

ÍNDICE GENERAL

MECÁNICA

CAPÍTULO 1 Unidades, cantidades físicas y vectores 1

- 1-1 Introducción 1
- 1-2 La naturaleza de la física 1
- 1-3 Modelos idealizados 3
- 1-4 Estándares y unidades 3
- 1-5 Coherencia y conversiones de unidades 6
- 1-6 Incertidumbre y cifras significativas 7
- 1-7 Estimaciones y órdenes de magnitud 9
- 1-8 Vectores y suma de vectores 10
- 1-9 Componentes de los vectores 13
- 1-10 Vectores unitarios 17
- 1-11 Productos de vectores 18
- Resumen/Términos clave 23
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 24

CAPÍTULO 2 Movimiento a lo largo de una línea recta 31

- 2-1 Introducción 31
- 2-2 Desplazamiento, tiempo y velocidad media 31
- 2-3 Velocidad instantánea 34
- 2-4 Aceleración media e instantánea 37
- 2-5 Movimiento con aceleración constante 41
- 2-6 Cuerpos en caída libre 46
- *2-7 Velocidad y posición por integración 49
- Resumen/Términos clave 51
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 52

CAPÍTULO 3 Movimiento en dos o tres dimensiones 61

- 3-1 Introducción 61
- 3-2 Vectores de posición y velocidad 61
- 3-3 El vector aceleración 64
- 3-4 Movimiento de proyectiles 68
- 3-5 Movimiento en un círculo 76

- 3-6 Velocidad relativa 78
- Resumen/Términos clave 82
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 84

CAPÍTULO 4 Leyes de Newton del movimiento 92

- 4-1 Introducción 92
- 4-2 Fuerza e interacciones 93
- 4-3 Primera ley de Newton 95
- 4-4 Segunda ley de Newton 99
- 4-5 Masa y peso 104
- 4-6 Tercera ley de Newton 107
- 4-7 Empleo de las leyes de Newton 110
- 4-8 Visualización de diagramas de cuerpos libres 113
- Resumen/Términos clave 114
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 114

CAPÍTULO 5 Aplicaciones de las leyes de Newton 120

- 5-1 Introducción 120
- 5-2 Empleo de la primera ley de Newton: Partículas en equilibrio 120
- 5-3 Empleo de la segunda ley de Newton: Dinámica de partículas 125
- 5-4 Fuerzas de fricción 132
- 5-5 Dinámica del movimiento circular 139
- *5-6 Fuerzas fundamentales de la Naturaleza 145
- 5-7 Movimiento de un proyectil con resistencia del aire: Estudio de caso con análisis por computador 146
- Resumen/Términos clave 149
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 149

CAPÍTULO 6 Trabajo y energía cinética 164

- 6-1 Introducción 164
- 6-2 Trabajo 164
- 6-3 Trabajo y energía cinética 168
- 6-4 Trabajo y energía con fuerzas variables 174

- 6-5 Potencia 179
- 6-6 Potencia automotriz: Estudio de caso de las relaciones energéticas 181
- Resumen/Términos clave 184
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 185

CAPÍTULO 7 Energía potencial y conservación de la energía 194

- 7-1 Introducción 194
- 7-2 Energía potencial gravitatoria 194
- 7-3 Energía potencial elástica 204
- 7-4 Fuerzas conservativas y no conservativas 209
- 7-5 Fuerza y energía potencial 213
- 7-6 Diagramas de energía 216
- Resumen/Términos clave 218
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 218

CAPÍTULO 8 Cantidad de movimiento, impulso y choques 227

- 8-1 Introducción 227
- 8-2 Cantidad de movimiento e impulso 227
- 8-3 Conservación de la cantidad de movimiento 232
- 8-4 Choques inelásticos 238
- 8-5 Choques elásticos 241
- 8-6 Centro de masa 246
- *8-7 Propulsión a reacción 250
- 8-8 El neutrino: Estudio de caso en la física moderna 253
- Resumen/Términos clave 256
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 257

