

## Tabla de contenido

---

<b>Capítulo</b>	<b>1</b>	<b>Átomos en movimiento</b>	
	1-1	Introducción . . . . .	1-1
	1-2	La materia está formada de átomos . . . . .	1-3
	1-3	Procesos atómicos . . . . .	1-7
	1-4	Reacciones químicas . . . . .	1-10
<b>Capítulo</b>	<b>2</b>	<b>Física básica</b>	
	2-1	Introducción . . . . .	2-1
	2-2	La física antes de 1920 . . . . .	2-3
	2-3	Física cuántica . . . . .	2-7
	2-4	Núcleos y partículas . . . . .	2-10
<b>Capítulo</b>	<b>3</b>	<b>La relación de la física con otras ciencias</b>	
	3-1	Introducción . . . . .	3-1
	3-2	Química . . . . .	3-1
	3-3	Biología . . . . .	3-3
	3-4	Astronomía . . . . .	3-9
	3-5	Geología . . . . .	3-10
	3-6	Psicología . . . . .	3-11
	3-7	¿Cómo se llegó a eso? . . . . .	3-12
<b>Capítulo</b>	<b>4</b>	<b>Conservación de la energía</b>	
	4-1	¿Qué es la energía? . . . . .	4-1
	4-2	Energía potencial gravitacional . . . . .	4-3
	4-3	Energía cinética . . . . .	4-8
	4-4	Otras formas de energía . . . . .	4-9
<b>Capítulo</b>	<b>5</b>	<b>Tiempo y distancia</b>	
	5-1	El movimiento . . . . .	5-1
	5-2	El tiempo . . . . .	5-2
	5-3	Tiempos cortos . . . . .	5-3
	5-4	Tiempos largos . . . . .	5-5
	5-5	Unidades y patrones de tiempo . . . . .	5-7

5-6	Distancias grandes . . . . .	5-8
5-7	Distancias pequeñas . . . . .	5-11
<b>Capítulo 6</b>	<b>Probabilidad</b>	
6-1	Posibilidad y probabilidad . . . . .	6-1
6-2	Fluctuaciones . . . . .	6-3
6-3	La caminata al azar . . . . .	6-7
6-4	Una distribución de probabilidad . . . . .	6-10
6-5	El principio de indeterminación . . . . .	6-14
<b>Capítulo 7</b>	<b>La teoría de la gravitación</b>	
7-1	Movimientos planetarios . . . . .	7-1
7-2	Leyes de Kepler . . . . .	7-2
7-3	Desarrollo de la dinámica . . . . .	7-3
7-4	Ley de la gravitación de Newton . . . . .	7-4
7-5	Gravitación universal . . . . .	7-7
7-6	El experimento de Cavendish . . . . .	7-12
7-7	¿Qué es la gravedad? . . . . .	7-14
7-8	Gravedad y relatividad . . . . .	7-16
<b>Capítulo 8</b>	<b>El movimiento</b>	
8-1	Descripción del movimiento . . . . .	8-1
8-2	Velocidad . . . . .	8-4
8-3	La velocidad como derivada . . . . .	8-8
8-4	La distancia como una integral . . . . .	8-10
8-5	Aceleración . . . . .	8-11
<b>Capítulo 9</b>	<b>Leyes de Newton de la dinámica</b>	
9-1	Momentum y fuerza . . . . .	9-1
9-2	La velocidad tiene dirección . . . . .	9-3
9-3	Componentes de la velocidad, de la aceleración y de la fuerza . . . . .	9-4
9-4	¿Cuál es la fuerza? . . . . .	9-5
9-5	Significado de las ecuaciones de la dinámica . . . . .	9-6
9-6	Solución numérica de las ecuaciones . . . . .	9-7
9-7	Movimientos planetarios . . . . .	9-10
<b>Capítulo 10</b>	<b>Conservación del momentum</b>	
10-1	La tercera ley de Newton . . . . .	10-1
10-2	Conservación del momentum . . . . .	10-3
10-3	¡El momentum se conserva! . . . . .	10-6
10-4	Momentum y energía . . . . .	10-10
10-5	Momentum relativista . . . . .	10-12
<b>Capítulo 11</b>	<b>Vectores</b>	
11-1	Simetría en física . . . . .	11-1
11-2	Traslaciones . . . . .	11-2

