Última actualización: November 1, 2026

🗺️ Ruta de cuatro años · Año 1, Primavera · 🧱 Calculadora integrada

Sobre este curso

Este curso gratuito tiene 8 unidades y 8 laboratorios. Son los totales reales, no un programa más largo recortado.

Una comprobación es un número o un resultado de código en una página de curso que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número impreso y el recalculado tienen que coincidir.

> Este es el esquema de un curso gratuito de autoestudio escrito por Saving Planets. No es un curso universitario, no otorga créditos académicos y ninguna institución participa.
>
> Su alcance sigue el primer semestre de física universitaria con cálculo (mecánica clásica), el curso que todo estudiante de ingeniería o física toma primero. Sigue los temas y la profundidad de materiales abiertos como OpenStax University Physics Volume 1 y MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics, que enlazamos a lo largo del curso. Esas organizaciones no respaldan esta página.
>
> Lo que añadimos: cada unidad está ligada a trabajo real aeroespacial y de observación de la Tierra, cada número de la página lo vuelve a calcular un script de verificación antes de publicarse, y cada laboratorio tiene una versión casera o virtual para que cualquiera pueda hacerlo.
>
> Síguelo en orden. Cada unidad tiene objetivos, ideas clave, ecuaciones, ejemplos paso a paso, práctica con respuestas completas, errores comunes, tarjetas de estudio y un cuestionario. Tu progreso se guarda solo en este navegador.

Cómo ayuda este curso a salvar el planeta

La mecánica es la física del lanzamiento, el vuelo y la órbita. Las mismas ecuaciones ponen en órbita satélites de observación de la Tierra como Landsat 9 y GRACE-FO, los mantienen orientados y convierten cambios diminutos de su movimiento en mapas de agua, hielo y tierra.

En tierra, las mismas ideas sirven para dimensionar aerogeneradores, hacer que coches y aviones gasten menos energía y ayudar a los ingenieros a planear cómo desviar un asteroide. Cada unidad termina con una sección breve y con fuentes que muestra cómo sus ideas ayudan a las personas y a la naturaleza.

Para docentes

Puedes enseñar este curso o dejar que un estudiante lo haga solo. Es gratis. Saving Planets no pone nota ni da crédito escolar.

- Esta página es el curso completo: 8 unidades y 8 laboratorios (PHYS 110 + PHYS 110L).
- Calcula 15 semanas, unas 6 a 9 horas por semana, incluidas las semanas de laboratorio.
- Sigue el calendario de 15 semanas. Lee la unidad, haz la práctica en papel y luego abre la respuesta. En una semana de laboratorio, haz el laboratorio o la versión en casa.
- Una comprobación es un número o un resultado de código en la página que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número que ves y el recalculado tienen que coincidir.
- Usa Imprimir esta página, o descarga la guía de estudio en PDF. La hoja de fórmulas está cerca del final.
- Pregunta: ¿cómo ayuda esta unidad a las personas y al planeta? Cada unidad tiene un recuadro verde con un dato y su fuente.
- Copia la plantilla de guía docente y escribe el nombre de tu clase, el tiempo que tienes y las preguntas que harás. Abrir la plantilla de guía docente

Antes de empezar

Requisitos previos

- Álgebra y trigonometría: resolución de ecuaciones, seno, coseno y tangente, teorema de Pitágoras.
- Cálculo I, al menos a la vez: derivadas como tasas de cambio e integrales como áreas. Este curso usa dv/dt y $\int v\,dt$ desde la unidad 1.
- Vectores en dos dimensiones: componentes, módulo y dirección.
- Unidades SI y notación científica.

Cómo estudiar

- Lee la unidad, ciérrala e intenta los ejemplos resueltos por tu cuenta antes de comprobar cada paso.
- Haz un dibujo para cada problema. En todo problema de fuerzas, dibuja un diagrama de cuerpo libre antes de escribir una ecuación.
- Resuelve primero con símbolos y pon los números al final. Luego revisa las unidades y si el tamaño de la respuesta tiene sentido.
- Haz cada problema en papel antes de abrir la respuesta. Equivocarte primero y corregirlo es lo que fija el método.
- Usa las simulaciones PhET para poner a prueba tu intuición: predice qué pasará y luego ejecútala.
- Repite los cuestionarios unos días después. La práctica espaciada es mejor que una sesión larga.
- Usa $g = 9.81\ m/s^2$ salvo que el problema diga otra cosa, y conserva tres cifras significativas.

Material de laboratorio (para los laboratorios presenciales)

- Regla de un metro y cinta métrica; calibre si lo hay.
- Cronómetro (sirve un teléfono) e, idealmente, una aplicación del teléfono o un sensor escolar que registre movimiento o aceleración.
- Carrito y riel de bajo rozamiento (o una tabla lisa), una polea y un juego de masas colgantes.
- Una pelota pequeña, una rampa y papel carbón o normal para marcar los puntos de caída.
- Cuerda, una plomada densa (sirve un plomo de pesca) y un transportador.
- Hoja de cálculo para promedios, desviaciones estándar y gráficas.

Calendario sugerido de 15 semanas

Unas 6 a 9 horas por semana: lectura, problemas de práctica y, en las semanas de laboratorio, el laboratorio.

Semana	Unidad	Temas	Lectura
1	Medición, vectores y movimiento en una dimensión	Unidades, incertidumbre, vectores; laboratorio A	OpenStax 1.1–1.7, 2.1–2.2
2	Medición, vectores y movimiento en una dimensión	Velocidad y aceleración como derivadas; aceleración constante; caída libre	OpenStax 3.1–3.5
3	Movimiento en dos dimensiones: proyectiles y círculos	Proyectiles, movimiento relativo, movimiento circular; laboratorio B	OpenStax 4.1–4.5
4	Leyes de Newton, rozamiento y dinámica circular	Leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre	OpenStax 5.1–5.7
5	Leyes de Newton, rozamiento y dinámica circular	Rozamiento, cuerpos unidos, dinámica circular; laboratorios C y D	OpenStax 6.1–6.4
6	Trabajo, energía y potencia	Trabajo, energía cinética, potencia	OpenStax 7.1–7.4
7	Trabajo, energía y potencia	Energía potencial y conservación de la energía; laboratorio E	OpenStax 8.1–8.5
8	Momento lineal, colisiones y cohetes	Momento lineal, impulso, colisiones, centro de masa, cohetes; laboratorio F; práctica de examen parcial	OpenStax 9.1–9.7

Semana	Unidad	Temas	Lectura
9	Rotación, momento de fuerza y momento angular	Cinemática de rotación, momento de inercia	OpenStax 10.1–10.5
10	Rotación, momento de fuerza y momento angular	Momento de fuerza, rodadura, momento angular; laboratorio G	OpenStax 10.6–10.8, 11.1–11.3
11	Gravitación y órbitas	Ley de gravitación de Newton, g en altura, satélites	OpenStax 13.1–13.4
12	Gravitación y órbitas	Leyes de Kepler, velocidad de escape, transferencias orbitales	OpenStax 13.5–13.6
13	Oscilaciones e introducción a los fluidos	Movimiento armónico simple, péndulos, amortiguamiento, resonancia; laboratorio H	OpenStax 15.1–15.6
14	Oscilaciones e introducción a los fluidos	Fluidos: presión, flotabilidad, continuidad, Bernoulli	OpenStax 14.1–14.6
15	Repaso	Repaso y serie de práctica final	Todas las unidades

Tu progreso

Marca las unidades y los laboratorios al terminarlos y haz los cuestionarios. El progreso y las puntuaciones se guardan solo en este navegador y nunca se nos envían.

Unidades

Medición, vectores y movimiento en una dimensión

Cómo miden los físicos, cómo los vectores describen la dirección y cómo el cálculo relaciona posición, velocidad y aceleración.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Usar unidades SI, cifras significativas y una incertidumbre declarada para cada valor medido.
- Sumar vectores por componentes y hallar módulo y dirección.
- Definir la velocidad como v = dx/dt y la aceleración como a = dv/dt, y leerlas en gráficas.
- Resolver problemas de aceleración constante, incluida la caída libre, con las cuatro ecuaciones cinemáticas.

Conceptos clave

- Toda medición tiene incertidumbre. Da un valor como mejor estimación ± incertidumbre, con unidades, y redondea la incertidumbre a una o dos cifras significativas.
- Un vector tiene módulo y dirección. Suma vectores sumando sus componentes x e y, nunca sus módulos.
- La velocidad es la pendiente de una gráfica posición–tiempo; la aceleración es la pendiente de una gráfica velocidad–tiempo. El área bajo una gráfica velocidad–tiempo es el desplazamiento.
- Con aceleración constante, las cuatro ecuaciones cinemáticas salen de integrar dos veces a = constante.
- Cerca de la superficie terrestre, todo objeto en caída libre (sin resistencia del aire) acelera hacia abajo a g ≈ 9.81 m/s², sea cual sea su masa.

Ecuaciones clave

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}$$

`v=dx/dt, a=dv/dt`

Velocidad y aceleración como derivadas

$$v = v_0 + at$$

`v=v_0+at`

Velocidad tras un tiempo t con aceleración constante

$$x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2} a t^2$$

`x=x_0+v_0t+12at^2`

Posición tras un tiempo t con aceleración constante

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

`v^2=v_0^2+2a(x-x_0)`

Rapidez y distancia, sin el tiempo

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(A_y/A_x)$$

`| A|=_x^2+A_y^2, θ=^-1(A_y/A_x)`

Módulo y dirección a partir de las componentes

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 1.1 Un coche parte del reposo y acelera de forma constante a 3.0 m/s² durante 8.0 s. ¿Qué velocidad lleva y qué distancia ha recorrido?

1. Datos: v_0 = 0, a = 3.0 m/s², t = 8.0 s.
2. v = v_0 + at = 0 + 3.0 × 8.0 = 24 m/s.
3. x = v_0t + ½at² = 0 + ½ × 3.0 × 8.0² = 96 m.

Respuesta: 24 m/s (86 km/h) tras 96 m.

Ejemplo 1.2 Se lanza una pelota hacia arriba a 15 m/s. ¿Cuánto tarda en llegar arriba y qué altura alcanza?

1. Arriba, v = 0. Toma hacia arriba como positivo, así que a = −9.81 m/s².
2. Tiempo: 0 = 15 − 9.81t, así que t = 15 ÷ 9.81 = 1.53 s.
3. Altura: 0 = 15² − 2 × 9.81 × h, así que h = 225 ÷ 19.62 = 11.5 m.

Respuesta: 1.53 s hasta arriba, 11.5 m sobre el punto de lanzamiento.

Ejemplo 1.3 Una excursionista camina 3.0 km al este y luego 4.0 km al norte. ¿Cuál es su desplazamiento?

1. Componentes: x = 3.0 km, y = 4.0 km.
2. Módulo: √(3.0² + 4.0²) = √25 = 5.0 km.
3. Dirección: $\tan^{-1}$(4.0/3.0) = 53.1° al norte del este.

Respuesta: 5.0 km a 53.1° al norte del este. Caminó 7.0 km, pero su desplazamiento es de 5.0 km.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un coche que va a 27 m/s frena de forma constante a 6.0 m/s². ¿Qué distancia recorre antes de detenerse y cuánto tarda?

   Distancia: $0 = 27^2 - 2 \times 6.0 \times d$, así que $d = 729 \div 12 = 60.8$ m. Tiempo: $t = 27 \div 6.0 = 4.5$ s.

2. Se deja caer una piedra desde el reposo desde un puente de 20 m. Sin resistencia del aire, ¿cuánto tarda en llegar al agua y a qué velocidad?

   $t = \sqrt{(2h/g)} = \sqrt{(40 \div 9.81)} = 2.02$ s. $v = gt = 9.81 \times 2.02 = 19.8$ m/s.

3. La posición de un dron es $x(t) = 2.0t^3 - 3.0t$ (metros, segundos). Halla su velocidad y aceleración en $t = 2.0$ s.

   $v = dx/dt = 6.0t^2 - 3.0 = 6.0 \times 4 - 3.0 = 21$ m/s. $a = dv/dt = 12t = 24$ m/s².

4. La velocidad en órbita terrestre baja es de unos 7.8 km/s. Conviértela a km/h.

   7.8 km/s × 3600 s/h = 28080 km/h, unos 28000 km/h.

5. Un panel solar mide 2.50 ± 0.02 m por 1.20 ± 0.01 m. Halla su área y la incertidumbre.

   $A = 2.50 \times 1.20 = 3.00$ m². Incertidumbres relativas: 0.02/2.50 = 0.8% y 0.01/1.20 = 0.83%. Combínalas en cuadratura: $\sqrt{(0.8^2 + 0.83^2)} = 1.16\%$. $\Delta A = 0.0116 \times 3.00 = 0.035$ m². $A = 3.00 \pm 0.03$ m².