CAPÍTULO 9 Rotación de cuerpos rígidos 268

- 9-1 Introducción 268
- 9-2 Velocidad y aceleración angulares 268
- 9-3 Rotación con aceleración angular constante 272
- 9-4 Relación entre cinemática lineal y angular 274
- 9-5 Energía en el movimiento de rotación 276
- 9-6 Teorema de los ejes paralelos 281
- *9-7 Cálculos del momento de inercia 282
- Resumen/Términos clave 285
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 286

CAPÍTULO 10 Dinámica del movimiento de rotación 294

- 10-1 Introducción 294
- 10-2 Momento de torsión 294
- 10-3 Momento de torsión y aceleración angular de un cuerpo rígido 297
- 10-4 Rotación de un cuerpo rígido sobre un eje móvil 301
- 10-5 Trabajo y potencia en el movimiento de rotación 307
- 10-6 Momento angular 309
- 10-7 Conservación del momento angular 311
- 10-8 Giróscopos y precesión 314
- Resumen/Términos clave 317
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 318

CAPÍTULO 11 Equilibrio y elasticidad 329

- 11-1 Introducción 329
- 11-2 Condiciones del equilibrio 329
- 11-3 Centro de gravedad 330
- 11-4 Resolución de problemas de equilibrio de cuerpos rígidos 333
- 11-5 Esfuerzo, tensión y módulos de elasticidad 337
- 11-6 Esfuerzo y tensión de volumen 341
- 11-7 Esfuerzo y tensión de corte 343
- 11-8 Elasticidad y plasticidad 344
- Resumen/Términos clave 345
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 346

CAPÍTULO 12 Gravitación 358

- 12-1 Introducción 358
- 12-2 Ley de la gravitación de Newton 358
- 12-3 Peso 362
- 12-4 Energía potencial gravitatoria 364
- 12-5 Movimiento de satélites 367
- 12-6 Movimiento de los planetas 370
- *12-7 Distribuciones de masa esféricas 373
- *12-8 Peso aparente y rotación terrestre 377
- 12-9 Agujeros negros: Estudio de caso en la física moderna 379
- Resumen/Términos clave 383
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 384

CAPÍTULO 13 Movimiento periódico 392

- 13-1 Introducción 392
- 13-2 Causas de la oscilación 392
- 13-3 Movimiento armónico simple 394
- 13-4 Energía en el movimiento armónico simple 400
- 13-5 Aplicaciones del movimiento armónico simple 404
- 13-6 El péndulo simple 407
- 13-7 El péndulo físico 409
- 13-8 Oscilaciones amortiguadas 411
- 13-9 Oscilaciones forzadas, resonancia y caos 413
- Resumen/Términos clave 416
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 418

CAPÍTULO 14 Mecánica de fluidos 427

- 14-1 Introducción 427
- 14-2 Densidad 427
- 14-3 Presión en un fluido 428
- 14-4 Flotación 432
- 14-5 Tensión superficial 434
- 14-6 Flujo de un fluido 438
- 14-7 Ecuación de Bernoulli 440
- 14-8 Turbulencia 444
- *14-9 Viscosidad 446
- Resumen/Términos clave 448
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 449

TERMODINÁMICA**CAPÍTULO 15 Temperatura y calor 460**

- 15-1 Introducción 460
- 15-2 Temperatura y equilibrio térmico 460
- 15-3 Termómetros y escalas de temperatura 462
- 15-4 Termómetros de gas y la escala Kelvin 463
- 15-5 Expansión térmica 465
- 15-6 Cantidad de calor 470
- 15-7 Calorimetría y cambios de fase 473
- 15-8 Mecanismos de transferencia de calor 478
- 15-9 Circuitos integrados: Estudio de caso sobre transferencia de calor 485
- Resumen/Términos clave 487
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 489

CAPÍTULO 16 Propiedades térmicas de la materia 499

- 16-1 Introducción 499
- 16-2 Ecuaciones de estado 499
- 16-3 Propiedades moleculares de la materia 505
- 16-4 Modelo cinético-molecular de un gas ideal 507
- 16-5 Capacidades caloríficas 513
- *16-6 Velocidades moleculares 517
- 16-7 Fases de la materia 520
- Resumen/Términos clave 523
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 524

