

Contenido

Acerca del autor	xii
Prefacio	xiii
Introducción para los estudiantes	xxii
Dedicatorias	xxv
Agradecimientos	xxvi

Unidad R

Las leyes de la física son independientes de los marcos de referencia

Capítulo R1

El principio de relatividad	2
Panorama del capítulo	2
R1.1: Introducción al principio	4
R1.2: Eventos y coordenadas espacio-tiempo	6
R1.3: Marcos de referencia	8
R1.4: Marcos de referencia inerciales	10
R1.5: El principio de relatividad: Enunciado final	12
R1.6: Relatividad newtoniana	13
Problemas de dos minutos	17
Problemas de tarea	18
Respuestas a los ejercicios	21

Capítulo R2

Sincronización de relojes	22
Panorama del capítulo	22
R2.1: El problema de las ondas electromagnéticas	24
R2.2: Sincronización relativista de relojes	28
R2.3: Unidades SR	29
R2.4: Diagramas espacio-tiempo	32
R2.5: Diagramas espacio-tiempo como películas	35
R2.6: El método de radar	35
Problemas de dos minutos	38
Problemas de tarea	39
Respuestas a los ejercicios	43

Capítulo R3

La naturaleza del tiempo	44
Panorama del capítulo	44

R3.1: Tres tipos de tiempo	46
R3.2: El tiempo coordinado es dependiente del marco	46
R3.3: El mismo resultado a partir del método de radar	49
R3.4: La analogía geométrica	50
R3.5: Tiempo propio y el intervalo espacio-tiempo	53
Problemas de dos minutos	57
Problemas de tarea	58
Respuestas a los ejercicios	61

Capítulo R4

La ecuación métrica	62
Panorama del capítulo	62
R4.1: Introducción a la ecuación métrica	64
R4.2: Obtención de la ecuación métrica	65
R4.3: Acerca de los desplazamientos perpendiculares	67
R4.4: Evidencia experimental que apoya la ecuación métrica	70
R4.5: El espacio-tiempo <i>no</i> es euclidiano	71
R4.6: Más acerca de la analogía geométrica	73
R4.7: Algunos ejemplos	75
Problemas de dos minutos	
Problemas de tarea	
Respuestas a los ejercicios	

Capítulo R5

El tiempo propio	82
Panorama del capítulo	82
R5.1: Un sendero curvado	84
R5.2: Líneas de mundo curvadas en el espacio-tiempo	85
R5.3: La aproximación binomial	90
R5.4: El intervalo espacio-tiempo es el tiempo propio más largo posible	92
R5.5: Evidencia experimental	94
R5.6: La paradoja de los gemelos	96
Problemas de dos minutos	99
Problemas de tarea	100
Respuestas a los ejercicios	104

Capítulo R6

Transformación de coordenadas	106
Panorama del capítulo	106
R6.1: Panorama de los diagramas de dos observadores	108
R6.2: Convenciones	109
R6.3: Dibujo del eje t' del diagrama	111
R6.4: Dibujo del eje x' del diagrama	113
R6.5: Lectura del diagrama de dos observadores	115
R6.6: La transformación de Lorentz	117
Problemas de dos minutos	121
Problemas de tarea	122
Respuestas a los ejercicios	126

Capítulo R7

La contracción de Lorentz	128
Panorama del capítulo	128
R7.1: La longitud de un objeto en movimiento	130
R7.2: Diagrama de dos observadores de una barra	130
R7.3: ¿Qué causa la contracción?	133
R7.4: La contracción es simétrica en los marcos	134
R7.5: La paradoja del granero y la pértiga	136
R7.6: Otras formas para definir la longitud	140
Problemas de dos minutos	141
Problemas de tarea	142
Respuestas a los ejercicios	146

Capítulo R8

El límite de la rapidez cósmica	148
Panorama del capítulo	148
R8.1: Causalidad y relatividad	150
R8.2: Intervalos parecidos al tiempo, parecidos a la luz y parecidos al espacio	153
R8.3: La estructura causal del espacio-tiempo	157
R8.4: La transformación de velocidad de Einstein	159
Problemas de dos minutos	163
Problemas de tarea	164
Respuestas a los ejercicios	168

