
Contenido

Indice de tablas

Prefacio

1 Unidades, dimensiones y otros preliminares 1

1.1	Unidades	1	1.4	Notación científica y cifras significativas	6
1.2	Unidades fundamentales	3	1.5	Escalares y vectores	8
1.3	Unidades derivadas y análisis dimensional	4			

2 Cinemática en una dimensión 12

2.1	Introducción	12	2.2a	Velocidad	13
2.2	Movimiento rectilíneo	12	2.2b	Aceleración	16
			2.3	Aceleración uniforme	18

3 Cinemática en dos dimensiones; vectores 30

3.1	Introducción	30	3.4	Movimiento uniformemente acelerado en dos dimensiones	39
3.2	Suma y resta de vectores	31	3.5	Suma de velocidades; marcos de referencia	44
	3.2a Suma vectorial usando componentes ortogonales	33			
3.3	Vectores: desplazamiento, velocidad y aceleración	37			

4 Dinámica 55

4.1	Introducción	55	4.2c	Masa y peso	59
4.2	Las leyes de Newton sobre el movimiento	57	4.2d	La tercera ley	59
	4.2a La primera ley	57	4.3	Aplicación de las leyes de Newton	61
	4.2b La segunda ley	57	4.4	Fricción	70

5 Trabajo, energía y potencia 86

- | | | | |
|-----|--|------|--|
| 5.1 | Trabajo 86 | 5.4 | Conservación de la energía 95 |
| 5.2 | Energía cinética; teorema del trabajo-energía 89 | 5.4a | Fuerzas conservativas; energía mecánica 95 |
| 5.3 | Energía potencial y fuerzas conservativas 91 | 5.4b | Fuerzas conservativas y no conservativas 100 |
| | | 5.5 | Potencia 103 |

6 Impulso y cantidad de movimiento 117

- | | | | |
|-----|---|--------|---|
| 6.1 | Introducción 117 | 6.5 | Choques elásticos e inelásticos 122 |
| 6.2 | Fuerzas externas e internas 118 | 6.5a | Choques con movimiento en una dimensión 122 |
| 6.3 | Retorno a la segunda ley de Newton; cantidad de movimiento lineal 119 | * 6.5b | Choques con movimiento en dos dimensiones 126 |
| 6.4 | Conservación de la cantidad de movimiento 121 | 6.6 | Centro de masa 129 |

7 Movimiento circular 144

- | | | | |
|-----|--|------|---|
| 7.1 | Cinemática del movimiento circular 144 | 7.3 | Dinámica del movimiento circular uniforme 149 |
| 7.2 | Relación entre movimiento de rotación y traslación 147 | *7.4 | Aperaltamiento de curvas 153 |

8 Gravitación 163

- | | | | |
|-----|---|-----|---|
| 8.1 | Introducción 163 | 8.4 | Las leyes de Kepler del movimiento planetario 169 |
| 8.2 | Ley de la atracción gravitacional universal 164 | 8.5 | Determinación de G: "Pesando la Tierra" 171 |
| 8.3 | Energía potencial gravitacional; campo y potencia gravitacionales 166 | | |

9 Equilibrio rotacional; dinámica de cuerpos finitos 179

- | | | | |
|------|---|-----|------------------------------|
| 9.1 | Torques y equilibrio rotatorio 179 | 9.6 | Momento angular 191 |
| 9.2 | Centro de masa y centro de gravedad 184 | 9.7 | Giroscopios y bicicletas 197 |
| 9.3 | Dinámica de la rotación 187 | 9.8 | Energía cinética de giro 198 |
| 9.4 | Momento de inercia 188 | | |
| 9.4a | Teorema del eje paralelo 190 | | |

10 Propiedades mecánicas de la materia 213

- | | | | |
|-------|---|-------|--|
| 10.1 | Introducción 213 | 10.3c | Módulos de Young, cortante y de volumen 219 |
| 10.2 | Sólidos, líquidos y gases 214 | 10.4 | Tensión superficial 223 |
| 10.3 | Densidad y propiedades elásticas de los sólidos 216 | *10.5 | Cohesión, adhesión, ángulo de contacto y capilaridad 226 |
| 10.3a | Densidad 216 | 10.5a | Caminando sobre el agua 228 |
| 10.3b | Deformación elástica y módulo elástico 217 | | |