CAPÍTULO 17 La primera ley de la termodinámica 533

- 17-1 Introducción 533
- 17-2 Sistemas termodinámicos 533
- 17-3 Trabajo realizado al cambiar el volumen 534
- 17-4 Caminos entre los estados termodinámicos 537
- 17-5 Energía interna y la primera ley de la termodinámica 539
- 17-6 Clases de procesos termodinámicos 543
- 17-7 Energía interna de un gas ideal 545
- 17-8 Capacidad calorífica de un gas ideal 546
- 17-9 Procesos adiabáticos para un gas ideal 549
- Resumen/Términos clave 551
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 552

CAPÍTULO 18 La segunda ley de la termodinámica 559

- 18-1 Introducción 559
- 18-2 Dirección de los procesos termodinámicos 559
- 18-3 Máquinas de calor 560
- 18-4 Motores de combustión interna 563
- 18-5 Refrigeradores 565
- 18-6 La segunda ley de la termodinámica 567
- 18-7 El ciclo de Carnot 569
- *18-8 La escala de temperatura Kelvin 574
- *18-9 Entropía 574
- *18-10 Interpretación microscópica de la entropía 579
- 18-11 Recursos energéticos: Estudio de caso en termodinámica 582
- Resumen/Términos clave 585
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 586

ONDAS/ACÚSTICA**CAPÍTULO 19 Ondas mecánicas 593**

- 19-1 Introducción 593
- 19-2 Tipos de ondas mecánicas 593
- 19-3 Ondas periódicas 595
- 19-4 Descripción matemática de una onda 596
- 19-5 Velocidad de una onda transversal 602
- 19-6 Velocidad de una onda longitudinal 606
- 19-7 Ondas sonoras en gases 609
- 19-8 Energía en el movimiento ondulatorio 610
- Resumen/Términos clave 613
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 614

CAPÍTULO 20 Interferencia de ondas y modos normales 620

- 20-1 Introducción 620
- 20-2 Condiciones de frontera para una cuerda y el principio de superposición 620
- 20-3 Ondas estacionarias en una cuerda 622
- 20-4 Modos normales de una cuerda 627
- 20-5 Ondas estacionarias longitudinales y modos normales 631
- 20-6 Interferencia de ondas 636
- 20-7 Resonancia 637
- Resumen/Términos clave 640
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 641

CAPÍTULO 21 Sonido y el oído 646

- 21-1 Introducción 646
- 21-2 Ondas sonoras 646
- 21-3 Intensidad del sonido 650
- 21-4 Pulsaciones 654
- 21-5 El efecto Doppler 656
- *21-6 Ondas de choque 661
- Resumen/Términos clave 664
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 664

ELECTROMAGNETISMO**CAPÍTULO 22 Carga eléctrica y campo eléctrico 669**

- 22-1 Introducción 669
- 22-2 Carga eléctrica 669
- 22-3 Carga eléctrica y la estructura de la materia 671
- 22-4 Conductores, aislantes y cargas inducidas 672
- 22-5 Ley de Coulomb 674
- 22-6 Campo eléctrico y fuerzas eléctricas 679
- 22-7 Cálculos del campo eléctrico 683
- 22-8 Líneas del campo eléctrico 689
- 22-9 Dipolos eléctricos 690
- Resumen/términos clave 694
- Preguntas/ejercicios/problemas 695

CAPÍTULO 23 Ley de Gauss 704

- 23-1 Introducción 704
- 23-2 Carga y flujo eléctrico 704
- 23-3 Cálculo del flujo eléctrico 707
- 23-4 Ley de Gauss 711
- 23-5 Aplicaciones de la ley de Gauss 714
- 23-6 Cargas en conductores 719
- Resumen/términos clave 723
- Preguntas/ejercicios/problemas 724

CAPÍTULO 24 Potencial eléctrico 731

- 24-1 Introducción 731
- 24-2 Energía potencial eléctrica 731
- 24-3 Potencial eléctrico 737
- 24-4 Cálculo del potencial eléctrico 737
- 24-5 Superficies equipotenciales 746
- 24-6 Gradiente de potencial 749
- 24-7 El tubo de rayos catódicos 751
- 24-8 Cálculo de potenciales debidos a conductores cargados: Estudio de caso para análisis por computador 754
- Resumen/términos clave 759
- Preguntas/ejercicios/problemas 761