Capítulo R9

Cuadrimentum	170
Panorama del capítulo	170
R9.1: Un plan de acción	172
R9.2: La conservación del momentum newtoniano no es independiente del marco	173
R9.3: El vector cuadrimentum	175
R9.4: Propiedades del cuadrimentum	178
R9.5: Cuadrimentum y relatividad	180

R9.6: Componentes tiempo y espacio del cuadrimentum	182
Problemas de dos minutos	186
Problemas de tarea	186
Respuestas a los ejercicios	189

Capítulo R10

Conservación del cuadrimentum	190
Panorama del capítulo	190
R10.1: Diagramas energía-momentum	192
R10.2: Cómo trabajar problemas de conservación e cuadrimentum	195
R10.3: La masa de un sistema de partículas	198
R10.4: El cuadrimentum de la luz	201
R10.5: Aplicaciones a la física de partículas	204
R10.6: Comentarios de partida	206
Problemas de dos minutos	207
Problemas de tarea	208
Respuestas a los ejercicios	210

Unidad E*Los campos eléctrico y magnético están unificados***Capítulo E1**

Electrostática	214
Panorama del capítulo	214
E1.1: Introducción a la unidad	216
E1.2: ¿Cuál es la naturaleza de la carga?	217
E1.3: Cómo se cargan los objetos	219
E1.4: Conservación de carga	222
E1.5: Ley de Coulomb	222
E1.6: Conductores y aisladores	227
E1.7: Polarización electrostática	228
Problemas de dos minutos	231
Problemas de tarea	232
Respuestas a los ejercicios	234

Capítulo E2

Campos eléctricos	236
Panorama del capítulo	236
E2.1: El concepto de campo	238
E2.2: Una definición operativa de \vec{E}	239
E2.3: El campo de una carga puntual	241
E2.4: El principio de superposición	244

E2.5	El campo de un dipolo	246
E2.6	Manejo de distribuciones de carga	248
	Problemas de dos minutos	252
	Problemas de tarea	253
	Respuestas a los ejercicios	257

Capítulo E3

Potencial eléctrico 258

	Panorama del capítulo	258
E3.1	El potencial eléctrico	260
E3.2	Cálculo de ϕ a partir de \vec{E}	263
E3.3	Cálculo de \vec{E} a partir de ϕ	266
E3.4	Teoremas útiles acerca de distribuciones de carga	270
E3.5	El campo eléctrico como energía dispersada	273
	Problemas de dos minutos	274
	Problemas de tarea	275
	Respuestas a los ejercicios	280

Capítulo E4

Conductores 282

	Panorama del capítulo	282
E4.1	Introducción a la corriente	284
E4.2	Un modelo microscópico	286
E4.3	Densidad de corriente	290
E4.4	Cargas estáticas sobre conductores	293
E4.5	Capacitancia	296
	Problemas de dos minutos	298
	Problemas de tarea	299
	Respuestas a los ejercicios	303

Capítulo E5

Corrientes impulsadas 304

	Panorama del capítulo	304
E5.1	Modelo mecánico de una batería	306
E5.2	Las cargas superficiales conducen corrientes	308
E5.3	La fem de una batería	310
E5.4	Resistencia	314
E5.5	La potencia disipada en un conductor	317
E5.6	Descarga de un capacitor	318
	Problemas de dos minutos	321
	Problemas de tarea	322
	Respuestas a los ejercicios	327

Capítulo E6

Análisis de circuitos 328

	Panorama del capítulo	328
--	-----------------------	-----

E6.1	Dos alambres en serie	330
E6.2	Elementos de circuito en serie	332
E6.3	Diagramas de circuito	334
E6.4	Elementos de circuito en paralelo	337
E6.5	Análisis de circuitos complejos	340
E6.6	Baterías reales	342
E6.7	Tópicos de seguridad eléctrica	343
	Problemas de dos minutos	344
	Problemas de tarea	345
	Respuestas a los ejercicios	349

Capítulo E7

Campos magnéticos 350

	Panorama del capítulo	350
E7.1	El fenómeno del magnetismo	352
E7.2	La definición del campo magnético	353
E7.3	Fuerzas magnéticas sobre cargas en movimiento	355
	Una partícula libre en un campo magnético uniforme	360
E7.5	La fuerza magnética sobre un alambre	364
	Problemas de dos minutos	369
	Problemas de tarea	370
	Respuestas a los ejercicios	375

