

Física

para la ciencia
y la tecnología

6ª edición

Tipler | Mosca

Volumen 1A

Mecánica

EDITORIAL REVERTÉ

Abreviaturas de unidades

A	ampère	H	henry	nm	nanómetro (10 ⁻⁹ m)
Å	ångstrom (10 ⁻¹⁰ m)	h	hora	pt	pinta
atm	atmósfera	Hz	hertz	qt	quart
Btu	unidad térmica inglesa	in	pulgada	rev	revolución
Bq	becquerel	J	joule	R	roentgen
C	coulomb	K	kelvin	Sv	sievert
°C	grados centígrados	kg	kilogramo	s	segundo
cal	caloría	km	kilómetro	T	tesla
Ci	curie	keV	kilo-electronvolt	u	unidad de masa unificada
cm	centímetro	lb	libra	V	volt
dyn	dina	L	litro	W	watt
eV	electronvolt	m	metro	Wb	weber
°F	grados Fahrenheit	MeV	mega-electronvolt	y	año
fm	femtometro, fermi (10 ⁻¹⁵ m)	Mm	megametro (10 ⁶ m)	yd	yarda
ft	pie	mi	milla	μm	micrometro (10 ⁻⁶ m)
Gm	gigametro (10 ⁹ m)	min	minuto	μs	microsegundo
G	gauss	mm	milímetro	μC	microcoulomb
Gy	gray	ms	milisegundo	Ω	ohm
g	gramo	N	newton		

Factores de conversión

<i>Longitud</i> 1 m = 39,37 in = 3,281 ft = 1,094 yd 1 m = 10 ¹⁵ fm = 10 ¹⁰ Å = 10 ⁹ nm 1 km = 0,6214 mi 1 mi = 5280 ft = 1,609 km 1 año-luz = 1 c · a = 9,461 × 10 ¹⁵ m 1 in = 2,540 cm	<i>Fuerza–presión</i> 1 N = 10 ⁵ dina = 0,2248 lb 1 lb = 4,448 N 1 atm = 101,3 kPa = 1,013 bar = 76,00 cmHg = 14,70 lb/in ²
<i>Volumen</i> 1 L = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³ = 1,057 qt	<i>Masa</i> 1 u = [(10 ⁻³ mol ⁻¹)/N _A] kg = 1,661 × 10 ⁻²⁷ kg 1 tonelada = 10 ³ kg = 1 Mg 1 slug = 14,59 kg 1 kg ≈ 2,205 lb
<i>Tiempo</i> 1 h = 3600 s = 3,6 ks 1 a = 365,24 d = 3,156 × 10 ⁷ s	<i>Energía–Potencia</i> 1 J = 10 ⁷ erg = 0,7376 ft · lb = 9,869 × 10 ⁻³ atm · L 1 kW · h = 3,6 MJ 1 cal = 4,184 J = 4,129 × 10 ⁻² atm · L 1 atm · L = 101,325 J = 24,22 cal 1 eV = 1,602 × 10 ⁻¹⁹ J 1 Btu = 778 ft · lb = 252 cal = 1054 J 1 caballo de vapor = 550 ft · lb/s = 746 W
<i>Velocidad</i> 1 km/h = 0,278 m/s = 0,6214 mi/h 1 ft/s = 0,3048 m/s = 0,6818 mi/h	<i>Conductividad térmica</i> 1 W/(m · K) = 6,938 Btu · in/(h · ft ² · °F)
<i>Ángulo y velocidad angular</i> 1 rev = 2π rad = 360° 1 rad = 57,30° 1 rev/min = 0,1047 rad/s	<i>Campo magnético</i> 1 T = 10 ⁴ G
	<i>Viscosidad</i> 1 Pa · s = 10 poise

SEXTA EDICIÓN

FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

VOLUMEN 1A
Mecánica

SEXTA EDICIÓN

FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

VOLUMEN 1A

Mecánica

Paul A. Tipler

Gene Mosca



**EDITORIAL
REVERTÉ**

Barcelona • Bogotá • Buenos Aires • México

Título de la obra original:

Physics for Scientists and Engineers, Sixth Edition.

Edición original en lengua inglesa publicada por

W. H. FREEMAN AND COMPANY, New York and Basingstoke

41 Madison Avenue, New York (NY) – U.S.A.

Copyright © 2008 by W. H. Freeman and Company. All Rights Reserved

Edición en español:

© Editorial Reverté, S. A., 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2020

Edición en papel

© Editorial Reverté, S. A., 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2020

ISBN: 978-84-291-4421-5 Volumen 1A

ISBN: 978-84-291-4428-4 Obra completa

Edición e-book (PDF)

© Editorial Reverté, S. A., 2021

ISBN: 978-84-291-9598-9

Versión española:

COORDINADOR Y TRADUCTOR

Dr. José Casas-Vázquez

Catedrático de Física de la Materia Condensada

TRADUCTORES

Dr. Albert Bramon Planas

Catedrático de Física Teórica

Dr. Josep Enric Llebot Rabagliati

Catedrático de Física de la Materia Condensada

Dr. Fernando M. López Aguilar

Catedrático de Física Aplicada

Dr. Vicenç Méndez López

Profesor Agregado de Física de la Materia Condensada

Departamento de Física

Universidad Autónoma de Barcelona

España

REVISIÓN DE ESTE VOLUMEN

M.C. Gabriel F. Martínez Alonso

Jefe del área de Investigación Educativa

CON LA COLABORACIÓN DE

M.E.C. Andrés Monsiváis Pérez

Jefe de la Academia de Mecánica Traslacional y Rotacional

M.C. Santiago Neira Rosales

Coordinador de la División de Ciencias Básicas

M.C. Ana María González Ibarra

Jefe del Departamento de Física

M.C. Verónica Medina Garza

Profesora del Departamento de Física I (Mecánica)

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Universidad Autónoma de Nuevo León

México

MAQUETACIÓN: REVERTÉ-AGUILAR

CORRECCIÓN DE ESTILO: CARLOS CISTUÉ SOLÁ

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15. Local B

Tel: (34) 93 419 33 36

08029 Barcelona. ESPAÑA

reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, queda rigurosamente prohibida sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo las sanciones establecidas por las leyes.

PT: Para Claudia

GM: Para Vivian

Índice abreviado de la obra completa

VOLUMEN 1

Volumen 1A

PARTE I MECÁNICA

- | | |
|----|---|
| 1 | Medida y vectores / 1 |
| 2 | El movimiento en una dimensión / 27 |
| 3 | Movimiento en dos y tres dimensiones / 63 |
| 4 | Leyes de Newton / 93 |
| 5 | Aplicaciones adicionales de las leyes de Newton / 127 |
| 6 | Trabajo y energía cinética / 173 |
| 7 | Conservación de la energía / 201 |
| 8 | Conservación del momento lineal / 247 |
| 9 | Rotación / 289 |
| 10 | Momento angular / 331 |
| 11 | Gravedad / 363 |
| 12 | Equilibrio estático y elasticidad / 397 |
| 13 | Fluidos / 423 |



Thinkstock/Alamy

Volumen 1B

PARTE II OSCILACIONES Y ONDAS

- | | |
|----|---|
| 14 | Oscilaciones / 457 |
| 15 | Movimiento ondulatorio / 495 |
| 16 | Superposición y ondas estacionarias / 533 |

Volumen 1C

PARTE III TERMODINÁMICA

- | | |
|----|--|
| 17 | Temperatura y teoría cinética de los gases / 563 |
| 18 | Calor y primer principio de la termodinámica / 591 |
| 19 | Segundo principio de la termodinámica / 629 |
| 20 | Propiedades y procesos térmicos / 665 |
| R | Relatividad especial / R.1 |

VOLUMEN 2

Volumen 2A

PARTE IV ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO

21	Campo eléctrico I: distribuciones discretas de carga / 693
22	Campo eléctrico II: distribuciones continuas de carga / 727
23	Potencial eléctrico / 763
24	Capacidad / 801
25	Corriente eléctrica y circuitos de corriente continua / 839
26	El campo magnético / 887
27	Fuentes del campo magnético / 917
28	Inducción magnética / 959
29	Circuitos de corriente alterna / 995
30	Ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas / 1029

Volumen 2B

PARTE V LUZ

31	Propiedades de la luz / 1055
32	Imágenes ópticas / 1097
33	Interferencia y difracción / 1141

FÍSICA MODERNA

R	Relatividad especial / R.1
---	----------------------------

PARTE VI MECÁNICA CUÁNTICA, RELATIVIDAD Y ESTRUCTURA DE LA MATERIA

34	Dualidad onda-partícula y física cuántica / 1173
35	Aplicaciones de la ecuación de Schrödinger / 1203
36	Átomos / 1227
37	Moléculas / 1261
38	Sólidos / 1281
39	Relatividad / 1319
40	Física nuclear / 1357
41	Las partículas elementales y el origen del universo / 1389