CAPÍTULO 25 Capacitancia y dieléctricos 771

- 25-1 Introducción 771
- 25-2 Capacitores y capacitancia 772
- 25-3 Capacitores en serie y en paralelo 776
- 25-4 Almacenamiento de energía en capacitores y energía de campo eléctrico 779
- 25-5 Dieléctricos 782
- *25-6 Modelo molecular de la carga inducida 787
- *25-7 Ley de Gauss en dieléctricos 789
- Resumen/términos clave 694
- Preguntas/ejercicios/problemas 695

CAPÍTULO 26 Corriente, resistencia y fuerza electromotriz 799

- 26-1 Introducción 799
- 26-2 Corriente 799
- 26-3 Resistividad 803
- 26-4 Resistencia 805
- 26-5 Fuerza electromotriz y circuitos 815
- *26-6 Energía y potencia en circuitos eléctricos 815
- *26-7 Teoría de la conducción metálica 819
- *26-8 Efectos fisiológicos de las corrientes 821
- Resumen/términos clave 823
- Preguntas/ejercicios/problemas 824

CAPÍTULO 27 Circuitos de corriente directa 832

- 27-1 Introducción 832
- 27-2 Resistores en serie y en paralelo 832
- 27-3 Reglas de Kirchhoff 837
- 27-4 Instrumentos de medición eléctrica 842
- 27-5 Circuitos resistencia-capacitancia 846
- 27-6 Sistemas de distribución de potencia: Estudio de caso en análisis de circuitos 850
- Resumen/términos clave 853
- Preguntas/ejercicios/problemas 854

CAPÍTULO 28 Campo magnético y fuerzas magnéticas 865

- 28-1 Introducción 865
- 28-2 Magnetismo 865
- 28-3 Campo magnético 867

- 28-4 Líneas de campo magnético y flujo magnético 870
- 28-5 Movimiento de partículas cargadas en un campo magnético 873
- 28-6 Aplicaciones del movimiento de partículas cargadas 877
- 28-7 Fuerza magnética sobre un conductor por el que circula una corriente 880
- 28-8 Fuerza y momento de torsión sobre una espira de corriente 883
- *28-9 El motor de corriente continua 888
- *28-10 El efecto Hall 890
- Resumen/términos clave 892
- Preguntas/ejercicios/problemas 893

CAPÍTULO 29 Fuentes de campo magnético 903

- 29-1 Introducción 903
- 29-2 Campo magnético de una carga en movimiento 903
- 29-3 Campo magnético de un elemento de corriente 906
- 29-4 Campo magnético de un conductor recto por el que circula una corriente 908
- 29-5 Fuerza entre conductores paralelos 911
- 29-6 Campo magnético de una espira circular de corriente 913
- 29-7 Ley de Ampère 915
- 29-8 Aplicaciones de la ley de Ampère 918
- *29-9 Materiales magnéticos 922
- 29-10 Corriente de desplazamiento 927
- Resumen/términos clave 930
- Preguntas/ejercicios/problemas 932

CAPÍTULO 30 Inducción electromagnética 941

- 30-1 Introducción 941
- 30-2 Experimentos de inducción 941
- 30-3 Ley de Faraday 943
- 30-4 Ley de Lenz 950
- 30-5 Fuerza electromotriz por movimiento 952
- 30-6 Campos eléctricos inducidos 955
- *30-7 Corrientes parásitas 957
- 30-8 Ecuaciones de Maxwell 958
- *30-9 Superconductividad: Estudio de caso sobre propiedades magnéticas 960
- Resumen/términos clave 963
- Preguntas/ejercicios/problemas 964

CAPÍTULO 31 Inductancia 971

- 31-1 Introducción 971
- 31-2 Inductancia mutua 971
- 31-3 Autoinductancia e inductores 974
- 31-4 Energía de campo magnético 976
- 31-5 El circuito *R-L* 979
- 31-6 El circuito *L-C* 982
- 31-7 El circuito *L-R-C* en serie 987
- Resumen/términos clave 989
- Preguntas/ejercicios/problemas 990