Capítulo E8

Corrientes e imanes 376

	Panorama del capítulo	376
E8.1	Creación de corrientes en conductores en movimiento	378
E8.2	El campo magnético de una carga en movimiento	381
E8.3	El campo magnético de un segmento de alambre	385
E8.4	El campo magnético de un largo alambre recto	387
E8.5	El campo magnético de un lazo circular	389
E8.6	Todos los imanes involucran cargas en circulación	390
	Problemas de dos minutos	393
	Problemas de tarea	395
	Respuestas a los ejercicios	399

Capítulo E9

Simetría y flujo 402

	Panorama del capítulo	402
E9.1	Argumentos de simetría	404
E9.2	Los campos eléctricos de los objetos simétricos	405

E9.3	La regla del espejo para campos magnéticos	409	Problemas de tarea	488
E9.4	Los campos magnéticos de las distribuciones simétricas de corriente	410	Respuestas a los ejercicios	492
E9.5	El flujo a través de una superficie	414		
	Problemas de dos minutos	418		
	Problemas de tarea	419		
	Respuestas a los ejercicios	422		
Capítulo E10				
Ley de Gauss		424		
	Panorama del capítulo	424		
E10.1	Ley de Gauss	426		
E10.2	Uso de la ley de Gauss para calcular campos eléctricos	428		
E10.3	El campo de una distribución esférica de carga	430		
E10.4	El campo de una distribución cilíndrica infinita	432		
E10.5	El campo de una lámina plana infinita	434		
E10.6	Ley de Gauss para el campo magnético	437		
	Problemas de dos minutos	440		
	Problemas de tarea	442		
	Respuestas a los ejercicios	447		
Capítulo E11				
Ley de Ampère		448		
	Panorama del capítulo	448		
E11.1	Ley de Ampère	450		
E11.2	Uso de la ley de Ampère	452		
E11.3	El campo magnético de una distribución axial de corriente	454		
E11.4	El campo magnético de una lámina plana infinita	456		
E11.5	El campo magnético de un solenoide infinito	458		
E11.6	Ley de Ampère para el campo eléctrico	461		
	Problemas de dos minutos	464		
	Problemas de tarea	465		
	Respuestas a los ejercicios	470		
Capítulo E12				
El campo electromagnético		472		
	Panorama del capítulo	472		
E12.1	¿Por qué \vec{E} y \vec{B} deben estar relacionados?	474		
E12.2	¿Cómo se transforman los campos?	478		
E12.3	Una barra que se mueve en un campo magnético	484		
E12.4	Movimiento en un selector de velocidad	486		
	Problemas de dos minutos	487		
Capítulo E13				
Ecuaciones de Maxwell		494		
	Panorama del capítulo	494		
E13.1	Introducción a los campos dinámicos	496		
E13.2	Corrección de la ley de Ampère	497		
E13.3	Ley de Faraday	501		
E13.4	Las leyes de Gauss no requieren corrección	506		
E13.5	Ecuaciones de Maxwell	508		
E13.6	Ecuaciones de campo local (opcional)	509		
	Problemas de dos minutos	512		
	Problemas de tarea	514		
	Respuestas a los ejercicios	518		
Capítulo E14				
Inducción		520		
	Panorama del capítulo	520		
E14.1	Flujo magnético y fem inducida	522		
E14.2	Ley de Lenz	524		
E14.3	Autoinducción	526		
E14.4	“Descarga” de un inductor	528		
E14.5	La energía en un campo magnético	530		
E14.6	Transformadores	532		
	Problemas de dos minutos	535		
	Problemas de tarea	536		
	Respuestas a los ejercicios	540		
Capítulo E15				
Introducción a las ondas		542		
	Panorama del capítulo	542		
E15.1	¿Qué es una onda?	544		
E15.2	Una onda sinusoidal	547		
E15.3	La velocidad de fase de una onda	549		
E15.4	La ecuación de onda	552		
	Problemas de dos minutos	559		
	Problemas de tarea	559		
	Respuestas a los ejercicios	562		
Capítulo E16				
Ondas electromagnéticas		564		
	Panorama del capítulo	564		
E16.1	Ondas electromagnéticas	566		
E16.2	Características de las ondas electromagnéticas	569		
E16.3	La energía en una onda electromagnética	573		
E16.4	La potencia irradiada por una carga	574		