11 Hidrostática e hidrodinámica 235

- | | | | | | |
|-------|---|-----|--------|--|-----|
| 11.1 | Presión atmosférica | 235 | 11.5 | Efecto de Bernoulli | 249 |
| 11.2 | Presión en un líquido | 240 | 11.5a | Medidor venturi y atomizador | 253 |
| 11.3 | Flotación | 243 | 11.6 | Flujo viscoso | 255 |
| 11.3a | Determinación de la densidad por el principio de Arquímedes | 245 | 11.7 | Turbulencia | 259 |
| 11.3b | Centro de flotación y la estabilidad de los botes | 247 | * 11.8 | Velocidad terminal, sedimentación y centrifugación | 260 |
| 11.4 | Hidrodinámica; flujo laminar y turbulento | 247 | 11.8a | Sedimentación y centrifugación | 262 |

12 Propiedades térmicas, calorimetría y equivalente mecánico del calor 274

- | | | | | | |
|------|--|-----|-------|---|-----|
| 12.1 | Introducción | 274 | 12.5a | Capacidad calorífica y calor específico | 283 |
| 12.2 | Temperatura | 277 | 12.5b | Calor latente | 284 |
| 12.3 | Métodos termométricos | 278 | 12.6 | Transmisión de calor | 289 |
| 12.4 | Expansión térmica | 281 | 12.6a | Convección | 289 |
| 12.5 | Capacidad calorífica, calor latente y calorimetría | 283 | 12.6b | Conducción | 292 |
| | | | 12.6c | Radiación | 296 |

13 La ley del gas ideal y la teoría cinética 307

- | | | | | | |
|------|--------------------------------------|-----|--------|---------------------------------|-----|
| 13.1 | Introducción | 307 | 13.5a | Gases monoatómicos | 317 |
| 13.2 | Cantidades molares | 307 | 13.5b | Gases diatómicos | 320 |
| 13.3 | Ecuación de estado del gas ideal | 309 | * 13.6 | Mezclas de gases | 321 |
| 13.4 | Teoría cinética | 312 | 13.6a | Buceo y los mamíferos acuáticos | 323 |
| 13.5 | Capacidades caloríficas de los gases | 316 | | | |

14 Termodinámica 331

- | | | | | | |
|------|--|-----|--------|--|-----|
| 14.1 | Introducción | 331 | 14.4 | Máquinas térmicas | 341 |
| 14.2 | Las leyes cero y primera de la termodinámica | 332 | 14.5 | Entropía y la segunda ley | 342 |
| 14.3 | Segunda ley de la termodinámica | 337 | * 14.6 | Interpretación estadística de la entropía; extinción del calor | 345 |

15 Movimiento oscilatorio 357

- | | | | | | |
|------|---|-----|---------|---|-----|
| 15.1 | Introducción | 357 | 15.6 | El péndulo simple | 367 |
| 15.2 | Equilibrio estable, inestable e indiferente o neutro | 358 | 15.7 | Revisión del principio de equivalencia | 371 |
| 15.3 | Movimiento armónico simple | 359 | * 15.8 | El péndulo físico | 371 |
| 15.4 | Sistema de masa y resorte | 362 | 15.9 | Energía de un sistema oscilatorio | 372 |
| 15.5 | Relación del MAS y el movimiento circular; ecuaciones cinemáticas del MAS | 364 | * 15.10 | Oscilaciones forzadas; amortiguamiento y resonancia | 373 |

16 Ondas mecánicas 384

-
- | | | | | | |
|-------|---|-----|------|--|-----|
| 16.1 | Introducción | 384 | 16.4 | Reflexión de las ondas | 393 |
| 16.2 | Ondas sinusoidales o senoidales | 385 | 16.5 | Ondas estacionarias | 396 |
| 16.3 | Superposición de ondas | 390 | 16.6 | Resonancias | 397 |
| 16.3a | Superposición de dos ondas de longitud y amplitud idénticas | 390 | 16.7 | Trémolos | 398 |
| 16.3b | Superposición de ondas de distintas longitudes y amplitudes | 391 | 16.8 | Velocidad de propagación de las ondas en cuerdas | 399 |
| | | | 16.9 | Energía de una cuerda en vibración | 401 |

