

## INDICE

|   |        |
|---|--------|
| <b>Prefacio</b>   | VII    |
| <b>Prologo</b>  |        |
| ¿Por qué hacer física?  | XXIII  |
| Entonces, ¿Qué es la física?  |        |
| ¿Cuales son los alcances de este libro texto?                       | XXIV   |
| Sugerencias para el uso del libro                                   | XXV    |
| El universo: una perspectiva  | XXV    |
| La escala cotidiana   | XXVI   |
| El sistema solar  | XXVII  |
| Las estrellas del universo  |        |
| El mundo de los átomos  | XXVIII |
| El mundo subatómico   |        |
| Cuadro resumen  | XXXIX  |
| <b>Parte uno:</b>   |        |
| <b>La mecánica Newtoniana</b>                                       | 2      |
| <b>Capítulo 0. Las raíces de la ciencia</b>                         |        |
| 0.1. ¿Por que estudiar la historia?                                 |        |
| 0.1.1. sustancia y estructura                                       | 3      |
| 0.1.2. simplicidad  |        |
| 0.1.3. ¿Qué es una explicación satisfactoria?                       | 4      |
| 0.1.4. Aristóteles y la naturaleza del movimiento                   | 5      |
| 0.2. Kepler, el movimiento planetario y las leyes físicas           |        |
| 0.2.1. las revoluciones científicas                                 | 6      |
| 0.2.2. el mundo se mueve  |        |
| 0.2.3. las leyes de Kepler  | 8      |
| Para profundizar: las elipses                                       | 9      |
| 0.3. Galileo y la ciencia experimental                              |        |
| 0.3.1. composición del movimiento                                   | 10     |
| 0.3.2. los experimentos con el plano inclinado                      | 11     |
| 0.4. la naturaleza de la física                                     |        |
| 0.4.1. la naturaleza del experimento                                | 12     |
| 0.4.2. la ley universal   | 13     |
| 0.4.3. perspectiva y punto de vista                                 |        |
| 0.4.4. teoría y experimento   | 14     |
| 0.4.5. como trabaja la naturaleza en comparación de por que trabaja |        |
| 0.4.6. ideal y real: modelado y el papel de las matemáticas         |        |
| Resumen de capítulo   | 15     |
| Conocimientos básicos   |        |
| Solución del ejercicio  | 16     |
| Preguntas y problemas   | 17     |
| <b>Capítulo 1. Presentación del lenguaje de la física</b>           | 20     |
| 1.1. un modelo de espacio y tiempo                                  |        |
| 1.1.1. espacio  | 21     |
| 1.1.2. el tiempo  | 22     |
| 1.1.3. ¿Qué tan bueno es el modelo cartesiano?                      |        |
| 1.2. El sistema internacional de unidades                           | 23     |
| 1.2.1. metrología la ciencia de la medición                         |        |

|   |    |
|---|----|
| 1.2.2. el origen del sistema métrico  |    |
| 1.2.3. la unidad del tiempo SI-el segundo   | 24 |
| 1.2.4. la unidad de longitud SI-el metro  | 25 |
| 1.2.5. la unidad de ángulo SI-el radian   | 26 |
| Para profundizar: ¿Qué tan lejos esta un segundo? ¿Qué tan rápido es un metro?      | 27 |
| 1.2.6. la unidad de masa SI-el kilogramo  |    |
| 1.3. Uso del SI   | 28 |
| 1.3.1. Cifras significativas  |    |
| 1.3.2. conversión de unidades y prefijos del SI                                     | 30 |
| 1.3.3. análisis dimensional y la estimación   | 31 |
| 1.4. vectores y escalares   | 32 |
| 1.4.1. la diferencia básica   | 33 |
| 1.4.2. desplazamiento   | 34 |
| 1.4.3. suma vectorial   |    |
| 1.4.4. el vector cero   | 35 |
| 1.4.5. desplazamiento y distancia   |    |
| 1.4.6. multiplicación de un vector por un escalar                                   | 36 |
| 1.4.7. resta de vectores  |    |
| 1.5. el vector de posición  | 37 |
| 1.6. algebra vectorial  |    |
| 1.6.1. componentes  | 39 |
| 1.6.2. vectores unitarios   | 41 |
| 1.6.3. elección de los sistemas de coordenadas                                      | 42 |
| 1.6.4. algebra vectorial  | 43 |
| Resumen del capítulo  | 44 |
| Conocimientos básicos   | 45 |
| Solución del ejercicio  | 46 |
| Preguntas y problemas   | 48 |
| <b>Capítulo 2. Cinemática</b>   | 53 |
| 2.1. rapidez y velocidad  | 54 |
| 2.1.1. rapidez media  | 55 |
| 2.1.2. velocidad media  | 56 |
| 2.1.3. la velocidad instantánea y el concepto de límite                             | 57 |
