

SERWAY • JEWETT

FÍSICA

para ciencias e ingeniería

Volumen 1

Séptima edición

Física 1 -Comisión 2013-05

Clase: 14 de mayo de 2025

Buenas tardes: Comenzamos esta clase iniciando el estudio de otro capítulo fundamental de la *Mecánica Clásica*: la *Dinámica* de los objetos másicos. Se analizarán las entidades que provocan el movimiento de los objetos y que se denominan *Fuerzas*. Estas entidades serán descritas y clasificadas en función de su origen y de las consecuencias que producen en los objetos donde se aplican.

En la segunda parte de la clase continuaremos con ejercitación mediante desarrollo de problemas de la guía N°2 -2021 disponible en la carpeta 'General' de la asignatura.

Se recomienda la lectura del capítulo 5, páginas 100 a 111 inclusive (sin incluir el ejemplo 5.4) del libro *Física para Ciencias e Ingeniería*, volumen 1, de *R Serway* y *J. Jewett*, (o de cualquier otro libro de la [bibliografía](#) de la asignatura).

Están disponibles en este espacio del Aula Comisión 05 el apunte teórico N°4 Sobre Tiro Oblicuo y N°5 sobre Fuerzas y las Leyes que rigen su acción.

Se ha subido a este espacio virtual un [modelo de parcialito](#).

Pablo Provenzano



Un pequeño remolcador ejerce una fuerza sobre un gran barco y hace que se mueva. ¿Cómo un bote tan pequeño puede hacer que se mueva un objeto tan grande? (Steve Raymer/CORBIS)

- | | |
|--|--|
| 5.1 Concepto de fuerza | 5.6 Tercera ley de Newton |
| 5.2 Primera ley de Newton y marcos inerciales | 5.7 Algunas aplicaciones de las leyes de Newton |
| 5.3 Masa | 5.8 Fuerzas de fricción |
| 5.4 Segunda ley de Newton | |
| 5.5 Fuerza gravitacional y peso | |

5 Las leyes del movimiento

En los capítulos 2 y 4 se describió el movimiento de un objeto en términos de su posición, velocidad y aceleración sin tener en cuenta qué impulsa dicho movimiento. Ahora se considera la influencia externa: ¿qué hace a un objeto permanecer en reposo y que otro objeto acelere? Los dos factores principales en los que es necesario reflexionar son las fuerzas que actúan sobre un objeto y la masa del objeto. En este capítulo comienza el estudio de la *dinámica* al discutir las tres leyes de movimiento básicas, las cuales se relacionan con fuerzas y masas y que formuló hace más de tres siglos Isaac Newton.

5.1 Concepto de fuerza

Cada uno tiene una comprensión básica del concepto de fuerza a partir de la experiencia cotidiana. Cuando aleja un plato de comida vacío, ejerce una fuerza sobre él. De igual modo, cuando se lanza o patea una pelota se ejerce una fuerza sobre ella. En estos ejemplos, la palabra *fuerza* se refiere a una interacción con un objeto mediante actividad muscular y algún cambio en la velocidad del objeto. Sin embargo, las fuerzas no siempre causan movimiento. Por ejemplo, cuando está sentado, sobre su cuerpo actúa una fuerza gravitacional y aún así usted permanece fijo. Como segundo ejemplo, puede empujar (en otras palabras, ejercer una fuerza) sobre una gran roca y no ser capaz de moverla.

¿Qué fuerza (si alguna) hace que la Luna orbite la Tierra? Newton respondió ésta y otras preguntas relacionadas al afirmar que las fuerzas son lo que causa cualquier cambio en la velocidad de un objeto. La velocidad de la Luna no es constante porque se mueve en una órbita casi circular en torno a la Tierra. Este cambio en velocidad lo causa la fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre la Luna.

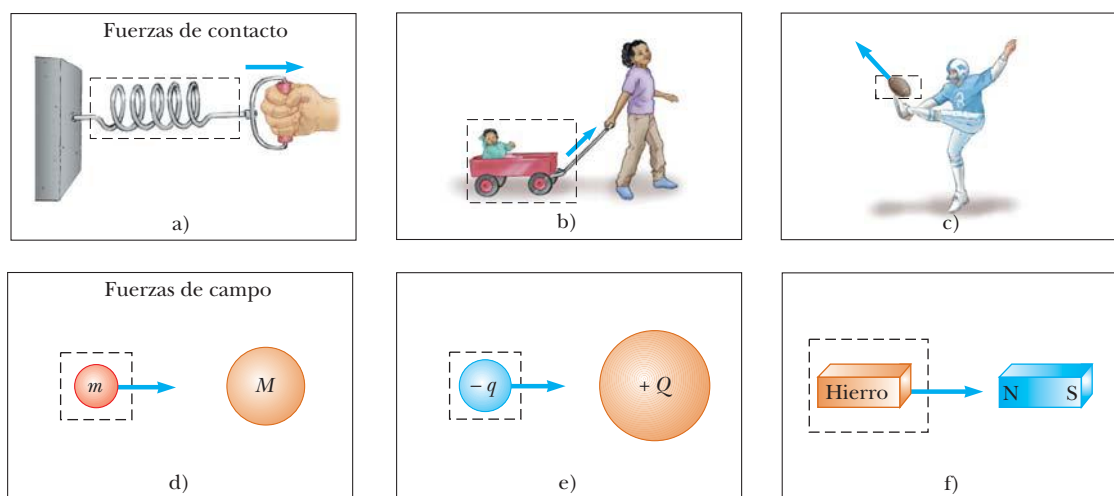


Figura 5.1 Algunos ejemplos de fuerzas aplicadas. En cada caso, sobre el objeto dentro del área limitada por líneas discontinuas se ejerce una fuerza. Algún agente en el ambiente exterior al área del recuadro ejerce una fuerza sobre el objeto.

Cuando un resorte se jala, como en la figura 5.1a, el resorte se estira. Cuando se jala un carrito estacionario, como en la figura 5.1b, el carrito se mueve. Cuando se patear un balón, como en la figura 5.1c, se deforma y se pone en movimiento. Estas situaciones son ejemplos de una clase de fuerzas llamadas *fuerzas de contacto*. Esto es, implican contacto físico entre dos objetos. Otras fuerzas de contacto son la fuerza que ejercen las moléculas de gas sobre las paredes de un contenedor y la fuerza que ejerce su pie sobre el suelo.

Otra clase de fuerzas, conocidas como *fuerzas de campo*, no involucran contacto físico entre dos ejemplos. Estas fuerzas actúan a través del espacio vacío. La fuerza gravitacional de atracción entre dos objetos con masa, que se ilustra en la figura 5.1d, es un ejemplo de esta clase de fuerza. La fuerza gravitacional mantiene a los objetos ligados a la Tierra y a los planetas en órbita alrededor del Sol. Otra fuerza de campo común es la fuerza eléctrica que una carga eléctrica ejerce sobre otra (figura 5.1e). Como ejemplo, estas cargas pueden ser las del electrón y el protón que forman un átomo de hidrógeno. Un tercer ejemplo de fuerza de campo es la fuerza que un imán de barra ejerce sobre un trozo de hierro (figura 5.1f).