17 Sonido 409

-
- | | | | | | |
|-------|--|-----|--------|--------------------------------|-----|
| 17.1 | Introducción | 409 | 17.6 | Superposición de ondas sonoras | 416 |
| 17.2 | Generación del sonido | 410 | 17.6a | Resonancias acústicas en tubos | 416 |
| 17.3 | Velocidad del sonido | 410 | 17.6b | Interferencia | 420 |
| 17.4 | Relación entre las variaciones de presión y el desplazamiento promedio de las moléculas de gas | 412 | 17.7 | Efecto Doppler | 422 |
| 17.5 | Intensidad del sonido | 413 | 17.8 | Dispersión de ondas | 426 |
| 17.5a | Niveles de intensidad; decibeles | 414 | *17.9 | El vuelo de los murciélagos | 427 |
| | | | *17.10 | Fisiología de la audición | 427 |
| | | | 17.10a | Oído externo | 427 |
| | | | 17.10b | Oído medio | 428 |
| | | | 17.10c | Oído interno | 429 |

18 Electrostática: cargas, campos eléctricos y potenciales 437

-
- | | | | | | |
|------|---|-----|-------|--|-----|
| 18.1 | Introducción | 437 | 18.10 | Ley de Gauss | 454 |
| 18.2 | Origen de las cargas eléctricas | 438 | 18.11 | Campo eléctrico dentro de un conductor; blindaje | 455 |
| 18.3 | Conductores, aisladores y semiconductores | 439 | 18.12 | Potencial electrostático | 458 |
| 18.4 | Interacción entre cargas; ley de Coulomb | 440 | 18.13 | Potencial electrostático y la energía de cuerpos cargados | 460 |
| 18.5 | Aterrizado y carga por inducción | 444 | 18.14 | El electrón-volt | 460 |
| 18.6 | Dipolos inducidos y permanentes | 446 | 18.15 | Potenciales relacionados con un campo eléctrico uniforme y con el campo de una carga puntal; superficies equipotenciales | 462 |
| 18.7 | Fuerza electrostática debida a distribución de cargas | 447 | 18.16 | Potenciales ocasionados por la distribución de cargas | 470 |
| 18.8 | El campo eléctrico | 449 | | | |
| 18.9 | Líneas del campo eléctrico | 451 | | | |

19 Capacitores 486

-
- | | | | | | |
|------|--|-----|------|---|-----|
| 19.1 | Introducción | 486 | 19.4 | Capacitores en combinaciones en serie y en paralelo | 496 |
| 19.2 | Capacitores y capacitancia | 487 | | | |
| 19.3 | Energía electrostática de un capacitor; energía almacenada en un campo eléctrico | 492 | | | |

20 Corrientes eléctricas continuas 505

- | | | | |
|-------|---|---------|--|
| 20.1 | Fuentes de fuerza electromotriz; pilas y baterías 505 | 20.7 | La batería real; resistencia interna 522 |
| 20.2 | Corriente eléctrica 507 | 20.8 | Medición de corriente y voltaje 525 |
| 20.3 | Resistencia y resistividad 509 | 20.8a | Amperímetros 526 |
| 20.4 | Corriente, voltaje y disipación de potencia en un circuito sencillo 512 | 20.8b | Voltímetros 527 |
| 20.5 | Combinaciones de resistores 513 | 20.8c | Influencia de los medidores en un circuito 528 |
| 20.5a | Resistencias en serie 514 | 20.9 | Circuitos de puente 530 |
| 20.5b | Resistores en paralelo 515 | 20.9a | El puente de Wheatstone 530 |
| 20.5c | Combinaciones en serie-paralelo 517 | 20.9b | El potenciómetro 530 |
| 20.6 | Leyes de Kirchhoff 518 | * 20.10 | Conducción nerviosa 531 |

21 Magnetismo 546

- | | | | |
|-------|--|--------|--|
| 21.1 | Introducción 546 | 21.6b | Fuerza entre dos corrientes; definición del ampere 562 |
| 21.2 | El campo magnético 547 | 21.6c | Ley de Ampère 563 |
| 21.3 | Fuerza sobre una corriente en un campo magnético 550 | 21.6d | Espiras de corriente, toroides y solenoides 564 |
| 21.4 | El campo magnético terrestre 552 | * 21.7 | Materiales magnéticos 569 |
| 21.5 | Trayectoria de las cargas en movimiento dentro de un campo magnético 554 | * 21.8 | Medidores 570 |
| 21.5a | El ciclotrón 555 | | |
| 21.5b | Efecto de Hall 559 | | |
| 21.6 | Generación de campos magnéticos 561 | | |
| 21.6a | Campo magnético debido a un conductor recto infinitamente largo 561 | | |