Ideas erróneas comunes

Mito: Si la velocidad es cero, la aceleración también debe serlo.

En realidad: En lo más alto de su vuelo, una pelota lanzada tiene $v = 0$ pero $a = -9.81$ m/s². Su velocidad sigue cambiando.

Mito: Los objetos más pesados caen más rápido.

En realidad: Sin resistencia del aire todos los objetos caen con la misma aceleración g. Es la resistencia del aire, no el peso, lo que hace que una pluma caiga despacio.

Mito: Distancia y desplazamiento son lo mismo.

En realidad: El desplazamiento es un vector del inicio al final. Dar una vuelta a una pista de atletismo da una distancia de 400 m y un desplazamiento cero.

Tarjetas de estudio

Desplazamiento

Cambio de posición, un vector: $\Delta x = x_{final} - x_{initial}$.

Velocidad

Tasa de cambio de la posición, $v = dx/dt$ (m/s).

Aceleración

Tasa de cambio de la velocidad, $a = dv/dt$ (m/s²).

Caída libre

Movimiento solo bajo la gravedad; $a = g \approx 9.81$ m/s² hacia abajo.

Incertidumbre

El intervalo en el que probablemente está el valor verdadero, expresado como ± con unidades.

Componentes de un vector

$A_x = A \cos\theta$, $A_y = A \sin\theta$.

Cuestionario de autoevaluación

1. La pendiente de una gráfica velocidad–tiempo da la...

posición

desplazamiento

aceleración

sobreaceleración

aceleración. $a = dv/dt$, la pendiente de $v(t)$. El área bajo $v(t)$ es el desplazamiento.

2. Una pelota lanzada hacia arriba está en lo más alto de su trayectoria. ¿Qué es cierto?

$v = 0$ y $a = 0$

$v = 0$ y $a = -9.81$ m/s²

v es máxima

a apunta hacia arriba

v = 0 y a = −9.81 m/s². La gravedad tira hacia abajo todo el tiempo, así que a = −g incluso cuando v = 0.

3. Se suman vectores de 3 N al este y 4 N al norte. La resultante es…

7 N

1 N

5 N

12 N

5 N. Componentes perpendiculares: $\sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5$ N.

4. Si $x(t) = 5t^2$, la velocidad en t = 3 s es…

15 m/s

30 m/s

45 m/s

10 m/s

30 m/s. $v = dx/dt = 10t = 30$ m/s.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los satélites de observación de la Tierra solo son útiles si sabemos exactamente dónde estaban al tomar cada imagen. Sus posiciones salen de integrar la velocidad y la aceleración en el tiempo, el mismo cálculo de esta unidad, contrastado con GPS.

Landsat 9 orbita a 705 km sobre la Tierra. Conocer su posición con precisión de metros permite a los científicos comparar imágenes tomadas con años de diferencia y medir la pérdida de bosques, el retroceso de glaciares y la salud de los cultivos, lo que ayuda a gestionar el territorio y protege los hábitats.

La incertidumbre importa igual: un cambio medido solo cuenta si es mayor que la incertidumbre de la medición.

En Saving Planets: Landsat 9 · Guía de física

Fuentes: NASA: Landsat 9 (en inglés) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/) · JCGM: Guía para la expresión de la incertidumbre (en inglés) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 3.1 Position, Displacement and Average Velocity (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): Sección de libro gratuita con ejemplos resueltos.
- OpenStax University Physics 1, 3.4 Motion with Constant Acceleration (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration): Deducciones y problemas de práctica.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (en inglés) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): Videos de clases, apuntes y series de problemas gratuitos del MIT para todo el curso.
- PhET: The Moving Man (https://phet.colorado.edu/en/simulations/moving-man): Relaciona las gráficas de posición, velocidad y aceleración.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Suma vectores por componentes.

Ver la clase

Vectors in Multiple Dimensions (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-2) (en inglés)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condiciones de uso (https://oyc.yale.edu/terms). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Movimiento en dos dimensiones: proyectiles y círculos

Dividir el movimiento en partes horizontal y vertical independientes y luego añadir el movimiento circular, la clave de toda órbita.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Tratar por separado el movimiento horizontal y vertical de un proyectil y hallar el tiempo de vuelo, el alcance y la altura máxima.
- Hallar la velocidad relativa mediante suma vectorial.
- Calcular la aceleración centrípeta y explicar por qué apunta al centro.

Conceptos clave

- Sin resistencia del aire, un proyectil tiene velocidad horizontal constante y aceleración constante g hacia abajo. Las dos direcciones son independientes y solo comparten el tiempo.
- En terreno llano el alcance es R = v_0^2 sin 2θ / g, máximo a 45°.
- Un objeto que se mueve en círculo con rapidez constante está acelerando, porque su dirección cambia. La aceleración a = v^2/r apunta al centro.
- Las velocidades se suman como vectores: la velocidad de un bote respecto a la orilla es su velocidad respecto al agua más la velocidad del agua.

Ecuaciones clave

$$x = v_0 \cos\theta \, t, \quad y = v_0 \sin\theta \, t - \tfrac{1}{2} g t^2$$

`x=v_0θ t, y=v_0θ t-12gt^2`

Posición de un proyectil

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`R=(v_0^22θ)/(g)`

Alcance en terreno llano

$$H = \frac{(v_0 \sin\theta)^2}{2g}$$

`H=((v_0θ)^2)/(2g)`

Altura máxima

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

a_c=(v^2)/(r)=ω^2r

Aceleración centrípeta

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 2.1 Se lanza una pelota a 20 m/s, 30° sobre terreno llano. Halla el tiempo de vuelo, el alcance y la altura máxima.

1. Componentes: v_x = 20 cos 30° = 17.3 m/s; v_y = 20 sin 30° = 10.0 m/s.
2. Tiempo de vuelo: t = 2v_y/g = 20.0 ÷ 9.81 = 2.04 s.
3. Alcance: R = v_xt = 17.3 × 2.04 = 35.3 m.
4. Altura: H = v_y²/2g = 100 ÷ 19.62 = 5.10 m.

Respuesta: 2.04 s, 35.3 m, 5.10 m.

Ejemplo 2.2 Se lanza un paquete horizontalmente a 12 m/s desde un acantilado de 45 m. ¿Dónde cae?

1. Vertical: 45 = ½ × 9.81 × t², así que t = √(90 ÷ 9.81) = 3.03 s.
2. Horizontal: x = 12 × 3.03 = 36.3 m.

Respuesta: A 36.3 m de la base del acantilado, tras 3.03 s.

Ejemplo 2.3 Un satélite gira alrededor de la Tierra a 420 km de altitud a 7.66 km/s. ¿Cuál es su aceleración centrípeta? (Radio terrestre 6371 km.)

1. Radio de la órbita r = 6371 + 420 = 6791 km = 6.791 × 10⁶ m.
2. a = v²/r = (7,660)² ÷ 6.791 × 10⁶ = 8.64 m/s².

Respuesta: 8.64 m/s², alrededor del 88% de g en la superficie. Esa aceleración es la propia gravedad: el satélite está en caída libre alrededor de la Tierra.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Con qué ángulo llega más lejos un proyectil en terreno llano, y qué distancia alcanza si se lanza a 20 m/s?

   45°. $R = v_0^2/g = 400 \div 9.81 = 40.8$ m.

2. Un bote cruza un río en línea recta a 4.0 m/s respecto al agua. La corriente fluye a 3.0 m/s. Halla la rapidez del bote respecto a la orilla y su dirección.

   $\sqrt{(4.0^2 + 3.0^2)} = 5.0$ m/s, a $\tan^{-1}(3.0/4.0) = 36.9°$ aguas abajo respecto a la línea recta.

3. Un coche toma una curva de 50 m de radio a 15 m/s. ¿Cuál es su aceleración centrípeta?

   $a = 15^2 \div 50 = 4.5$ m/s².

4. ¿A qué velocidad se mueve un punto del ecuador por la rotación de la Tierra? (Radio ecuatorial 6378 km, una vuelta en 86164 s.)

   $v = 2\pi r/T = 2\pi \times 6.378 \times 10^6 \div 86164 = 465$ m/s. Los cohetes lanzados hacia el este cerca del ecuador obtienen esta velocidad gratis.

Ideas erróneas comunes

Mito: Una bala disparada horizontalmente toca el suelo más tarde que una que se deja caer desde la misma altura.

En realidad: El movimiento vertical no depende del horizontal. Ambas llegan al mismo tiempo (sin contar la resistencia del aire ni la curvatura terrestre).

Mito: Algo que se mueve en círculo con rapidez constante no está acelerando.

En realidad: Su velocidad cambia de dirección, así que acelera hacia el centro a v^2/r.

Mito: En lo más alto de la trayectoria de un proyectil, su velocidad es cero.

En realidad: Solo la parte vertical es cero. La parte horizontal no cambia.

Tarjetas de estudio

Proyectil

Objeto que se mueve solo bajo la gravedad después del lanzamiento.

Alcance

Distancia horizontal en terreno llano: $R = v_0^2 \sin 2\theta / g$.

Aceleración centrípeta

$a = v^2/r$ hacia el centro de un círculo.

Velocidad angular ω

Rapidez de giro en rad/s; $v = \omega r$.

Velocidad relativa

$v_{A\ resp.\ suelo} = v_{A\ resp.\ B} + v_{B\ resp.\ suelo}$.

Período T

Tiempo de una vuelta completa: $T = 2\pi r/v$.

Cuestionario de autoevaluación

1. Para un proyectil sin resistencia del aire, la velocidad horizontal…

disminuye de forma constante

se mantiene constante

aumenta

es cero arriba

se mantiene constante. Sin fuerza horizontal no hay aceleración horizontal.

2. Dos ángulos de lanzamiento dan el mismo alcance en terreno llano. ¿Qué par?

30° y 60°

20° y 45°

10° y 50°

45° y 90°

30° y 60°. sin 2θ es igual para ángulos complementarios: sin 60° = sin 120°.

3. Si la rapidez en un círculo se duplica con el mismo radio, la aceleración centrípeta…

se duplica

se reduce a la mitad

se cuadruplica

no cambia

se cuadruplica. $a = v^2/r$, así que $2^2 = 4$ veces.

4. La dirección de la aceleración centrípeta es...

a lo largo de la velocidad

hacia afuera

hacia el centro

hacia abajo

hacia el centro. Siempre apunta al centro del círculo.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Una órbita es un proyectil que nunca aterriza: lanzado de lado lo bastante rápido, cae hacia la Tierra al mismo ritmo con que la superficie terrestre se curva. Por eso el satélite del ejemplo 2.3 acelera a v^2/r sin acercarse.

Los sitios de lanzamiento aprovechan la rotación terrestre. Lanzar hacia el este cerca del ecuador añade hasta unos 465 m/s, lo que ahorra combustible en cada lanzamiento de un satélite meteorológico o climático.

Pensar en proyectiles también protege a la gente en tierra: las mismas ecuaciones, más el arrastre, se usan para predecir dónde podría caer una etapa o un fragmento que reingresa.

En Saving Planets: Calculadora de movimiento de proyectiles con arrastre · Guía de órbitas

Fuentes: OpenStax University Physics 1, 4.4 Circular Motion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion) · ESA: basura espacial (en inglés) (https://www.esa.int/Space_Safety/Space_Debris)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 4.3 Projectile Motion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-3-projectile-motion): Sección de libro gratuita con ejemplos y problemas.
- OpenStax University Physics 1, 4.4 Uniform and Nonuniform Circular Motion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion): La aceleración centrípeta en profundidad.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): Cambia el ángulo, la rapidez y la resistencia del aire.

Ver la clase

3.4 Projectile Motion (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/3-3/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licencia: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condiciones de uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

UNIDAD 3 · SEMANAS 4–5

Leyes de Newton, rozamiento y dinámica circular

Las fuerzas causan aceleración. Los diagramas de cuerpo libre y ΣF = ma resuelven casi todos los problemas del curso.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Enunciar las tres leyes de Newton e identificar pares de acción–reacción.
- Dibujar un diagrama de cuerpo libre y aplicar ΣF = ma en los ejes elegidos.
- Resolver problemas de planos inclinados, poleas y cuerpos unidos con rozamiento estático y cinético.
- Aplicar la segunda ley de Newton al movimiento circular.