11-3	Rotaciones . . . . .	11-4
11-4	Vectores . . . . .	11-6
11-5	Algebra vectorial . . . . .	11-8
11-6	Leyes de Newton en notación vectorial . . . . .	11-11
11-7	Producto escalar de vectores . . . . .	11-12
<b>Capítulo 12</b>	<b>Características de la fuerza</b>	
12-1	¿Qué es una fuerza? . . . . .	12-1
12-2	Roce . . . . .	12-4
12-3	Fuerzas moleculares . . . . .	12-7
12-4	Fuerzas fundamentales. Campos . . . . .	12-9
12-5	Seudofuerzas . . . . .	12-14
12-6	Fuerzas nucleares . . . . .	12-17
<b>Capítulo 13</b>	<b>Trabajo y energía potencial (A)</b>	
13-1	Energía de un cuerpo que cae . . . . .	13-1
13-2	Trabajo realizado por la gravedad . . . . .	13-5
13-3	La suma de energía . . . . .	13-8
13-4	Campo gravitacional de objetos grandes . . . . .	13-11
<b>Capítulo 14</b>	<b>Trabajo y energía potencial (conclusión)</b>	
14-1	Trabajo . . . . .	14-1
14-2	Movimiento con vínculos . . . . .	14-5
14-3	Fuerzas conservativas . . . . .	14-8
14-4	Fuerzas no conservativas . . . . .	14-8
14-5	Potenciales y campos . . . . .	14-10
<b>Capítulo 15</b>	<b>Teoría especial de la relatividad</b>	
15-1	El principio de la relatividad . . . . .	15-1
15-2	La transformación de Lorentz . . . . .	15-4
15-3	El experimento de Michelson-Morley . . . . .	15-5
15-4	Transformación del tiempo . . . . .	15-7
15-5	La contracción de Lorentz . . . . .	15-10
15-6	Simultaneidad . . . . .	15-11
15-7	Cuadrivectores . . . . .	15-11
15-8	Dinámica relativista . . . . .	15-12
15-9	Equivalencia de masa y energía . . . . .	15-14
<b>Capítulo 16</b>	<b>Energía relativista y momentum</b>	
16-1	La relatividad y los filósofos . . . . .	16-1
16-2	La paradoja de los mellizos . . . . .	16-4
16-3	Transformación de velocidades . . . . .	16-5
16-4	Masa relativista . . . . .	16-8
16-5	Energía relativista . . . . .	16-11
<b>Capítulo 17</b>	<b>Espacio - tiempo</b>	
17-1	La geometría del espacio-tiempo . . . . .	17-1
17-2	Intervalos de espacio-tiempo . . . . .	17-3

17-3	Pasado, presente y futuro . . . . .	17-5
17-4	Más acerca de los cuadvectores . . . . .	17-7
17-5	Algebra de cuadvectores . . . . .	17-10
<b>Capítulo 18</b>	<b>Rotación de dos dimensiones</b>	
18-1	El centro de masas . . . . .	18-1
18-2	Rotación de un cuerpo rígido . . . . .	18-3
18-3	Momentum angular . . . . .	18-7
18-4	Conservación del momentum angular . . . . .	18-9
<b>Capítulo 19</b>	<b>Centro de masa; momento de inercia</b>	
19-1	Propiedades del centro de masa . . . . .	19-1
19-2	La ubicación del centro de masa . . . . .	19-5
19-3	La obtención del momento de inercia . . . . .	19-6
19-4	Energía cinética de rotación . . . . .	19-10
<b>Capítulo 20</b>	<b>Rotación en el espacio</b>	
20-1	Torques en tres dimensiones . . . . .	20-1
20-2	Las ecuaciones de rotación usando productos vectoriales . . . . .	20-6
20-3	El giroscopio . . . . .	20-7
20-4	Momentum angular de un cuerpo sólido . . . . .	20-11
<b>Capítulo 21</b>	<b>El oscilador armónico</b>	
21-1	Ecuaciones diferenciales lineales . . . . .	21-1
21-2	El oscilador armónico . . . . .	21-2
21-3	Movimiento armónico y movimiento circular . . . . .	21-5
21-4	Condiciones iniciales . . . . .	21-6
21-5	Oscilaciones forzadas . . . . .	21-8
<b>Capítulo 22</b>	<b>Algebra</b>	
22-1	Adición y multiplicación . . . . .	22-1
22-2	Las operaciones inversas . . . . .	22-3
22-3	Abstracción y generalización . . . . .	22-3
22-4	Cómo obtener valores aproximados de números irracionales . . . . .	22-5
22-5	Números complejos . . . . .	22-9
22-6	Exponentes imaginarios . . . . .	22-12
<b>Capítulo 23</b>	<b>Resonancia</b>	
23-1	Números complejos y movimiento armónico . . . . .	23-1
23-2	El oscilador forzado amortiguado . . . . .	23-4
23-3	Resonancia eléctrica . . . . .	23-7
23-4	Resonancia en la naturaleza . . . . .	23-10
<b>Capítulo 24</b>	<b>Transitorios</b>	
24-1	La energía de un oscilador . . . . .	24-1
24-2	Oscilaciones amortiguadas . . . . .	24-3
24-3	Transitorios eléctricos . . . . .	24-6