La distinción entre fuerzas de contacto y fuerzas de campo no es tan clara como se podría pensar a partir de la discusión anterior. Cuando se examinan a nivel atómico, todas las fuerzas que se clasifican como fuerzas de contacto resultan ser causadas por fuerzas (de campo) eléctricas del tipo que se ilustra en la figura 5.1e. No obstante, al desarrollar modelos para fenómenos macroscópicos, es conveniente usar ambas clasificaciones de fuerzas. Las únicas fuerzas *fundamentales* conocidas en la naturaleza son todas fuerzas de campo: 1) *fuerzas gravitacionales* entre objetos, 2) *fuerzas electromagnéticas* entre cargas eléctricas, 3) *fuerzas fuertes* entre partículas subatómicas y 4) *fuerzas débiles* que surgen en ciertos procesos de decaimiento radiactivo. En la física clásica sólo interesan las fuerzas gravitacional y electromagnética. Las fuerzas fuerte y débil se discutirán en el capítulo 46.

La naturaleza vectorial de la fuerza

Es posible usar la deformación de un resorte para medir fuerza. Suponga que una fuerza vertical se aplica a una balanza de resorte que tiene un extremo superior fijo, como se muestra en la figura 5.2a (página 102). El resorte se estira cuando la fuerza se aplica, y un puntero en la escala lee el valor de la fuerza aplicada. El resorte se puede calibrar al definir una fuerza de referencia \vec{F}_1 como la fuerza que produce una lectura de 1.00 cm. Si ahora se aplica una fuerza hacia abajo diferente \vec{F}_2 cuya magnitud es el doble de la fuerza de referencia \vec{F}_1 , como se ve en la figura 5.2b, el puntero se mueve 2.00 cm. La figura 5.2c muestra que el efecto combinado de las dos fuerzas colineales es la suma de los efectos de las fuerzas individuales.

Ahora suponga que la aplicación de las dos fuerzas es simultánea con \vec{F}_1 descendente y \vec{F}_2 horizontal, como se ilustra en la figura 5.2d. En este caso, el puntero lee 2.24 cm.



Giraudon/Art Resource

ISAAC NEWTON Físico y matemático inglés (1642–1727)

Isaac Newton fue uno de los más brillantes científicos de la historia. Antes de cumplir 30 años, formuló los conceptos básicos y leyes de la mecánica, descubrió la ley de gravitación universal e inventó los métodos matemáticos del cálculo. Como consecuencia de sus teorías, Newton fue capaz de explicar los movimientos de los planetas, la baja y el flujo de las mareas y muchas características especiales de los movimientos de la Luna y la Tierra. También interpretó muchas observaciones fundamentales concernientes a la naturaleza de la luz. Sus aportaciones a las teorías físicas dominaron el pensamiento científico durante dos siglos y siguen siendo importantes en la actualidad.

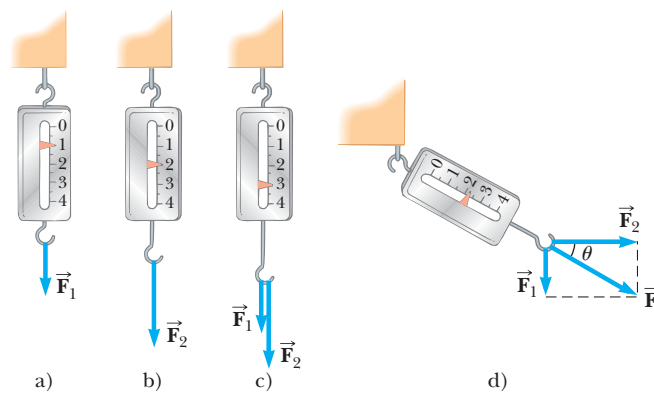


Figura 5.2 La naturaleza vectorial de una fuerza se prueba con una balanza de resorte. a) Una fuerza descendente \vec{F}_1 estira el resorte 1.00 cm. b) Una fuerza descendente \vec{F}_2 estira el resorte 2.00 cm. c) Cuando \vec{F}_1 y \vec{F}_2 son simultáneas, el resorte se estira 3.00 cm. d) Cuando \vec{F}_1 es descendente y \vec{F}_2 es horizontal, la combinación de las dos fuerzas estira el resorte 2.24 cm.

La fuerza sola \vec{F} que produciría esta misma lectura es la suma de los dos vectores \vec{F}_1 y \vec{F}_2 , como se describe en la figura 5.2d. Esto es, $|\vec{F}| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 2.24$ unidades, y su dirección es $\theta = \tan^{-1}(-0.500) = -26.6^\circ$. **Puesto que se ha comprobado experimentalmente que las fuerzas se comportan como vectores, debe aplicar las reglas de suma vectorial para obtener la fuerza neta sobre un objeto.**

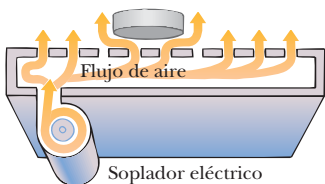


Figura 5.3 En una mesa de hockey de aire, el aire que sopla a través de los hoyos en la superficie permite que el disco se mueva casi sin fricción. Si la mesa no acelera, un disco colocado sobre la mesa permanecerá en reposo.

5.2 Primera ley de Newton y marcos inerciales

El estudio de las fuerzas comienza al formar imágenes de algunas situaciones físicas que involucran un disco sobre una mesa de hockey de aire perfectamente a nivel (figura 5.3). Se espera que el disco permanezca donde se coloca. Ahora piense que su mesa de hockey de aire se ubica en un tren que se mueve con velocidad constante a lo largo de una pista perfectamente uniforme. Si el disco se coloca en la mesa, de nuevo permanece donde se le coloca. Sin embargo, si el tren acelera, el disco comenzaría a moverse a lo largo de la mesa en dirección opuesta a la de la aceleración del tren, igual como un conjunto de papeles en el tablero de su automóvil cae en el asiento delantero cuando pisa el acelerador.

Como se vio en la sección 4.6, es posible observar un objeto en movimiento desde muchos marcos de referencia. La **primera ley del movimiento de Newton**, a veces llamada *ley de la inercia*, define un conjunto especial de marcos de referencia llamados *marcos inerciales*. Esta ley se puede establecer del modo siguiente:

Primera ley de Newton ►

Si un objeto no interactúa con otros objetos, es posible identificar un marco de referencia en el que el objeto tiene aceleración cero.

Marco de referencia inercial ►

Tal marco de referencia se llama **marco de referencia inercial**. Cuando el disco está en la mesa de hockey de aire ubicada en el suelo, usted lo observa desde un marco de referencia inercial; no hay interacciones horizontales del disco con cualquier otro objeto y observa que tiene aceleración cero en dicha dirección. Cuando usted está en el tren en movimiento con velocidad constante, también observa el disco desde un marco de referencia inercial. **Cualquier marco de referencia que se mueve con velocidad constante en relación con un marco inercial es, en sí mismo, un marco inercial.** Sin embargo, cuando usted y el tren aceleran, usted observa el disco desde un **marco de referencia no inercial** porque el tren acelera en relación con el marco de referencia inercial de la superficie de la Tierra. Mientras el disco parece acelerar de acuerdo con sus observaciones, se puede identificar un marco de referencia en el cual el disco tiene aceleración cero. Por ejemplo, un observador que está fuera del tren en el suelo ve el disco que se mueve con la misma velocidad que tiene el tren antes de comenzar a acelerar (porque casi no hay fricción para “amarrar”

el disco y el tren). Debido a eso, todavía se satisface la primera ley de Newton, aun cuando sus observaciones como pasajero del tren muestren una aceleración aparente en relación con usted.