Conceptos clave

- Primera ley: un objeto mantiene su velocidad salvo que actúe sobre él una fuerza neta.
- Segunda ley: ΣF = ma. La fuerza neta, no una fuerza aislada, determina la aceleración.
- Tercera ley: las fuerzas vienen en pares, iguales en magnitud y opuestas en dirección, que actúan sobre objetos distintos.
- El rozamiento estático puede valer cualquier cosa hasta $\mu_s N$; el cinético es $\mu_k N$ y se opone al deslizamiento.
- En el movimiento circular, la fuerza neta hacia dentro es $m\,v^2/r$. La aportan fuerzas reales como la tensión, el rozamiento, la normal o la gravedad.

Ecuaciones clave

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

`F=m a`

Segunda ley de Newton

$$W = mg$$

`W=mg`

Peso

$$f_s \le \mu_s N, \quad f_k = \mu_k N$$

`f_sμ_sN, f_k=μ_kN`

Rozamiento estático y cinético

$$\sum F_r = \frac{mv^2}{r}$$

`F_r=(mv^2)/(r)`

Segunda ley para el movimiento circular

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 3.1 Un coche de 1500 kg pasa de 0 a 25 m/s en 10 s. ¿Qué fuerza neta actúa sobre él?

1. a = Δv/Δt = 25 ÷ 10 = 2.5 m/s².
2. ΣF = ma = 1,500 × 2.5 = 3,750 N.

Respuesta: 3750 N hacia adelante.

Ejemplo 3.2 Una caja de 5.0 kg se desliza por una rampa de 30° con μ_k = 0.20. Halla su aceleración.

1. Ejes a lo largo y perpendiculares a la rampa.
2. Perpendicular: N = mg cos 30°.
3. A lo largo: ma = mg sin 30° − μ_k mg cos 30°.
4. a = 9.81 × (0.500 − 0.20 × 0.866) = 3.21 m/s². La masa se cancela.

Respuesta: 3.21 m/s² rampa abajo.

Ejemplo 3.3 Una máquina de Atwood cuelga 3.0 kg y 2.0 kg de una polea ligera sin rozamiento. Halla la aceleración y la tensión.

1. El lado más pesado baja. Para 3.0 kg: 3.0g − T = 3.0a. Para 2.0 kg: T − 2.0g = 2.0a.
2. Sumamos: 1.0g = 5.0a, así que a = 9.81 ÷ 5 = 1.96 m/s².
3. T = 2.0 × (9.81 + 1.96) = 23.5 N.

Respuesta: a = 1.96 m/s², T = 23.5 N.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Una persona de 70 kg está sobre una báscula en un ascensor que acelera hacia arriba a 1.5 m/s². ¿Qué marca la báscula?

$N - mg = ma$, así que $N = 70 \times (9.81 + 1.5) = 792$ N (marca como si tuviera una masa de 80.7 kg).

2. Un cajón de 40 kg está en un suelo con $\mu_s = 0.50$. ¿Qué empuje horizontal lo pone justo en movimiento?

   $F = \mu_s mg = 0.50 \times 40 \times 9.81 = 196$ N.

3. Un cohete de 5.0×10^5 kg tiene 7.6×10^6 N de empuje en el despegue. Halla su aceleración inicial.

   $a = (T - mg)/m = 7.6 \times 10^6 \div 5.0 \times 10^5 - 9.81 = 15.2 - 9.81 = 5.39$ m/s² hacia arriba. Su relación empuje-peso es 1.55.

4. Un empuje de 10 N actúa sobre un bloque de 2.0 kg que empuja a otro de 3.0 kg sobre un suelo sin rozamiento. Halla la aceleración y la fuerza entre los bloques.

   $a = 10 \div 5.0 = 2.0$ m/s². La fuerza sobre el bloque de 3.0 kg es $3.0 \times 2.0 = 6.0$ N.

5. ¿Cuál es la velocidad máxima de un coche en una curva plana de 40 m de radio si $\mu_s = 0.60$?

   El rozamiento da la fuerza hacia dentro: $\mu_s mg = mv^2/r$, así que $v = \sqrt{(\mu_s g r)} = \sqrt{(0.60 \times 9.81 \times 40)} = 15.3$ m/s.

Ideas erróneas comunes

Mito: Un objeto en movimiento necesita una fuerza para seguir moviéndose.

En realidad: Solo para vencer el rozamiento o el arrastre. En el espacio, una sonda avanza durante años con los motores apagados.

Mito: Acción y reacción se anulan, así que nada puede acelerar.

En realidad: Actúan sobre objetos distintos, así que nunca se anulan sobre un mismo objeto.

Mito: La normal siempre es igual a mg.

En realidad: Solo en una superficie horizontal sin aceleración vertical. En una rampa es $mg \cos \theta$; en un ascensor que acelera, cambia.

Tarjetas de estudio

Primera ley de Newton

La velocidad se mantiene constante salvo que actúe una fuerza neta.

Segunda ley de Newton

$\Sigma F = ma$.

Tercera ley de Newton

Diagrama de cuerpo libre

Las fuerzas vienen en pares iguales y opuestos sobre objetos distintos.

Dibujo de un solo objeto con todas las fuerzas que actúan sobre él.

Coeficiente de rozamiento μ

Cociente entre la fuerza de rozamiento y la normal; sin unidades.

Newton (N)

1 N = 1 kg·m/s².

Cuestionario de autoevaluación

1. Una nave espacial avanza con los motores apagados lejos de cualquier planeta. Su velocidad...

disminuye lentamente

se mantiene constante

aumenta

cae a cero

se mantiene constante. Sin fuerza neta no hay aceleración (primera ley).

2. Un cohete empuja gases de escape hacia atrás. ¿Qué empuja al cohete hacia adelante?

El aire de detrás

El suelo

Los gases de escape que lo empujan de vuelta

Nada; no lo empuja nada

Los gases de escape que lo empujan de vuelta. Tercera ley: el gas empuja al cohete con una fuerza igual y opuesta. Por eso los cohetes funcionan en el vacío.

3. En una rampa sin rozamiento de ángulo θ, un bloque acelera a...

g

g cos θ

g sin θ

g tan θ

g sin θ. Solo la componente de la gravedad a lo largo de la rampa, mg sin θ, no está equilibrada.

4. ¿Qué aporta la fuerza centrípeta a un coche que gira en una carretera plana?

El motor

El rozamiento estático de la carretera

La gravedad

La fuerza centrífuga

El rozamiento estático de la carretera. El rozamiento estático entre neumáticos y carretera apunta al centro de la curva.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La tercera ley de Newton explica cómo funciona todo cohete: empuja el escape hacia atrás y el escape lo empuja hacia adelante. Esos lanzamientos llevan los satélites que vigilan el tiempo, los incendios, el nivel del mar y los gases de efecto invernadero.

El rozamiento y el arrastre se llevan gran parte de nuestra energía. Neumáticos y rodamientos con menos rozamiento, y vehículos más aerodinámicos, necesitan menos fuerza a la misma velocidad y por tanto menos combustible o batería.

La relación empuje-peso es el primer número que revisan los ingenieros en cualquier lanzador: por debajo de 1 no puede despegar.

En Saving Planets: Calculadora de relación empuje-peso · Observación de la Tierra

Fuentes: OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton's Second Law (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law) · DOE de EE. UU.: Vehicle Technologies Office (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 5.3 Newton's Second Law (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/5-3-newtons-second-law): Sección de libro de texto gratuita.

- OpenStax University Physics 1, 6.2 Friction (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): Rozamiento estático y cinético con ejemplos.
- OpenStax University Physics 1, 6.3 Centripetal Force (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force): Curvas peraltadas y dinámica circular.
- PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics): Fuerza neta, rozamiento y aceleración.
- PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp): Fuerzas en un plano inclinado con rozamiento.

Ver la clase

Newton's Laws of Motion (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-3) (en inglés)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condiciones de uso (https://oyc.yale.edu/terms). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Trabajo, energía y potencia

La energía es la contabilidad que hace fáciles los problemas de fuerzas difíciles, y el lenguaje de toda central, batería y motor.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular el trabajo como W = ∫F·dx, también para un resorte.
- Usar el teorema trabajo–energía y la conservación de la energía mecánica.
- Tener en cuenta la energía perdida por rozamiento y calcular potencia y eficiencia.
- Estimar la potencia del viento con P = ½ρAv³.

Conceptos clave

- El trabajo es fuerza por desplazamiento en la dirección de la fuerza: W = Fd cos θ para una fuerza constante.
- El trabajo neto sobre un objeto es igual a su cambio de energía cinética.
- La gravedad y los resortes son fuerzas conservativas: su trabajo puede almacenarse como energía potencial y devolverse.
- El rozamiento convierte energía mecánica en térmica; la energía total se sigue conservando.
- La potencia es la rapidez con que se realiza trabajo, en vatios (J/s).

Ecuaciones clave

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

`W= F· d x`

Trabajo de una fuerza

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2, \quad W_{net} = \Delta K$$

`K=12mv^2, W_net=Δ K`

Energía cinética y teorema trabajo–energía

$$U_g = mgh, \quad U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

`U_g=mgh, U_s=12kx^2`

Energía potencial gravitatoria y elástica

$$K_i + U_i = K_f + U_f + E_{th}$$

`K_i+U_i=K_f+U_f+E_th`

Conservación de la energía con rozamiento

$$P = \frac{dW}{dt} = Fv$$

`P=dW/dt=Fv`

Potencia

$$P_{wind} = \tfrac{1}{2}\rho A v^3$$

`P_wind=12ρ Av^3`

Potencia que lleva el viento a través del área A

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 4.1 Un coche de 1200 kg que va a 20 m/s frena con una fuerza de rozamiento constante de 6000 N. ¿Qué distancia recorre?

1. K = ½ × 1,200 × 20² = 240,000 J.
2. El trabajo del rozamiento la elimina toda: 6000 × d = 240000.
3. d = 40 m.

Respuesta: 40 m.

Ejemplo 4.2 Una montaña rusa parte del reposo a 30 m sobre el fondo de una bajada. Sin rozamiento, ¿qué velocidad tiene abajo?

1. mgh = ½mv², así que la masa se cancela.
2. v = √(2gh) = √(2 × 9.81 × 30) = 24.3 m/s.

Respuesta: 24.3 m/s, sea cual sea la forma del recorrido.

Ejemplo 4.3 Un aerogenerador tiene palas de 50 m. ¿Cuánta potencia lleva un viento de 10 m/s a través del área barrida, y cuánto es lo máximo que podría extraer cualquier aerogenerador?

1. A = πr² = π × 50² = 7,854 m².

2. $P = \frac{1}{2}\rho A v^3 = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 7{,}854 \times 10^3 = 4.81 \times 10^6$ W.
3. El límite de Betz dice que ningún aerogenerador puede captar más de 16/27 (59.3%) de esto: 0.593 × 4.81 MW = 2.85 MW.

Respuesta: El viento lleva 4.81 MW; como máximo podrían captarse 2.85 MW. Los aerogeneradores reales obtienen menos.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un resorte con k = 200 N/m comprimido 0.10 m lanza una pelota de 0.050 kg. ¿Con qué rapidez sale la pelota?

   Energía almacenada $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times 0.01 = 1.0$ J. $v = \sqrt{(2 \times 1.0 \div 0.050)} = 6.32$ m/s.

2. Una fuerza de 50 N tira de un trineo 10 m a 30° sobre la horizontal. ¿Cuánto trabajo realiza?

   $W = Fd \cos\theta = 50 \times 10 \times 0.866 = 433$ J.

3. ¿Cuánta potencia hace falta para subir 70 kg 3.0 m en 2.0 s?

   $P = mgh/t = 70 \times 9.81 \times 3.0 \div 2.0 = 1030$ W.

4. Un coche de 1500 kg frena de 25 m/s hasta detenerse. ¿Cuánta energía cinética se elimina? Si el frenado regenerativo almacenara el 60%, ¿cuánto sería?

   $K = \frac{1}{2} \times 1{,}500 \times 25^2 = 468{,}750$ J ≈ 469 kJ. El 60% son 281 kJ.

5. Si la velocidad del viento baja de 10 m/s a 7 m/s, ¿en qué fracción baja la potencia del viento?

   La potencia va como v^3: $(7/10)^3 = 0.343$, así que baja a cerca del 34% de la original.

Ideas erróneas comunes

Mito: Llevar una caja pesada a través de una habitación a velocidad constante realiza mucho trabajo sobre ella.

En realidad: La gravedad y tu fuerza hacia arriba son perpendiculares al movimiento, así que no realizan trabajo sobre la caja.

