9,66 km/s, $\varepsilon \approx -0{,}8$ km²/s² (òrbita el·líptica molt allargada); amb 9,78 km/s, $\varepsilon \approx +0{,}3$ km²/s² (s'escapa). 3) T passa d'1,590 (a = 0,40) a 9,313 (a = 1,30) i T^2/a^3 es manté en $39{,}48 = 4\pi^2/GM$. El període no depèn de l'excentricitat, només del semieix major

Juan Ramón Grijota · SimulaCiencia. Guia publicada amb llicència CC BY-SA 4.0: la pots adaptar i compartir citant-ne l'autoria i amb la mateixa llicència. Versió actualitzada i simulació a simulaciencia.es/ca/guies/orbitas/.