22 Inducción electromagnética 580

- | | | | |
|------|---|--------|---|
| 22.1 | Introducción 580 | 22.4a | Inductancia mutua 586 |
| 22.2 | FEM inducidas; ley de Faraday y ley de Lenz 581 | 22.4b | Autoinductancia 587 |
| 22.3 | FEM de movimiento 584 | 22.5 | Energía almacenada en una inductancia 589 |
| 22.4 | Inductancia mutua y autoinductancia 586 | 22.6 | Generadores 591 |
| | | * 22.7 | Superconductividad y sus aplicaciones 592 |

23 Corrientes y voltajes dependientes del tiempo; circuitos de CA 605

- | | | | |
|-------|--|--------|---|
| 23.1 | Introducción 605 | 23.3 | Corrientes y voltajes alternos 614 |
| 23.2 | Respuesta de circuitos sencillos a discontinuidades de corriente o voltaje 606 | 23.3a | Circuito <i>RLC</i> ; resonancia 618 |
| 23.2a | Circuitos <i>RC</i> 606 | * 23.4 | Filtros 622 |
| 23.2b | Circuitos <i>RL</i> 611 | 23.5 | Transformadores 623 |
| | | * 23.6 | Efectos fisiológicos de las corrientes eléctricas 626 |

24 Ondas electromagnéticas y la naturaleza de la luz 634

-
- | | | | | | |
|--------|-----------------------------|-----|-------|---------------------------|-----|
| 24.1 | Introducción | 634 | 24.7 | Ondas y rayos | 648 |
| * 24.2 | Corriente de desplazamiento | 635 | 24.7a | Principio de Huygens | 649 |
| 24.3 | Ondas electromagnéticas | 636 | 24.8 | Reflexión de ondas planas | 650 |
| 24.4 | Luz | 643 | 24.9 | Refracción | 651 |
| 24.5 | Velocidad de la luz | 644 | 24.9a | Reflexión interna total | 653 |
| 24.6 | Índice de refracción | 647 | 24.9b | Endoscopios | 655 |
| | | | 24.9c | Dispersión | 656 |
-

25 Óptica geométrica; instrumentos ópticos 665

-
- | | | | | | |
|-------|--|-----|--------|-------------------------|-----|
| 25. | Espejos planos | 655 | * 25.5 | Aberraciones | 677 |
| 25.2 | Espejos esféricos | 667 | 25.6 | El ojo | 678 |
| 25.2a | Espejos cóncavos | 667 | 25.7 | Cámara y proyector | 681 |
| 25.2b | Espejos convexos | 671 | 25.8 | Lente de aumento o lupa | 683 |
| 25.3 | Lentes | 673 | 25.9 | Microscopios | 684 |
| 25.4 | Rayos principales en las lentes y localización de imágenes | 675 | 25.10 | Telescopios | 686 |
-

26 Óptica física 696

-
- | | | | | | |
|-------|------------------------------------|-----|--------|----------------------------------|-----|
| 26.1 | Introducción | 696 | * 26.4 | Holografía | 708 |
| 26.2 | Coherencia | 697 | 26.5 | Difracción | 710 |
| 26.3 | Interferencia | 698 | 26.5a | Rejilla de difracción | 710 |
| 26.3a | Interferencia por rendija doble | 699 | 26.5b | Difracción por una sola abertura | 715 |
| 26.3b | Interferencia por película delgada | 703 | 26.6 | Poder de resolución | 720 |
| 26.3c | Interferómetros | 706 | 26.7 | Polarización | 722 |
-

* 27 Relatividad 736

-
- | | | | | | |
|-------|---|-----|-------|---|-----|
| 27.1 | Introducción | 736 | 27.5 | Adición de velocidades | |
| 27.2 | Relatividad clásica | 738 | 27.6 | Equivalencia de masa y energía | 754 |
| 27.3 | El experimento de Michelson-Morley | 740 | 27.7 | Confirmación experimental de la relatividad especial | 755 |
| 27.4 | Teoría especial de la relatividad | 744 | 27.7a | Equivalencia masa-energía | 755 |
| 27.4a | Postulados de la Teoría | 744 | 27.7b | Dilatación del tiempo y contracción de las longitudes | 756 |
| 27.4b | Simultaneidad y alargamiento del tiempo | 746 | 27.8 | Relatividad general | 758 |
| 27.4c | La paradoja de los gemelos | 749 | | | |
| 27.4d | La contracción de Lorentz-FitzGerald | 751 | | | |
-