APÉNDICES Y RESPUESTAS

Apéndice A	Unidades SI y factores de conversión / AP.1
Apéndice B	Datos numéricos / AP.3
Apéndice C	Tabla periódica de los elementos / AP.6
Apéndice de matemáticas	/ M.1
Respuestas de los problemas impares del final de los capítulos	/ A.1

Índice analítico

Volumen 1A

Prefacio	xiii
Acerca de los autores	xxii
* Materias opcionales	

PARTE I MECÁNICA

Capítulo 1	
MEDIDA Y VECTORES / 1	
1.1	La naturaleza de la física 2
1.2	Unidades 3
1.3	Conversión de unidades 6
1.4	Dimensiones de las magnitudes físicas 7
1.5	Cifras significativas y órdenes de magnitud 8
1.6	Vectores 14
1.7	Propiedades generales de los vectores 14
Temas de actualidad en Física:	
El año 2005: bisiestro por un segundo / 21	
	Resumen 22
	Problemas 23
Capítulo 2	
EL MOVIMIENTO EN UNA DIMENSIÓN / 27	
2.1	Desplazamiento, velocidad y módulo de la velocidad 28
2.2	Aceleración 35
2.3	Movimiento con aceleración constante 37
2.4	Integración 47

Temas de actualidad en Física:	
Aceleradores lineales / 51	
	Resumen 52
	Problemas 53
Capítulo 3	
MOVIMIENTO EN DOS Y TRES DIMENSIONES / 63	
3.1	Desplazamiento, velocidad y aceleración 64
3.2	Primer caso particular: movimiento de proyectiles 71
3.3	Segundo caso particular: movimiento circular 78
Temas de actualidad en Física:	
GPS: cálculo de vectores mientras se desplaza / 82	
	Resumen 83
	Problemas 84
Capítulo 4	
LEYES DE NEWTON / 93	
4.1	Primera ley de Newton: ley de la inercia 94
4.2	Fuerza y masa 95
4.3	Segunda ley de Newton 97
4.4	Fuerza debida a la gravedad: el peso 99
4.5	Fuerza de contacto: sólidos, muelles y cuerdas 101
4.6	Resolución de problemas: diagramas de fuerzas de sistemas aislados 104
4.7	Tercera ley de Newton 109
4.8	Problemas con dos o más objetos 111
ix	

Temas de actualidad en Física:	
Montañas rusas y el gusto por la velocidad / 114	
Resumen	115
Problemas	116

Capítulo 5

APLICACIONES ADICIONALES DE LAS LEYES DE NEWTON / 127

5.1	Rozamiento	128
5.2	Fuerzas de arrastre	139
5.3	Movimiento a lo largo de una trayectoria curva	141
*5.4	Integración numérica: el método de Euler	147
5.5	El centro de masas	149
Temas de actualidad en Física:		
Reconstrucción de accidentes— Medidas y Fuerzas / 158		
	Resumen	159
	Problemas	160



Gentileza de Rossignol Ski Company

Capítulo 6

TRABAJO Y ENERGÍA CINÉTICA / 173

6.1	Trabajo realizado por una fuerza constante	174
6.2	Trabajo realizado por una fuerza variable. Movimiento rectilíneo	179
6.3	El producto escalar	182
6.4	Teorema del trabajo—energía cinética. Trayectorias curvilíneas	188
*6.5	Trabajo del centro de masas	190
Temas de actualidad en Física:		
Montañas rusas, equipajes y trabajo (¡Dios mío!) / 193		

Resumen	194
Problemas	195

Capítulo 7

CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA / 201

7.1	Energía potencial	202
7.2	Conservación de la energía mecánica	209
7.3	Conservación de la energía	219
7.4	Masa y energía	228
7.5	Cuantización de la energía	231
Temas de actualidad en Física:		
Soplando aire cálido / 233		
	Resumen	234
	Problemas	236

Capítulo 8

CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL / 247

8.1	Conservación del momento lineal	248
8.2	Energía cinética de un sistema	254
8.3	Colisiones	255
*8.4	Colisiones en el sistema de referencia del centro de masas	271
8.5	Sistemas de masa variable: la propulsión de los cohetes	273
<u>Temas de actualidad en Física:</u>		
Motores de detonación por pulsos: más rápidos (y más fuertes) / 277		
	Resumen	278
	Problemas	279

Capítulo 9

ROTACIÓN / 289

9.1	Cinemática de la rotación: velocidad angular y aceleración angular	290
9.2	Energía cinética de rotación	292
9.3	Cálculo del momento de inercia	294
9.4	La segunda ley de Newton en la rotación	301
9.5	Aplicaciones de la segunda ley de Newton a la rotación	303
9.6	Objetos rodantes	310
Temas de actualidad en Física:		
Ultracentrifugadoras / 316		
	Resumen	317
	Problemas	318

Capítulo 10

MOMENTO ANGULAR / 331

10.1

Naturaleza vectorial de la rotación

332

10.2

Momento de una fuerza y momento angular

334

10.3

Conservación del momento angular

341

*10.4

Cuantización del momento angular

350

Temas de actualidad en Física:

El momento angular atmosférico / 353

Resumen

354

Problemas

355

Capítulo 11

GRAVEDAD / 363

11.1

Leyes de Kepler

364

11.2

Ley de la gravitación de Newton

367

11.3

Energía potencial gravitatoria

374

11.4

El campo gravitatorio

378

*11.5

Cálculo del campo gravitatorio de una corteza esférica por integración

384

Temas de actualidad en Física:

Lentes gravitacionales: una ventana abierta al universo / 386

Resumen

387

Problemas

388

Capítulo 12

EQUILIBRIO ESTÁTICO Y ELASTICIDAD / 397

12.1

Condiciones de equilibrio

398

12.2

Centro de gravedad

398

12.3

Ejemplos de equilibrio estático

399

12.4

Equilibrio estático en un sistema acelerado

406

12.5

Estabilidad del equilibrio de rotación

407

12.6

Problemas indeterminados

408

12.7

Tensión y deformación

409

Temas de actualidad en Física:

Nanotubos de carbono: pequeños y fuertes / 412

Resumen

413

Problemas

414

Capítulo 13

FLUIDOS / 423

13.1

Densidad

424

13.2

Presión en un fluido

425

13.3

Flotación y principio de Arquímedes

432

13.4

Fluidos en movimiento

438

Temas de actualidad en Física:

Aerodinámica automotriz: rodar con el viento / 448

Resumen

449

Problemas

450

RESPUESTAS DE LOS PROBLEMAS IMPARES DEL FINAL DE LOS CAPÍTULOS / A.1

ÍNDICE ALFABÉTICO / I.1

Prefacio

La sexta edición de *Física para la ciencia y la tecnología* presenta un texto y herramientas *online* completamente integrados que ayudarán a los estudiantes a aprender de un modo más eficaz y que permitirá a los profesores adaptar sus clases para enseñar de un modo más eficiente.

El texto incluye un nuevo enfoque estratégico de resolución de problemas, un apéndice de matemáticas integrado y nuevas herramientas para mejorar la comprensión conceptual. Los nuevos temas de actualidad en física destacan temas innovadores que ayudan a los estudiantes a relacionar lo que aprenden con las tecnologías del mundo real.

CARACTERÍSTICAS CLAVE



ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la sexta edición destaca una nueva estrategia de resolución de problemas en la que los Ejemplos siguen un formato sistemático de **Planteamiento**, **Solución** y **Comprobación**. Este formato conduce a los estudiantes a través de los pasos implicados en el análisis del problema, la resolución del problema y la comprobación de sus respuestas. Los Ejemplos a menudo incluyen útiles secciones de **Observación** que presentan formas alternativas de resolución de problemas, hechos interesantes, o información adicional relativa a los conceptos presentados. Siempre que se considera necesario, los Ejemplos van seguidos de **Problemas Prácticos** para que los estudiantes puedan evaluar su dominio de los conceptos.

En esta edición, las etapas de resolución de problemas siguen contando con las ecuaciones necesarias al lado, de manera que a los estudiantes les resulte más fácil seguir el razonamiento.

Después de cada enunciado del problema, los estudiantes van al **Planteamiento** del problema. Aquí, el problema se analiza tanto conceptualmente como visualmente.

En la sección **Solución**, cada paso de la solución se presenta con un enunciado escrito en la columna de la izquierda y las ecuaciones matemáticas correspondientes en la columna de la derecha.

La **Comprobación** recuerda a los estudiantes que han de verificar que sus resultados son precisos y razonables.

La **Observación** sugiere una forma distinta de enfocar un ejemplo o da información adicional relevante para el ejemplo.

A la solución le sigue normalmente un **Problema Práctico**, lo que permite a los estudiantes comprobar su comprensión. Al final del capítulo se incluyen las respuestas para facilitar una comprobación inmediata.