E16.5	¿Por qué el cielo es azul?	576
E16.6	El arco iris de Maxwell	577
	Problemas de dos minutos	580
	Problemas de tarea	580
	Respuestas a los ejercicios	583

Unidad Q

Las partículas se comportan como ondas

Capítulo Q1

Ondas estacionarias

	Panorama del capítulo	588
Q1.1	Introducción a la unidad	590
Q1.2	Ondas de tensión y sonoras	591
Q1.3	El principio de superposición	592
Q1.4	Reflexión	594
Q1.5	Ondas estacionarias	596
Q1.6	El teorema de Fourier	600
Q1.7	Resonancia	601
	Problemas de dos minutos	604
	Problemas de tarea	605
	Respuestas a los ejercicios	608

Capítulo Q2

La naturaleza ondulatoria de la luz

	Panorama del capítulo	610
Q2.1	Interferencia de dos rendijas	612
Q2.2	Interferencia de luz por dos rendijas	617
Q2.3	Difracción	621
Q2.4	Resolución óptica	626
	Problemas de dos minutos	629
	Problemas de tarea	630
	Respuestas a los ejercicios	633

Capítulo Q3

La naturaleza corpuscular de la luz

	Panorama del capítulo	636
Q3.1	El efecto fotoeléctrico	638
Q3.2	Experimentos fotoeléctricos idealizados	638
Q3.3	Predicciones del modelo ondulatorio	641
Q3.4	Confrontación de los hechos	643
Q3.5	El modelo fotónico de la luz	644
Q3.6	Detección de fotones individuales	649
	Problemas de dos minutos	650
	Problemas de tarea	650
	Respuestas a los ejercicios	652

Capítulo Q4

La naturaleza ondulatoria de la materia

	Panorama del capítulo	654
Q4.1	Partículas subatómicas como partículas	656
Q4.2	La hipótesis de De Broglie	657
Q4.3	Preparación de un haz de electrones	658
Q4.4	El experimento Davisson-Germer	661
Q4.5	Interferencia de electrones	663
Q4.6	Ondas de materia	664
	Problemas de dos minutos	669
	Problemas de tarea	670
	Respuestas a los ejercicios	672

Capítulo Q5

Los hechos cuánticos de la vida

	Panorama del capítulo	674
Q5.1	¿Partícula u onda?	676
Q5.2	Interferencia de un solo cuantón	676
Q5.3	Consecuencias	678
Q5.4	Una búsqueda desesperada de trayectorias	681
Q5.5	Experimentos de espín	682
Q5.6	Números complejos	686
	Problemas de dos minutos	689
	Problemas de tarea	691
	Respuestas a los ejercicios	692

Capítulo Q6

La función de onda

	Panorama del capítulo	694
Q6.1	El juego de la mecánica cuántica	696
Q6.2	Las reglas	697
Q6.3	La función de onda	703
Q6.4	Explicación del experimento de dos rendijas	707
Q6.5	El colapso de la función de onda	710
	Problemas de dos minutos	711
	Problemas de tarea	713
	Respuestas a los ejercicios	716

Capítulo Q7

Sistemas ligados

	Panorama del capítulo	718
Q7.1	Una introducción a los sistemas ligados	720
Q7.2	Eigenfunciones de energía	721
Q7.3	Un cuantón en una caja	723
Q7.4	El oscilador armónico simple	726
Q7.5	El modelo de Bohr del átomo de hidrógeno	728
	Problemas de dos minutos	732
	Problemas de tarea	732
	Respuestas a los ejercicios	735

Capítulo Q8**Espectros 736**

	Panorama del capítulo	736
Q8.1	Diagramas de niveles de energía	738
Q8.2	La emisión espontánea de fotones	739
Q8.3	Líneas espectrales	740
Q8.4	Líneas de absorción	743
Q8.5	La física del espín	744
Q8.6	El principio de exclusión de Pauli	749
	Problemas de dos minutos	751
	Problemas de tarea	752
	Respuestas a los ejercicios	756

Capítulo Q9**Comprensión de los átomos 758**

	Panorama del capítulo	758
Q9.1	Ondas radiales y angulares	760
Q9.2	La tabla periódica	764
Q9.3	Reglas de selección	767
Q9.4	Emisión estimulada y láseres	769
	Problemas de dos minutos	772
	Problemas de tarea	773
	Respuestas a los ejercicios	774