Mito: La energía se pierde por rozamiento.

En realidad: Se convierte en energía térmica, no se destruye. Solo se pierde como energía mecánica útil.

Mito: Un aerogenerador con el doble de diámetro obtiene el doble de potencia.

En realidad: La potencia crece con el área, así que duplicar el diámetro da cuatro veces la potencia.

Tarjetas de estudio

Trabajo

$W = Fd\cos\theta$; energía transferida por una fuerza (J).

Energía cinética

$K = \frac{1}{2}mv^2$.

Energía potencial

Energía almacenada por la posición: mgh, $\frac{1}{2}kx^2$.

Teorema trabajo–energía

$W_{net} = \Delta K$.

Potencia

Rapidez de transferencia de energía, $P = dW/dt$ (W).

Límite de Betz

Ningún aerogenerador puede captar más de $16/27 \approx 59.3\%$ de la potencia del viento.

Cuestionario de autoevaluación

1. Si la velocidad de un coche se duplica, su energía cinética…

se duplica

se triplica

se cuadruplica

no cambia

se cuadruplica. $K = \frac{1}{2}mv^2$, así que $2^2 = 4$.

2. La unidad SI de potencia es el…

julio

vatio

newton

kilovatio-hora

vatio. 1 W = 1 J/s. Un kilovatio-hora es energía.

3. La potencia del viento a través de un aerogenerador varía con la velocidad del viento como…

v

v^2

v^3

$\sqrt{v}$

v^3. Flujo másico ∝ v y energía cinética por kg ∝ v^2, así que P ∝ v^3.

4. El trabajo del rozamiento cinético sobre un bloque que se desliza es…

positivo

cero

negativo

depende solo de la masa

negativo. El rozamiento se opone al movimiento, así que quita energía cinética.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los aerogeneradores convierten la energía cinética del aire en movimiento en electricidad. Como la potencia del viento crece con el cubo de su velocidad y con el cuadrado de la longitud de las palas, los ingenieros construyen torres más altas y palas más largas; por eso los aerogeneradores marinos son tan grandes.

Los vehículos eléctricos e híbridos usan frenado regenerativo: el motor funciona como generador y convierte parte de la energía cinética del coche en energía almacenada en la batería en vez de calor.

La contabilidad energética es cómo los ingenieros comparan con justicia las opciones de energía limpia, en julios y vatios y no en promesas.

En Saving Planets: Calculadora de potencia de rotor en vuelo estacionario · Calculadoras

Fuentes: DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · DOE de EE. UU.: conceptos básicos de vehículos eléctricos (en inglés) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 7.3 Work–Energy Theorem (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/7-3-work-energy-theorem): Sección de libro de texto gratuita.
- OpenStax University Physics 1, 8.3 Conservation of Energy (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy): Diagramas de energía y ejemplos.
- PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park): Observa cómo se intercambian la energía cinética, la potencial y la térmica.

Ver la clase

Work-Energy Theorem and Law of Conservation of Energy (https://oyc.yale.edu/physics/phys-200/lecture-5) (en inglés)

Ramamurti Shankar, PHYS 200 Fundamentals of Physics I, Open Yale Courses. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 US (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/us/) · Condiciones de uso (https://oyc.yale.edu/terms). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Momento lineal, colisiones y cohetes

El momento lineal se conserva en toda colisión y explosión. Explica los cohetes y cómo una nave desvió un asteroide.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Relacionar el impulso con el cambio de momento lineal, J = ∫F dt = Δp.
- Aplicar la conservación del momento lineal a colisiones elásticas e inelásticas en una dimensión.
- Hallar el centro de masa de un sistema.
- Usar la ecuación del cohete Δv = v_e ln(m_0/m_f).

Conceptos clave

- El momento lineal p = mv es un vector. Sin fuerza externa neta, el momento total de un sistema se mantiene constante.
- En una colisión elástica también se conserva la energía cinética; en una inelástica parte se convierte en calor, sonido y deformación. En una colisión perfectamente inelástica los objetos quedan unidos.
- Un tiempo de colisión más largo significa una fuerza media menor para el mismo cambio de momento. Así funcionan los airbags y las zonas de deformación.
- Un cohete gana velocidad lanzando masa hacia atrás. Su cambio de velocidad depende de la velocidad de escape y de la razón entre masa inicial y final, no de lo rápido que se queme el combustible.

Ecuaciones clave

$$\vec{p} = m\vec{v}, \quad \vec{J} = \int \vec{F}\, dt = \Delta\vec{p}$$

```
p=m v, J= F dt=Δ p
```

Momento lineal e impulso

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

```
m_1v_1i+m_2v_2i=m_1v_1f+m_2v_2f
```

Conservación del momento lineal (1D)

$$x_{cm} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

`x_cm=( m_ix_i)/( m_i)`

Centro de masa

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

`Δ v=v_e(m_0)/(m_f)`

Ecuación del cohete de Tsiolkovski

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 5.1 Una pelota de béisbol de 0.145 kg llega a 40 m/s y sale del bate a 50 m/s en sentido opuesto. El contacto dura 1.0 ms. Halla el impulso y la fuerza media.

1. Toma como positivo el sentido de salida: Δp = 0.145 × (50 − (−40)) = 0.145 × 90 = 13.1 kg·m/s.
2. F = Δp/Δt = 13.05 ÷ 0.0010 = 13,000 N.

Respuesta: Impulso 13.1 kg·m/s; fuerza media de unos 13000 N.

Ejemplo 5.2 Un coche de 1000 kg a 20 m/s choca por detrás con un coche detenido de 1500 kg y quedan enganchados. Halla su velocidad y la energía cinética perdida.

1. Momento: 1000 × 20 = 2500 × v, así que v = 8.0 m/s.
2. K antes: ½ × 1000 × 20² = 200 kJ. K después: ½ × 2500 × 8.0² = 80 kJ.
3. Perdida: 120 kJ, el 60% de la original.

Respuesta: 8.0 m/s; 120 kJ convertidos en deformación, calor y sonido.

Ejemplo 5.3 Una etapa de cohete tiene una velocidad de escape de 3000 m/s y una razón de masas $m_0/m_f = 5$. ¿Qué cambio de velocidad puede dar, sin contar gravedad ni arrastre?

1. Δv = v_e ln(m_0/m_f) = 3,000 × ln 5.
2. ln 5 = 1.609, así que Δv = 4,830 m/s.

Respuesta: Unos 4.83 km/s. Llegar a órbita a unos 7.8 km/s requiere más; por eso los cohetes usan etapas.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un carrito de 2.0 kg a 3.0 m/s choca con uno de 1.0 kg en reposo en una colisión perfectamente elástica. Halla ambas velocidades finales.

   $v_1 = (m_1 - m_2)/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 1.0$ m/s; $v_2 = 2m_1/(m_1 + m_2) \times 3.0 = 4.0$ m/s. Comprobación: K antes 9.0 J, después 1.0 + 8.0 = 9.0 J.

2. Un rifle de 4.0 kg dispara una bala de 0.010 kg a 400 m/s. Halla la velocidad de retroceso del rifle.

   $0 = 0.010 \times 400 - 4.0v$, así que $v = 1.0$ m/s hacia atrás.

3. Una masa de 2.0 kg está en x = 0 y otra de 3.0 kg en x = 5.0 m. ¿Dónde está el centro de masa?

   x_cm = (2.0 × 0 + 3.0 × 5.0) ÷ 5.0 = 3.0 m.

4. Una etapa con velocidad de escape de 3.5 km/s debe dar por sí sola $\Delta v = 9.0$ km/s. ¿Qué razón de masas necesita?

   m_0/m_f = e^(9.0/3.5) = e^2.571 = 13.1. Solo cerca del 7.6% de la masa inicial podría ser algo distinto del propelente.

Ideas erróneas comunes

Mito: Un cohete necesita aire contra el que empujar.

En realidad: Empuja contra su propio escape. Los cohetes funcionan mejor en el vacío.

Mito: En una colisión inelástica se pierde momento lineal.

En realidad: El momento lineal se conserva en toda colisión sin fuerza externa. Lo que se pierde es energía cinética.

Mito: Una fuerza mayor siempre significa un cambio de momento mayor.

En realidad: El impulso es fuerza × tiempo. Una fuerza pequeña durante mucho tiempo puede cambiar el momento tanto como una grande durante poco tiempo.

Tarjetas de estudio

Momento lineal

p = mv (kg·m/s), un vector.

Impulso

$J = \int F\,dt = \Delta p$.

Colisión elástica

Se conservan tanto el momento como la energía cinética.

Colisión perfectamente inelástica

Los objetos quedan unidos; pérdida máxima de energía cinética.

Centro de masa

Posición promedio de un sistema ponderada por la masa.

Ecuación del cohete

$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$.

Cuestionario de autoevaluación

1. ¿Qué se conserva siempre en una colisión sin fuerza externa?

Energía cinética

Momento lineal

La rapidez

Tanto la energía cinética como el momento

Momento lineal. El momento siempre; la energía cinética solo en colisiones elásticas.

2. Los airbags reducen las lesiones sobre todo al...

reducir el cambio de momento

aumentar el tiempo de frenado

aumentar la fuerza

reducir tu masa

aumentar el tiempo de frenado. El mismo Δp en más tiempo significa una fuerza media menor.

3. En la ecuación del cohete, duplicar la velocidad de escape...

duplica Δv

cuadruplica Δv

reduce Δv a la mitad

no cambia Δv

duplica Δv. Δv es directamente proporcional a v_e.

4. Dos bolas de arcilla de igual masa y rapidez chocan de frente y se quedan pegadas. Después...

se mueven a la velocidad original

están en reposo

se mueven a la mitad de velocidad

rebotan

están en reposo. El momento total era cero, así que sigue siendo cero.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El 26 de septiembre de 2022, la nave DART de la NASA impactó a propósito contra la pequeña luna asteroidal Dimorphos. Su momento acortó en unos 33 minutos la órbita de 11 horas y 55 minutos de Dimorphos alrededor de Didymos, mucho más que el mínimo de 73 segundos para el éxito, porque los escombros despedidos del asteroide añadieron un empuje extra.

Fue la primera prueba de desviar un asteroide por impacto cinético, una forma de proteger a las personas y a todos los demás seres vivos de la Tierra de un impacto futuro. Ninguno de los dos asteroides fue nunca una amenaza para la Tierra.

La ecuación del cohete también impulsa diseños de lanzamiento más limpios: más velocidad de escape significa menos propelente para la misma misión.

En Saving Planets: Defensa planetaria · Calculadora de delta-v

Fuentes: NASA: la misión DART (en inglés) (https://science.nasa.gov/mission/dart/) · NASA: la órbita y la forma del asteroide cambiaron tras el impacto de DART (en inglés) (https://www.nasa.gov/missions/dart/nasa-study-asteroids-orbit-shape-changed-after-dart-impact/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 9.3 Conservation of Linear Momentum (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-3-conservation-of-linear-momentum): Sección de libro de texto gratuita.
- OpenStax University Physics 1, 9.4 Types of Collisions (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions): Colisiones elásticas e inelásticas.
- OpenStax University Physics 1, 9.7 Rocket Propulsion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion): Deducción de la ecuación del cohete.

- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): Colisiones elásticas e inelásticas en 1D y 2D.

Ver la clase

19.2 Rocket Problem 2 - Momentum Diagrams (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/19-1/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licencia: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condiciones de uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Rotación, momento de fuerza y momento angular

Todo lo que gira, desde ruedas y turbinas hasta las ruedas de reacción que orientan los satélites, sigue versiones rotacionales de las leyes de Newton.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Usar posición, velocidad y aceleración angulares, y relacionarlas con el movimiento lineal mediante v = ωr.
- Calcular momentos de inercia y usar τ = Iα.
- Resolver problemas de rodadura con conservación de la energía.
- Aplicar la conservación del momento angular.

Conceptos clave

- Las magnitudes rotacionales reflejan las lineales: θ ↔ x, ω ↔ v, α ↔ a, I ↔ m, τ ↔ F, L ↔ p.
- El momento de inercia depende de cómo se reparte la masa respecto al eje. La masa lejos del eje es más difícil de hacer girar.
- El momento de fuerza es una fuerza por su brazo de palanca: τ = rF sin θ.
- Un objeto que rueda tiene energía cinética de traslación y de rotación, así que baja una pendiente más despacio que un bloque que se desliza sin rozamiento.
- Sin momento externo, el momento angular L = Iω se mantiene constante.

