

Física

para la ciencia
y la tecnología

6ª edición

Tipler | Mosca

Volumen 1B

Oscilaciones y ondas

EDITORIAL REVERTÉ

Abreviaturas de unidades

A	ampère	H	henry	nm	nanómetro (10 ⁻⁹ m)
Å	ångström (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 1B

Oscilaciones y ondas

SEXTA EDICIÓN

FÍSICA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

VOLUMEN 1B

Oscilaciones y ondas

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

Edición en papel

© Editorial Reverté, S. A., 2010

ISBN: 978-84-291-4422-2 Volumen 1B

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

Edición e-book (PDF)

© Editorial Reverté, S. A., 2021

ISBN: 978-84-291-9599-6

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

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

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 1B

Prefacio	xi
Acerca de los autores	xxii
* Materias opcionales	

PARTE II OSCILACIONES Y ONDAS

Capítulo 14 OSCILACIONES / 457

14.1	Movimiento armónico simple	458
14.2	Energía del movimiento armónico simple	465
14.3	Algunos sistemas oscilantes	468
14.4	Oscilaciones amortiguadas	477
14.5	Oscilaciones forzadas y resonancia	481
Temas de actualidad en Física:		
Moviéndose al compás: el Puente del Milenio / 486		
	Resumen	487
	Problemas	488

Capítulo 15 MOVIMIENTO ONDULATORIO / 495

15.1	Movimiento ondulatorio simple	496
15.2	Ondas periódicas	503

15.3	Ondas en tres dimensiones	509
15.4	Ondas y barreras	513
15.5	Efecto Doppler	518
Temas de actualidad en Física:		
Ciudades con pies de barro / 524		
	Resumen	525
	Problemas	527

Capítulo 16 SUPERPOSICIÓN Y ONDAS ESTACIONARIAS / 533

16.1	Superposición de ondas	534
16.2	Ondas estacionarias	542
*16.3	Temas adicionales	550
Temas de actualidad en Física:		
Ecos del silencio: arquitectura acústica / 554		
	Resumen	555
	Problemas	556

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

- La aceleración media es el cociente entre la variación de velocidad y el intervalo de tiempo:
$$\vec{a}_m = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$
- 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 $\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$:
- El cambio de velocidad viene determinado por las velocidades inicial y final:
$$\vec{v}_f = \vec{v}_i + \Delta\vec{v}$$
- Sustituya los resultados anteriores para determinar la aceleración media:
$$\vec{a}_m = \frac{\vec{v}_f - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{60 \text{ km/h } \hat{j} - 60 \text{ km/h } \hat{i}}{5,0 \text{ s}}$$
- Convierta 60 km/h a metros por segundo:
$$60 \text{ km/h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 16,7 \text{ m/s}$$
- Expresa 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

- 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.
- 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.
- 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.

NUEVO!

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.