Un marco de referencia que se mueve con velocidad constante en relación con las estrellas distantes es la mejor aproximación de un marco inercial y, para propósitos de estudio, se considera a la Tierra como tal marco. En realidad la Tierra no es un marco inercial debido a su movimiento orbital en torno al Sol y su movimiento rotacional alrededor de su propio eje, y ambos involucran aceleraciones centrípetas. Sin embargo, estas aceleraciones son pequeñas comparadas con g , y con frecuencia se pueden despreciar. Por esta razón, la Tierra representa un marco inercial, junto con cualquier otro marco unido a él.

Suponga que observa un objeto desde un marco de referencia inercial. (En la sección 6.3 se regresará a observaciones hechas en marcos de referencia no inerciales.) Muy próximos a 1600, los científicos creían que el estado natural de la materia era el estado de reposo. Las observaciones mostraron que los objetos en movimiento finalmente dejaban de moverse. Galileo fue el primero en considerar un planteamiento diferente del movimiento y del estado natural de la materia. Diseñó experimentos mentales y concluyó que no es la naturaleza de un objeto detenerse una vez que se pone en movimiento: más bien, su naturaleza es *resistir el cambio en su movimiento*. En sus palabras: “cualquier velocidad una vez impartida a un cuerpo móvil se mantendrá firme siempre y cuando se retiren las causas externas de retardo”. Por ejemplo, una nave espacial que navega a través del espacio vacío con su motor apagado seguirá moviéndose para siempre. No buscaría un “estado natural” de reposo.

Dada la discusión de las observaciones realizadas acerca de los marcos de referencia inerciales, se puede plantear un enunciado más práctico de la primera ley del movimiento de Newton:

En ausencia de fuerzas externas, y cuando se ve desde un marco de referencia inercial, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con una velocidad constante (esto es, con una rapidez constante en una línea recta).

En otras palabras, **cuando ninguna fuerza actúa sobre un objeto, la aceleración del objeto es cero**. Una conclusión a partir de la primera ley, es que cualquier *objeto aislado* (uno que no interactúa con su entorno) está en reposo o en movimiento con velocidad constante. La tendencia de un objeto a resistir cualquier intento por cambiar su velocidad se llama **inercia**. Dado el enunciado anterior de la primera ley, se puede concluir que un objeto que acelera debe experimentar una fuerza. A su vez, de la primera ley, se puede definir **fuerza** como **aquello que causa un cambio en el movimiento de un objeto**.

Pregunta rápida 5.1 ¿Cuál de los siguientes enunciados es correcto? a) Es posible que un objeto tenga movimiento en ausencia de fuerzas sobre el objeto. b) Es posible tener fuerzas sobre un objeto en ausencia de movimiento del objeto. c) Ni a) ni b) son correctos. d) Tanto a) como b) son correctos.

5.3 Masa

Piense que quiere atrapar ya sea un balón de basquetbol o una bola de boliche. ¿Cuál es más probable que siga moviéndose cuando intenta capturarla? ¿Cuál requiere más esfuerzo para lanzarla? La bola de boliche requiere más esfuerzo. En el lenguaje de la física, se dice que la bola de boliche es más resistente al cambio en su velocidad que la de basquetbol. ¿Cómo se puede cuantificar este concepto?

La **masa** es la propiedad de un objeto que especifica cuánta resistencia muestra un objeto para cambiar su velocidad y, como se aprendió en la sección 1.1, la unidad del SI de masa es el kilogramo. Los experimentos muestran que mientras más grande sea la masa de un objeto, menos acelera el objeto bajo la acción de una fuerza aplicada conocida.

Para describir la masa en unidades cuantitativas, se realizan experimentos en los que se comparan las aceleraciones que produce una fuerza conocida sobre diferentes objetos. Suponga que una fuerza que actúa sobre un objeto de masa m_1 produce una aceleración \vec{a} ,

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.1

Primera ley de Newton

La primera ley de Newton *no* explica lo que sucede con un objeto con *fuerza neta cero*, esto es, múltiples fuerzas que se cancelan; expresa lo que ocurre *en ausencia de fuerzas externas*. Esta diferencia sutil pero importante permite definir la fuerza como la causa de un cambio en el movimiento. La descripción de un objeto bajo el efecto de fuerzas que se equilibran la cubre la segunda ley de Newton.

◀ Otro enunciado de la primera ley de Newton

◀ Definición de masa

y la *misma fuerza* que actúa sobre un objeto de masa m_2 produce una aceleración \vec{a}_2 . La relación de las dos masas se define como la relación *inversa* de las magnitudes de las aceleraciones producidas por la fuerza:

$$\frac{m_1}{m_2} \equiv \frac{a_2}{a_1} \quad (5.1)$$

Por ejemplo, si una fuerza conocida que actúa sobre un objeto de 3 kg produce una aceleración de 4 m/s^2 , la misma fuerza aplicada a un objeto de 6 kg produce una aceleración de 2 m/s^2 . De acuerdo con un cúmulo de observaciones similares, se concluye que **la magnitud de la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa cuando sobre él actúa una fuerza conocida**. Si un objeto tiene una masa conocida, la masa del otro objeto se obtiene a partir de mediciones de aceleración.

La masa es una propiedad inherente de un objeto y es independiente de los alrededores del objeto y del método que se aplica para medirla. Además, la **masa es una cantidad escalar** y, en estos términos, obedece las reglas de la aritmética ordinaria. Por ejemplo, si combina una masa de 3 kg con una masa de 5 kg, la masa total es 8 kg. Este resultado se puede verificar experimentalmente al comparar la aceleración que una fuerza conocida proporciona a diferentes objetos por separado con la aceleración que la misma fuerza proporciona a los mismos objetos combinados como una unidad.

Masa y peso son cantidades diferentes ►

La masa no se debe confundir con el peso. La **masa y el peso son dos cantidades diferentes**. El peso de un objeto es igual a la magnitud de la fuerza gravitacional ejercida sobre el objeto y varía con la posición (véase la sección 5.5). Por ejemplo, una persona que pesa 180 lb sobre la Tierra pesa sólo aproximadamente 30 lb sobre la Luna. Por otra parte, la masa de un objeto por dondequiera es la misma: un objeto que tiene una masa de 2 kg sobre la Tierra también tiene una masa de 2 kg sobre la Luna.

5.4 Segunda ley de Newton

La primera ley de Newton explica lo que sucede a un objeto cuando sobre él no actúan fuerzas: permanece en reposo o se mueve en línea recta con rapidez constante. La segunda ley de Newton responde la pregunta de qué acontece a un objeto que tiene una o más fuerzas que actúan sobre él.