Ecuaciones clave

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}, \quad v = \omega r$$

`ω=(dθ)/(dt), α=(dω)/(dt), v=ω r`

Velocidad y aceleración angulares

$$I = \sum m_i r_i^2, \quad I_{disk} = \tfrac{1}{2} M R^2$$

`I= m_ir_i^2, I_disk=12MR^2`

Momento de inercia

$$\tau = rF\sin\theta = I\alpha$$

`τ=rFθ=Iα`

Momento de fuerza y segunda ley de Newton para la rotación

$$K_{rot} = \tfrac{1}{2} I\omega^2$$

K_rot=12Iω^2

Energía cinética de rotación

$$L = I\omega, \quad \tau_{net} = \frac{dL}{dt}$$

L=Iω, τ_net=dL/dt

Momento angular

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 6.1 El rotor de un aerogenerador pasa del reposo a 1.5 rad/s en 30 s a ritmo constante. Halla α y cuántas vueltas da.

1. α = 1.5 ÷ 30 = 0.050 rad/s².
2. θ = ½αt² = ½ × 0.050 × 30² = 22.5 rad.
3. Vueltas: 22.5 ÷ 2π = 3.58.

Respuesta: α = 0.050 rad/s²; 3.58 vueltas.

Ejemplo 6.2 Una bola maciza rueda sin deslizar por una pendiente desde 2.0 m de altura. ¿Qué velocidad tiene abajo?

1. Para una esfera maciza, I = (2/5)mr² y ω = v/r.
2. mgh = ½mv² + ½(2/5)mr²(v/r)² = (7/10)mv².
3. v = √(10gh/7) = √(10 × 9.81 × 2.0 ÷ 7) = 5.29 m/s.

Respuesta: 5.29 m/s, menos que los 6.26 m/s de un bloque que se desliza sin rozamiento.

Ejemplo 6.3 Una patinadora que gira a 2.0 rev/s recoge los brazos y reduce su momento de inercia de 4.0 a 1.6 kg·m². Halla su nueva velocidad de giro.

1. L se conserva: $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$.
2. ω_2 = 4.0 × 2.0 ÷ 1.6 = 5.0 rev/s.
3. Su energía cinética se multiplica por 2.5; el extra viene del trabajo de sus brazos.

Respuesta: 5.0 rev/s.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Se aplica una fuerza de 50 N en ángulo recto en el extremo de una llave de 0.30 m. Halla el momento.

   $\tau = 0.30 \times 50 = 15$ N·m.

2. Un niño de 30 kg está sentado a 2.0 m del eje de un balancín. ¿Dónde debe sentarse un niño de 40 kg para equilibrarlo?

   $30 \times 2.0 = 40 \times x$, así que $x = 1.5$ m al otro lado.

3. Un volante de acero macizo es un disco de 100 kg y 0.50 m de radio que gira a 300 rad/s. ¿Cuánta energía almacena?

   $I = \frac{1}{2} \times 100 \times 0.50^2 = 12.5$ kg·m². $K = \frac{1}{2} \times 12.5 \times 300^2 = 562{,}500$ J ≈ 0.563 MJ (0.156 kWh).

4. Un satélite tiene $I = 500$ kg·m² respecto a un eje. Una rueda de reacción a bordo con $I = 0.10$ kg·m² pasa del reposo a 600 rad/s. ¿Con qué rapidez gira el satélite?

   El L total sigue siendo cero: $0.10 \times 600 = 500 \times \omega$, así que $\omega = 0.12$ rad/s en sentido contrario.

5. Un momento de 2.0 N·m actúa sobre un disco con $I = 0.50$ kg·m². Halla α.

   $\alpha = \tau / I = 4.0$ rad/s².

Ideas erróneas comunes

Mito: El momento de fuerza solo depende del tamaño de la fuerza.

En realidad: También depende de dónde y con qué ángulo empujas. Empujar una puerta cerca de las bisagras apenas la gira.

Mito: Todos los objetos redondos bajan una pendiente a la misma velocidad.

En realidad: Una bola maciza gana a un cilindro macizo, que gana a un aro. Menos de su energía se va en girar.

Mito: Recoger los brazos crea momento angular.

En realidad: El momento angular se mantiene; la velocidad de giro aumenta porque I disminuye.

Tarjetas de estudio

Velocidad angular ω	**Momento de inercia I**
Rapidez de rotación, rad/s.	Resistencia a la aceleración angular; $I = \Sigma mr^2$.

Momento de fuerza τ

Efecto de giro de una fuerza; $\tau = rF \sin \theta$ (N·m).

$\tau = I\alpha$

Segunda ley de Newton para la rotación.

Momento angular L

$L = I\omega$; se conserva sin momento externo.

Rodadura sin deslizamiento

$v = \omega r$ en el punto de contacto; K total = $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

Cuestionario de autoevaluación

1. ¿Cuál llega primero al final de una rampa, rodando desde el reposo?

Un aro

Un disco macizo

Empatan

El más pesado

Un disco macizo. El disco tiene menor $I/(mr^2)$, así que más de su energía va al avance.

2. El análogo rotacional de la masa es...

el momento de fuerza

el momento angular

el momento de inercia

la velocidad angular

el momento de inercia. I se opone a la aceleración angular igual que m a la lineal.

3. Un satélite gira sin encender propulsores haciendo girar una rueda en su interior. Esto usa...

la conservación de la energía

la conservación del momento angular

solo la primera ley de Newton

la gravedad

la conservación del momento angular. Girar la rueda en un sentido hace girar el satélite en el otro; el L total se mantiene constante.

4. Duplicar el radio de un disco de la misma masa multiplica I por...

2

4

½

8

4. $I = \frac{1}{2}MR^2$, así que $2^2 = 4$.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Las ruedas de reacción son una forma habitual de orientar los instrumentos de una nave: girar una rueda en un sentido hace girar la nave en el otro, como en el ejercicio, sin gastar propelente.

Los aerogeneradores son máquinas rotatorias. El momento del viento sobre las palas hace girar el rotor, y el generador convierte ese giro en electricidad.

Los volantes de inercia almacenan energía como rotación y pueden estabilizar la red; la física es exactamente $K = \frac{1}{2}I\omega^2$.

En Saving Planets: GRACE-FO · Observación de la Tierra

Fuentes: OpenStax University Physics 1, 11.3 Conservation of Angular Momentum (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum) · DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 10.4 Moment of Inertia and Rotational Kinetic Energy (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy): Sección de libro de texto gratuita.
- OpenStax University Physics 1, 10.6 Torque (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-6-torque): Momento de fuerza con ejemplos.

- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Momento de fuerza y equilibrio en un balancín.

Ver la clase

34.1 Torque Causes Angular Momentum to Change - Point Particle (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/34/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), MIT OpenCourseWare. Licencia: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condiciones de uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Gravitación y órbitas

La ley de gravitación de Newton explica por qué los satélites se mantienen arriba, cuánto dura una órbita y cómo pasar de una órbita a otra.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Usar la ley de gravitación universal de Newton y hallar g a cualquier altitud.
- Hallar la velocidad y el período de una órbita circular y el radio de una órbita geoestacionaria.
- Usar la energía potencial gravitatoria para hallar la velocidad de escape.
- Aplicar las tres leyes de Kepler y estimar una transferencia de Hohmann.

Conceptos clave

- Toda masa atrae a cualquier otra con F = Gm_1m_2/r^2. La gravedad se debilita con el cuadrado de la distancia al centro.
- Una órbita circular se da cuando la gravedad aporta exactamente la fuerza centrípeta: $GMm/r^2 = mv^2/r$.
- Leyes de Kepler: las órbitas son elipses con el planeta en un foco; una línea al planeta barre áreas iguales en tiempos iguales; $T^2 \propto a^3$.
- Lejos de la Tierra, la energía potencial gravitatoria es U = −GMm/r. La velocidad de escape es la que hace cero la energía total.
- Una transferencia de Hohmann pasa entre dos órbitas circulares con dos encendidos a lo largo de media elipse.

Ecuaciones clave

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}, \quad g(r) = \frac{GM}{r^2}$$

`F=(Gm_1m_2)/(r^2), g(r)=(GM)/(r^2)`

Gravitación universal

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

`v=GM/r, T=2π(r^3)/(GM)`

Velocidad y período de una órbita circular

$$U = -\frac{GMm}{r}, \quad v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

U=-GMm/r, v_esc=2GM/R

Energía potencial y velocidad de escape

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} a^3$$

T^2=(4π^2)/(GM)a^3

Tercera ley de Kepler

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 7.1 Halla g en la superficie terrestre a partir de G, la masa y el radio de la Tierra.

1. g = GM/R² = 6.674 × 10⁻¹¹ × 5.972 × 10²⁴ ÷ (6.371 × 10⁶)².
2. GM = 3.986 × 10¹⁴ m³/s²; R² = 4.059 × 10¹³ m².
3. g = 9.82 m/s².

Respuesta: 9.82 m/s². La g medida varía de unos 9.78 m/s² en el ecuador a 9.83 m/s² en los polos, porque la Tierra gira y se abulta en el ecuador; 9.81 m/s² es un promedio cómodo.

Ejemplo 7.2 Landsat 9 orbita a unos 705 km sobre la Tierra. Tratando la órbita como un círculo, halla su velocidad y su período.

1. r = 6,371 + 705 = 7,076 km = 7.076 × 10⁶ m.
2. v = √(GM/r) = √(3.986 × 10¹⁴ ÷ 7.076 × 10⁶) = 7,505 m/s.
3. T = 2πr/v = 2π × 7.076 × 10⁶ ÷ 7505 = 5924 s = 98.7 min.

Respuesta: 7.51 km/s y unos 99 minutos por órbita, lo que coincide con la cifra publicada.

Ejemplo 7.3 ¿A qué radio orbita un satélite una vez por día sidéreo (86164 s), quedándose sobre un mismo punto del ecuador?

1. r³ = GM T²/4π² = 3.986 × 10¹⁴ × 86,164² ÷ 39.48.
2. r³ = 7.496 × 10²².
3. r = 4.216 × 10⁷ m = 42160 km del centro de la Tierra, unos 35790 km sobre el ecuador.

Respuesta: Unos 42160 km del centro de la Tierra: la órbita geoestacionaria, donde están muchos satélites meteorológicos.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Halla la velocidad de escape desde la superficie terrestre.

   $v = \sqrt{(2GM/R)} = \sqrt{(2 \times 3.986 \times 10^{14} \div 6.371 \times 10^{6})} = 11.2$ km/s.

2. A la altitud de la ISS, unos 420 km, ¿qué fracción de la gravedad superficial queda?

   $(6371 \div 6791)^2 = 0.880$. Los astronautas flotan porque están en caída libre, no porque no haya gravedad.

3. Marte orbita el Sol con un semieje mayor de 1.524 UA. ¿Cuánto dura su año?

   Kepler: T = a^1.5 años = 1.524^1.5 = 1.88 años terrestres.

4. Estima el Δv total de una transferencia de Hohmann de una órbita circular de 300 km al radio geoestacionario (42164 km).

   $r_1 = 6671$ km, $r_2 = 42164$ km. Encendido 1: $\sqrt{(GM/r_1)}(\sqrt{(2r_2/(r_1 + r_2))} - 1) = 2.43$ km/s. Encendido 2: $\sqrt{(GM/r_2)}(1 - \sqrt{(2r_1/(r_1 + r_2))}) = 1.47$ km/s. Total 3.90 km/s (más cualquier cambio de plano).

Ideas erróneas comunes

Mito: En órbita no hay gravedad.

En realidad: A 420 km, la gravedad sigue siendo el 88% de su valor en superficie. Los astronautas y la estación caen juntos.

Mito: Un satélite más pesado necesita ir más rápido para seguir en la misma órbita.

En realidad: $v = \sqrt{(GM/r)}$ no contiene la masa del satélite.

Mito: Para alcanzar una nave que va delante en la misma órbita, acelera.

En realidad: Acelerar eleva tu órbita y alarga tu período, así que te quedas atrás. Hay que frenar para bajar a una órbita más baja y rápida.

Tarjetas de estudio

Ley de gravitación de Newton

$F = Gm_1m_2/r^2$.

Velocidad orbital

$v = \sqrt{(GM/r)}$ para un círculo.

Tercera ley de Kepler

$T^2 \propto a^3$.

Velocidad de escape

$v = \sqrt{(2GM/R)}$; 11.2 km/s desde la Tierra.

Órbita geoestacionaria

Período de un día sidéreo, unos 35790 km sobre el ecuador.

Transferencia de Hohmann

Media elipse con dos encendidos entre órbitas circulares.

