

INDICE

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 referencias	8
R1.4: Marcos de referencias 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 a la ecuación métrica	64
R4.3: Acerca de los desplazamientos perpendiculares	67
R4.4: Evidencia experimental que apoya la ecuación métrica	70
R4.5: El espacio – tiempo no es euclidiano	71
R4.6: Más acerca de la analogía geométrica	73
R4.7: Algunos ejemplos	75
Problemas de dos minutos	77
Problemas de tarea	78
Respuestas a los ejercicios	81
Capítulo R5	82
El tiempo propio	
Panorama del capítulo	82
R5.1: Un sendero curvado	84
R5.2: Líneas de mundo curvados 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	106
Transformación de coordenadas	
Panorama del capítulo	106
R6.1: Panorama de los diagramas de dos observadores	108
R6.2: Conversiones	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	128
La contracción de Lorentz	
Panorama del capítulo	128
Panorama del capítulo	128
R7.1: La longitud de un objeto en movimiento	130
R7.2: Diagramas de dos observadores	130
R7.3: ¿Qué causa la contradicción?	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	148
El límite de la rapidez cósmica	

Panorama del capítulo	148
R8.1: Casualidad y relatividad	150
R8.2: Intervalos parecidos al tiempo, parecidos a la luz y parecidos al espacio	153
R8.3: La estructura casual del espacio – tiempo	157
R8.4: La transformación de velocidad de Einstein	159
Problemas de dos minutos	163
Problemas de tarea	134
Respuestas a los ejercicios	168
Capítulo R9	170
Cuadrimentum	
Panorama del capítulo	170
R9.1: Un plan de acción	172
R9.2: La conservación del momentum newtoniano no es independiente del marco	153
R8.3: El vector cuadrimentum	175
R8.4: Propiedades del cuadrimentum	178
R8.5: 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	190
Conservación de cuadrimentum	
Panorama del capítulo	190
R10.1: Diagramas energía – momentum	190
R10.2: Cómo trabajar problemas de conservación de 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 eléctricos y magnéticos están unificados	
Capítulo E1	214
Electrostática	
Panorama del capítulo	214
Introducción a la unidad	216
¿Cuál es la naturaleza de la carga?	217
Cómo se cargan los objetos	219
Conservación de carga	222
Ley de Coulomb	222
Conductores y aisladores	227
Polarización electrostática	228
Problemas de dos minutos	231
Problemas de tarea	232
Respuestas a los ejercicios	234

Capítulo E2	236
Campos eléctricos	
Panorama del capítulo	236
El concepto de campo	238
Una definición operativa de E	239
El campo de una carga puntual	241
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	258
Potencial eléctrico	
Panorama del capítulo	258
E3.1: El potencial eléctrico	260
E3.2: Cálculo de ϕ a partir de E	263
E3.3: Cálculo de 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	282
Conductores	
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	304
Corrientes impulsadas	
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	328
Análisis de circuitos	
Panorama del capítulo	328

E6.1: Dos alambres en serie	330
E6.2: Elementos del circuitos 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	350
Campos magnéticos	
Panorama del capítulo	350
E7.1: El fenómeno de magnetismo	352
E7.2: La definición del campo magnético	353
E7.3: Fuerzas magnéticas sobren cargas en movimiento	355
E7.4: 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	376
Corrientes e imanes	
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	402
Simetría y flujo	
Panorama del capítulo	402
E9.1: Argumentos del capítulo	402
E9.2: Los campos eléctricos de los objetos simétricos	405
E9.3: La regla del espejo para campos magnéticos	409
E9.4: Los campos magnéticos de las distribuciones simétricas de corriente	410
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.	424
Ley de Gauss	
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	448
Ley de Ampere	
Panorama del capítulo	448
E11.1. Ley de Ampere	450
E11.2. Uso de la Ley de Ampere	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 Ampere para el campo eléctrico	437
Problemas de dos minutos	464
Problemas de tarea	465
Respuestas a los ejercicios	470
Capítulo E12	472
El campo	
El campo electromagnético	472
E12.1: ¿Por qué E y 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: Movimientos en un selector de velocidad	486
Problemas de dos minutos	487
Problemas de tarea	488
Respuestas a los ejercicios	492
Capítulo E13	494
Ecuaciones de Maxwell	
Panorama del capítulo	494
E13.1: Introducción a los campos dinámicos	496
E13.2: Corrección de la ley de Ampere	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	520
Inducción	
Panorama del capítulo	520
E14.1: Flujo magnético y fen inducida	522
E14.2: Ley de Lenz	524
E14.3: Autoinducción	526
E14.4: “Descarga” de un inductor	528

E14.5: La energía de un campo magnético	530
E14.6. Transformadores	532
Problemas de dos minutos	535
Problemas de tarea	536
Respuestas a los ejercicios	540
Capítulo E15	542
Introducción a las ondas	
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	564
Ondas electromagnéticas	
Panorama del capítulo	564
E16.1: Ondas del capítulo	564
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	588
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	610
La naturaleza ondulatoria de la luz	
Panorama del capítulo	610
Q2.1: Interferencias 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	636
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 de modelos ondulatorios	641
Q3.4: Confrontación de los hechos	643
Q3.5: El modelo fotónico de la luz	644
Q3.6: Detención de los fotones individuales	649
Problemas de dos minutos	650
Problemas de tarea	650
Respuestas a los ejercicios	652
Capítulo Q4	654
La naturaleza ondulatorio 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 – Gemen	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	674
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	694
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	718
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	736
Espectro	
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	758
Compresión de los átomos	
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	776
La ecuación de Schrodinger	
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 schrodinger	782
Q10.4: Cómo resolver la ecuación de schrodinger	783
Q10.5: Un algoritmo numérico	786
Q10.6: Uso de schrodinger	789
Problemas de dos minutos	792
Problemas de tarea	792
Respuestas a los ejercicios	794
Capítulo Q11	796
Eigenfunciones de energía	
Panorama del capítulo	796

Q11.1: Cómo se curvan las eigenfunciones de energía	798
Q11.2: Por qué están cuantificadas las energías de estado ligado	800
Q11.3: Efecto túnel	803
Q11.4: Bosquejos 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	816
Introducción a los núcleos	
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	834
Núcleos estable e inestables	
Panorama del capítulo	834
Q13.1: La interacción débil	836
Q13.2: ¿Por qué $N = Z$?	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	852
Radiactividad	
Panorama del capítulo	852
Q14.1: Desintegración beta	854
Q14.2: Desintegración alfa	858
Q14.3: Desintegración gamma	861
Q14.4: Un espacio 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	872
Tecnología nuclear	
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 participar	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 tareas	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, masa de cuantones básicos, números complejos, producto interno de vectores complejos, información útil	905
Glosario	907
Símbolos y sus significado	929
Créditos	933
Índice	935