Imagine realizar un experimento en el que empuja un bloque de masa fija a través de una superficie horizontal sin fricción. Cuando ejerce alguna fuerza horizontal \vec{F} sobre el bloque, éste se mueve con cierta aceleración \vec{a} . Si aplica al doble una fuerza sobre el mismo bloque, la aceleración del bloque se duplica. Si aumenta la fuerza aplicada a $3\vec{F}$, la aceleración se triplica, etcétera. A partir de tales observaciones, se concluye que **la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre él: $\vec{F} \propto \vec{a}$** . Esta idea se introdujo por primera ocasión en la sección 2.4, cuando se discutió la dirección de la aceleración de un objeto. La magnitud de la aceleración de un objeto es inversamente proporcional a su masa, como se afirmó en la sección anterior: $|\vec{a}| \propto 1/m$.

Estas observaciones experimentales se resumen en la **segunda ley de Newton**:

Cuando se ve desde un marco de referencia inercial, la aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa:

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

Si se elige una constante de proporcionalidad 1, se relaciona masa, aceleración y fuerza a través del siguiente enunciado matemático de la segunda ley de Newton:¹

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (5.2)$$

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.2

La fuerza es la causa de cambios en el movimiento

La fuerza *no* causa movimiento. Se puede tener movimiento en ausencia de fuerzas, como describe la primera ley de Newton. La fuerza es la causa de los *cambios* en el movimiento, como se mide por la aceleración.

Segunda ley de Newton ►

¹ La ecuación 5.2 es válida sólo cuando la rapidez del objeto es mucho menor que la rapidez de la luz. La situación relativista se trata en el capítulo 39.

Tanto en el enunciado textual como en el matemático de la segunda ley de Newton se indicó que la aceleración se debe a la **fuerza neta** $\Sigma \vec{F}$ que actúa sobre un objeto. La **fuerza neta** sobre un objeto es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto. (A veces a la fuerza neta se le referirá como *fuerza total*, *fuerza resultante* o *fuerza desequilibrada*.) Al resolver un problema con la segunda ley de Newton, es imperativo determinar la fuerza neta correcta sobre un objeto. Muchas fuerzas pueden actuar sobre un objeto, pero sólo hay una aceleración.

La ecuación 5.2 es una expresión vectorial y por tanto es equivalente a tres ecuaciones componentes:

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad \sum F_z = ma_z \quad (5.3)$$

Pregunta rápida 5.2 Un objeto no experimenta aceleración. ¿Cuál de los siguientes *no puede* ser cierto para el objeto? a) Una sola fuerza actúa sobre el objeto. b) No actúan fuerzas sobre el objeto. c) Sobre el objeto actúan fuerzas, pero éstas se cancelan.

Pregunta rápida 5.3 Usted empuja un objeto, al inicio en reposo, a través de un piso sin fricción con una fuerza constante durante un intervalo de tiempo Δt , lo que resulta en una rapidez final de v para el objeto. Luego repite el experimento, pero con una fuerza que es el doble de grande. ¿Qué intervalo de tiempo se requiere ahora para alcanzar la misma rapidez final v ? a) $4\Delta t$, b) $2\Delta t$, c) Δt , d) $\Delta t/2$, e) $\Delta t/4$.

La unidad del SI de fuerza es el **newton** (N). Una fuerza de 1 N es la fuerza que, cuando actúa sobre un objeto de 1 kg de masa, produce una aceleración de 1 m/s^2 . A partir de esta definición y de la segunda ley de Newton, es claro que el newton se puede expresar en términos de las siguientes unidades fundamentales de masa, longitud y tiempo:

$$1 \text{ N} \equiv 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (5.4)$$

En el sistema inglés, la unidad de fuerza es la **libra** (lb). Una fuerza de 1 lb es la fuerza que, cuando actúa sobre una masa de 1 slug,² produce una aceleración de 1 ft/s^2 :

$$1 \text{ lb} \equiv 1 \text{ slug} \cdot \text{ft/s}^2 \quad (5.5)$$

Una aproximación conveniente es $1 \text{ N} \approx \frac{1}{4} \text{ lb}$.

◀ Segunda ley de Newton: forma de componentes

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.3

$m\vec{a}$ no es una fuerza

La ecuación 5.2 *no* indica que el producto $m\vec{a}$ sea una fuerza. Todas las fuerzas sobre un objeto se suman como vectores para generar la fuerza neta en el lado izquierdo de la ecuación. En tal caso esta fuerza neta se iguala con el producto de la masa del objeto y la aceleración que resulta de la fuerza neta. *No* incluya una “fuerza $m\vec{a}$ ” en su análisis de las fuerzas sobre un objeto.

◀ Definición de newton

EJEMPLO 5.1

Un disco de hockey que acelera

Un disco de hockey que tiene una masa de 0.30 kg se desliza sobre la superficie horizontal sin fricción de una pista de patinaje. Dos bastones de hockey golpean el disco simultáneamente, y ejercen las fuerzas sobre el disco que se muestran en la figura 5.4. La fuerza \vec{F}_1 tiene una magnitud de 0.5 N y la fuerza \vec{F}_2 tiene una magnitud de 8.0 N. Determine tanto la magnitud como la dirección de la aceleración del disco.

SOLUCIÓN

Conceptualizar Estudie la figura 5.4. Use su experiencia en suma vectorial del capítulo 3 y prediga la dirección aproximada del vector de fuerza neta sobre el disco. La aceleración del disco estará en la misma dirección.

Categorizar Puesto que es posible determinar una fuerza neta y se quiere una aceleración, este problema se clasifica como uno que se puede resolver aplicando la segunda ley de Newton.

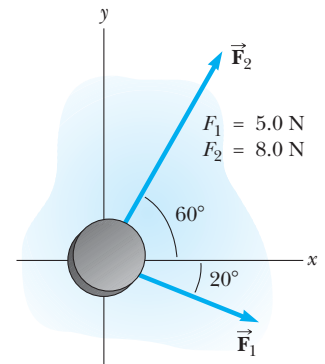


Figura 5.4 (Ejemplo 5.1) Un disco de hockey que se mueve sobre una superficie sin fricción está sujeto a dos fuerzas, \vec{F}_1 y \vec{F}_2 .

² El *slug* es la unidad de masa en el sistema usual estadounidense y es la contraparte de la unidad del SI de *kilogramo* en dicho sistema. Puesto que la mayoría de los cálculos en el estudio de la mecánica clásica están en unidades del SI, el slug se usa rara vez en este texto.

Analizar Encuentre la componente de la fuerza neta que actúa sobre el disco en la dirección x :

Encuentre la componente de la fuerza neta que actúa sobre el disco en la dirección y :

Aplice la segunda ley de Newton en forma de componentes (ecuación 5.3) para encontrar las componentes x y y de la aceleración del disco:

Encuentre la magnitud de la aceleración:

Localice la dirección de la aceleración en relación con el eje positivo x :

Finalizar Los vectores de la figura 5.4 se pueden sumar gráficamente para verificar lo razonable de la respuesta. Puesto que el vector aceleración es a lo largo de la dirección de la fuerza resultante, un dibujo que muestra el vector fuerza resultante ayuda a comprobar la validez de la respuesta. (¡Inténtelo!)

¿Qué pasaría si? Suponga que tres bastones de hockey golpean el disco simultáneamente, y dos de ellos ejercen las fuerzas que se muestran en la figura 5.4. El resultado de las tres fuerzas es que el disco de hockey *no* muestra aceleración. ¿Cuáles deben ser las componentes de la tercera fuerza?