| 2.1.4. el cálculo como un modelo cinemático   | 58 |
| 2.2. aceleración media e instantánea  |    |
| 2.2.1. el vector aceleración  | 60 |
| 2.2.2. velocidad y aceleración en notación de componentes                           | 64 |
| 2.3. movimiento rectilíneo  |    |
| 2.3.1. posición, velocidad y aceleración en el movimiento rectilíneo                | 65 |
| 2.3.2. aceleración debida a la gravedad   | 66 |
| 2.3.3. la ley de Galileo usando cálculo   |    |
| Para profundizar: la gravedad   | 68 |
| 2.3.4. interpretación de las gráficas de posición o velocidad en función del tiempo | 70 |
| 2.3.5. movimiento rectilíneo uniformemente acelerado                                | 71 |
| Resumen del capítulo  |    |
| Solución del ejercicio  | 76 |
| Conocimientos básicos   | 80 |

|   |            |
|---|------------|
| Preguntas y problemas   |            |
| <b>Capítulo 3. Modelos cinemáticas avanzados</b>  | <b>85</b>  |
| 3.1. Movimiento de un proyectil   | 86         |
| 3.1.1. Problemas con condiciones iniciales dadas  | 87         |
| 3.1.2. Problemas con un objetivo específico   | 88         |
| 3.1.3. movimiento simultáneo  | 91         |
| Para profundizar: caída libre   | 92         |
| 3.1.4. forma de la trayectoria de un proyectil  | 93         |
| Para profundizar: proyectiles y órbitas   | 94         |
| 3.2. Movimiento circular  |            |
| 3.2.1. descripción del movimiento circular  | 95         |
| 3.2.2. movimiento circular uniforme   | 96         |
| 3.2.3. rapidez y velocidad instantáneas en el movimiento circular                         | 97         |
| Temas de matemáticas:<br>Evaluación formal del límite                                     | 99         |
| 3.2.4. aceleración instantánea en el movimiento circular                                  |            |
| Temas de matemáticas:<br>Uso del cálculo en el movimiento circular                        | 100        |
| 3.2.5. rotación de un cuerpo rígido   |            |
| 3.2.6. uso de los movimientos rectilíneo y circular para moldear el movimiento en general | 103        |
| 3.3. movimiento relativo  |            |
| 3.3.1. la navegación  | 104        |
| 3.3.2. ¿En qué marco de referencia se facilita más un problema?                           | 107        |
| 3.3.3. rodar sin resbalar   |            |
| Resumen del capítulo  | 108        |
| Solución del ejercicio  | 109        |
| Conocimientos básicos   | 110        |
| Preguntas y problemas   | 111        |
| Interludio: solución de problemas de física   |            |
| I1. Razonamiento vertical   | 118        |
| I1.2. Espasa en la solución de un problema  | 119        |
| I1.3. problemas de estudio  |            |
| Problemas de estudio 1: ¿almuerzo a mediodía?   | 120        |
| Problemas de estudio 2: el batazo de José   | 121        |
| Problemas de estudio 3: ¡amarte o morir!  | 124        |
| Resumen del capítulo  |            |
| Soluciones del ejercicio  | 126        |
| <b>Capítulo 4. La fuerza y las leyes de Newton</b>  | <b>127</b> |
| 4.1. fuerza   | 128        |
| 4.2. la fuerza en el modelo de Newton   |            |
| 4.2.1. ¿Qué tipos de fuerzas hay?   | 129        |
| 4.2.2. las fuerzas son vectores   | 131        |
| 4.2.3. los vectores fuerzas se presentan en pares   | 132        |
| 4.3. segunda ley de Newton  |            |
| 4.3.1. relación entre fuerza y aceleración  | 134        |
| 4.3.2. masa   | 135        |
| 4.3.3. la unidad SI de fuerza: el newton  |            |
| 4.4. peso   | 136        |

|  |     |
|--|-----|
| 4.5. expresiones practicas para fuerzas de resorte y de fricción                     |     |
| 4.5.1. fuerza eléctrica ejercida por un resorte                                      | 138 |
| 4.5.2. la fricción   | 141 |
| 4.6. movimiento de un objeto aislado sometido a varias fuerzas                       |     |
| 4.6.1. método de los diagramas de cuerpo libre                                       | 142 |
| 4.6.2. ejemplos de movimiento rectilíneo   | 143 |
| Problema de estudio 4:<br>Esquí de vaivén en nieve floja                             | 145 |
| 4.7. Dinámica del movimiento circular  | 147 |
| 4.8. Las leyes de Newton del movimiento  |     |
| 4.8.1. la primera ley de Newton del movimiento y los marcos de referencia inerciales | 150 |
| 4.8.2. la segunda ley del movimiento   |     |