Ejemplo 3.4 Tomando una curva

Un coche se mueve hacia el este a 60 km/h. Toma una curva y 5 s más tarde viaja hacia el norte a 60 km/h. Determinar la aceleración media del coche.

PLANTEAMIENTO Calculamos la aceleración media a partir de su definición, $\vec{a}_m = \Delta\vec{v}/\Delta t$. Primero calculamos $\Delta\vec{v}$ que es el vector que sumado a $\vec{v}_i$ nos da $\vec{v}_f$.

SOLUCIÓN

1. La aceleración media es el cociente entre la variación de velocidad y el intervalo de tiempo: $\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$
2. Para hallar $\Delta\vec{v}$, debemos especificar primero $\vec{v}_i$ y $\vec{v}_f$. Dibujemos $\vec{v}_i$ y $\vec{v}_f$ (figura 3.7a), y tracemos el diagrama de suma vectorial (figura 3.7b) correspondiente a $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$:
3. El cambio de velocidad viene determinado por las velocidades inicial y final: $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$
4. Sustituya los resultados anteriores para determinar la aceleración media: $\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{60 \text{ km/h } \hat{j} - 60 \text{ km/h } \hat{i}}{5,0 \text{ s}}$
5. Convierta 60 km/h a metros por segundo: $60 \text{ km/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 16,7 \text{ m/s}$
6. Exprese la aceleración en metros por segundo al cuadrado: $\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{16,7 \text{ m/s } \hat{j} - 16,7 \text{ m/s } \hat{i}}{5,0 \text{ s}} = \boxed{-3,4 \text{ m/s}^2 \hat{i} + 3,4 \text{ m/s}^2 \hat{j}}$

COMPROBACIÓN La componente de la velocidad en dirección este disminuye de 60 km/h a cero, de tal forma que cabría esperar que la componente x de la aceleración fuese negativa. Así mismo, la componente de la velocidad en dirección norte aumenta de cero a 60 km/h, de forma que cabría esperar que la componente y de la aceleración fuese positiva. El resultado del apartado 6 concuerda con estas expectativas.

OBSERVACIÓN Obsérvese que el coche sigue acelerando aunque el módulo de su velocidad se mantenga constante.

PROBLEMA PRÁCTICO 3.1 Determinar el módulo y la dirección del vector aceleración media.

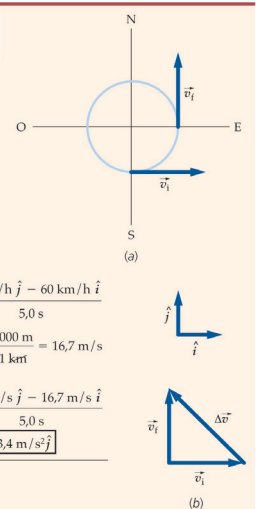


FIGURA 3.7

En casi todos los capítulos se incluye un recuadro llamado **Estrategia de resolución de problemas** para reforzar el formato **Planteamiento, Solución y Comprobación** para solucionar satisfactoriamente los problemas.

ESTRATEGIA DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Velocidad relativa

PLANTEAMIENTO El primer paso para la resolución de problemas de velocidad relativa es identificar y marcar los sistemas de referencia relevantes. Aquí les llamaremos sistema de referencia A y B.

SOLUCIÓN

1. Utilizando $\vec{v}_{PB} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AB}$ (ecuación 3.9), relacione la velocidad del objeto móvil (partícula *p*) relativa al sistema A con la velocidad de la partícula relativa al sistema B.
2. Trace un diagrama de suma vectorial para la ecuación $\vec{v}_{PB} = \vec{v}_{PA} + \vec{v}_{AB}$. Incluya ejes de coordenadas en el dibujo.
3. Calcule la incógnita en cuestión. Utilice la trigonometría cuando sea necesario.

COMPROBACIÓN Asegúrese de que obtiene la velocidad o posición del cuerpo respecto del sistema de referencia correcto.



APÉNDICE DE MATEMÁTICAS INTEGRADO

Esta edición ha mejorado el apoyo matemático a los estudiantes que estudian Matemáticas al mismo tiempo que introducción a la Física o a los estudiantes que requieren repasar las Matemáticas.

El **Apéndice de Matemáticas completo**

- revisa resultados básicos de álgebra, geometría, trigonometría y cálculo,
- relaciona conceptos matemáticos con conceptos físicos del libro,
- proporciona Ejemplos y Problemas Prácticos para que los estudiantes puedan comprobar su comprensión de los conceptos matemáticos.

Ejemplo M.13 **Desintegración radiactiva del cobalto-60**

El período de semidesintegración del cobalto-60 (⁶⁰Co) es 5,27 años. A *t* = 0 se tiene una muestra de ⁶⁰Co de masa 1,20 mg. ¿Cuánto tiempo *t* (en años) habrá de transcurrir para que 0,400 mg de la muestra de ⁶⁰Co se hayan desintegrado?

PLANTEAMIENTO En la deducción del período de semidesintegración pusimos $N/N_0 = 1/2$. En este ejemplo, hemos de hallar el tiempo de permanencia de dos tercios de la muestra, es decir, cuando la fracción N/N_0 sea de 0,667.

SOLUCIÓN

1. Expresar la fracción N/N_0 como una función exponencial:

2. Obtener los valores recíprocos de ambos miembros:

3. Despejar *t*:

4. La constante de desintegración está relacionada con el período de semidesintegración por medio de $\lambda = (\ln 2)/t_{1/2}$ (ecuación M.70). Sustituir $(\ln 2)/t_{1/2}$ por λ y calcular el tiempo:

$$\frac{N}{N_0} = 0,667 = e^{-\lambda t}$$
$$\frac{N_0}{N} = 1,50 = e^{\lambda t}$$
$$t = \frac{\ln 1,50}{\lambda} = \frac{0,405}{\lambda}$$
$$t = \frac{\ln 1,5}{\ln 2} t_{1/2} = \frac{\ln 1,5}{\ln 2} \times 5,27 \text{ años} = 3,08 \text{ años}$$

COMPROBACIÓN Para que la masa de una muestra de ⁶⁰Co decreciese hasta el 50% de su masa inicial habrían de transcurrir 5,27 años. Por lo tanto, es de esperar que la muestra tardase menos de 5,27 años para perder el 33,3% de su masa. Por tanto, el resultado obtenido (3,08 años), concuerda con lo esperado.

PROBLEMAS PRÁCTICOS

27. La constante de tiempo de descarga de un condensador en un $\tau = 1$ s para un condensador, ¿cuánto tiempo *t* (en segundos) descargarse hasta el 50% de su carga inicial?
28. Si la población de coyotes en un determinado lugar está creciendo por década y continúa creciendo al mismo ritmo indefinidamente, ¿cuánto tiempo tardará una población 1,5 veces la actual?

M.12 CÁLCULO INTEGRAL

El **cálculo integral** se puede considerar el inverso del cálculo diferencial. Si una función *f*(*t*) se integra, se obtiene una función *F*(*t*), de forma que *f*(*t*) es la derivada de *F*(*t*) con respecto a *t*.

LA INTEGRAL COMO UN ÁREA BAJO UNA CURVA. ANÁLISIS DIMENSIONAL

La integración está relacionada con el problema de hallar el área bajo una curva. La figura M.27 muestra una función *f*(*t*). El área del elemento sombreado es aproximadamente *f_i* Δ*t_i*, en donde *f_i* se calcula en un punto cualquiera del intervalo Δ*t_i*. Esta aproximación mejora si Δ*t_i* es muy pequeño. Se halla el área total desde *t*₁ hasta *t*₂ sumando todos los elementos de área desde *t*₁ a *t*₂ y tomando el límite cuando Δ*t_i* tiende a cero. Este límite se denomina la **integral** de *f* extendida al intervalo *t*₁, *t*₂ y se escribe

$$\int_{t_1}^{t_2} f \, dt = \text{área}_i = \lim_{\Delta t_i \rightarrow 0} \sum_i f_i \Delta t_i \qquad \text{M.74}$$

Las dimensiones físicas de una integral de una función *f*(*t*) se hallan multiplicando las dimensiones del integrando (la función que se ha de integrar) por las dimensiones de la variable de in-

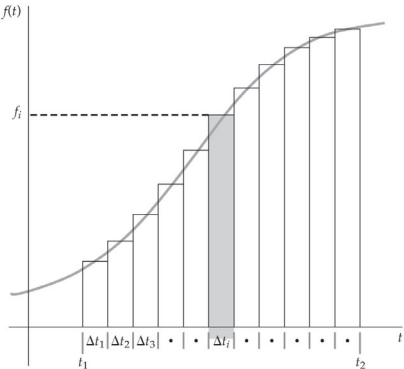


FIGURA M.27 Función general *f*(*t*). El área del elemento sombreado es aproximadamente *f_i* Δ*t_i*, en donde *f_i* se calcula para un punto cualquiera del intervalo.