Cuestionario de autoevaluación

1. Si duplicas tu distancia al centro de la Tierra, la gravedad se vuelve…

½ de fuerte

¼ de fuerte

2 veces más fuerte

igual

¼ de fuerte. Inverso del cuadrado: $1/2^2 = 1/4$.

2. Una órbita circular más baja tiene un…

período más largo y menor velocidad

período más corto y mayor velocidad

período más largo y mayor velocidad

el mismo período

período más corto y mayor velocidad. $v = \sqrt{(GM/r)}$ aumenta al bajar r, y $T \propto r^{1.5}$ disminuye.

3. La segunda ley de Kepler significa que un planeta va más rápido…

en el punto más lejano del Sol

en el punto más cercano al Sol

a la misma velocidad en todas partes

solo en los equinoccios

en el punto más cercano al Sol. Áreas iguales en tiempos iguales: cerca del Sol el radio es corto, así que debe ir más rápido.

4. La velocidad de escape desde la Tierra es de unos…

7.9 km/s

11.2 km/s

3.1 km/s

30 km/s

11.2 km/s. √(2GM/R) = 11.2 km/s, √2 veces la velocidad en órbita baja.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los satélites gemelos GRACE-FO vuelan a unos 220 km de distancia y miden la variación de la distancia entre ellos con una precisión de alrededor de una micra. Cuando el satélite delantero pasa sobre una masa extra, como un gran acuífero o una capa de hielo, la gravedad lo adelanta ligeramente. Cartografiar esos tirones mes a mes muestra dónde se agotan las aguas subterráneas y a qué ritmo pierden masa las capas de hielo.

Esos datos de gravedad ayudan a gestionar el agua durante las sequías y a que los científicos sigan la subida del nivel del mar, que importa tanto a las comunidades costeras como a los humedales.

Elegir la órbita también es física: las órbitas heliosíncronas como la de Landsat 9 repiten las condiciones de iluminación para comparar con justicia los cambios en el suelo, y las geoestacionarias permiten a los satélites meteorológicos vigilar las tormentas sin interrupción.

En Saving Planets: GRACE-FO · Calculadora de velocidad orbital · Calculadora de transferencia de Hohmann

Fuentes: NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/) · NASA: Landsat 9 (en inglés) (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 13.4 Satellite Orbits and Energy (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-4-satellite-orbits-and-energy): Sección de libro de texto gratuita.
- OpenStax University Physics 1, 13.5 Kepler's Laws of Planetary Motion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/13-5-keplers-laws-of-planetary-motion): Las leyes de Kepler deducidas y

aplicadas.

- PhET: Gravity and Orbits (https://phet.colorado.edu/en/simulations/gravity-and-orbits): Cambia masas y velocidades y observa cómo se forman las órbitas.
- PhET: Kepler's Laws (https://phet.colorado.edu/en/simulations/keplers-laws): Explora las tres leyes.

☐ **Terminé esta unidad**

UNIDAD 8 · SEMANAS 13–14

Oscilaciones e introducción a los fluidos

Muelles y péndulos se repiten en movimiento armónico simple; los fluidos empujan con presión y sostienen con flotación y flujo.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Describir el movimiento armónico simple y hallar período, frecuencia y velocidad máxima de un muelle y un péndulo.
- Explicar el amortiguamiento y la resonancia.
- Calcular la presión en profundidad y la fuerza de empuje.
- Usar la ecuación de continuidad y la de Bernoulli para flujo estacionario.

Conceptos clave

- Una fuerza restauradora proporcional al desplazamiento (F = −kx) da movimiento armónico simple, x = A cos(ωt + φ).
- El período de una masa en un muelle no depende de la amplitud; el de un péndulo solo depende de su longitud y de g en oscilaciones pequeñas.
- La presión en un fluido aumenta con la profundidad: P = P_0 + ρgh.
- Arquímedes: el empuje es igual al peso del fluido desalojado.
- En flujo estacionario, un fluido se acelera donde el tubo se estrecha (continuidad), y el flujo más rápido tiene menor presión (Bernoulli).

Ecuaciones clave

$$x(t) = A\cos(\omega t + \phi)$$

`x(t)=A(ω t+)`

Movimiento armónico simple

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

`ω=k/m, T=2πm/k`

Masa en un muelle

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T=2πL/g

Péndulo simple (ángulos pequeños)

$$P = P_0 + \rho g h, \quad F_B = \rho_{fluid} V_{sub} g$$

P=P_0+ρ gh, F_B=ρ_fluidV_subg

Presión en profundidad y flotación

$$A_1 v_1 = A_2 v_2, \quad P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

A_1v_1=A_2v_2, P+12ρ v^2+ρ gh=const

Continuidad y Bernoulli

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 8.1 Una masa de 0.50 kg en un muelle con k = 200 N/m se estira 5.0 cm y se suelta. Halla ω, el período, la frecuencia y la velocidad máxima.

1. ω = √(k/m) = √(200 ÷ 0.50) = 20 rad/s.
2. T = 2π/ω = 0.314 s; f = 1/T = 3.18 Hz.
3. v_max = Aω = 0.050 × 20 = 1.0 m/s.

Respuesta: ω = 20 rad/s, T = 0.314 s, f = 3.18 Hz, v_max = 1.0 m/s.

Ejemplo 8.2 ¿Cuál es el período de un péndulo de 1.00 m en la Tierra y en la Luna (g = 1.62 m/s²)?

1. Tierra: T = 2π√(1.00 ÷ 9.81) = 2.01 s.
2. Luna: T = 2π√(1.00 ÷ 1.62) = 4.94 s.

Respuesta: 2.01 s en la Tierra, 4.94 s en la Luna.

Ejemplo 8.3 El agua fluye a 2.0 m/s por un tubo horizontal de 4.0 cm de diámetro que se estrecha a 2.0 cm. Halla la nueva velocidad y la caída de presión.

1. El área se reduce a (2.0/4.0)² = ¼, así que v_2 = 4 × 2.0 = 8.0 m/s.
2. Bernoulli, tubo horizontal: ΔP = ½ρ(v_2^2 − v_1^2) = ½ × 1000 × (64 − 4.0) = 30000 Pa.

Respuesta: 8.0 m/s y una caída de presión de 30 kPa.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Cuál es la presión adicional a 10 m bajo la superficie del agua de mar ($\rho = 1025$ kg/m³)?

   $\rho g h = 1025 \times 9.81 \times 10 = 100600$ Pa, alrededor de una atmósfera más.

2. Un bloque de madera de densidad 600 kg/m³ flota en agua dulce. ¿Qué fracción queda sumergida?

   Flotación: $\rho_{wood} V g = \rho_{water} V_{sub} g$, así que $V_{sub}/V = 600/1000 = 0.60$.

3. Un péndulo debe tener un período de exactamente 2.00 s. ¿Qué longitud debe tener?

   $L = g(T/2\pi)^2 = 9.81 \times (2.00 \div 6.283)^2 = 0.994$ m.

4. ¿Por qué se pide a los soldados romper el paso al cruzar un puente?

   Marchar al paso empuja el puente con una frecuencia constante. Si coincide con una frecuencia natural del puente, la resonancia puede generar grandes oscilaciones.

Ideas erróneas comunes

Mito: Una oscilación más amplia hace que el péndulo tarde más.

En realidad: Para oscilaciones pequeñas, el período no depende de la amplitud, solo de L y g.

Mito: Lo pesado se hunde y lo ligero flota.

En realidad: Decide la densidad. Un barco de acero flota porque su forma desaloja un peso de agua igual al suyo.

Mito: Un fluido más rápido tiene mayor presión.

En realidad: En flujo estacionario y horizontal, el flujo más rápido tiene menor presión (Bernoulli).

Tarjetas de estudio

Movimiento armónico simple

Oscilación con fuerza restauradora $\propto$ desplazamiento; $x = A\cos(\omega t + \varphi)$.

Período

Tiempo de un ciclo; $T = 1/f$.

Resonancia

Gran respuesta al excitar a una frecuencia natural.

Presión

Fuerza por área, $P = F/A$ (Pa).

Principio de Arquímedes

Empuje = peso del fluido desalojado.

Ecuación de Bernoulli

$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h$ es constante a lo largo de una línea de corriente en flujo estacionario e ideal.

Cuestionario de autoevaluación

1. Cuadruplicar la masa en un muelle multiplica el período por…

4

2

½

¼

2. $T \propto \sqrt{m}$, y $\sqrt{4} = 2$.

2. El empuje sobre un objeto sumergido es igual a…

su propio peso

el peso del fluido que desaloja

la presión del fluido

cero

el peso del fluido que desaloja. Principio de Arquímedes.

3. El agua se acelera donde una manguera se estrecha debido a…

la continuidad ($A_1v_1 = A_2v_2$)

la flotación

la resonancia

la fricción

la continuidad ($A_1v_1 = A_2v_2$). El mismo volumen por segundo debe pasar por un área menor.

4. Se lleva un reloj de péndulo a la Luna. Va...

más rápido

más lento

igual

al revés

más lento. Una g menor da un período más largo, así que hace tic con menos frecuencia.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La sustentación de un ala y de una pala de aerogenerador viene del aire que fluye más rápido por un lado, lo que baja allí la presión. La ecuación de Bernoulli es el primer paso para diseñar palas y alas que desperdicien menos energía.

La física de las oscilaciones también importa en las máquinas de energía limpia: cualquier estructura alta empujada rítmicamente, como la torre de un aerogenerador por su rotor, puede acumular grandes vibraciones si el empuje coincide con una de sus frecuencias naturales (resonancia).

La presión de los fluidos y la flotación están también detrás de la ciencia oceánica, desde boyas que miden el océano profundo hasta satélites como Sentinel-6 que miden el nivel del mar para ayudar a planificar a las comunidades costeras.

En Saving Planets: Calculadora del período de un péndulo · Calculadora de la ecuación de sustentación · Sentinel-6B

Fuentes: DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · NASA: Sentinel-6 sea level mission (en inglés) (https://sealevel.nasa.gov/missions/sentinel-6)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- OpenStax University Physics 1, 15.1 Simple Harmonic Motion (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion): Sección de libro de texto gratuita.
- OpenStax University Physics 1, 15.4 Pendulums (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-4-pendulums): Péndulos simples y físicos.

- OpenStax University Physics 1, 14.4 Archimedes' Principle and Buoyancy (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-4-archimedes-principle-and-buoyancy): Flotación con ejemplos.
- OpenStax University Physics 1, 14.6 Bernoulli's Equation (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-6-bernoullis-equation): Flujo, presión y sustentación.
- PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab): Período, longitud, masa y gravedad.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): Muelles, energía y amortiguamiento.
- PhET: Buoyancy (https://phet.colorado.edu/en/simulations/buoyancy): Densidad y empuje.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Presión en profundidad.

☐ **Terminé esta unidad**

Problemas

Estos problemas están dentro de cada unidad. Hazlos en papel y luego abre la respuesta.

1. Medición, vectores y movimiento en una dimensión
   5 problemas
2. Movimiento en dos dimensiones: proyectiles y círculos
   4 problemas
3. Leyes de Newton, rozamiento y dinámica circular
   5 problemas
4. Trabajo, energía y potencia
   5 problemas
5. Momento lineal, colisiones y cohetes
   4 problemas
6. Rotación, momento de fuerza y momento angular
   5 problemas
7. Gravitación y órbitas
   4 problemas
8. Oscilaciones e introducción a los fluidos
   4 problemas

El laboratorio (PHYS 110L)

El laboratorio es la parte práctica del curso, un componente de 1 crédito en un plan universitario típico. Aquí es gratuito y solo para practicar.

Cada práctica pone a prueba una idea de clase con mediciones reales, y en todas debes indicar una incertidumbre. Un resultado sin incertidumbre no se puede comparar con una predicción. Cada práctica tiene también una versión casera o con PhET.

Referencia de seguridad: OSHA: seguridad laboral (en inglés) (https://www.osha.gov/)

Práctica A: Medición e incertidumbre (medir g)

SEMANA 1

Objetivo: Cronometra una pelota que cae desde una altura medida, halla g e indica una incertidumbre adecuada.

$$g = \frac{2h}{t^2}, \quad \frac{\delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\delta h}{h}\right)^2 + \left(2\frac{\delta t}{t}\right)^2}$$

`g=(2h)/(t^2), ( g)/(g)=(( h)/(h))^2+(2( t)/(t))^2`

Propaga las incertidumbres relativas en cuadratura; el tiempo va al cuadrado, así que su incertidumbre relativa cuenta doble

Procedimiento

1. Mide la altura de caída h desde la parte baja de la pelota hasta el suelo; estima δh (con cinta métrica, unos ±2 mm).
2. Suelta una pelota densa desde el reposo y cronometra la caída. Un vídeo a cámara lenta del móvil o una app que se activa con el sonido es mejor que un cronómetro manual.
3. Repite al menos cinco veces.
4. Halla el tiempo medio, la desviación estándar muestral s y el error estándar s/√N; usa el error estándar como δt.
5. Calcula g y δg, y compara con 9.81 m/s².