| Para profundizar: marcos de referencia inerciales y no inerciales                    |     |
| 4.8.3. la tercera ley de Newton  | 151 |
| 4.8.4. ¿Qué es la masa?  |     |
| 4.8.5. estructura de la mecánica newtoniana  | 152 |
| Resumen del capítulo   | 153 |
| Solución del ejercicio   | 154 |
| Conocimientos básicos  | 156 |
| Preguntas y problemas  | 158 |
| Ensayo 1:<br>Los descubrimientos de Newton y su impacto                              | 164 |
| <b>Capítulo 5. Aplicación de las leyes de Newton</b>                                 | 166 |
| 5.1. un primer ejemplo   |     |
| 5.2. método para resolver sistemas de partículas                                     | 167 |
| 5.2.1. identificación de las partículas  |     |
| 5.2.2. diagramas de cuerpo libre   |     |
| 5.2.3. análisis de los diagramas de cuerpo libre                                     | 168 |
| 5.2.4. relacionados de nuevo las partículas en un sistema                            |     |
| 5.2.5. uso del método de solución  |     |
| 5.3. cuerdas   |     |
| 5.3.1. por que se usa el modelo de la cuerda ideal                                   | 172 |
| 5.3.2. cuerdas sometidas a fuerzas de peso y de fricción                             | 174 |
| 5.3.3. sistemas de poleas  | 175 |
| 5.4. la ley de la gravitación universal  |     |
| 5.4.1. la ley de la fuerza gravitacional   | 177 |
| Para profundizar: fuerza gravitacional debido a una esfera uniforme                  | 180 |
| Para profundizar: fuerza que actúa a distancia                                       |     |
| Problemas de estudio 5:<br>Un viaje alrededor de la luna                             | 181 |
| 5.4.2. calculo de la masa de la tierra   |     |
| 5.4.3. la gravedad, Newton y la ley de galileo de la caída de los objetos            | 183 |
| 5.4.4. ¿Hay varios tipos de masa?  | 184 |
| 5.4.5. las leyes de Kepler   |     |
| 5.5. el tallo de habichuela  | 185 |
| Resumen del capítulo   | 187 |
| Solución del ejercicio   | 188 |
| Conocimientos básicos  | 189 |

|   |     |
|---|-----|
| Preguntas y problemas   | 190 |
| Problemas de la parte uno   | 198 |
| <b>Parte dos:</b>   |     |
| <b>Las leyes de conservación</b>  | 200 |
| <b>Capítulo 6. Momento lineal</b>   |     |
| 6.1. momento lineal   |     |
| 6.1.1. momento lineal   | 201 |
| 6.1.2. transferencia de momento lineal  | 202 |
| 6.1.3. intercambio de momento lineal entre partículas                                   | 206 |
| 6.1.4. conservación del momento lineal  | 207 |
| 6.2. aplicación de la conservación del momento lineal                                   |     |
| 6.2.1. esquema general de solución  | 208 |
| 6.2.2. problemas donde el flujo de masa   | 210 |
| Problema de estudio 6: entregas de correo<br>Para profundizar: aceleración de un cohete | 214 |
| 6.3. demostración formal de la conservación de la cantidad de movimiento                | 216 |
| Resumen del capítulo  | 218 |
| Solución del ejercicio<br>Conocimientos básicos   | 219 |
| Preguntas y problemas   | 220 |
| <b>Capítulo 7. Trabajo y energía cinética</b>   | 226 |
| 7.1. la energía y su transferencia  |     |
| 7.1.1. trabajo y energía cinética en el movimiento unidimensional                       | 227 |
| 7.1.2. trabajo en más de una dimensión  | 229 |
| Herramientas matemáticas: propiedades del producto escalar                              | 231 |
| 7.1.3. trabajo efectuado cuando actúa más de una fuerza                                 | 232 |
| 7.1.4. demostración formal del teorema del trabajo y la energía para una partícula      | 234 |
| 7.1.5. energía cinética de un sistema de partículas                                     | 235 |
| 7.2. potencia y máquinas simples  |     |
| 7.2.1. potencia   | 236 |
| Para profundizar: el caballo de fuerza  | 237 |
| 7.2.2. máquinas simples   | 239 |
| 7.2.3. transferencias de energía mediante máquinas                                      | 240 |
| Resumen del capítulo  | 241 |
| Solución del ejercicio<br>Conocimientos básicos   | 243 |
| Preguntas y problemas   | 244 |
| <b>Interludio 2:</b>  |     |
| <b>Uso de la integración en los problemas de física</b>                                 | 250 |
| 12.1. la integral de una función como límite de una suma                                |     |
| 12.2. método general para evaluar integrales físicas                                    | 252 |