Capítulo Q10**La ecuación de Schrödinger 776**

	Panorama del capítulo	776
Q10.1	Generalización de la relación de De Broglie	778
Q10.2	Longitud de onda local	780
Q10.3	Cómo encontrar la ecuación de Schrödinger	782
Q10.4	Cómo resolver la ecuación de Schrödinger	783
Q10.5	Un algoritmo numérico	786
Q10.6	Uso del SchroSolver	789
	Problemas de dos minutos	792
	Problemas de tarea	792
	Respuestas a los ejercicios	794

Capítulo Q11**Eigenfunciones de energía 796**

	Panorama del capítulo	796
Q11.1	Cómo se curvan las eigenfunciones de energía	798
Q11.2	Por qué están cuantizadas las energías de estado ligado	800
Q11.3	Efecto túnel	803
Q11.4	Bosquejo de las eigenfunciones de energía	806
Q11.5	El enlace covalente	809

Problemas de dos minutos	811
Problemas de tarea	812
Respuestas a los ejercicios	814

Capítulo Q12**Introducción a los núcleos 816**

	Panorama del capítulo	816
Q12.1	Introducción a la estructura nuclear	818
Q12.2	El tamaño del núcleo	819
Q12.3	La interacción fuerte	821
Q12.4	Energía de enlace y masa	822
Q12.5	Preguntas acerca de la estabilidad nuclear	827
Q12.6	Un panorama histórico de la radiactividad	828
	Problemas de dos minutos	830
	Problemas de tarea	831
	Respuestas a los ejercicios	832

Capítulo Q13**Núcleos estables e inestables 834**

	Panorama del capítulo	834
Q13.1	La interacción débil	836
Q13.2	¿Por qué $N \approx Z$?	837
Q13.3	¿Por qué $N > Z$ para núcleos grandes?	839
Q13.4	Términos clásicos en la energía de enlace	841
Q13.5	El término de asimetría	843
Q13.6	Corroboración contra la realidad	845
	Problemas de dos minutos	848
	Problemas de tarea	848
	Respuestas a los ejercicios	850

Capítulo Q14**Radiactividad 852**

	Panorama del capítulo	852
Q14.1	Desintegración beta	854
Q14.2	Desintegración alfa	858
Q14.3	Desintegración gamma	861
Q14.4	Un repaso de exponenciales y logaritmos	862
Q14.5	Tasas de desintegración	863
	Problemas de dos minutos	868
	Problemas de tarea	869
	Respuestas a los ejercicios	871

Capítulo Q15**Tecnología nuclear 872**

	Panorama del capítulo	872
Q15.1	La capacidad de penetración de la radiación	874
Q15.2	Los efectos biológicos de la radiación	875

Q15.3	Usos de sustancias radiactivas	877
Q15.4	Introducción a la energía nuclear	879
Q15.5	Fisión	881
Q15.6	Fusión	886
	Problemas de dos minutos	889
	Problemas de tarea	889
	Respuestas a los ejercicios	891

Apéndice RA

Conversión de ecuaciones a unidades SI	892
--	-----

RA.1:	¿Por qué usar unidades SR?	892
RA.2:	Conversión de cantidades básicas	892
RA.3:	Cómo convertir ecuaciones con unidades SR en ecuaciones con unidades SI	893
RA.4:	Unidades SR basadas en energía	895
RA.5:	Ejercicios para practicar	895
	Respuestas breves a los ejercicios	896

Apéndice RB

El efecto Doppler relativista	897
-------------------------------	-----

RB.1:	Introducción al efecto Doppler	897
RB.2:	Derivación de la fórmula del corrimiento Doppler	897
RB.3:	Aplicaciones en astronomía	900
RB.4:	El límite no relativista	901
RB.5:	Radar Doppler	901

Problemas de tarea	902
Respuestas a los ejercicios	902

Apéndice RC

Datos astronómicos útiles	903
---------------------------	-----

Apéndice EA

Constantes y unidades electromagnéticas, factores de conversión, integrales útiles, ecuaciones de Maxwell	904
---	-----

Apéndice QA

Constantes útiles de mecánica cuántica, unidades especiales y factores de conversión, masas de cuantones básicos, números complejos, producto interno de vectores complejos, información útil	905
---	-----

Glosario	907
Símbolos y sus significados	929
Créditos	933
Índice	935