Véase el
Apéndice de matemáticas
para más información sobre
Cálculo diferencial

Además, las notas al margen permiten a los estudiantes ver fácilmente la relación entre los conceptos físicos del texto y los conceptos matemáticos.



PEDAGOGÍA PARA ASEGURAR LA COMPRENSIÓN CONCEPTUAL

Se han añadido herramientas prácticas para los estudiantes para facilitar un mejor comprensión conceptual de la física.

- Se han introducido nuevos **Ejemplos conceptuales**, para ayudar a los estudiantes a comprender en profundidad conceptos físicos esenciales. Estos ejemplos utilizan la estrategia **Planteamiento, Solución y Comprobación**, de modo que los estudiantes no sólo obtienen una comprensión conceptual básica sino que tienen que evaluar sus respuestas.

Ejemplo 8.12 Colisiones con masilla

Conceptual

María tiene dos bolas de la misma masa, una bola de masilla y otra de goma. Lanza la bola de masilla contra un bloque suspendido por dos cuerdas como se muestra en la figura 8.20. La bola impacta contra el bloque y cae al suelo. Como consecuencia, el bloque asciende hasta una altura máxima h . Si hubiera lanzado la bola de goma con la misma velocidad, ¿el bloque habría ascendido a una altura mayor que h ? La goma, a diferencia de la masilla, es elástica y hubiera rebotado contra el bloque.

PLANTEAMIENTO Durante el impacto, el cambio de momento del sistema bola-bloque es cero. Cuanto mayor es el cambio de momento de la bola, mayor será el cambio de momento del bloque. ¿Aumenta más el cambio de momento de la bola si rebota en el bloque que si no lo hace?

SOLUCIÓN

La bola de masilla pierde una fracción importante de su momento inicial. La bola de goma perdería todo el momento inicial para ganar momento en la dirección opuesta. Por tanto, la bola de goma perdería mayor cantidad de momento que la bola de masilla.

El bloque ascendería hasta una mayor altura después de ser impactado con la bola de goma que si hubiese sido impactado por la bola de masilla.

COMPROBACIÓN El bloque ejerce un impulso hacia atrás sobre la bola de masilla hasta hacerla parar. El mismo impulso hace detener la bola de goma, pero además el bloque ejerce un impulso adicional que la hacer retroceder. Así, el bloque ejerce un mayor impulso sobre la bola de goma que sobre la de masilla. Según la tercera ley de Newton, el impulso de la bola sobre el bloque es igual y opuesto al impulso del bloque sobre la bola. Entonces, la bola de goma ejerce un impulso mayor sobre el bloque confiriéndole un mayor cambio de momento.

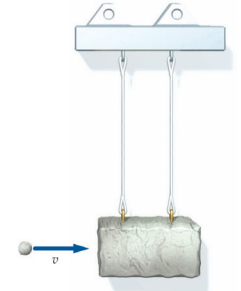


FIGURA 8.20

- Las nuevas **Comprobaciones de conceptos** facilitan a los estudiantes comprobar su comprensión conceptual de conceptos físicos mientras leen los capítulos. Las respuestas están situadas al final de cada capítulo para permitir una comprobación inmediata. Las comprobaciones de conceptos se colocan cerca de temas relevantes, de modo que los estudiantes puedan releer inmediatamente cualquier material que no comprendan del todo.
- Los nuevos **avisos de errores frecuentes**, identificados mediante signos de exclamación, ayudan a los estudiantes a evitar errores habituales. Estos avisos están situados cerca de los temas que habitualmente causan confusión, de manera que los estudiantes puedan resolver de inmediato cualquier dificultad.



COMPROBACIÓN CONCEPTUAL 3.1

La figura 3.9 es el diagrama del movimiento de la saltadora antes, durante y después del instante de tiempo t_0 , cuando se halla momentáneamente en reposo en el punto más bajo de su descenso. En la parte de su ascenso mostrada en el esquema, la velocidad de la saltadora aumenta. Utilice este diagrama para determinar la dirección de la aceleración de la saltadora (a) en el instante t_0 y (b) en el instante t_0 .

donde U_y la constante arbitraria de integración, es el valor de la energía potencial para $y = 0$. Como sólo definimos la variación de energía potencial, el valor real de U no es importante. Por ejemplo, si a la energía potencial gravitatoria del sistema Tierra-esquiador se le asigna un valor igual a cero cuando el esquiador está en el fondo de la pista, su valor a la altura h sobre este nivel es mgh . También podemos asignar el valor cero de energía potencial al momento en que el esquiador está en un punto P a medio camino de la pendiente, en cuyo caso su valor en cualquier otro punto sería mgy , donde y es la distancia del esquiador respecto al punto P .

Tenemos libertad para dar a U el valor cero en cualquier punto de referencia.



TEMAS DE ACTUALIDAD EN FÍSICA

Los **temas de actualidad en Física**, que aparecen al final de ciertos capítulos, tratan de aplicaciones actuales de la Física y relacionan estas aplicaciones con conceptos descritos en los capítulos. Estos temas van desde un parque eólico hasta termómetros moleculares y motores de detonación pulsar.

Soplando aire cálidos

Los parques eólicos están desperdigados por la costa danesa, las planicies del alto medio-oeste de EE.UU. y las montañas desde California hasta Vermont. El aprovechamiento de la energía cinética del viento no es nada nuevo. Durante siglos, los molinos de viento se han utilizado para bombear agua, ventilar minas¹ y moler el grano.

En la actualidad, las turbinas de viento hacen funcionar generadores eléctricos. Esas turbinas transforman energía cinética en energía electromagnética. Las turbinas modernas tienen precios, tamaños y rendimientos muy variados. Algunas de ellas son pequeñas y sencillas máquinas que cuestan unos 500 dólares y producen unos 100 watts de potencia.² Otras son gigantes y complejas y cuestan unos 2 millones de dólares pero generan hasta 2,5 MW por turbina.³ Todas ellas funcionan gracias a una fuente de energía fácilmente disponible —el viento.

La teoría que hay detrás de la conversión de energía cinética en electromagnética es simple. Las moléculas de aire golpean sobre las aspas de la hélice y hacen girar la turbina. Las aspas hacen girar unos engranajes que hacen aumentar la velocidad de rotación que a su vez hace girar el rotor generador. El generador envía energía electromagnética a cables que soportan alta tensión.

Sin embargo, la conversión de la energía cinética del viento en energía electromagnética no es perfectamente eficiente; de hecho, no puede ser 100% eficiente. Si las turbinas convirtieran completamente la energía cinética del viento en energía eléctrica, el aire saldría de las turbinas sin energía cinética. Es decir, las turbinas pararían el aire. Si la turbina parase completamente el aire, éste fluiría alrededor de la turbina en lugar de fluir a través de ella.

Así, la turbina debe ser capaz de capturar la energía cinética del aire en movimiento y de evitar el flujo de aire a su alrededor. Las turbinas propulsadas por hélices son las más comunes y su eficiencia teórica varía de 30% a 59%.⁴ (Las eficiencias teóricas varían en función de cómo el aire fluye alrededor de la turbina y a través de las hélices.)

En resumen, ni la más eficiente de las turbinas puede convertir el 100% de la energía disponible. ¿Qué sucede? Antes de llegar a la turbina el aire fluye de forma laminar mientras que al dejar atrás la turbina el aire se vuelve turbulento. La componente rotacional del movimiento del aire de detrás de la turbina, aumenta su energía aunque también hay alguna disipación debida a la viscosidad del aire. Si un determinado volumen de aire se mueve más lentamente, aparecerá un rozamiento entre este aire y el aire más veloz que fluye a su alrededor.⁵ Las hélices se calientan y el aire también. Los engranajes de la turbina también disipan energía debido al rozamiento. Las hélices vibran individualmente —la energía absorbida para producir estas vibraciones también hace disminuir la eficiencia. Finalmente, la turbina necesita corriente para hacer funcionar los motores que lubrican los engranajes y el motor que orienta la turbina en la dirección más apropiada para la captura del viento.

En definitiva, la mayoría de turbinas funcionan con una eficiencia de entre un 10 y un 20 por ciento,⁶ pero siguen siendo un recurso energético más limpio que el petróleo. Uno de los propietarios de turbinas eólicas decía, “Lo fundamental del negocio de las turbinas radica en que nos ayuda a controlar nuestro futuro”.⁷

Temas de actualidad en Física



Un parque eólico que convierte la energía cinética del aire en energía eléctrica. (Image Slate.)

MEDIOS DE DIFUSIÓN Y SUPLEMENTOS IMPRESOS

Todos los suplementos de la obra están disponibles en Internet en la página www.reverte.com/microsites/tipler6ed.