| Tema de matemáticas: Las integrales como áreas  | 253 |
| Resumen del capítulo<br>Solución del ejercicio<br>Conocimientos básicos                 | 256 |
| Preguntas y problemas   | 257 |
| <b>Capítulo 8. Conservación de la energía</b>   | 259 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.1. energía potencial elástica  |     |
| 8.1.1. energía almacenada en un resorte comprimido                           | 260 |
| 8.1.2. energía potencial   | 261 |
| Para profundizar:<br>Calculo del trabajo efectuado sobre los furgones        | 262 |
| 8.1.3. conservación de la energía en el sistema de masa en resorte           | 263 |
| 8.2. energía potencial gravitacional   |     |
| 8.2.1. descripción práctica que se aplica cerca de una superficie planetaria | 265 |
| 8.2.2. ecuación exacta de la energía potencial gravitacional                 | 268 |
| 8.3. conservación de la energía mecánica                                     |     |
| 8.3.1. fuerzas conservativas   | 271 |
| 8.3.2. conservación de la energía mecánica total                             | 272 |
| Tema de matemáticas: Trabajo efectuando en una trayectoria cerrada           | 273 |
| 8.4. Energía potencial en sistemas de partículas                             | 275 |
| 8.5. energía interna   |     |
| 8.5.1. energía térmica   | 276 |
| 8.5.2. conservación de la energía  | 277 |
| Problema de estudio 7:<br>La empacadora de huevo                             | 278 |
| 8.5.3. ¿Qué hace que un coche suba un colina?                                | 280 |
| Resumen del capítulo   | 280 |
| Solución del ejercicio   | 281 |
| Conocimientos básicos  | 282 |
| Preguntas y problemas  | 283 |
| <b>Ensayo 2: El campo gravitacional</b>                                      |     |
| E2.1 el campo gravitacional  | 292 |
| E2.2. el campo de un sistema de dos partículas                               | 294 |
| E.2.3. ¿Es real el campo gravitacional?                                      | 295 |
| <b>Capítulo 9. Momento angular</b>   | 296 |
| 9.1. el momento angular de una partícula                                     |     |
| 9.1.1. ¿Qué es el momento angular?   | 297 |
| 9.1.2. el momento angular como producto vectorial                            | 299 |
| Herramientas matemáticas: propiedades del producto vectorial                 | 301 |
| 9.2. la torca  | 303 |
| 9.2.1. ¿Qué es la torca?   | 303 |
| 9.2.2. trabajo y potencia en sistemas rotatorios                             | 306 |
| 9.3. el centro de masa   | 308 |
| 9.3.2. definición del centro de masa   | 309 |
| 9.3.4. el marco de referencia del centro de masa                             | 312 |
| 9.4. conservación del momento angular  |     |
| 9.4.1. un sistema de dos partículas  | 315 |
| 9.4.2. demostración de que el momento angular se conserva                    |     |
| Para profundizar: la forma fuerte de la tercera ley de Newton                | 316 |
| Problema de estudio 8:<br>Los dos patinadores                                | 317 |
| Resumen del capítulo   | 320 |
| Solución del ejercicio   | 321 |
| Conocimientos básicos  | 322 |

|  |     |
|--|-----|
| Preguntas y problemas  | 324 |
| <b>Ensayo 3. Orbitas</b>   |     |
| E.3.1. La energía y el semieje mayor                                   | 331 |
| E.3.2. Momento angular y excentricidad                                 | 333 |
| <b>Capítulo 10. Choques</b>  | 334 |
| 10.1. ¿Que es un choque?   | 335 |
| 10.2. choques entre dos partículas                                     |     |
| 10.2.1. choques elásticos  | 336 |
| 10.2.2. choques elásticos en el marco de referencia del centro de masa | 339 |
| 10.2.3. choques inelásticos  | 340 |
| 10.3. modelos de choques elásticos e inelásticos                       | 343 |
| 10.4. algunas aplicaciones de la teoría de los choques                 |     |
| 10.4.1. partículas atómicas y subatómicas                              | 347 |
| 10.4.2. cuando chocan las moléculas                                    | 349 |
| 10.4.3. choques gravitacionales  | 351 |
| Resumen del capítulo   | 352 |
| Solución del ejercicio   | 353 |
| Conocimientos básicos  | 354 |
| Preguntas y problemas  | 356 |
| Problemas de la parte dos  | 361 |
| <b>Parte tres:</b>   |     |
| <b>Sistemas continuos</b>  | 364 |
| <b>Capítulo 11. Cuerpos rígidos en equilibrio</b>                      |     |