Respuesta Si hay aceleración cero, la fuerza neta que actúa sobre el disco debe ser cero. En consecuencia, las tres fuerzas se deben cancelar. Se encontraron las componentes de la combinación de las primeras dos fuerzas. Las componentes de la tercera fuerza deben ser de igual magnitud y signo opuesto de modo que todas las componentes sumen cero. Por lo tanto, $F_{3x} = -8.7 \text{ N}$, $F_{3y} = -5.2 \text{ N}$.

PREVENCIÓN DE RIESGOS

OCULTOS 5.4

“Peso de un objeto”

Es familiar la frase cotidiana “el peso de un objeto”. Sin embargo, el peso no es una propiedad inherente de un objeto; más bien, es una medida de la fuerza gravitacional entre el objeto y la Tierra (u otro planeta). Por lo tanto, el peso es una propiedad de un *sistema* de artículos: el objeto y la Tierra.

PREVENCIÓN DE RIESGOS

OCULTOS 5.5

El kilogramo no es una unidad de peso

Es posible que haya visto la “conversión” $1 \text{ kg} = 2.2 \text{ lb}$. A pesar de las afirmaciones populares de peso expresadas en kilogramos, el kilogramo no es una unidad de *peso*, es una unidad de *masa*. El enunciado de conversión no es una igualdad; es una *equivalencia* que es válida sólo en la superficie de la Tierra.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_{1x} + F_{2x} = F_1 \cos(-20^\circ) + F_2 \cos 60^\circ \\ &= (5.0 \text{ N})(0.940) + (8.0 \text{ N})(0.500) = 8.7 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_y &= F_{1y} + F_{2y} = F_1 \sin(-20^\circ) + F_2 \sin 60^\circ \\ &= (5.0 \text{ N})(-0.342) + (8.0 \text{ N})(0.866) = 5.2 \text{ N}\end{aligned}$$

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{8.7 \text{ N}}{0.30 \text{ kg}} = 29 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\sum F_y}{m} = \frac{5.2 \text{ N}}{0.30 \text{ kg}} = 17 \text{ m/s}^2$$

$$a = \sqrt{(29 \text{ m/s}^2)^2 + (17 \text{ m/s}^2)^2} = 34 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{17}{29}\right) = 30^\circ$$

5.5 Fuerza gravitacional y peso

Todos los objetos son atraídos hacia la Tierra. La fuerza de atracción que ejerce la Tierra sobre un objeto se llama **fuerza gravitacional** \vec{F}_g . Esta fuerza se dirige hacia el centro de la Tierra³ y su magnitud se llama **peso** del objeto.

En la sección 2.6 se vio que un objeto en caída libre experimenta una aceleración \vec{g} que actúa hacia el centro de la Tierra. Al aplicar la segunda ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ a un objeto en caída libre de masa m , con $\vec{a} = \vec{g}$ y $\sum \vec{F} = \vec{F}_g$ se obtiene

$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

Por lo tanto, el peso de un objeto, al definirse como la magnitud de \vec{F}_g es igual a mg :

$$F_g = mg \quad (5.6)$$

Puesto que depende de g , el peso varía con la ubicación geográfica. Dado que g disminuye a medida que crece la distancia al centro de la Tierra, los objetos pesan menos a mayores altitudes que a nivel del mar. Por ejemplo, un bloque de ladrillos de 1 000 kg utilizado en la construcción del Empire State en Nueva York pesaba 9 800 N a nivel de la calle, pero pesaba alrededor de 1 N menos cuando se levantó del nivel de la acera hasta lo alto del edificio. Como otro ejemplo, suponga que un estudiante tiene una masa de 70.0 kg. El peso del estudiante en una ubicación donde $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ es 686 N (aproximadamente 150 lb). Sin embargo, en lo alto de una montaña, donde $g = 9.77 \text{ m/s}^2$, el

³ Este enunciado ignora que la distribución de masa de la Tierra no es perfectamente esférica.

peso del estudiante sólo es 684 N. En tal caso, si quiere perder peso sin someterse a dieta, ¡ascienda una montaña o pésese a 30 000 ft durante el vuelo de un avión!

La ecuación 5.6 cuantifica la fuerza gravitacional sobre el objeto, pero advierta que esta ecuación no requiere que el objeto se mueva. Incluso para un objeto fijo o para un objeto sobre el que actúan varias fuerzas, la ecuación 5.6 se puede aplicar para calcular la magnitud de la fuerza gravitacional. El resultado es un cambio sutil en la interpretación de m en la ecuación. La masa m en la ecuación 5.6 establece la intensidad de la atracción gravitacional entre el objeto y la Tierra. Este papel es por completo diferente del descrito antes para la masa: medir la resistencia al cambio en movimiento como respuesta a una fuerza externa. Por ende, la m en la ecuación 5.6 se llama **masa gravitacional**. Aun cuando esta cantidad sea diferente en comportamiento de la masa inercial, una de las conclusiones experimentales de la dinámica newtoniana es que la masa gravitacional y la masa inercial tienen el mismo valor.

Aunque esta discusión se enfocó en la fuerza gravitacional sobre un objeto debida a la Tierra, el concepto generalmente es válido en cualquier planeta. El valor de g variará de un planeta a otro, pero la magnitud de la fuerza gravitacional siempre será conocida por el valor de mg .

Pregunta rápida 5.4 Suponga que habla por un teléfono interplanetario a un amigo que vive en la Luna. Él le dice que acaba de ganar un newton de oro en un concurso. Con excitación, ¡usted le dice que entró a la versión terrícola del mismo concurso y que también ganó un newton de oro! ¿Quién es más rico? a) Usted. b) Su amigo. c) Ambos son igualmente ricos.



La unidad de sustentación de vida que lleva en la espalda el astronauta Edwin Aldrin pesaba 300 lb en la Tierra. Durante su entrenamiento, usó una mochila de 50 lb. Aunque esta estrategia simuló efectivamente el peso reducido que la unidad tendría en la Luna, no imitó correctamente la masa invariable. Fue difícil acelerar la unidad (acaso al saltar o dar vuelta súbitamente) en la Luna como en la Tierra.

EJEMPLO CONCEPTUAL 5.2

¿Cuánto pesa en un elevador?

Es muy que probable que usted haya estado en un elevador que acelera hacia arriba mientras se mueve a pisos superiores. En este caso, se siente más pesado. De hecho, si se para en una báscula en ese momento, la báscula mide una fuerza que tiene una magnitud mayor que su peso. Por lo tanto, tiene evidencia sensorial y medida que lo lleva a creer que es más pesado en esta situación. ¿Es usted más pesado?

SOLUCIÓN

No; su peso no cambia. Sus experiencias se deben al hecho de que está en un marco de referencia no inercial. Para proporcionar la aceleración ascendente, el suelo o la báscula deben ejercer sobre sus pies una fuerza hacia arriba que sea mayor en magnitud que su peso. Esta fuerza más grande que siente es la que interpreta como sentirse más pesado. La báscula lee esta fuerza ascendente, no su peso, y por eso su lectura aumenta.