FLEXIBILIDAD PARA LOS CURSOS DE FÍSICA

Nos damos cuenta de que no todos los cursos de física son iguales. Para facilitar la utilización del libro, *Física para la ciencia y la tecnología* se halla disponible en las siguientes versiones:

- Volumen 1** *Mecánica/Oscilaciones y ondas/Termodinámica*
(Capítulos 1–20, R) 978-84-291-4429-1
- Volumen 2** *Electricidad y magnetismo/Luz*
(Capítulos 21–33) 978-84-291-4430-7
- Volumen 1A** *Mecánica* (Capítulos 1–13) 978-84-291-4421-5
- Volumen 1B** *Oscilaciones y ondas* (Capítulos 14–16) 978-84-291-4422-2
- Volumen 1C** *Termodinámica* (Capítulos 17–20) 978-84-291-4423-9
- Volumen 2A** *Electricidad y magnetismo* (Capítulos 21–30) 978-84-291-4424-6
- Volumen 2B** *Luz* (Capítulos 31–33) 978-84-291-4425-3
- Física moderna** *Mecánica cuántica, relatividad y estructura de la materia*
(Capítulos R, 34–41) 978-84-291-4426-0
- Apéndices y respuestas** 978-84-291-4427-7

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los diversos profesores, estudiantes, colaboradores y amigos que han contribuido a esta edición y a las anteriores.

Anthony J. Buffa, profesor emérito en California Polytechnic State University en California, escribió muchos de los nuevos problemas que aparecen al final de los capítulos y editó las secciones de problemas del final de cada capítulo. Laura Runkle escribió los Temas de actualidad en Física. Richard Mickey revisó la Revisión de matemáticas de la quinta edición, que ahora constituye el Apéndice de matemáticas de la sexta edición. David Mills, profesor emérito en el College of the Redwoods en California, revisó a fondo el Manual de Soluciones. Para redactar este libro y para comprobar la precisión y exactitud del texto y los problemas hemos contado con la ayuda inestimable de los siguientes profesores:

Thomas Foster
Southern Illinois University

Karamjeet Arya
San Jose State University

Mirley Bala
Texas A&M University—Corpus Christi

Michael Crivello
San Diego Mesa College

Carlos Delgado
Community College of Southern Nevada

David Faust
Mt. Hood Community College

Robin Jordan
Florida Atlantic University

Jerome Licini
Lehigh University

Dan Lucas
University of Wisconsin

Laura McCullough
University of Wisconsin, Stout

Jeannette Myers
Francis Marion University

Marian Peters
Appalachian State University

Todd K. Pedlar
Luther College

Paul Quinn
Kutztown University

Peter Sheldon
Randolph-Macon Woman's College

Michael G. Strauss
University of Oklahoma

Brad Trees
Ohio Wesleyan University

George Zober
Yough Senior High School

Patricia Zober
Ringgold High School

Muchos profesores y estudiantes han realizado revisiones exhaustivas y útiles de uno o más capítulos de esta edición. Cada uno de ellos ha contribuido de un modo fundamental a mejorar la calidad de esta revisión, y merecen por ello nuestro agradecimiento. Nos gustaría dar las gracias a los siguientes revisores:

Ahmad H. Abdelhadi
James Madison University

Edward Adelson
Ohio State University

Royal Albridge
Vanderbilt University

J. Robert Anderson
University of Maryland, College Park

Toby S. Anderson
Tennessee State University

Wickram Ariyasinghe
Baylor University

Yildirim Aktas
University of North Carolina, Charlotte

Eric Ayars
California State University

James Battat
Harvard University

Eugene W. Beier
University of Pennsylvania

Peter Beyersdorf
San Jose State University

Richard Bone
Florida International University

Juliet W. Brosing
Pacific University

Ronald Brown
California Polytechnic State University

Richard L. Cardenas
St. Mary’s University

Troy Carter
University of California, Los Angeles

Alice D. Churukian
Concordia College

N. John DiNardo
Drexel University

Jianjun Dong
Auburn University

Fivos R Drymiotis
Clemson University

Mark A. Edwards
Hofstra University

James Evans
Broken Arrow Senior High

Nicola Fameli
University of British Columbia

N. G. Fazleev
University of Texas at Arlington

Thomas Furtak
Colorado School of Mines

Richard Gelderman
Western Kentucky University

Yuri Gershtein
Florida State University

Paolo Gondolo
University of Utah

Benjamin Grinstein
University of California, San Diego

Parameswar Hari
University of Tulsa

Joseph Harrison
University of Alabama—Birmingham

Patrick C. Hecking
Thiel College

Kristi R. G. Hendrickson
University of Puget Sound

Linnea Hess
Olympic College

Mark Hollabaugh
Normandale Community College

Daniel Holland
Illinois State University

Richard D. Holland II
Southern Illinois University

Eric Hudson
Massachusetts Institute of Technology

David C. Ingram
Ohio University

Colin Inglefield
Weber State University

Nathan Israeloff
Northeastern University

Donald J. Jacobs
California State University, Northridge

Erik L. Jensen
Chemeketa Community College

Colin P Jessop
University of Notre Dame

Ed Kearns
Boston University

Alice K. Kolakowska
Mississippi State University

Douglas Kurtze
Saint Joseph’s University

Eric T. Lane
University of Tennessee at Chattanooga

Christie L. Larochelle
Franklin & Marshall College

Mary Lu Larsen
Towson University

Clifford L. Laurence
Colorado Technical University

Bruce W. Liby
Manhattan College

Ramon E. Lopez
Florida Institute of Technology

Ntungwa Maasha
Coastal Georgia Community Collegee
and University Center

Jane H MacGibbon
University of North Florida

A. James Mallmann
Milwaukee School of Engineering

Rahul Mehta
University of Central Arkansas

R. A. McCorkle
University of Rhode Island

Linda McDonald
North Park University

Kenneth McLaughlin
Loras College

Eric R. Murray
Georgia Institute of Technology

Jeffrey S. Olafsen
University of Kansas

Richard P. Olenick
University of Dallas

Halina Opyrchal
New Jersey Institute of Technology

Russell L. Palma
Minnesota State University—Mankato

Todd K. Pedlar
Luther College

Daniel Phillips
Ohio University

Edward Pollack
University of Connecticut

Michael Politano
Marquette University

Robert L. Pompei
SUNY Binghamton

Damon A. Resnick
Montana State University

Richard Robinett
Pennsylvania State University

John Rollino
Rutgers University

Daniel V. Schroeder
Weber State University

Douglas Sherman
San Jose State University

Christopher Sirola
Marquette University

Larry K. Smith
Snow College

George Smoot
University of California
at Berkeley

Zbigniew M. Stadnik
University of Ottawa

Kenny Stephens
Hardin-Simmons University

Daniel Stump
Michigan State University

Jorge Talamantes
California State University,
Bakersfield

Charles G. Torre
Utah State University

Brad Trees
Ohio Wesleyan University

John K. Vassiliou
Villanova University

Theodore D. Violett
Western State College

Hai-Sheng Wu
Minnesota State University—Mankato

Anthony C. Zable
Portland Community College

Ulrich Zurcher
Cleveland State University

También estamos en deuda con los revisores de ediciones anteriores. Por lo que nos gustaría dar las gracias a los siguientes revisores, quienes nos proporcionaron un apoyo imprescindible mientras realizábamos la cuarta y la quinta ediciones:

Edward Adelson

The Ohio State University

Michael Arnett

Kirkwood Community College

Todd Averett

The College of William and Mary

Yildirim M. Aktas

University of North Carolina at Charlotte

Karamjeet Arya

San Jose State University

Alison Baski

Virginia Commonwealth University

William Bassichis

Texas A&M University

Joel C. Berlinghieri

The Citadel

Gary Stephen Blanpied

University of South Carolina

Frank Blatt

Michigan State University

Ronald Brown

California Polytechnic State University

Anthony J. Buffa

California Polytechnic State University

John E. Byrne

Gonzaga University

Wayne Carr

Stevens Institute of Technology

George Cassidy

University of Utah

Lay Nam Chang

Virginia Polytechnic Institute

I. V. Chivets

Trinity College, University of Dublin

Harry T. Chu

University of Akron

Alan Cresswell

Shippensburg University

Robert Coakley

University of Southern Maine

Robert Coleman

Emory University

Brent A. Corbin

UCLA

Andrew Cornelius

University of Nevada at Las Vegas

Mark W. Coffey

Colorado School of Mines

Peter P. Crooker

University of Hawaii

Jeff Culbert

London, Ontario

Paul Debevec

University of Illinois

Ricardo S. Decca

Indiana University-Purdue University

Robert W. Detenbeck

University of Vermont

N. John DiNardo

Drexel University

Bruce Doak

Arizona State University

Michael Dubson

University of Colorado at Boulder

John Elliott

University of Manchester, England

William Ellis

University of Technology — Sydney

Colonel Rolf Enger

U.S. Air Force Academy

John W. Farley

University of Nevada at Las Vegas

David Faust

Mount Hood Community College

Mirela S. Fetea

University of Richmond

David Flammer

Colorado School of Mines

Philip Fraundorf

University of Missouri, Saint Louis

Tom Furtak

Colorado School of Mines

James Garland

Retired

James Garner

University of North Florida

Ian Gatland

Georgia Institute of Technology

Ron Gautreau

New Jersey Institute of Technology

David Gavenda

University of Texas at Austin

Patrick C. Gibbons

Washington University

David Gordon Wilson

Massachusetts Institute of Technology

Christopher Gould

University of Southern California

Newton Greenberg

SUNY Binghamton

John B. Gruber

San Jose State University

Huidong Guo

Columbia University

Phuoc Ha

Creighton University

Richard Haracz

Drexel University

Clint Harper

Moorpark College

Michael Harris

University of Washington

Randy Harris

University of California at Davis

Tina Harriott

Mount Saint Vincent, Canada

Dieter Hartmann

Clemson University

Theresa Peggy Hartsell

Clark College

Kristi R.G. Hendrickson

University of Puget Sound

Michael Hildreth

University of Notre Dame

Robert Hollebeek

University of Pennsylvania

David Ingram

Ohio University

Shawn Jackson

The University of Tulsa

Madya Jalil

University of Malaya

Monwhea Jeng

University of California — Santa Barbara

James W. Johnson

Tallahassee Community College

Edwin R. Jones

University of South Carolina

Ilon Joseph

Columbia University

David Kaplan

University of California — Santa Barbara

William C. Kerr

Wake Forest University

John Kidder

Dartmouth College

Roger King

City College of San Francisco

James J. Kolata

University of Notre Dame

Boris Korsunsky

Northfield Mt. Hermon School

Thomas O. Krause

Towson University

Eric Lane

University of Tennessee, Chattanooga

Andrew Lang (graduate student)

University of Missouri

David Lange

University of California — Santa Barbara

Donald C. Larson

Drexel University

Paul L. Lee

California State University, Northridge

Peter M. Levy

New York University

Jerome Licini

Lehigh University

Isaac Leichter

Jerusalem College of Technology

William Lichten

Yale University

Robert Lieberman

Cornell University

Fred Lipschultz

University of Connecticut

Graeme Luke

Columbia University

Dan MacIsaac

Northern Arizona University

Edward McCliment

University of Iowa

Robert R. Marchini

The University of Memphis

Peter E. C. Markowitz

Florida International University

Daniel Marlow

Princeton University

Fernando Medina

Florida Atlantic University

Howard McAllister

University of Hawaii

John A. McClelland

University of Richmond

Laura McCullough

University of Wisconsin at Stout

M. Howard Miles

Washington State University

Matthew Moelter

University of Puget Sound

Eugene Mosca

U.S. Naval Academy

Carl Mungan

U.S. Naval Academy

Taha Mzoughi

Mississippi State University

Charles Niederriter

Gustavus Adolphus College

John W. Norbury

University of Wisconsin at Milwaukee

Aileen O'Donoghue

St. Lawrence University

Jack Ord

University of Waterloo

Jeffry S. Olafsen

University of Kansas

Melvyn Jay Oremland

Pace University

Richard Packard

University of California

Antonio Pagnamenta

University of Illinois at Chicago

George W. Parker

North Carolina State University

John Parsons

Columbia University

Dinko Pocanic

University of Virginia

Edward Pollack

University of Connecticut

Robert Pompei

The State University of New York at Bingham-
ton

Bernard G. Pope

Michigan State University

John M. Pratte

Clayton College and State
University

Brooke Pridmore

Clayton State College

Yong-Zhong Qian

University of Minnesota

David Roberts

Brandeis University

Lyle D. Roelofs

Haverford College

R. J. Rollefson

Wesleyan University

Larry Rowan

University of North Carolina at Chapel Hill

Ajit S. Rupaal

Western Washington University

Todd G. Ruskell

Colorado School of Mines

Lewis H. Ryder

University of Kent, Canterbury

Andrew Scherbakov

Georgia Institute of Technology

Bruce A. Schumm

University of California, Santa Cruz

Cindy Schwarz

Vassar College

Mesgun Sebhatsu

Winthrop University

Bernd Schuttler

University of Georgia

Murray Scureman

Amdahl Corporation

Marllin L. Simon

Auburn University

Scott Sinawi

Columbia University

Dave Smith

University of the Virgin Islands

Wesley H. Smith

University of Wisconsin

Kevork Spartalian

University of Vermont

Zbigniew M. Stadnik

University of Ottawa

G. R. Stewart

University of Florida

Michael G. Strauss

University of Oklahoma

Kaare Stegavik

University of Trondheim, Norway

Jay D. Strieb

Villanova University

Dan Styer

Oberlin College

Chun Fu Su

Mississippi State University

Jeffrey Sundquist

Palm Beach Community College — South

Cyrus Taylor

Case Western Reserve University

Martin Tiersten

City College of New York

Chin-Che Tin

Auburn University

Oscar Vilches

University of Washington

D. J. Wagner

Grove City College

Columbia University

George Watson

University of Delaware

Fred Watts

College of Charleston

David Winter

John A. Underwood

Austin Community College

John Weinstein

University of Mississippi

Stephen Weppner

Eckerd College

Suzanne E. Willis

Northern Illinois University

Frank L. H. Wolfe

University of Rochester

Frank Wolfs

University of Rochester

Roy C. Wood

New Mexico State University

Ron Zammit

California Polytechnic State University

Yuriy Zhestkov

Columbia University

Dean Zollman

Kansas State University

Fulin Zuo

University of Miami

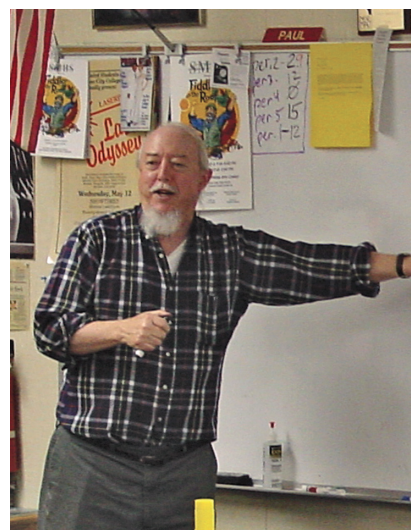
Es obvio que nuestro trabajo no termina nunca; por ello, esperamos recibir comentarios y sugerencias de nuestros lectores para poder mejorar el texto y corregir cualquier error. Si usted cree que ha hallado un error, o tiene cualquier otro comentario, sugerencia o pregunta, envíenos una nota a producción@reverte.com. Incorporaremos las correcciones en el texto en posteriores reimpresiones.

Por último, nos gustaría agradecer a nuestros amigos de W. H. Freeman and Company su ayuda y aliento. Susan Brennan, Clancy Marshall, Kharissia Pettus, Georgia Lee Hadler, Susan Wein, Trumbull Rogers, Connie Parks, John Smith, Dena Digilio Betz, Ted Szczepanski y Liz Geller, quienes fueron muy generosos con su creatividad y duro trabajo en cada etapa del proceso.

También estamos agradecidos por las contribuciones y ayuda de nuestros colegas Larry Tankersley, John Ertel, Steve Montgomery y Don Treacy.

Acerca de los autores

Paul Tipler nació en la pequeña ciudad agrícola de Antigo, Wisconsin, en 1933. Realizó sus estudios medios en Oshkosh, Wisconsin, en donde su padre era superintendente de las Escuelas Públicas. Recibió el título de Bachelor of Science en la Universidad de Purdue en 1955 y obtuvo su Ph.D. en la Universidad de Illinois, en donde estudió la estructura del núcleo. Impartió la enseñanza durante un año en la Wesleyan University de Connecticut mientras redactaba su tesis. Después se trasladó a la Universidad de Oakland en Michigan, donde fue uno de los primeros miembros del Departamento de Física, y desempeñó un papel importante en el desarrollo de los planes de estudio. Durante los siguientes 20 años, enseñó casi todas las disciplinas de la física y escribió la primera y segunda ediciones de sus ampliamente difundidos textos *Física Moderna* (1969, 1978) y *Física* (1976, 1982). En 1982, se mudó a Berkeley, California, donde ahora reside y donde escribió *Física preuniversitaria* (1987) y la tercera edición de *Física* (1991). Además de la física, sus aficiones incluyen la música, excursionismo y camping. Es un excelente pianista de jazz y un buen jugador de póker.