| 11.1. equilibrio estático  |     |
| 11.1.1. condiciones de equilibrio                                      | 365 |
| 11.1.2. estabilidad  | 368 |
| 11.1.3. pares de fuerzas   | 369 |
| 11.1.4. tres fuerzas en equilibrio                                     | 370 |
| 11.2. equilibrio dinámico  | 371 |
| 11.3. equilibrio de sistemas   | 373 |
| 11.4. el problema de la escalera                                       | 374 |
| 11.5. centro de masa de los centro finitos                             | 376 |
| 11.6. puentes  | 378 |
| Resumen del capítulo   | 380 |
| Solución del ejercicio   | 381 |
| Conocimientos básicos  | 383 |
| Preguntas y problemas  | 384 |
| <b>Capítulo 12. Dinámica de los cuerpos rígidos</b>                    | 392 |
| 12.1. cinemática rotacional  |     |
| 12.1.1. coordenadas del cuerpo   | 393 |
| 12.1.2. velocidad angular y aceleración angular                        | 394 |
| 12.1.3. rotación en torno a un eje fijo                                | 395 |
| Tema de matemáticas: relaciones vectoriales en el movimiento circular  |     |
| 12.2. energía cinética rotacional y momento angular                    | 398 |
| 12.2.1. energía  |     |
| 12.2.2. momento angular  | 399 |
| 12.3. comportamiento dinámico de cuerpos rígidos                       |     |
| 12.3.1. método de solución general                                     | 402 |

|  |     |
|--|-----|
| Problemas de estudio 9: ¡piedra abajo!                                 | 406 |
| 12.3.2. limitaciones del modelo de cuerpo rígido                       | 408 |
| 12.4. aplicación de las leyes de conservación                          | 408 |
| 12.5. calculo del momento de inercia                                   |     |
| 12.5.1. integración  | 411 |
| 12.5.2. el teorema de los ejes paralelos                               | 412 |
| Tema de matemáticas: demostración general del teorema del eje paralelo | 413 |
| 12.6. la presión   | 415 |
| Resumen del capítulo   | 417 |
| Solución del ejercicio   | 418 |
| Conocimientos básicos  | 419 |
| Preguntas y problemas  | 420 |
| <b>Ensayo 4: La bicicleta</b>  | 428 |
| Para profundizar: Torca promedio en la estrella de la bicicleta        | 431 |
| Para profundizar: la resistencia del aire                              | 432 |
| <b>Capítulo 13. Los fluidos</b>  | 433 |
| 13.1. ¿Qué es un fluido?   | 435 |
| 13.2. propiedades básicas de los fluidos                               |     |
| 13.2.1. la densidad  | 436 |
| 13.2.2. la presión   | 437 |
| Para profundizar: la demostración de Von Guericke                      | 439 |
| 13.2.3. ¿Qué origina la presión?                                       | 440 |
| 13.3. fluidos en equilibrio  |     |
| 13.3.1. variación de la presión en un fluido en reposo                 | 442 |
| 13.3.2. equilibrio hidrostático  | 444 |
| Para profundizar. La paradoja hidrostática                             |     |
| 13.3.3. el barómetro   | 445 |
| 13.3.4. la atmosfera   | 446 |
| 13.4. el principio de Arquímedes                                       |     |
| 13.4.1. fuerza de flotación  | 447 |
| Para profundizar. Un barco en el dique seco                            | 448 |
| Problema de estudio 10:<br>Un accidente en la escala                   | 450 |
| 13.5. dinámica de fluidos  |     |
| 13.5.1. líneas de flujo  | 451 |
| 13.5.2. la ecuación de continuidad                                     | 452 |
| 13.5.3. la ley de Bernoulli  | 453 |
| 13.5.4. solución de problemas de dinámica de fluidos                   | 454 |
| 13.6. flujo incompresible de aire                                      |     |
| 13.6.1. flujo de aire por una ala                                      | 456 |
| 13.6.2. presión dinámica   | 457 |
| Resumen de capítulo  | 458 |
| Solución del ejercicio   | 459 |
| Conocimientos básicos  | 461 |
| Preguntas y problemas  | 462 |
| Problemas de la parte tres   | 470 |
| <b>Parte cuatro:<br/>Movimiento oscilatorio y ondulatorio</b>          | 472 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Capítulo 14. El movimiento oscilatorio</b>                                      |     |
| 14.1. movimiento armónico simple   |     |
| 14.1.1. fuerzas de restauración  | 473 |
| 14.1.2. ecuación del movimiento de una partícula oscilante                         |     |
| 14.1.3. analogía con el movimiento circular  | 474 |