<b>Capítulo 25</b>	<b>Sistemas lineales y repaso</b>	
25-1	Ecuaciones diferenciales lineales . . . . .	25-1
25-2	Superposición de soluciones . . . . .	25-3
25-3	Oscilaciones en sistemas lineales . . . . .	25-7
25-4	Analogías en física . . . . .	25-9
25-5	Impedancias en serie y en paralelo . . . . .	25-12
<b>Capítulo 26</b>	<b>Óptica: el principio del tiempo mínimo</b>	
26-1	La luz . . . . .	26-1
26-3	Reflexión y refracción . . . . .	26-3
26-3	El principio de Fermat del tiempo mínimo . . . . .	26-4
26-4	Aplicaciones del principio de Fermat . . . . .	26-7
26-5	Un enunciado más preciso del principio de Fermat . . . . .	26-11
26-6	Cómo funciona . . . . .	26-13
<b>Capítulo 27</b>	<b>Óptica geométrica</b>	
27-1	Introducción . . . . .	27-1
27-2	La distancia focal de una superficie esférica . . . . .	27-2
27-3	La distancia focal de una lente . . . . .	27-6
27-4	Aumento . . . . .	27-8
27-5	Lentes compuestas . . . . .	27-9
27-6	Aberraciones . . . . .	27-10
27-7	Poder de resolución . . . . .	27-11
<b>Capítulo 28</b>	<b>Radiación electromagnética</b>	
28-1	Electromagnetismo . . . . .	28-1
28-2	Radiación . . . . .	28-4
28-3	El radiador dipolar . . . . .	28-6
28-4	Interferencia . . . . .	28-8
<b>Capítulo 29</b>	<b>Interferencia</b>	
29-1	Ondas electromagnéticas . . . . .	29-1
29-2	Energía de radiación . . . . .	29-3
29-3	Ondas sinusoidales . . . . .	29-4
29-4	Dos radiadores dipolares . . . . .	29-5
29-5	La matemática de la interferencia . . . . .	29-8
<b>Capítulo 30</b>	<b>Difracción</b>	
30-1	La amplitud resultante debida a $n$ osciladores iguales . . . . .	30-1
30-2	La red de difracción . . . . .	30-5
30-3	Poder de resolución de una red . . . . .	30-8
30-4	La antena parabólica . . . . .	30-10
30-5	Películas coloreadas; cristales . . . . .	30-11
30-6	Difracción por pantallas opacas . . . . .	30-12
30-7	El campo de un plano de cargas oscilantes . . . . .	30-14

## Capítulo 31 El origen del índice de refracción

31-1	El índice de refracción . . . . .	31-1
31-2	El campo debido al medio . . . . .	31-5
31-3	Dispersión . . . . .	31-8
31-4	Absorción . . . . .	31-11
31-5	La energía transportada por una onda eléctrica . . . . .	31-12
31-6	Difracción de la luz por una pantalla . . . . .	31-14

## Capítulo 32 Amortiguamiento por radiación. Dispersión de la luz

32-1	Resistencia de radiación . . . . .	32-1
32-2	La rapidez de radiación de energía . . . . .	32-2
32-3	Amortiguamiento por radiación . . . . .	32-4
32-4	Fuentes independientes . . . . .	32-6
32-5	Dispersión de la luz . . . . .	32-8