Gene Mosca nació en la ciudad de Nueva York y se crió en Shelter Island, en el Estado de Nueva York. Estudió en la Universidad de Villanova, en la Universidad de Michigan y en la Universidad de Vermont, donde obtuvo su Ph.D. en física. Recientemente jubilado, Gene Mosca ha sido profesor en la U.S. Naval Academy, donde fue el impulsor de numerosas mejoras en la enseñanza de la Física, tanto en los laboratorios como en las aulas. Proclamado por Paul Tipler como "el mejor crítico que he tenido", Mosca se ha convertido en coautor del libro a partir de su quinta edición.





Medida y vectores

- 1.1 La naturaleza de la física
- 1.2 Unidades
- 1.3 Conversión de unidades
- 1.4 Dimensiones de las magnitudes físicas
- 1.5 Cifras significativas y órdenes de magnitud
- 1.6 Vectores
- 1.7 Propiedades generales de los vectores

La humanidad siempre ha sentido curiosidad por el mundo que le rodea. Como demuestran los primeros documentos gráficos, siempre hemos buscado el modo de imponer orden en la enmarañada diversidad de los sucesos observados, el color del cielo, el cambio del sonido de un coche cuando pasa, el balanceo de un árbol, la salida y la puesta del Sol, el vuelo de un ave o de un avión. Esta búsqueda para entender ha adoptado distintas formas: una es la religión, otra es el arte y otra es la ciencia. Aunque el vocablo *ciencia* viene del latín y significa “saber”, la ciencia no sólo es saber sino, especialmente, comprensión del mundo natural. La Física pretende describir los fundamentos del universo y cómo funciona. Es la ciencia de la materia y de la energía, del espacio y del tiempo.

Como toda ciencia, la Física se estructura de una forma específica y racional. Los físicos construyen, prueban y relacionan modelos con el objetivo de describir, explicar y predecir la realidad. Este proceso comporta elaborar hipótesis, llevar a cabo repetidamente experimentos y observaciones y, en consecuencia, elaborar nuevas hipótesis. El resultado final es un conjunto de principios fundamentales y de leyes que describen el mundo. Estas leyes y principios se aplican tanto a fenómenos exó-

EN UNA PLAYA HAY DEMASIADOS GRANOS DE ARENA PARA CONTARLOS UNO POR UNO, PERO SE PUEDE OBTENER EL NÚMERO APROXIMADO POR MEDIO DE HIPÓTESIS RAZONABLES Y CÁLCULOS SENCILLOS. (Corbis.)



¿Cuántos granos de arena hay en su playa favorita?

(Véase el ejemplo 17.)

ticos como los agujeros negros, la energía oscura y partículas con nombres tan peculiares como leptosquarks o bosones como a la vida cotidiana. Como veremos, hay innumerables cuestiones de nuestro entorno cotidiano que pueden explicarse con un conocimiento básico de física. ¿Por qué el cielo es azul? ¿Por qué los astronautas flotan en el espacio? ¿Cómo funcionan los reproductores de discos compactos? ¿Por qué un oboe suena distinto de una flauta? ¿Por qué un helicóptero debe tener dos rotores? ¿Por qué los objetos metálicos parecen más fríos que los objetos de madera a igual temperatura? ¿Por qué los relojes que se mueven van más lentos?

En este libro, aplicaremos los principios de la física para contestar estas y otras cuestiones. Estudiaremos los temas clásicos de la física, la mecánica, el sonido, la luz, el calor, la electricidad, el magnetismo, la física atómica y nuclear. También aprenderemos algunas técnicas útiles para la resolución de problemas. En este proceso esperamos que el lector tome conciencia de la importancia de la física y aprecie toda su belleza.

En este capítulo, empezaremos a prepararnos estudiando algunos conceptos previos que se necesitan para el estudio de la física. Examinaremos brevemente la naturaleza de la física, estableceremos algunas definiciones básicas, introduciremos los sistemas de unidades y aprenderemos a usarlos y presentaremos una introducción a la matemática de los vectores. También trataremos de la exactitud de las medidas, las cifras significativas y las estimaciones.

1.1 LA NATURALEZA DE LA FÍSICA

El vocablo *física* procede del griego y significa el conocimiento del mundo natural. Por lo tanto, no nos ha de sorprender que los primeros esfuerzos registrados por el ser humano para reunir sistemáticamente el conocimiento sobre el movimiento de los cuerpos procedan de la antigua Grecia. En la filosofía natural establecida por Aristóteles (384–322 a.C.), las explicaciones de los fenómenos físicos se deducían de hipótesis sobre el mundo y no de la experimentación. Por ejemplo, una hipótesis fundamental afirmaba que toda sustancia tenía un “lugar natural” en el universo. Se estableció que el movimiento era el resultado del intento de una sustancia de alcanzar su lugar natural. El acuerdo entre las deducciones de la física aristotélica y los movimientos observados en el universo físico, y la falta de una tradición experimental que derrocara la física antigua, hizo que el punto de vista de los griegos fuera aceptado durante casi dos mil años. Fue el científico italiano Galileo Galilei (1564–1642) quien, con sus brillantes experimentos sobre el movimiento, estableció para siempre la absoluta necesidad de la experimentación en la física e inició la desintegración de la física de Aristóteles. Unos cien años después, Isaac Newton generalizó los resultados experimentales de Galileo en sus tres leyes fundamentales del movimiento, y el reino de la filosofía natural de Aristóteles se extinguió.

Durante los siguientes doscientos años la experimentación aportó innumerables descubrimientos y surgieron nuevas preguntas. Se descubrieron los fenómenos térmicos y eléctricos, y algunos relacionados con la expansión y la compresión de los gases. Estos descubrimientos y las nuevas preguntas que planteaban inspiraron el desarrollo de nuevos modelos para su explicación. A finales del siglo XIX, las leyes de Newton referentes a los movimientos de los sistemas mecánicos se asociaron a las igualmente impresionantes leyes de James Maxwell, James Joule, Sadi Carnot y otros científicos, para describir el electromagnetismo y la termodinámica. Los temas que ocuparon a los físicos durante la última parte del siglo XIX —mecánica, luz, calor, sonido, electricidad y magnetismo— constituyen lo que se denomina *física clásica*. Dado que necesitamos la física clásica para comprender el mundo macroscópico donde vivimos, le dedicaremos las partes I a V de este libro.

El notable éxito alcanzado por la física clásica llevó a muchos científicos al convencimiento de que la descripción del universo físico se había completado. Sin embargo, el descubrimiento de los rayos X realizado por Wilhelm Roentgen en 1895 y el de la radiactividad por Antoine Becquerel y Marie y Pierre Curie poco

después parecían estar fuera del marco de la física clásica. La teoría de la relatividad especial propuesta por Albert Einstein en 1905 contradecía las ideas de espacio y tiempo de Galileo y Newton. En el mismo año, Einstein sugirió que la energía luminosa estaba cuantizada; es decir, que la luz se propaga en paquetes discretos de energía y no en forma ondulatoria y continua como suponía la física clásica. La generalización de esta idea a la cuantización de todos los tipos de energía es un concepto fundamental de la mecánica cuántica, con sorprendentes e importantes consecuencias. La aplicación de la relatividad especial y, particularmente, la teoría cuántica a sistemas microscópicos, tales como átomos, moléculas y núcleos, ha conducido a una comprensión detallada de sólidos, líquidos y gases, y constituye lo que generalmente se denomina *física moderna*, a la que dedicamos la parte VI de este texto.

Comenzaremos nuestro estudio de la física con los temas clásicos. Sin embargo, de vez en cuando elevaremos nuestra mirada para analizar la relación entre la física clásica y la física moderna. Así, por ejemplo, en el capítulo 2 dedicaremos un espacio a las velocidades próximas a la de la luz, atravesando brevemente el universo relativista imaginado primeramente por Einstein. Igualmente, después de abordar la conservación de la energía en el capítulo 7, trataremos de la cuantización de la energía y de la famosa relación de Einstein entre la masa y la energía, $E = mc^2$. Unos capítulos más adelante, en el capítulo R, estudiaremos la naturaleza del espacio y del tiempo, tal como fue desvelada por Einstein en 1905.

1.2 UNIDADES

Las leyes de la Física expresan relaciones entre magnitudes físicas. Las **magnitudes físicas** son números que se obtienen a partir de medir fenómenos físicos. Por ejemplo, las páginas que ocupa este libro, el tiempo que se necesita para leer un párrafo o la temperatura de la clase son magnitudes físicas.

La medida de toda magnitud física exige compararla con cierto valor unitario de la misma. Así, para medir la distancia entre dos puntos, la comparamos con una unidad estándar de distancia tal como el metro. La afirmación de que una cierta distancia es de 25 metros significa que equivale a 25 veces la longitud de la unidad metro; es decir, una regla métrica patrón se ajusta 25 veces en dicha distancia. Es importante añadir la unidad metros junto con el número 25 al expresar una distancia debido a que existen otras unidades de longitud de uso común. Decir que una distancia es 25 carece de significado. Toda magnitud física debe expresarse con una cifra y una unidad.