5.6 Tercera ley de Newton

Si usted presiona contra una esquina de este libro con la yema de los dedos, el libro lo empuja de vuelta y forma una pequeña marca en su piel. Si empuja más fuerte, el libro hace lo mismo y la marca en su piel es un poco más profunda. Esta simple actividad ilustra que las fuerzas son *interacciones* entre dos objetos: cuando su dedo empuja sobre el libro, el libro empuja de vuelta sobre su dedo. Este importante principio se conoce como **tercera ley de Newton**:

Si dos objetos interactúan, la fuerza \vec{F}_{12} que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza \vec{F}_{21} que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (5.7)$$

Cuando sea importante designar fuerzas como interacciones entre dos objetos, se usará esta notación de subíndices, donde \vec{F}_{ab} significa “la fuerza que se ejerce *por* a *sobre* b”: la tercera ley se ilustra en la figura 5.5a. La fuerza que el objeto 1 ejerce sobre el objeto 2 se llama popularmente *fuerza de acción*, y la fuerza del objeto 2 sobre el objeto 1 se llama

◀ Tercera ley de Newton

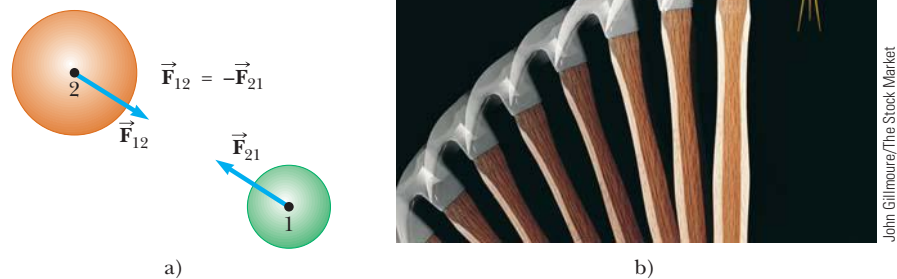


Figura 5.5 Tercera ley de Newton. a) La fuerza \vec{F}_{12} que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud y opuesta en dirección a la fuerza \vec{F}_{21} que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1. b) La fuerza \vec{F}_{mc} que ejerce el martillo sobre el clavo es igual en magnitud y opuesta a la fuerza \vec{F}_{cm} que ejerce el clavo sobre el martillo.

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.6

n no siempre es igual a *mg*

En la situación que se muestra en la figura 5.6 y en muchas otras, se encuentra que $n = mg$ (la fuerza normal tiene la misma magnitud que la fuerza gravitacional). Sin embargo, este resultado generalmente *no* es cierto. Si un objeto está en un plano inclinado, si hay fuerzas aplicadas con componentes verticales o si hay una aceleración vertical del sistema, por lo tanto $n \neq mg$. Siempre aplique la segunda ley de Newton para encontrar la relación entre n y mg .

Fuerza normal ►

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.7

Tercera ley de Newton

Recuerde que las fuerzas de acción y reacción de la tercera ley de Newton actúan sobre objetos *diferentes*. Por ejemplo, en la figura 5.6, $\vec{n} = \vec{F}_{mm} = -m\vec{g} = -\vec{F}_{Tm}$. Las fuerzas \vec{n} y $m\vec{g}$ son iguales en magnitud y opuestas en dirección, pero no representan un par acción-reacción porque ambas fuerzas actúan sobre el *mismo* objeto, el monitor.

fuerza de reacción. Estos términos en cursivas no son términos científicos; además, cualquier fuerza se puede etiquetar como fuerza de acción o reacción. Estos términos se usarán por conveniencia. **En todos los casos, las fuerzas de acción y reacción actúan sobre objetos diferentes y deben ser del mismo tipo (gravitacional, eléctrica, etcétera).** Por ejemplo, la fuerza que actúa sobre un proyectil en caída libre es la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre el proyectil $\vec{F}_g = \vec{F}_{Tp}$ ($T = \text{Tierra}$, $p = \text{proyectil}$), y la magnitud de esta fuerza es mg . La reacción a esta fuerza es la fuerza gravitacional que ejerce el proyectil sobre la Tierra $\vec{F}_{pT} = -\vec{F}_{Tp}$. La fuerza de reacción \vec{F}_{pT} debe acelerar a la Tierra hacia el proyectil tal como la fuerza de acción \vec{F}_{Tp} acelera al proyectil hacia la Tierra. No obstante, puesto que la Tierra tiene una masa tan grande, su aceleración debida a esta fuerza de reacción es despreciablemente pequeña.

Otro ejemplo de la tercera ley de Newton se muestra en la figura 5.5b. La fuerza \vec{F}_{mc} que ejerce el martillo sobre el clavo es igual en magnitud y opuesta a la fuerza \vec{F}_{cm} que ejerce el clavo sobre el martillo. Esta última fuerza detiene el movimiento hacia adelante del martillo cuando golpea el clavo.

Considere un monitor de computadora en reposo sobre una mesa, como en la figura 5.6a. La fuerza de reacción a la fuerza gravitacional $\vec{F}_g = \vec{F}_{Tm}$ sobre el monitor es la fuerza $\vec{F}_{mT} = -\vec{F}_{Tm}$ que ejerce el monitor sobre la Tierra. El monitor no acelera porque lo sostiene la mesa. La mesa ejerce sobre el monitor una fuerza hacia arriba $\vec{n} = \vec{F}_{mm}$ llamada **fuerza normal**.⁴ Esta fuerza, que evita que el monitor caiga a través de la mesa, puede tener cualquier valor necesario, hasta el punto de romper la mesa. Puesto que el monitor tiene aceleración cero, la segunda ley de Newton aplicada al monitor produce $\sum \vec{F} = \vec{n} + m\vec{g} = 0$, de modo que $n\hat{j} - mg\hat{j} = 0$, o $n = mg$. La fuerza normal equilibra la fuerza gravitacional sobre el monitor, de modo que la fuerza neta sobre el monitor es cero. La fuerza de reacción a \vec{n} es la fuerza que ejerce el monitor hacia abajo sobre la mesa, $\vec{F}_{mm} = -\vec{F}_{mm} = -\vec{n}$.

Observe que las fuerzas que actúan sobre el monitor son \vec{F}_g y \vec{n} , como se muestra en la figura 5.6b. Las dos fuerzas \vec{F}_{mT} y \vec{F}_{mm} se ejercen sobre objetos distintos del monitor.

La figura 5.6 ilustra un paso de suma importancia en la resolución de problemas que involucran fuerzas. La figura 5.6a muestra muchas de las fuerzas actuantes en la situación: las que actúan sobre el monitor, una que actúa sobre la mesa y otra que actúa sobre la Tierra. La figura 5.6b, en contraste, muestra sólo las fuerzas que actúan sobre *un objeto*, el monitor. Esta importante representación pictórica de la figura 5.6b se llama **diagrama de cuerpo libre**. Cuando se analiza un objeto sujeto a fuerzas, se tiene interés en la fuerza neta que actúa sobre un objeto, que se representarán como partícula. En consecuencia, un diagrama de cuerpo libre ayuda a aislar sólo aquellas fuerzas sobre el objeto y elimina

⁴ Normal en este contexto significa *perpendicular*.