## Capítulo 33 Polarización

33-1	El vector eléctrico de la luz . . . . .	33-1
33-2	Polarización de luz dispersada . . . . .	33-3
33-3	Birrefringencia . . . . .	33-4
33-4	Polarizadores . . . . .	33-7
33-5	Actividad óptica . . . . .	33-8
33-6	Intensidad de la luz reflejada . . . . .	33-9
33-7	Refracción anómala . . . . .	33-12

## Capítulo 34 Efectos relativistas en la radiación

34-1	Fuentes en movimiento . . . . .	34-1
34-2	Un modo de hallar el movimiento "aparente" . . . . .	34-3
34-3	Radiación sincrotrónica . . . . .	34-5
34-4	Radiación sincrotrónica cósmica . . . . .	34-8
34-5	Bremsstrahlung . . . . .	34-9
34-6	El efecto Doppler . . . . .	34-10
34-7	El cuadvectores $\omega, k$ . . . . .	34-13
34-8	Aberración . . . . .	34-14
34-9	El momentum de la luz . . . . .	34-15

## Capítulo 35 Visión de los colores

35-1	El ojo humano . . . . .	35-1
35-2	El color depende de la intensidad . . . . .	35-3
35-3	Medición de la sensación de color . . . . .	35-4
35-4	El diagrama cromático . . . . .	35-9
35-5	El mecanismo de la visión de los colores . . . . .	35-10
35-6	Fisiología de la visión de los colores . . . . .	35-13

<b>Capítulo 36</b>	<b>El mecanismo de la visión</b>	
36-1	La sensación del color . . . . .	36-1
36-2	La fisiología del ojo . . . . .	36-4
36-3	Las células bastoncitos . . . . .	36-8
36-4	El ojo compuesto (del insecto) . . . . .	36-10
36-5	Otros ojos . . . . .	36-13
36-6	Neurología de la visión . . . . .	36-14
<b>Capítulo 37</b>	<b>Comportamiento cuántico</b>	
37-1	Mecánica atómica . . . . .	37-1
37-2	Un experimento con proyectiles . . . . .	37-2
37-3	Un experimento con ondas . . . . .	37-4
37-4	Un experimento con electrones . . . . .	37-6
37-5	La interferencia de ondas de electrones . . . . .	37-7
37-6	Observando los electrones . . . . .	37-9
37-7	Primeros principios de la mecánica cuántica . . . . .	37-13
37-8	El principio de indeterminación . . . . .	37-15
<b>Capítulo 38</b>	<b>Relación entre los puntos de vista ondulatorio y corpuscular</b>	
38-1	Amplitudes de ondas de probabilidad . . . . .	38-1
38-2	Medida de la posición y del momentum . . . . .	38-2
38-3	Difracción de cristales . . . . .	38-6
38-4	El tamaño de un átomo . . . . .	38-8
38-5	Niveles de energía . . . . .	38-10
38-6	Implicaciones filosóficas . . . . .	38-12
<b>Capítulo 39</b>	<b>La teoría cinética de los gases</b>	
39-1	Propiedades de la materia . . . . .	39-1
39-2	La presión de un gas . . . . .	39-3
39-3	Compresibilidad de la radiación . . . . .	39-8
39-4	Temperatura y energía cinética . . . . .	39-9
39-5	La ley de los gases ideales . . . . .	39-14
<b>Capítulo 40</b>	<b>Los principios de la mecánica estadística</b>	
40-1	La atmósfera exponencial . . . . .	40-1
40-2	La ley de Boltzman . . . . .	40-3
40-3	Evaporización de un líquido . . . . .	40-5
40-4	La distribución de las velocidades moleculares . . . . .	40-6
40-5	Calores específicos de gases . . . . .	40-11
40-6	El fracaso de la física clásica . . . . .	40-13
<b>Capítulo 41</b>	<b>El movimiento browniano</b>	
41-1	Equipartición de la energía . . . . .	41-1
41-2	Equilibrio térmico de la radiación . . . . .	41-4