Tabla de datos

Ensayo	Tiempo de caída (s)
1	0.55
2	0.56
3	0.54
4	0.55
5	0.56
Media	0.552
Desviación estándar s	0.0084
Error estándar s/√5	0.0037

Datos de ejemplo solo para practicar. h = 1.500 ± 0.002 m.

Cálculo de ejemplo

1. $g = 2h/t^2 = 2 \times 1.500 \div 0.552^2 = 9.85\ m/s^2$.
2. Incertidumbre relativa por el tiempo: $2 \times 0.0037 \div 0.552 = 1.36\%$. Por la altura: $0.002 \div 1.500 = 0.13\%$.
3. Combinada: $\sqrt{(1.36^2 + 0.13^2)} = 1.36\%$, así que $\delta g = 0.0136 \times 9.85 = 0.13\ m/s^2$.
4. Resultado: $g = 9.85 \pm 0.13\ m/s^2$. El valor aceptado $9.81\ m/s^2$ está dentro del intervalo, así que coinciden. La medición del tiempo domina la incertidumbre.

> **Seguridad**
>
> - Suelta la pelota solo donde no haya nadie debajo y despeja el suelo.
> - Súbete a una superficie firme, no a una silla, para alcanzar la altura de suelta.

Alternativa en casa o virtual

- Hazlo exactamente como está escrito en casa con un vídeo a cámara lenta del móvil.
- O usa la simulación PhET Projectile Motion con velocidad de lanzamiento 0 para comprobar el tiempo.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion) · Guía JCGM de incertidumbre (GUM) (en inglés) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications)

Vínculo con el planeta: La ciencia de GRACE-FO solo funciona porque su equipo conoce la incertidumbre de cada distancia que mide; un cambio cuenta solo si supera esa incertidumbre. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica B: Movimiento de proyectiles

SEMANA 3

Objetivo: Mide la velocidad de un lanzador con un tiro horizontal y luego predice y comprueba dónde cae un tiro inclinado.

$$v_0 = \frac{x}{\sqrt{2h/g}}, \quad R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`v_0=2h/g, R=(v_0^22θ)/(g)`

Velocidad de lanzamiento con un tiro horizontal y luego el alcance previsto

Procedimiento

1. Dispara una pelota horizontalmente con un lanzador (o hazla rodar desde una rampa) a la altura de la mesa h.
2. Pega papel carbón sobre papel normal donde cae; haz cinco tiros y mide cada distancia x.
3. Halla la media de x y calcula v_0.
4. Predice el alcance de un lanzamiento a 30° desde el suelo, marca el punto y compruébalo con cinco tiros.
5. Compara predicción y resultado; enumera las fuentes de error (resistencia del aire, altura de lanzamiento, lectura del ángulo).

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Altura de la mesa h	1.00 m
Distancia media de caída x	2.26 m
Tiempo de caída √(2h/g)	0.452 s
Velocidad de lanzamiento v_0	5.01 m/s
Alcance previsto a 30°	2.21 m

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. t = √(2 × 1.00 ÷ 9.81) = 0.452 s.
2. v_0 = 2.26 ÷ 0.452 = 5.01 m/s.
3. R(30°) = 5.01² × sin 60° ÷ 9.81 = 25.1 × 0.866 ÷ 9.81 = 2.21 m.
4. Diferencia porcentual = |medido − previsto| ÷ previsto × 100%.

Seguridad

- Usa protección ocular con cualquier lanzador de muelle y nunca apuntes a una persona.
- Mantén despejada la zona de caída.

Alternativa en casa o virtual

- Haz rodar una canica fuera de una mesa y mide x; omite la parte inclinada o usa la simulación PhET.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion)

Vínculo con el planeta: El mismo método de predecir y luego comprobar se usa para pronosticar dónde podría caer una etapa de cohete en reentrada.

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica C: Segunda ley de Newton

SEMANA 5

Objetivo: Mostrar que la aceleración es proporcional a la fuerza neta e inversamente proporcional a la masa.

$$a = \frac{m_h g}{m_c + m_h}$$

```
a=(m_hg)/(m_c+m_h)
```

Carrito tirado por una masa colgante sobre una polea, sin fricción

Procedimiento

1. Nivela un riel. Une un carrito (masa m_c) con un hilo sobre una polea a una masa colgante m_h.
2. Suelta desde el reposo y registra el movimiento con un sensor, un vídeo o cronometrando una distancia conocida (a = 2d/t²).
3. Repite con cinco masas colgantes, pasando masa del carrito al colgador para que el total no cambie.
4. Grafica a frente a m_h g. La pendiente debe ser 1/(m_c + m_h).
5. Repite con masa extra en el carrito para comprobar la dependencia de la masa.

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Masa del carrito m_c	0.500 kg
Masa colgante m_h	0.050 kg
a prevista	0.892 m/s²
a medida	0.86 m/s²

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. a prevista = 0.050 × 9.81 ÷ 0.550 = 0.892 m/s².
2. La medida, 0.86 m/s², es un 3.6% menor.
3. Fuerza de fricción necesaria para explicar la diferencia: (0.892 − 0.86) × 0.550 = 0.018 N, una fricción de rodadura razonable.

> **Seguridad**

- Pon un tope blando al final del riel y mantén los dedos lejos de la polea.

Alternativa en casa o virtual

- Usa PhET Forces and Motion: Basics (pantalla Acceleration) para variar fuerza y masa.

PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics)

Vínculo con el planeta: F = ma explica por qué los vehículos más ligeros necesitan menos energía para acelerar: cada kilogramo ahorrado reduce la fuerza, y el combustible, necesarios.

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica D: Fricción

SEMANA 5

Objetivo: Mide los coeficientes de fricción estática y cinética con una rampa inclinable.

$$\mu_s = \tan\theta_{slip}, \quad \mu_k = \tan\theta_{steady}$$

`μ_s=θ_slip, μ_k=θ_steady`

En una rampa, la fricción equilibra mg sin θ cuando N = mg cos θ

Procedimiento

1. Coloca un bloque sobre una tabla y levanta despacio un extremo hasta que el bloque empiece a deslizar; anota el ángulo θ_slip. Repite cinco veces.
2. Halla el ángulo en que el bloque, tras un toque, desliza a velocidad constante: θ_steady.
3. Calcula μ_s y μ_k. Repite en una segunda superficie (fieltro, goma).

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Masa del bloque	0.250 kg
Ángulo medio de deslizamiento	31°
Ángulo medio de deslizamiento uniforme	24°
μ_s	0.60
μ_k	0.45

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. μ_s = tan 31° = 0.601.
2. μ_k = tan 24° = 0.445.
3. Como se esperaba, $\mu_k < \mu_s$. La masa no aparece: se cancela.

> **Seguridad**
>
> - Mantén la rampa baja y estable; atrapa el bloque abajo.

Alternativa en casa o virtual

- Un libro, una app de inclinómetro en el móvil y una tapa dura funcionan bien.

- PhET The Ramp permite ajustar la fricción y ver las fuerzas.

PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp)

Vínculo con el planeta: La fricción de rodadura de los neumáticos es una de las fuerzas contra las que un vehículo gasta energía a cualquier velocidad; los diseños de menor fricción ahorran combustible. DOE de EE. UU.: Vehicle Technologies Office (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/vehicles/vehicle-technologies-office)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica E: Conservación de la energía

SEMANA 7

Objetivo: Compara la velocidad medida de un carrito al pie de una rampa con la que predice la conservación de la energía.

$$v = \sqrt{2gh}, \quad \text{fraction kept} = \frac{v_{meas}^2}{2gh}$$

```
v=2gh, fraction kept=_meas^22gh
```

Velocidad ideal para un descenso h, y cuánta energía mecánica se conservó

Procedimiento

1. Mide el descenso vertical h de la rampa.
2. Suelta un carrito de baja fricción desde el reposo y mide su velocidad abajo (fotopuerta o vídeo en una distancia corta conocida).
3. Repite cinco veces y promedia.
4. Calcula la velocidad prevista y la fracción de energía conservada; explica adónde fue el resto.

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Altura de descenso h	0.300 m
Velocidad prevista	2.43 m/s
Velocidad medida (media)	2.35 m/s
Energía conservada	93.8%

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. v = √(2 × 9.81 × 0.300) = 2.43 m/s.
2. Fracción conservada = $2.35^2 \div (2 \times 9.81 \times 0.300) = 5.52 \div 5.89 = 0.938$.
3. Alrededor del 6.2% de la energía mecánica se convirtió en calor y sonido por fricción y resistencia.

> **Seguridad**
>
> - Sujeta la rampa con una abrazadera y detén el carrito abajo.

Alternativa en casa o virtual

- Haz rodar una pelota por una rampa de libros y cronométrala en un tramo plano medido.
- PhET Energy Skate Park muestra los mismos gráficos de barras de energía.

PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park)

Vínculo con el planeta: Seguir adónde va la energía es como los ingenieros encuentran ahorros, desde el frenado regenerativo hasta el bombeo hidroeléctrico. DOE de EE. UU.: conceptos básicos de vehículos eléctricos (en inglés) (https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica F: Momento lineal y choques

SEMANA 8

Objetivo: Comprueba la conservación del momento lineal en choques elásticos y pegajosos, y mide cuánta energía cinética se pierde.

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

`m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v_f`

Colisión perfectamente inelástica

Procedimiento

1. En un riel horizontal, lanza el carrito 1 contra el carrito 2 en reposo con velcro enfrentado para que se peguen.
2. Mide las velocidades justo antes y después (sensor o vídeo).
3. Repite con imanes o muelles enfrentados para un rebote casi elástico.
4. En cada prueba, compara el momento total y la energía cinética total antes y después.

Tabla de datos

Magnitud	Valor
$m_1 = m_2$	0.50 kg
v_1 antes	0.80 m/s
v después prevista (pegados)	0.40 m/s
v después medida	0.39 m/s

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. p antes = 0.50 × 0.80 = 0.40 kg·m/s. p después = 1.00 × 0.39 = 0.39 kg·m/s, una diferencia del 2.5% (fricción durante el recorrido).
2. K antes = ½ × 0.50 × 0.80^2 = 0.160 J. K después = ½ × 1.00 × 0.39^2 = 0.076 J.
3. Se perdió cerca de la mitad de la energía cinética, como predice la teoría para masas iguales que se pegan (exactamente el 50% en el caso ideal).

> **Seguridad**
>
> - Mantén velocidades bajas y detén los carritos antes del final del riel.

Alternativa en casa o virtual

- PhET Collision Lab permite ajustar la elasticidad del 0% al 100%.

PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab)

Vínculo con el planeta: DART usó exactamente esta física en un asteroide: un choque planificado y medido para cambiar la órbita de una pequeña luna. NASA: la misión DART (en inglés) (https://science.nasa.gov/mission/dart/)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica G: Inercia rotacional

SEMANA 10

Objetivo: Mide el momento de inercia de un disco con una masa que cae y compáralo con ½MR².

$$I = mr^2\left(\frac{g}{a} - 1\right), \quad a = \frac{2d}{t^2}$$

`I=mr^2(g/a-1), a=(2d)/(t^2)`

Masa colgante m en un hilo enrollado en un eje de radio r

Procedimiento

1. Enrolla un hilo en el eje del disco (radio r) y cuelga de él una masa m.
2. Suelta desde el reposo y cronometra la caída a lo largo de una altura d; repite cinco veces.
3. Calcula a y luego I. Mide la masa M y el radio R del disco y calcula ½MR².
4. Compara. Luego añade un aro y mira cuánto crece I.

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Masa colgante m	0.050 kg
Radio del eje r	0.025 m
Distancia de caída d	0.800 m
Tiempo medio de caída t	4.00 s
Disco M, R	1.50 kg, 0.064 m

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. a = 2 × 0.800 ÷ 4.00² = 0.100 m/s².
2. I = 0.050 × 0.025² × (9.81 ÷ 0.100 − 1) = 0.050 × 0.000625 × 97.1 = 3.03 × 10⁻³ kg·m².
3. ½MR² = ½ × 1.50 × 0.064² = 3.07 × 10⁻³ kg·m².
4. Diferencia del 1.2%, dentro de la incertidumbre del radio y del tiempo.