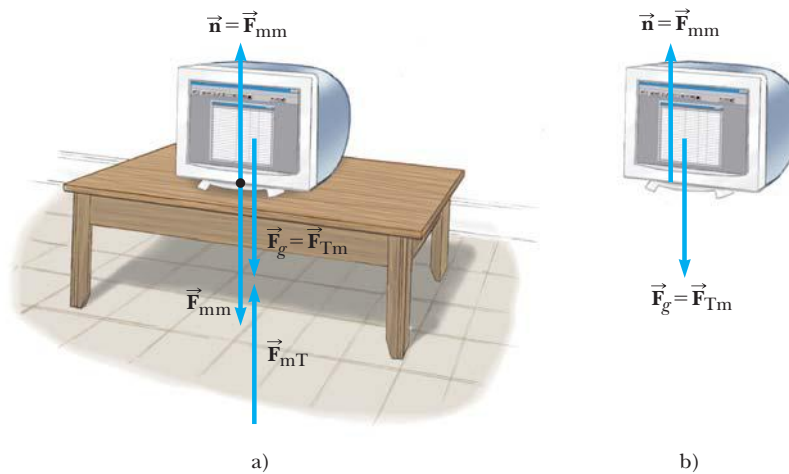


Figura 5.6 a) Cuando un monitor de computadora está en reposo sobre una mesa, las fuerzas que actúan sobre el monitor son la fuerza normal \vec{n} y la fuerza gravitacional \vec{F}_g . La reacción a \vec{n} es la fuerza \vec{F}_{mm} que ejerce el monitor sobre la mesa. La reacción a \vec{F}_g es la fuerza \vec{F}_{Tm} que ejerce el monitor sobre la Tierra. b) Diagrama de cuerpo libre para el monitor.

las otras fuerzas del análisis. Es posible simplificar este diagrama todavía más al representar el objeto (como el monitor) como una partícula al dibujar simplemente un punto.

Pregunta rápida 5.5 i) Si una mosca choca contra el parabrisas de un autobús moviéndose rápidamente, ¿cuál de los dos experimenta una fuerza de impacto con mayor magnitud? a) La mosca. b) El autobús. c) Ambos experimentan la misma fuerza. ii) ¿Cuál de los dos experimenta mayor aceleración? a) La mosca. b) El autobús. c) Ambos experimentan la misma aceleración.

PREVENCIÓN DE RIESGOS OCULTOS 5.8

Diagrama de cuerpo libre

La etapa *más importante* en la resolución de un problema que utiliza las leyes de Newton es dibujar un bosquejo adecuado, el diagrama de cuerpo libre. Asegúrese de dibujar sólo aquellas fuerzas que actúan sobre el objeto que aísla. Dibuje *todas* las fuerzas que actúan sobre el objeto, incluida cualquier fuerza de campo, como la fuerza gravitacional.

EJEMPLO CONCEPTUAL 5.3

Tú me empujas y yo te empujo

Un hombre grande y un niño pequeño están de pie, uno frente al otro sobre hielo sin fricción. Juntan sus manos y se empujan mutuamente de modo que se separan.

A) ¿Quién se aleja con mayor rapidez?

SOLUCIÓN

Esta situación es similar a la que se vio en la pregunta rápida 5.5. De acuerdo con la tercera ley de Newton, la fuerza que ejerce el hombre sobre el niño y la fuerza que ejerce el niño sobre el hombre son un par de fuerzas de la tercera ley, de modo que deben ser iguales en magnitud. (Una báscula colocada entre sus manos leería lo mismo, sin importar de cuál lado esté.) En consecuencia, el niño, que tiene la masa

más pequeña, experimenta mayor aceleración. Ambos individuos aceleran durante la misma cantidad de tiempo, pero la mayor aceleración del niño en este intervalo de tiempo resulta en que su movimiento de alejamiento de la interacción es con mayor rapidez.

B) ¿Quién se aleja más mientras sus manos están en contacto?

SOLUCIÓN

Puesto que el niño tiene la mayor aceleración y en consecuencia la mayor velocidad promedio, se aleja más que el hombre durante el intervalo de tiempo mientras que sus manos están en contacto.

5.7 Algunas aplicaciones de las leyes de Newton

En esta sección se discuten dos modelos de análisis para resolver problemas en que los objetos están en equilibrio ($\vec{a} = 0$) o aceleran a lo largo de una línea recta bajo la acción de fuerzas externas constantes. Recuerde que, **cuando las leyes de Newton se aplican a un objeto, se tiene interés sólo en las fuerzas externas que actúan sobre el objeto**. Si se representan los objetos como partículas, no necesita preocuparse por el movimiento rota-



Los escaladores en reposo están en equilibrio y para su seguridad dependen de las fuerzas de tensión sobre las cuerdas.

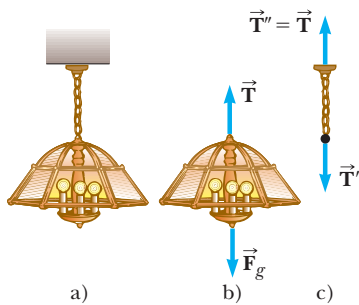


Figura 5.7 a) Una lámpara suspendida del techo mediante una cadena de masa despreciable. b) Las fuerzas que actúan sobre la lámpara son la fuerza gravitacional \vec{F}_g y la fuerza \vec{T} que ejerce la cadena. c) Las fuerzas que actúan sobre la cadena son la fuerza \vec{T}' que ejerce la lámpara y la fuerza \vec{T}'' que ejerce el techo.

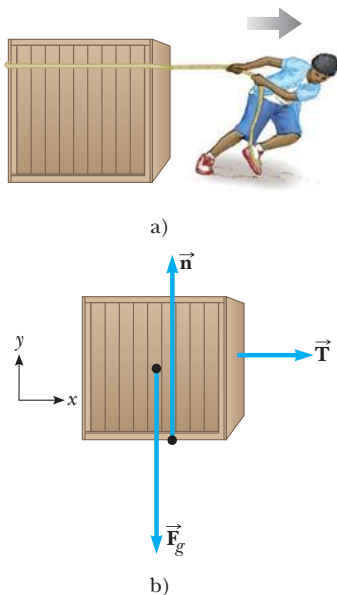


Figura 5.8 a) Una caja que se jala hacia la derecha sobre una superficie sin fricción. b) Diagrama de cuerpo libre que representa las fuerzas externas que actúan sobre la caja.

cional. Por ahora, también se desprecian los efectos de la fricción en aquellos problemas que involucran movimiento, que es equivalente a afirmar que la superficie *no tiene fricción*. (La fuerza de fricción se discute en la sección 5.8.)

Por lo general se ignora la masa de cualquier soga, cuerda o cable involucrado. En esta aproximación, la magnitud de la fuerza que ejerce cualquier elemento de la soga sobre el elemento adyacente es la misma para todos los elementos a lo largo de la soga. En los enunciados de problema, los términos sinónimos *ligero* o *de masa despreciable* se usan para indicar que una masa se ignorará cuando trabaje los problemas. Cuando una soga unida a un objeto jala sobre el objeto, la soga ejerce una fuerza \vec{T} sobre el objeto en una dirección que se aleja del objeto, paralela a la soga. La magnitud T de dicha fuerza se llama **tensión** en la soga. Puesto que es la magnitud de una cantidad vectorial, la tensión es una cantidad escalar.