41-3	La equipartición y el oscilador cuántico . . . . .	41-9
41-4	La caminata al azar . . . . .	41-42
<b>Capítulo 42</b>	<b>Aplicaciones de la teoría cinética</b>	
41-1	Evaporación . . . . .	42-1
42-2	Emisión termoiónica . . . . .	42-5
42-3	Ionización térmica . . . . .	42-6
42-4	Cinética química . . . . .	42-9
42-5	Leyes de radiación de Einstein . . . . .	42-11
<b>Capítulo 43</b>	<b>Difusión</b>	
43-1	Colisiones entre moléculas . . . . .	43-1
43-2	El camino libre medio . . . . .	43-4
43-3	La velocidad de arrastre . . . . .	43-6
43-4	Conductividad iónica . . . . .	43-8
43-5	Difusión molecular . . . . .	43-9
43-6	Conductividad térmica . . . . .	43-13
<b>Capítulo 44</b>	<b>Leyes de la termodinámica</b>	
44-1	Máquinas térmicas; primera ley . . . . .	44-1
44-2	Segunda ley . . . . .	44-4
44-3	Máquinas reversibles . . . . .	44-6
44-4	Eficiencia de una máquina ideal . . . . .	44-10
44-5	Temperatura termodinámica . . . . .	44-13
44-6	Entropía . . . . .	44-15
<b>Capítulo 45</b>	<b>Ejemplos de termodinámica</b>	
45-1	Energía interna . . . . .	45-1
45-2	Aplicaciones . . . . .	45-5
45-3	La ecuación de Clausius-Clapeyron . . . . .	45-8
<b>Capítulo 46</b>	<b>Rueda dentada y trinquete</b>	
46-1	Cómo trabaja una rueda dentada . . . . .	46-1
46-2	La rueda dentada como máquina . . . . .	46-3
46-3	Reversibilidad en mecánica . . . . .	46-6
46-4	Irreversibilidad . . . . .	46-8
46-5	Orden y entropía . . . . .	46-10
<b>Capítulo 47</b>	<b>Sonido. La ecuación de onda</b>	
47-1	Ondas . . . . .	47-1
47-2	Propagación del sonido . . . . .	47-4
47-3	La ecuación de onda . . . . .	47-5
47-4	Soluciones de la ecuación de onda . . . . .	47-8
47-5	Velocidad del sonido . . . . .	47-10



**Capítulo 48 Pulsaciones**

48-1	Sumando dos ondas . . . . .	48-1
48-2	Notas pulsadas y modulación . . . . .	48-4
48-3	Bandas laterales . . . . .	48-5
48-4	Trenes de ondas localizados . . . . .	48-8
48-5	Amplitudes de probabilidad para partículas . . . . .	48-10
48-6	Ondas en tres dimensiones . . . . .	48-12
48-7	Modos normales de vibración . . . . .	48-14

**Capítulo 49 Modos de vibración**

49-1	Reflexión de ondas . . . . .	49-1
49-2	Ondas confinadas, con frecuencias naturales . . . . .	49-3
49-3	Modos en dos dimensiones . . . . .	49-5
49-4	Péndulos acoplados . . . . .	49-9
49-5	Sistemas lineales . . . . .	49-10

**Capítulo 50 Armónicos**

50-1	Tonos musicales . . . . .	50-1
50-2	La serie de Fourier . . . . .	50-3
50-3	Timbre y consonancia . . . . .	50-4
50-4	Coefficientes de Fourier . . . . .	50-7
50-5	Teorema de la energía . . . . .	50-10
50-6	Respuestas no lineales . . . . .	50-11

**Capítulo 51 Ondas**

51-1	Ondas de proa . . . . .	51-1
51-2	Ondas de choque . . . . .	51-3
51-3	Ondas en sólidos . . . . .	51-6
51-4	Ondas superficiales . . . . .	51-10

**Capítulo 52 Simetría en las leyes físicas**

52-1	Operaciones de simetría . . . . .	52-1
52-2	Simetría en el espacio y en el tiempo . . . . .	52-2
52-3	Simetría y leyes de conservación . . . . .	52-5
52-4	Reflexiones especulares . . . . .	52-6
52-5	Vectores polares y axiales . . . . .	52-9
52-6	¿Cuál mano es la derecha? . . . . .	52-11
52-7	¡La paridad no se conserva! . . . . .	52-12
52-7	Antimateria . . . . .	52-14
52-9	Simetrías rotas . . . . .	52-16

**Índice alfabético**