> **Seguridad**
>
> - Mantén la masa colgante baja sobre una superficie blanda.

Alternativa en casa o virtual

- Haz rodar una lata de sopa llena y una vacía por la misma rampa y compara los tiempos; explica el resultado con $K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$.

OpenStax 10.4 Moment of Inertia (en inglés) (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-4-moment-of-inertia-and-rotational-kinetic-energy)

Vínculo con el planeta: Las ruedas de reacción que orientan los satélites de observación de la Tierra se diseñan justamente en torno a esta magnitud.

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica H: Péndulo y movimiento armónico simple

SEMANA 13

Objetivo: Comprueba T = 2π√(L/g), muestra que el período no depende de la masa ni de una amplitud pequeña, y mide g de otra forma.

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

g=(4π^2L)/(T^2)

Ecuación del péndulo reordenada

Procedimiento

1. Cuelga una pesa densa de un hilo; mide L desde el pivote hasta el centro de la pesa.
2. Sepárala menos de 10° y cronometra 20 oscilaciones completas; divide entre 20 para obtener T.
3. Repite con cinco longitudes. Grafica T² frente a L: la pendiente es 4π²/g.
4. Cambia la masa de la pesa y la amplitud (aún pequeña) y comprueba que T no cambia.
5. Opcional: cronometra una masa que rebota en un muelle y comprueba T = 2π√(m/k).

Tabla de datos

Magnitud	Valor
Longitud L	0.800 m
Tiempo de 20 oscilaciones	35.9 s
Período T	1.795 s
g	9.80 m/s²

Datos de ejemplo solo para practicar.

Cálculo de ejemplo

1. T = 35.9 ÷ 20 = 1.795 s. Cronometrar 20 oscilaciones divide el error de tiempo de reacción entre 20.
2. g = 4π² × 0.800 ÷ 1.795² = 31.58 ÷ 3.222 = 9.80 m/s².
3. Compara con la Práctica A: dos métodos independientes, y el péndulo es mucho más preciso.

> **Seguridad**
>
> - Usa un pivote firme y balancea la pesa lejos de las caras.

Alternativa en casa o virtual

- Una llave atada a un cordón sirve; cronométrala con el móvil.

PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab) · PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs)

Vínculo con el planeta: Conocer con precisión g, y sus diminutos cambios de un lugar a otro, es lo que misiones de gravedad como GRACE-FO convierten en mapas de agua y hielo. NASA JPL: GRACE-FO (https://gracefo.jpl.nasa.gov/)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Series de práctica para exámenes

Cronométrate: unos 10 minutos por problema. Luego compara con las soluciones completas.

Ejercicios de práctica para el parcial (unidades 1–4)

1. Un cohete acelera hacia arriba desde el reposo a 5.0 m/s² durante 20 s y luego su motor se apaga. ¿Qué altura máxima alcanza?

    1. Al apagarse: v = 5.0 × 20 = 100 m/s; altura = ½ × 5.0 × 20² = 1000 m.
    2. Subida por inercia: altura extra = $v^2/2g$ = 100² ÷ 19.62 = 510 m.

    Respuesta: 1510 m, sin contar la resistencia del aire.

2. Se patea un balón a 25 m/s a 40° sobre suelo horizontal. Halla su alcance y su tiempo de vuelo.

    1. v_y = 25 sin 40° = 16.1 m/s; t = 2 × 16.1 ÷ 9.81 = 3.28 s.
    2. R = 25² × sin 80° ÷ 9.81 = 625 × 0.985 ÷ 9.81 = 62.7 m.

    Respuesta: 62.7 m en 3.28 s.

3. Un trineo de 20 kg se arrastra a velocidad constante por la nieve (μ_k = 0.10) con una cuerda horizontal. Halla la tensión de la cuerda y el trabajo realizado en 50 m.

    1. Velocidad constante: T = $\mu_k mg$ = 0.10 × 20 × 9.81 = 19.6 N.
    2. W = 19.6 × 50 = 981 J.

    Respuesta: 19.6 N; 981 J, todo convertido en calor por la fricción.

4. Un bloque de 2.0 kg desliza desde el reposo por una pista curva sin fricción desde 5.0 m de altura y luego comprime un muelle (k = 400 N/m) en suelo horizontal. Halla la compresión máxima.

    1. mgh = ½kx^2.
    2. x = √(2 × 2.0 × 9.81 × 5.0 ÷ 400) = √0.4905 = 0.700 m.

Respuesta: 0.700 m.

Serie de práctica final (todas las unidades)

1. Un carrito de 3.0 kg a 4.0 m/s choca con uno de 1.0 kg en reposo y quedan pegados. Halla la velocidad final y la fracción de energía cinética perdida.

    1. v = 3.0 × 4.0 ÷ 4.0 = 3.0 m/s.
    2. K antes = 24 J; después = ½ × 4.0 × 9.0 = 18 J.

    Respuesta: 3.0 m/s; se pierde el 25% de la energía cinética.

2. Un aro hueco y un disco macizo de igual masa y radio ruedan desde el reposo por una rampa de 1.0 m de altura. Halla la velocidad de cada uno abajo.

    1. Aro ($I = mr^2$): $mgh = mv^2$, así que $v = \sqrt{(gh)} = 3.13$ m/s.
    2. Disco ($I = \frac{1}{2}mr^2$): $mgh = \frac{3}{4}mv^2$, así que $v = \sqrt{(4gh/3)} = 3.62$ m/s.

    Respuesta: Aro 3.13 m/s, disco 3.62 m/s; gana el disco.

3. Halla el período orbital de un satélite en órbita circular a 1336 km sobre la Tierra.

    1. r = 6,371 + 1,336 = 7,707 km.
    2. $T = 2\pi\sqrt{(r^3/GM)} = 2\pi\sqrt{((7.707 \times 10^6)^3 \div 3.986 \times 10^{14})} = 6{,}733$ s.

    Respuesta: Unos 112 minutos.

4. Una masa de 0.20 kg en un muelle oscila con un período de 0.50 s y amplitud de 0.10 m. Halla k y la velocidad máxima.

    1. $\omega = 2\pi \div 0.50 = 12.57$ rad/s.
    2. $k = m\omega^2 = 0.20 \times 158.0 = 31.6$ N/m.
    3. $v_{max} = A\omega = 0.10 \times 12.57 = 1.26$ m/s.

    Respuesta: k = 31.6 N/m; $v_{max} = 1.26$ m/s.

5. Una boya de 1.0 m³ y 400 kg se mantiene totalmente sumergida en agua de mar ($\rho = 1025$ kg/m³) con un cable al fondo. Halla la tensión del cable.

    1. Empuje = 1025 × 1.0 × 9.81 = 10060 N.
    2. Peso = 400 × 9.81 = 3920 N.
    3. Tensión = 10060 − 3920 = 6130 N.

    Respuesta: Unos 6130 N.

Hoja de fórmulas

$$v = dx/dt,\ a = dv/dt \qquad x = x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$R = v_0^2 \sin 2\theta / g$$

$$a_c = v^2/r = \omega^2 r$$

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$f_k = \mu_k N$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

$$K = \tfrac{1}{2}mv^2,\ U_g = mgh,\ U_s = \tfrac{1}{2}kx^2$$

$$P = dW/dt = Fv$$

$$\vec{p} = m\vec{v},\ \vec{J} = \Delta\vec{p}$$

$$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$$

$$\tau = rF\sin\theta = I\alpha$$

$$L = I\omega,\ K_{rot} = \tfrac{1}{2}I\omega^2$$

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

$$v_{orb} = \sqrt{GM/r},\ v_{esc} = \sqrt{2GM/R}$$

$$T^2 = 4\pi^2 a^3/GM$$

$$T_{spring} = 2\pi\sqrt{m/k},\ T_{pend} = 2\pi\sqrt{L/g}$$

$$P = P_0 + \rho gh,\ F_B = \rho V g$$

$$A_1v_1 = A_2v_2,\ P + \tfrac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{const}$$

Constantes

Constante	**Valor**
Constante gravitatoria, G	6.674 × 10⁻¹¹ N·m²/kg²
Gravedad estándar, g	9.81 m/s² (9.80665 m/s² por definición)
Masa de la Tierra	5.972 × 10²⁴ kg (ficha de la NASA sobre la Tierra)
Radio medio de la Tierra	6371 km (ficha de la NASA sobre la Tierra)
GM de la Tierra	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
Día sidéreo	86,164 s
Densidad del agua dulce	1000 kg/m³; agua de mar unos 1025 kg/m³
Densidad del aire a nivel del mar, 15 °C	1.225 kg/m³

Fuente: NIST: constantes físicas fundamentales (en inglés) (https://physics.nist.gov/cuu/Constants/)

Datos de referencia

Usa estas fuentes de datos oficiales y gratuitas junto con el curso.

- Ficha de la NASA sobre la Tierra (en inglés) (https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html): Masa, radio, gravedad y órbita de la Tierra (y enlaces a otros planetas).
- Unidades SI del NIST (en inglés) (https://www.nist.gov/pml/owm/metric-si/si-units): Las siete unidades básicas del SI y cómo se definen.
- Publicaciones del JCGM (GUM) (en inglés) (https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/publications): La guía internacional para expresar la incertidumbre de medida.

Glosario

Aceleración
Tasa de cambio de la velocidad, dv/dt.

Amplitud
Desplazamiento máximo respecto al equilibrio en una oscilación.

Momento angular
L = Iω; se conserva sin momento externo.

Fuerza de empuje
Fuerza hacia arriba de un fluido, igual al peso del fluido desalojado.

Centro de masa
Posición promedio de un sistema ponderada por la masa.

Fuerza conservativa
Fuerza cuyo trabajo no depende del camino, como la gravedad o un muelle.

Desplazamiento
Cambio de posición, un vector.

Colisión elástica
Choque que conserva la energía cinética.

Velocidad de escape
Velocidad mínima para escapar de la gravedad de un cuerpo sin más empuje.

Diagrama de cuerpo libre
Diagrama de todas las fuerzas sobre un objeto.

Frecuencia
Ciclos por segundo (Hz); f = 1/T.

Órbita geoestacionaria
Órbita ecuatorial con un período de un día sidéreo.

Impulso
Fuerza integrada en el tiempo; igual al cambio de momento.

Inercia
Resistencia al cambio de movimiento; se mide con la masa.

Energía cinética
Energía del movimiento, $\frac{1}{2}mv^2$.

Momento de inercia
Inercia rotacional, Σmr^2.

Momento lineal
$p = mv$.

Newton
Unidad SI de fuerza, $kg \cdot m/s^2$.

Período
Tiempo de un ciclo o de una órbita.

Potencia
Ritmo de transferencia de energía, en vatios.

Presión
Fuerza por unidad de área, en pascales.

Resonancia
Gran oscilación al excitar a una frecuencia natural.

Error estándar
Desviación estándar de la media, $s/\sqrt{N}$.

Órbita heliosíncrona
Órbita casi polar que pasa sobre cada lugar a aproximadamente la misma hora solar local.

Momento de fuerza
Efecto de giro de una fuerza, $rF \sin \theta$.

Incertidumbre
Intervalo estimado alrededor de un valor medido que probablemente contiene el valor verdadero.

Vector
Magnitud con tamaño y dirección.

Peso
Fuerza gravitatoria sobre una masa, mg.

Trabajo
Energía transferida por una fuerza a lo largo de un desplazamiento.

Rúbrica de autoevaluación

No se otorga nota ni crédito. Úsala para valorar con honestidad dónde estás en cada unidad.

Nivel	Cómo se ve
4 · Dominio	Resuelve correctamente problemas nuevos, parte de un diagrama y un principio (Newton, energía o momento) y comprueba unidades y casos límite.
3 · Competente	Resuelve los ejercicios con unidades correctas y cifras significativas razonables; algún despiste ocasional.
2 · En desarrollo	Sigue los ejemplos resueltos pero le cuesta elegir método para problemas nuevos, o confunde vectores y escalares.
1 · Inicial	Mete números en fórmulas sin diagrama; necesita repasar la unidad.

Ponderación sugerida si quieres una nota

Parte	Peso
Problemas de práctica	30%
Informes de laboratorio (o laboratorios virtuales)	20%
Serie de práctica de mitad de curso	20%
Serie de práctica final	30%

Apunta al nivel 3 o superior en cada unidad antes de pasar al siguiente curso.

Cursos relacionados

- Química General I + Laboratorio CHEM 110 + CHEM 110L
- Cálculo I MATH 110
- Cálculo II MATH 111
- Todos los cursos