| Herramientas matemáticas: funciones armónicas                                      | 476 |
| 14.1.4. uso de la solución del movimiento armónico simple                          | 477 |
| 14.2. el péndulo   |     |
| 14.2.1. péndulo simple   | 479 |
| 14.2.2. péndulo físico   | 480 |
| 14.3. la energía en el movimiento oscilatorio                                      | 482 |
| Problema de estudio 11: ¡salto de Bunge!   | 484 |
| 14.4. el efecto de las fuerzas externas  |     |
| 14.4.1. osciladores forzadas y resonancia  | 486 |
| Para profundizar: la amplitud de una oscilación forzada                            | 487 |
| Para profundizar: una fuerza impulsadora   |     |
| 14.4.2. amortiguamiento  | 488 |
| Resumen de capítulo  |     |
| Solución del ejercicio   | 491 |
| Conocimientos básicos  | 492 |
| Preguntas y problemas  | 493 |
| <b>Capítulo 15. Introducción al movimiento ondulatorio</b>                         | 497 |
| 15.1. ondas mecánicas  |     |
| 15.1.1. ¿Qué origina las ondas mecánicas?  | 498 |
| 15.1.2. el lenguaje de la teoría ondulatoria                                       | 500 |
| 15.2. descripción matemática de una perturbación ondulatoria                       |     |
| 15.2.1. la función de onda   | 503 |
| 15.2.2. ondas armónicas  | 504 |
| 15.2.3. la ecuación de onda  | 505 |
| Tema de matemáticas: demostración que $f(x+vt)$ es solución de la ecuación de onda | 508 |
| 15.2.4. deducción de la ecuación de onda para una cuerda                           |     |
| 15.3. transferencia de energía mediante a las ondas armónicas                      | 509 |
| 15.4. superposición  |     |
| 15.4.1. reflexiones de ondas en una frontera                                       | 510 |
| 15.4.2. ondas estacionarias  |     |
| Para profundizar: las ondas estacionarias y las notas musicales                    | 514 |
| 15.5. reflexión y transmisión de ondas en un empalme de dos cuerdas                | 515 |
| Resumen de capítulo  | 517 |
| Solución del ejercicio   |     |
| Conocimientos básicos  | 519 |
| Preguntas y problemas  | 520 |
| <b>Capítulo 16. Ondas sonoras y luminosas</b>                                      | 525 |
| 16.1. el sonido  | 526 |
| 16.1.1. ondas sonoras en un tubo   | 527 |
| Para profundizar: deducción de la ecuación (16.2)                                  |     |
| 16.1.2. velocidad del sonido   | 530 |
| 16.1.3. ondas sonoras estacionarias  | 532 |
| Para profundizar: la ecuación de onda para el sonido                               | 533 |

|   |     |
|---|-----|
| 16.2. la luz  |     |
| 16.2.1. el espectro electromagnético  | 534 |
| Para profundizar: velocidad de la luz   | 536 |
| Para profundizar: ¿Cómo detecta la luz el ojo? (Suzane McKee)   | 538 |
| 16.3. energía en el sonido y la luz   |     |
| 16.3.1. frentes de onda y rayos   | 539 |
| 16.3.2. la potencia de las ondas sonoras  | 540 |
| Para profundizar: ¿Cómo detecta el oído al sonido?  | 542 |
| 16.3.3. la ley del inverso del cuadrado   | 543 |
| 16.4. el efecto Doppler   |     |
| 16.4.1. fuente en movimiento con respecto al aire   | 544 |
| 16.4.2. observador en movimiento con respecto al aire   | 545 |
| 16.4.3. fuente y observador en movimiento con respecto al aire  | 546 |
| 16.4.4. el efecto Doppler en la luz   | 547 |
| 16.5. reflexión y refracción del sonido y la luz  |     |
| 16.5.4.1. ondas planas  | 549 |
| 16.5.2. reflexión de ondas planas   | 550 |
| 16.5.3. refracción de ondas planas  | 551 |
| 16.5.4. reflexión interna total   | 552 |
| 16.5.5. dispersión  | 554 |
| Resumen de capítulo   | 555 |
| Solución del ejercicio  | 556 |
| Conocimientos básicos   | 557 |
| Preguntas y problemas   | 558 |
| <b>Capítulo 17. Interferencia y difracción</b>  |     |
| 17.1. interferencia   | 564 |
| 17.1.1. superposición de dos funciones de onda armónicas  | 565 |
| 17.1.2. pulsaciones   | 566 |
| Para profundizar: distribución de la energía en las pulsaciones<br>Para profundizar: velocidad de fase y de grupo         | 568 |
| 17.1.3. interferencia entre dos fuentes de ondas separadas en el espacio  | 569 |
| 17.1.4. coherencia  | 572 |
| 17.1.5. interferencia en película delgada   | 573 |
| 17.2. el interferómetro de Michelson y el experimento de Michelson y Morley   | 575 |
| 17.3. la difracción   | 577 |
| 17.3.1. la abertura rectangular   | 579 |