Partícula en equilibrio

Si la aceleración de un objeto representado como partícula es cero, el objeto se considera con el modelo de **partícula en equilibrio**. En este modelo, la fuerza neta sobre el objeto es cero:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (5.8)$$

Considere una lámpara suspendida de una cadena ligera unida al techo, como en la figura 5.7a. El diagrama de cuerpo libre para la lámpara (figura 5.7b) muestra que las fuerzas que actúan sobre la lámpara son la fuerza gravitacional hacia abajo \vec{F}_g y la fuerza hacia arriba \vec{T} que ejerce la cadena. Puesto que no hay fuerzas en la dirección x , $\sum F_x = 0$ no proporciona información útil. La condición $\sum F_y = 0$ produce

$$\sum F_y = T - F_g = 0 \quad \text{o} \quad T = F_g$$

De nuevo, advierta que \vec{T} y \vec{F}_g *no* son un par acción–reacción porque actúan sobre el mismo objeto, la lámpara. La fuerza de reacción a \vec{T} es \vec{T}' , la fuerza hacia abajo que ejerce la lámpara sobre la cadena, como se muestra en la figura 5.7c. Dado que la cadena es una partícula en equilibrio, el techo debe ejercer sobre la cadena una fuerza \vec{T}'' que es igual en magnitud a la magnitud de \vec{T}' y apunta en la dirección opuesta.

Partícula bajo una fuerza neta

Si un objeto experimenta una aceleración, su movimiento se puede analizar con el modelo de **partícula bajo una fuerza neta**. La ecuación apropiada para este modelo es la segunda ley de Newton, ecuación 5.2. Considere una caja que se jala hacia la derecha sobre una superficie horizontal sin fricción, como en la figura 5.8a. Suponga que quiere encontrar la aceleración de la caja y la fuerza que el suelo ejerce sobre ella. Las fuerzas que actúan sobre la caja se ilustran en el diagrama de cuerpo libre de la figura 5.8b. Note que la fuerza horizontal \vec{T} que se aplica a la caja actúa a través de la soga. La magnitud de \vec{T} es igual a la tensión en la soga. Además de la fuerza \vec{T} , el diagrama de cuerpo libre para la caja incluye la fuerza gravitacional \vec{F}_g y la fuerza normal \vec{n} que ejerce el suelo sobre la caja.

Ahora se puede aplicar la segunda ley de Newton en forma de componentes para la caja. La única fuerza que actúa en la dirección x es \vec{T} . Al aplicar $\sum F_x = ma_x$ al movimiento horizontal se obtiene

$$\sum F_x = T = ma_x \quad \text{o} \quad a_x = \frac{T}{m}$$

En la dirección y no se presenta aceleración porque la caja sólo se mueve horizontalmente. En consecuencia, se usa el modelo de partícula en equilibrio en la dirección y . Al aplicar la componente y de la ecuación 5.8 se produce

$$\sum F_y = n + (-F_g) = 0 \quad \text{o} \quad n = F_g$$

Esto es, la fuerza normal tiene la misma magnitud que la fuerza gravitacional pero actúa en la dirección opuesta.

Si \vec{T} es una fuerza constante, la aceleración $a_x = T/m$ también es constante. Por tanto, la caja también se representa como una partícula bajo aceleración constante en la dirección x , y se puede aplicar la ecuación de cinemática del capítulo 2 para obtener la posición x y velocidad v_x de la caja como funciones del tiempo.

En la situación recién descrita, la magnitud de la fuerza normal \vec{n} es igual a la magnitud de \vec{F}_g , pero esto no siempre es el caso. Por ejemplo, suponga que un libro se encuentra sobre una mesa y usted empuja hacia abajo sobre el libro con una fuerza \vec{F} , como en la figura 5.9. Ya que el libro está en reposo y debido a eso no acelera, $\Sigma F_y = 0$, lo que da $n - F_g - F = 0$ o $n = F_g + F$. En esta situación, la fuerza normal es *mayor* que la fuerza gravitacional. Más adelante se presentan otros ejemplos en los que $n \neq F_g$.

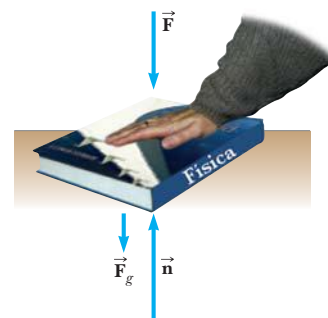


Figura 5.9 Cuando una fuerza \vec{F} empuja verticalmente hacia abajo sobre otro objeto, la fuerza normal \vec{n} sobre el objeto es mayor que la fuerza gravitacional: $n = F_g + F$.

ESTRATEGIA PARA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Aplicación de las leyes de Newton

Se propone el procedimiento que sigue cuando se relaciona con problemas que involucren leyes de Newton:

1. *Conceptualizar.* Dibuje un diagrama simple y nítido del sistema. El diagrama ayuda a constituir la representación mental. Para cada objeto en el sistema establecer ejes coordenados convenientes.
2. *Categorizar.* Si un componente de aceleración para un objeto es cero, el objeto se representa como una partícula en equilibrio en esta dirección y $\Sigma F = 0$. Si no, el objeto se representa como una partícula bajo una fuerza neta en esta dirección y $\Sigma F = ma$.
3. *Analizar.* Aísle el objeto cuyo movimiento se analizará. Dibuje un diagrama de cuerpo libre para este objeto. Para sistemas que contengan más de un objeto, dibuje *por separado* diagramas de cuerpo libre para cada objeto. En el diagrama de cuerpo libre *no* incluya fuerzas que el objeto ejerce sobre su entorno.

Encuentre las componentes de las fuerzas a lo largo de los ejes coordenados. Aplique el modelo apropiado de la etapa Categorizar para cada dirección. Compruebe sus dimensiones para asegurarse de que todos los términos tienen unidades de fuerza.

Resuelva las ecuaciones por componentes para las incógnitas. Recuerde que debe tener tantas ecuaciones independientes como incógnitas para obtener una solución completa.

4. *Finalizar.* Confirme que sus resultados sean consistentes con el diagrama de cuerpo libre. También compruebe las predicciones de sus soluciones para valores extremos de las variables. Al hacerlo, con frecuencia puede detectar errores en sus resultados.



Nueva edición de la ya conocida obra de Raymond A. Serway y John W. Jewett Jr. Esta séptima edición, además de conservar la gran capacidad didáctica que la ha caracterizado, cuenta con el soporte de herramientas tecnológicas que proveen de más apoyo al usuario durante el desarrollo del curso.

Características

- En el capítulo 2 permanece la sección sobre la estrategia para resolver problemas.
- A lo largo de los capítulos 3 a 5 se utiliza explícitamente dicha estrategia, para que el alumno aprenda a emplearla.
- Los capítulos 7 y 8 se reorganizaron completamente para preparar al estudiante para el planteamiento de energía que se hace a través del libro.
- Una nueva sección en el capítulo 9 enseña al estudiante cómo analizar sistemas deformables con la ecuación de la conservación de la energía y el teorema de impulso-momentum.
- Aproximadamente el 23% de los problemas son nuevos.
- Se mantiene la sección *¿Qué pasaría si?* en los ejemplos resueltos, para ofrecer una variación al ejemplo que estimule la capacidad de razonamiento del estudiante.

Estas características, entre muchas otras que descubrirá al interior del texto, aunadas al lenguaje claro y accesible con el que desarrolla los temas, lo harán sin duda alguna, su libro de física favorito; tanto si usted es docente como si es estudiante de alguna licenciatura en el área de ingeniería o ciencias.