28 Orígenes de la teoría cuántica 764

-
- | | | | | | |
|------|---------------------------------|-----|------|-------------------------------|-----|
| 28.1 | Introducción | 764 | 28.6 | Efecto Compton | 776 |
| 28.2 | Radiación del cuerpo negro | 766 | 28.7 | Ondas de materia | 777 |
| 28.3 | El efecto fotoeléctrico | 768 | 28.8 | El principio de incertidumbre | 780 |
| 28.4 | Calor específico de los sólidos | 771 | 28.9 | Partículas y antipartículas | 783 |
| 28.5 | Los rayos X | 772 | | | |
-

29 Estructura atómica y espectros atómicos 789

- | | | | | | |
|------|---|-----|--------|--|-----|
| 29.1 | Introducción | 789 | 29.6 | Niveles atómicos de energía en un campo magnético | 800 |
| 29.2 | El modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno | 792 | 29.6a | Resonancia del spin del electrón | 801 |
| 29.3 | Emisión y absorción de radiación; diagrama de niveles de energía | 794 | 29.7 | El átomo de varios electrones y la tabla periódica | 803 |
| 29.4 | Las ondas de De Broglie y el modelo de Bohr | 797 | 29.8 | Líneas características de rayos X | 807 |
| 29.5 | Funciones de onda atómica, números cuánticos y estructura atómica | 798 | * 29.9 | Másers y láseres | 808 |

* 30 Conjuntos de átomos; moléculas y sólidos 816

- | | | | | | |
|-------|-------------------------|-----|-------|---|-----|
| 30.1 | Introducción | 816 | 30.4b | Cristales covalentes | 825 |
| 30.2 | Uniones moleculares | 817 | 30.4c | Enlaces metálicos | 825 |
| 30.2a | Enlaces iónicos | 817 | 30.5 | Teoría de bandas de los sólidos | 825 |
| 30.2b | Enlaces covalentes | 819 | 30.5a | Cristales semiconductores | 827 |
| 30.2c | Enlace de hidrógeno | 820 | 30.6 | Dispositivos semiconductores | 829 |
| 30.2d | Enlace de Van der Waals | 821 | 30.6a | Diodos de empalme | 829 |
| 30.3 | Espectros moleculares | 821 | 30.6b | Transistores de empalme | 830 |
| 30.4 | Cohesión de los sólidos | 824 | 30.6c | Dispositivos fotosensibles y dos emisores de luz (LEDs) | 831 |
| 30.4a | Sólidos iónicos | 824 | | | |

31 Física nuclear y partículas elementales 837

- | | | | | | |
|-------|--|-----|---------|--|-----|
| 31.1 | Introducción | 837 | 31.5 | Constantes de desintegración, vidas medias y actividades | 854 |
| 31.2 | Estructura nuclear y fuerzas nucleares | 838 | 31.6 | Reacciones nucleares | 856 |
| 31.2a | Composición | 838 | 31.7 | Fisión | 856 |
| 31.2b | Masa | 839 | 31.8 | Fusión | 861 |
| 31.2c | Tamaño | 840 | * 31.9 | Detectores de radiación | 862 |
| 31.2d | La fuerza nuclear | 841 | * 31.10 | Decaimiento radiactivo | 865 |
| 31.2e | Spin nuclear | 842 | 31.10a | Decaimiento con carbono 14 | 865 |
| 31.3 | Resonancia magnética nuclear (RMN) | 843 | 31.10b | Termoluminiscencia | 867 |
| 31.4 | Estabilidad de los núcleos | 845 | 31.10c | Decaimiento con $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | 868 |
| 31.4a | Energía de enlace | 845 | 31.11 | Partículas elementales | 868 |
| 31.4b | Sistemática de la estabilidad | 847 | 31.12 | Teorías cuánticas de campo | 871 |
| 31.4c | Radiactividad | 848 | | | |
| 31.4d | Series de desintegración radiactiva | 852 | | | |

Apéndices

- | | | | | | |
|---|---|------|---|-----------------------------|------|
| A | Repaso de matemáticas | A-1 | | aceptados actualmente | A-11 |
| B | Deducción del teorema del eje paralelo | A-8 | E | Las unidades SI | A-13 |
| C | Datos solares, terrestres y planetarios | A-10 | F | Lista abreviada de isótopos | A-15 |
| D | Valores de las constantes físicas fundamentales | | | | |

Respuestas a los problemas no de opción múltiple A-20

Índice I-1