| 17.3.2. la abertura circular  |     |
| 17.3.3. resolución  | 580 |
| 17.3.4. difracción e interferencia combinadas: la doble rendija   | 581 |
| 17.4. intensidad en los patrones de interferencia   |     |
| 17.4.1. redistribución de la energía en el patrón de interferencia con dos rendijas<br>Para profundizar: fuentes cercanas | 582 |
| 17.4.2. fasores   |     |
| 17.4.3. interferencia con fuentes múltiples   | 585 |
| 17.4.4. rejillas de difracción  | 587 |
| 17.4.5. intensidad en los patrones de difracción  | 588 |

|  |     |
|--|-----|
| 17.5. difracción de rayos X  | 589 |
| Resumen de capítulo  | 591 |
| Solución del ejercicio   | 592 |
| Conocimientos básicos  | 593 |
| Preguntas y problemas  | 594 |
| <b>Capítulo 18. Óptica geométrica</b>                                    | 599 |
| 18.1. imágenes formadas por superficies planas                           | 600 |
| 18.1.1. imágenes en un espejo plano                                      | 601 |
| 18.1.2. objetos, imágenes y convenciones de signo                        | 602 |
| 18.1.3. imágenes formadas por superficies retractoras                    | 604 |
| 18.2. imágenes formadas por superficies curvas                           |     |
| 18.2.1. espejos esféricos  | 605 |
| Para profundizar: frentes de onda  | 608 |
| 18.2.2. superficies reductoras esféricas                                 | 609 |
| 18.3. lentes   |     |
| 18.3.1. superficies ópticas en series                                    | 610 |
| 18.3.2. lentes delgadas  | 612 |
| 18.4. trazo de rayos de imágenes de objetos finitos                      |     |
| 18.4.1. imágenes en espejos planos                                       | 614 |
| Para profundizar: izquierda, derecha y paridad                           |     |
| 18.4.2. imágenes en espejos curvos                                       | 615 |
| 18.4.3. imágenes formadas por lentes delgadas                            | 617 |
| 18.4.4. visibilidad de las imágenes                                      | 619 |
| 18.5. sistemas ópticos compuestos  |     |
| 18.5.1. el ojo   | 620 |
| 18.5.2. la lupa simple   |     |
| 18.5.3. microscopios   | 621 |
| 18.5.4. telescopios  | 622 |
| Problema de estudio 12:<br>Las aberturas F                               | 623 |
| 18.5.5. telescopios-reflectores astronómicos                             | 624 |
| 18.6. Aberraciones   | 626 |
| Resumen de capítulo  | 627 |
| Solución del ejercicio   | 628 |
| Conocimientos básicos  | 629 |
| Preguntas y problemas  | 630 |
| Ensayo 5: trazo de rayos empleando una computadora (Dr. Michael Lampton) | 636 |
| Problemas de la parte cuatro   | 641 |
| <b>Parte cinco:</b><br><b>Termodinámica</b>                              | 645 |
| <b>Capítulo 19. la temperatura y la energía térmica</b>                  |     |
| 19.1. temperatura  |     |
| 19.1.1. sistemas termodinámicos  | 646 |
| 19.1.2. equilibrio térmico y la definición de la temperatura             | 647 |
| 19.1.3. termómetros y escalas de temperatura                             | 648 |
| Para profundizar: ¿Por qué un grado?                                     | 649 |
| 19.2. temperatura de un gas ideal  |     |
| 19.2.1. la ley del gas ideal   | 651 |

|   |     |
|---|-----|
| 19.2.2. moléculas y moldes  |     |
| 19.2.3. la relación entre la temperatura y la energía cinética interna en un gas ideal      | 653 |
| 19.2.4. la energía interna de un gas ideal monoatómico                                      | 654 |
| 19.3. la primera ley de la termodinámica  |     |
| 19.3.1. calor, trabajo y la primera ley de la termodinámica                                 | 655 |
| 19.3.2. trabajo efectuado por un gas ideal  | 657 |
| 19.4. el diagrama P-V   |     |
| 19.4.1. representación de un estado termodinámico en un diagrama P-V                        | 658 |
| 19.4.2. representación de procesos en el diagrama P-V                                       |     |
| 19.5. calores específicos de un gas ideal   |     |
| 19.5.1. transferencia de calor y calor específico   | 660 |
| 19.5.2. calor específico de un gas monoatómico a volumen constante                          |     |
| 19.5.3. calor específico de un gas ideal monoatómico a presión constante                    | 661 |
| 19.5.4. relación entre $C_p$ y $C_v$  | 662 |
| 19.6. procesos adiabáticos en un gas ideal  | 663 |