Algunas de las magnitudes físicas más básicas, como el tiempo, la distancia y la masa, se definen mediante los procesos que las miden. Una magnitud física se define frecuentemente de **forma operacional**, es decir, de una forma que define la magnitud física mediante el procedimiento que debe realizarse para medirla. Otras magnitudes físicas se definen haciendo explícito el procedimiento de cálculo a partir de las magnitudes fundamentales. La velocidad de un cuerpo, por ejemplo, se calcula dividiendo la distancia por el tiempo invertido en recorrerla. Muchas de las magnitudes físicas que se estudiarán, como la velocidad, la fuerza, el momento, el trabajo, la energía y la potencia, pueden expresarse en función de tres magnitudes fundamentales: la longitud, el tiempo y la masa. En consecuencia, basta con pocas magnitudes básicas para poder expresar todas las demás magnitudes físicas. La elección de las unidades estándar para expresar estas magnitudes fundamentales determina un sistema de unidades.

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

En física es importante usar un conjunto consistente de unidades. En el año 1960 un comité internacional estableció un conjunto estándar para la comunidad científica, denominado SI (a partir de *Système International*). En este sistema hay siete magnitudes fundamentales: longitud, masa, tiempo, intensidad eléctrica, tempera-

! Cuando se usa una cifra para determinar una magnitud física, el número debe ir acompañado siempre de una unidad.



El reloj de agua usado para medir intervalos de tiempo durante el siglo XIII. (The Granger Collection.)

tura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Cada magnitud fundamental tiene su unidad. Para el tiempo es el segundo, para la longitud el metro y para la masa el kilogramo. Más adelante, cuando estudiemos la termodinámica y la electricidad, necesitaremos usar la unidad fundamental en el SI para la temperatura (el kelvin, K), para la cantidad de sustancia (el mol) y para la intensidad de corriente eléctrica (el ampere, A). La séptima unidad fundamental es la candela (cd) que determina la intensidad luminosa, aunque no tendremos ocasión de utilizarla en este libro. Las definiciones completas de las unidades del SI se dan en el Apéndice A donde se incluyen, además, otras unidades que se usan habitualmente en función de las unidades fundamentales.

Tiempo La unidad de tiempo, el **segundo** (s), se definió originalmente en función de la rotación de la Tierra, de modo que correspondía a $(1/60)(1/60)(1/24)$ del día solar medio. Sin embargo, los científicos han advertido que el periodo de rotación de la Tierra varía continuamente. Actualmente, el segundo se define en función de una frecuencia característica asociada con el átomo de cesio. Todos los átomos, después de absorber energía, emiten luz con longitudes de onda y frecuencias características del elemento considerado. Existe una frecuencia y una longitud de onda particulares asociadas a cada transición energética dentro del átomo de un elemento y todas las experiencias manifiestan que estas magnitudes son constantes. El segundo se define de modo que la frecuencia de la luz emitida en una determinada transición del cesio es de 9 192 631 770 por segundo.

Longitud La unidad patrón de longitud es el **metro** (m), que estaba definida originalmente de modo que la distancia entre el Ecuador y el polo Norte a lo largo del meridiano que pasa por París fuese igual a diez millones de metros (figura 1.1). La distancia resultó difícil de medir con exactitud. Por lo tanto, en 1899 se definió como la distancia comprendida entre dos rayas grabadas sobre una barra de una aleación de platino e iridio que se guarda a una temperatura determinada. Con el tiempo, también se vio que la precisión de este estándar era insuficiente y se adoptaron nuevas definiciones del metro patrón. Actualmente, la definición del metro utiliza la velocidad de la luz en el vacío, que se define como 299 792 458 m/s. El metro, por tanto, es la distancia que recorre la luz en el vacío durante $1/299\,792\,458$ segundos. Con estas definiciones, las unidades de longitud y de tiempo son accesibles a cualquier laboratorio del mundo.

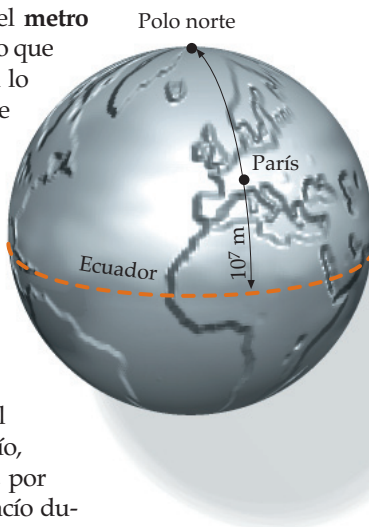
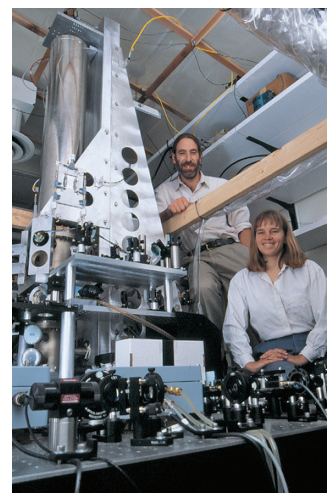


FIGURA 1.1 El patrón de longitud, el metro, se escogió originalmente de modo que la distancia del Ecuador al polo Norte a lo largo del meridiano que pasa por París fuese 10^7 m.

Masa La unidad de masa, el **kilogramo** (kg), se definió como la masa de un litro de agua a 4°C . (El volumen de un litro es el mismo que el de un cubo de 10 cm de arista.) Al igual que los patrones de tiempo y de longitud, la definición de kilogramo ha cambiado, y ahora se define como la masa de un cilindro de una aleación específica de platino e iridio. Este cilindro, denominado masa patrón, se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres, Francia. Un duplicado se guarda en el National Institute of Standards and Technology (NIST) en Gaithersburg, Maryland (EE.UU.). Estudiaremos con más detalle el concepto de masa en el capítulo 4. Como veremos, el peso de un objeto en un punto determinado de la Tierra es proporcional a su masa. Así, las masas de tamaño ordinario pueden compararse a partir de su peso.



La masa patrón es la masa de un cilindro de una aleación específica de iridio y platino que está guardado en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres, Francia. (© BIPM; www.bipm.org.)



Reloj de una fuente de cesio junto a los diseñadores del prototipo, Steve Jefferts y Dawn Meekhof. (© 1999 Geoffrey Wheeler.)

Tabla 1.1

Prefijos de las potencias de 10*

Múltiplo	Prefijo	Abreviatura
10 ¹⁸	exa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hecto	h
10 ¹	deca	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	mili	m
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹⁸	atto	a

* Los prefijos hecto (h), deca (da) y deci (d) no son múltiplos de 10³ ó 10⁻³ y se utilizan con poca frecuencia. El otro prefijo que no es múltiplo de 10³ ó 10⁻³ es centi (c). Los prefijos que se usan con más frecuencia en este libro se escriben en rojo. Obsérvese que todos los símbolos de prefijos múltiplos de 10⁶ y superiores se escriben en mayúsculas; las demás se escriben con minúsculas.

PREFIJOS

Muchas veces es necesario trabajar con medidas que son mucho más pequeñas o mucho mayores que la unidad estándar del SI. En estas situaciones, se pueden usar otras unidades que son múltiplos o submúltiplos (potencias de 10) de las unidades SI estándar. Estas unidades se expresan mediante un prefijo como, por ejemplo, el prefijo “kilo” que significa 1000, o 10³, o el prefijo “micro” que significa 0,000 001, o 10⁻⁶. En la tabla 1.1 se relacionan los prefijos de los múltiplos y submúltiplos más corrientes de las unidades del SI. Los prefijos pueden aplicarse a cualquier unidad del SI; por ejemplo, 0,001 segundos es un milisegundo (ms); 1 000 000 watts es un megawatt (MW).

PROBLEMA PRÁCTICO 1.1

Use los prefijos para describir: (a) el retraso de la señal al propagarse por el cable de la televisión por cable que es de 0,000 000 3 segundos o (b) la longitud de la circunferencia de un meridiano terrestre que es de 40 000 000 metros.

OTROS SISTEMAS DE UNIDADES

Además del SI, en determinadas circunstancias se usan otros sistemas de unidades. Uno de estos sistemas es el *sistema cgs*, basado en el centímetro, el gramo y el segundo. Otras unidades cgs son la dina (unidad de fuerza) y el erg (unidad de energía). Existen otros sistemas de unidades como el sistema técnico inglés utilizado en los EE.UU. y otros países de habla inglesa, en el que se toma el pie como unidad de longitud, el segundo como unidad de tiempo y la libra como unidad funda-