CAPÍTULO 32 Corriente alterna 997

- 32-1 Introducción 997
- 32-2 Fasores y corrientes alternas 997
- 32-3 Resistencia y reactancia 999
- 32-4 El circuito *L-R-C* en serie 1004
- 32-5 Potencia en circuitos de corriente alterna 1008
- 32-6 Resonancia en circuitos de corriente alterna 1011
- 32-7 Transformadores 1014
- Resumen/términos clave 1017
- Preguntas/ejercicios/problemas 1019

CAPÍTULO 33 Ondas electromagnéticas 1025

- 33-1 Introducción 1025
- 33-2 Ecuaciones de Maxwell y ondas electromagnéticas 1025
- 33-3 Ondas electromagnéticas planas y la rapidez de la luz 1028
- 33-4 Ondas electromagnéticas senoidales 1033
- 33-5 Energía y cantidad de movimiento en ondas electromagnéticas 1035
- *33-6 Ondas electromagnéticas en la materia 1040
- 33-7 Ondas electromagnéticas estacionarias 1042
- 33-8 El espectro electromagnético 1045
- *33-9 Radiación de una antena 1046
- Resumen/términos clave 1048
- Preguntas/ejercicios/problemas 1050

ÓPTICA

CAPÍTULO 34 La luz: su naturaleza y su propagación 1053

- 34-1 Introducción 1053
- 34-2 La naturaleza de la luz 1053
- 34-3 Reflexión y refracción 1055
- *34-4 Reflexión total interna 1060
- 34-5 Dispersión 1063
- 34-6 Polarización 1064
- *34-7 Dispersión de la luz 1072
- 34-8 Principio de Huygens 1073
- Resumen/términos clave 1076
- Preguntas/ejercicios/problemas 1078

CAPÍTULO 35 Óptica geométrica 1085

- 35-1 Introducción 1085
- 35-2 Reflexión y refracción en una superficie plana 1085
- 35-3 Reflexión en una superficie esférica 1088
- 35-4 Métodos gráficos para espejos 1095
- 35-5 Refracción en una superficie esférica 1097
- 35-6 Lentes delgadas 1101
- 35-7 Métodos gráficos para lentes 1105
- Resumen/términos clave 1110
- Preguntas/ejercicios/problemas 1111

CAPÍTULO 36 Instrumentos ópticos 1118

- 36-1 Introducción 1118
- 36-2 Cámaras y proyectores 1118
- 36-3 El ojo 1123
- 36-4 La lupa 1126
- 36-5 El microscopio
- 36-6 Telescopios 1129
- *36-7 Aberraciones en lentes 1131
- Resumen/términos clave 1133
- Preguntas/ejercicios/problemas 1134

CAPÍTULO 37 Interferencia 1138

- 37-1 Introducción 1138
- 37-2 Interferencia y fuentes coherentes 1138
- 37-3 Interferencia de luz de dos fuentes 1142
- 37-4 Intensidad en patrones de interferencia 1145
- 37-5 Interferencia en películas delgadas 1149
- 37-6 El interferómetro de Michelson 1154
- *37-7 El fotón: Estudio de caso en física cuántica 1156
- Resumen/términos clave 1158
- Preguntas/ejercicios/problemas 1159

CAPÍTULO 38 Difracción 1165

- 38-1 Introducción
- 38-2 Difracciones de Fresnel y de Fraunhofer 1165
- 38-3 Difracción producida por una sola ranura 1167
- 38-4 Intensidad en la configuración de una sola ranura 1170
- 38-5 Ranuras múltiples 1170
- 38-6 La rejilla de difracción 1176
- 38-7 Difracción de rayos x 1179
- 38-8 Aberturas circulares y poder de resolución 1182
- 38-9 Holografía 1185
- Resumen/términos clave 1187
- Preguntas/ejercicios/problemas 1188

FÍSICA MODERNA**CAPÍTULO 39 Relatividad 1193**

- 39-1 Introducción 1193
- 39-2 Invariancia de las leyes físicas 1193
- 39-3 Relatividad de la simultaneidad 1196
- 39-4 Relatividad de los intervalos de tiempo 1198
- 39-5 Relatividad de la longitud 1202
- 39-6 Las transformaciones de Lorentz 1206
- *39-7 Diagramas espacio-tiempo 1210
- *39-8 El efecto Doppler para ondas electromagnéticas 1211
- 39-9 Cantidad de movimiento relativista 1213
- 39-10 Trabajo y energía relativistas 1216