| Problema de estudio 13:<br>Un ciclo en el diagrama P-V                                      | 665 |
| 19.7. equipartición de la energía   |     |
| 19.7.1. modos de almacenamiento de energía  | 667 |
| 19.7.2. energía almacenada en cada modo   |     |
| 19.7.3. calores específicos de gases ideales poliatómicos                                   | 668 |
| 19.7.4. movimiento browniano  | 669 |
| Resumen de capítulo   | 670 |
| Solución del ejercicio  | 671 |
| Conocimientos básicos   | 672 |
| Preguntas y problemas   | 673 |
| <b>Capítulo 20. La termodinámica de las sustancias reales</b>                               | 678 |
| 20.1. el comportamiento de los gases reales   |     |
| 20.1.1. la ecuación de estado de van der Waals<br>Para profundizar: las fuerzas moleculares | 679 |
| 20.1.2. isothermas de la ecuación de van der Waals  | 681 |
| 20.2. cambio de fase  |     |
| 20.2.1. transiciones de fase a presión constante  | 682 |
| Para profundizar: ¿Por qué la temperatura es constante durante una transición de fase?      |     |
| 20.2.2. calor latente   | 683 |
| 20.3. dilatación térmica  |     |
| 20.3.1. dilatación lineal   | 685 |
| Para profundizar: expansión térmica de los sólidos  |     |
| 20.3.2. expansión volumétrica   | 686 |
| Para profundizar: ¿Cómo sobreviven os peces durante el invierno?                            |     |
| Problema de estudio 14:<br>Un interruptor térmico   | 688 |
| 20.4. calorimetría  |     |
| 20.4.1. calores específicos de las sustancias reales  | 689 |
| Para profundizar: la caloría  | 690 |

|  |     |
|--|-----|
| 20.4.2. capacidad calorífica   |     |
| 20.4.3. calorimetría   | 691 |
| 20.5. termometría  |     |
| 20.5.1. patrones de temperatura  | 692 |
| 20.5.2. termómetros prácticos  | 693 |
| Resumen de capítulo  | 694 |
| Solución del ejercicio   | 695 |
| Conocimientos básicos  |     |
| Preguntas y problemas  | 696 |
| Ensayo 6: las bajas temperaturas y su medición (J. M. Lockhart)  | 700 |
| Capítulo 21. Transferencia de calor  | 702 |
| Conducción   |     |
| 21.1.1. transición de calor a lo largo de una varilla  | 703 |
| Para profundizar: ¿por qué el flujo de calor por conducción es proporcional al gradiente de temperatura? |     |
| 21.1.2. flujo de calor en estado estable   | 705 |
| 21.1.3. resistencia térmica  | 707 |
| 21.2. convección   | 709 |
| Para profundizar: condiciones para la convección   | 710 |
| 21.3. radiación  |     |
| 21.3.1. La naturaleza de la radiación térmica  | 711 |
| 21.3.2. radiación y transporte del calor   | 712 |
| 21.4. un método empírico para determinar la transferencia de calor: la ley de Newton del enfriamiento    | 713 |
| Resumen de capítulo  | 714 |
| Solución del ejercicio   | 715 |
| Conocimientos básicos  |     |
| Preguntas y problemas  | 716 |
| <b>Capítulo 22. Entropía y la segunda ley de la termodinámica</b>  | 720 |
| 22.1. ¿Por qué es necesaria la segunda ley de la termodinámica?  | 721 |
| 22.2. máquinas térmicas  |     |
| 22.2.1. eficiencia de los motores  | 722 |
| 22.2.2. el ciclo de Otto   | 723 |
| 22.3. el ciclo de Carnot   |     |
| 22.3.1. un ciclo reversible  | 725 |
| 22.3.2. refrigeradores   | 726 |
| 22.4. la entropía  |     |
| 22.4.1. el ciclo de Carnot y el cambio de entropía   | 728 |
| 22.4.2. el cambio de entropía en un proceso arbitrario   | 729 |
| 22.4.3. la entropía como variable de estado  | 730 |
| 22.4.4. cambio de entropía y reversibilidad  | 731 |
| 22.5. un límite de la eficiencia   | 734 |
| 22.6. el significado del cero absoluto   |     |
| 22.6.1. la escala termodinámica de temperaturas  | 735 |
| 22.6.2. el cero absoluto   |     |
| 22.7. mecánica estadística   | 736 |
| 22.7.1. el factor de Boltzmann   |     |
| Para profundizar: ¿Qué es una distribución?  |     |
| 22.7.2. la distribución de Maxwell- Boltzmann  | 738 |

|   |     |
|---|-----|
| 22.7.3. el camino libre medio y el establecimiento del equilibrio | 741 |
| Para profundizar: la caminata del borracho                        |     |
| 22.7.4. perspectiva microscópica de la entropía                   | 743 |
| 22.7.5. la entropía y el equilibrio                               | 744 |
| Resumen de capítulo   | 745 |
| Solución del ejercicio  | 746 |
| Conocimientos básicos   | 747 |
| Preguntas y problemas   | 748 |
| Ensayo 7: entropía, evolución y la flecha del tiempo              | 753 |