- 39-11 Mecánica newtoniana y relatividad 1219
- Resumen/Términos clave 1221
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1223

CAPÍTULO 40 Fotones, electrones y átomos 1229

- 40-1 Introducción 1229
- 40-2 Emisión y absorción de luz 1229
- 40-3 El efecto fotoeléctrico 1231
- 40-4 Espectros de líneas y niveles de energía atómicos 1236
- 40-5 El núcleo atómico 1241
- 40-6 El modelo de Bohr 1244
- 40-7 El láser 1249
- 40-8 Producción y dispersión de rayos x 1252
- 40-9 Espectros continuos 1256
- 40-10 Dualidad onda-partícula 1259
- Resumen/Términos clave 1261
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1262

CAPÍTULO 41 La naturaleza ondulatoria de las partículas 1268

- 41-1 Introducción 1268
- 41-2 Ondas de de Broglie 1268
- 41-3 Difracción de los electrones 1271
- 41-4 Probabilidad e incertidumbre 1274
- 41-5 El microscopio electrónico 1278
- 41-6 Funciones de onda 1281
- Resumen/Términos clave 1285
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1286

CAPÍTULO 42 Mecánica cuántica 1290

- 42-1 Introducción 1290
- 42-2 Partícula en una caja 1290
- 42-3 La ecuación de Schrödinger 1294
- 42-4 Pozos de potencial 1297
- 42-5 Barreras de potencial y efecto túnel 1301
- 42-6 El oscilador armónico 1303
- 42-7 Problemas tridimensionales 1308
- Resumen/Términos clave 1309
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1309

CAPÍTULO 43 Estructura atómica 1314

- 43-1 Introducción 1314
- 43-2 El átomo de hidrógeno 1314
- 43-3 El efecto Zeeman 1321
- 43-4 El Espín del electrón 1325
- 43-5 Átomos de múltiples electrones y el principio de exclusión 1329
- 43-6 Espectros de rayos x 1335
- Resumen/Términos clave 1338
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1339

CAPÍTULO 44 Moléculas y materia condensada 1343

- 44-1 Introducción 1343
- 44-2 Tipos de enlaces moleculares 1343
- 44-3 Espectros moleculares 1346
- 44-4 Estructura de los sólidos 1350
- 44-5 Bandas de energía 1354
- 44-6 El modelo de electrones libres para metales 1356
- 44-7 Semiconductores 1360
- 44-8 Dispositivos semiconductores 1364
- 44-9 Superconductividad 1369
- Resumen/Términos clave 1370
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1371

CAPÍTULO 45 Física nuclear 1375

- 45-1 Introducción 1375
- 45-2 Propiedades de los núcleos 1375
- 45-3 Enlace nuclear y estructura nuclear 1379
- 45-4 Estabilidad y radiactividad nuclear 1385
- 45-5 Actividades y vidas medias 1391
- 45-6 Efectos biológicos de la radiación 1394
- 45-7 Reacciones nucleares 1397
- 45-8 Fisión nuclear 1400
- 45-9 Fusión nuclear 1404
- Resumen/Términos clave 1407
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1407

CAPÍTULO 46 Física de partículas y cosmología 1413

- 46-1 Introducción 1413
- 46-2 Historia de las partículas fundamentales 1413
- 46-3 Aceleradores y detectores de partículas 1418
- 46-4 Partículas e interacciones 1424
- 46-5 Quarks y el camino óctuple 1430
- 46-6 El modelo estándar y más allá 1434
- 46-7 El universo en expansión 1436
- 46-8 El principio del tiempo 1441
- Resumen/Términos clave 1449
- Preguntas/Ejercicios/Problemas 1449

Apéndices 669

- A El Sistema Internacional de unidades 669
- B Relaciones matemáticas útiles 671
- C El alfabeto griego 672
- D Tabla periódica de los elementos 673
- E Factores de conversión de unidades 674
- F Constantes numéricas

- Respuestas a los problemas impares 677
- Índice de materias 685