

ÍNDICE GENERAL

Prólogo	xxiii
1. Introducción	1
1.1. La Ciencia Física	1
1.2. El método científico	2
1.3. Física clásica y Física moderna	4
1.4. Ámbito y partes de la Física	5
1.5. Leyes de conservación y fuerzas fundamentales	8
1.6. Principio de correspondencia	10
1.7. Relación de la Física con otras ciencias	10
1.7.1. <i>Influencia de la Física en otras disciplinas</i>	10
1.7.2. <i>Influencia de otras ciencias en la Física</i>	10
1.7.3. <i>Impacto de la Física en la sociedad</i>	11
1.8. Notación científica y orden de magnitud en física	11
Cuestiones	14
2. Sistemas de unidades	15
2.1. Magnitudes, cantidades y unidades	15
2.2. Clasificación de las magnitudes	17

2.3. Leyes físicas y constantes universales: sistemas coherentes de unidades	17
2.4. Ecuaciones de dimensión	19
2.5. Análisis dimensional: el teorema II	20
2.6. Sistemas de unidades	23
2.7. El Sistema Métrico	24
2.8. El sistema internacional de unidades (SI)	26
2.8.1. Unidades básicas del SI	27
2.8.2. Múltiplos y submúltiplos en el SI	28
Cuestiones y ejercicios	29
3. Nociones de metrología	31
3.1. La medición de magnitudes físicas: patrones e instrumentos	31
3.2. Magnitudes de influencia y condiciones de referencia: correcciones	33
3.3. Incertidumbre de medida y su propagación	34
Cuestiones y ejercicios	40
4. Vectores y sistemas de vectores	43
4.1. Magnitudes escalares y vectoriales: concepto geométrico de vector	43
4.2. Los vectores como elementos de un espacio vectorial	44
4.3. Sistemas de referencia y orientación del espacio	46
4.4. Producto escalar de dos vectores	48
4.5. Espacio vectorial euclídeo y propiamente euclídeo	50
4.6. Coordenadas cartesianas ortogonales	50
4.7. Coordenadas curvilíneas	52
4.7.1. Coordenadas cilíndricas	52
4.7.2. Coordenadas esféricas	53
4.8. Producto vectorial de dos vectores	54
4.9. Otras operaciones vectoriales notables	55
4.9.1. Producto mixto	56
4.9.2. Doble producto vectorial	56
4.9.3. Productos escalar y vectorial de dos productos vectoriales	58
4.10. Vectores deslizantes y ligados: operaciones básicas	58
4.10.1. Operaciones sobre vectores deslizantes	59
4.10.2. Operaciones sobre vectores ligados	60
4.11. Sistemas de vectores deslizantes	60

4.12. Reducción de un sistema de vectores deslizantes	62
4.13. Sistemas de vectores ligados	66
4.14. Función vectorial de variable escalar	67
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	69
5. Estática de sólido rígido	73
5.1 Definición de punto material, sólido rígido, masa y fuerza	73
5.2. Ecuaciones universales del equilibrio	75
5.3. Fuerzas de enlace o de ligadura: reacciones y esfuerzos interiores	76
5.4. Rozamiento estático: Leyes de Coulomb	78
5.5. Conos de rozamiento	79
5.6. Vínculo perfectamente liso	80
5.7. Rozamiento a la rodadura	81
5.8. Rozamiento al pivotamiento	82
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	85
6. Cinemática del punto	87
6.1. Referencia cinemática	87
6.2. Velocidad y aceleración	88
6.3. La función espacio: definición escalar de la velocidad y de la aceleración	89
6.4. Triedro intrínseco y curvaturas de flexión y torsión	93
6.4.1. <i>Curvaturas de flexión y torsión</i>	95
6.4.2. <i>Fórmulas de Frenet</i>	95
6.5. Componentes intrínsecas de la velocidad y la aceleración	96
6.6. Teorema de la proyección	97
6.7. Movimiento armónico simple: representación mediante números complejos	97
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	100
7. Cinemática de sistemas	103
7.1. Sistema indeformable: sólido rígido	103
7.2. Teorema de las velocidades proyectadas	104
7.3. Movimiento de traslación	105
7.4. Movimiento de rotación	105

7.4.1. Vector velocidad angular	106
7.4.2. Velocidad y aceleración de los puntos de un sistema con movimiento de rotación	108
7.5. Campo de velocidades y aceleraciones en el movimiento general de un sistema	110
7.6. Movimiento relativo de un sistema indeformable	112
7.7. Eje instantáneo de rotación y traslación mínima	115
7.8. Movimiento relativo de dos superficies en contacto	117
7.9. Movimiento relativo de un punto: composición de movimientos	117
7.9.1. Velocidades de arrastre y relativa	118
7.9.2. Aceleraciones de arrastre, relativa y complementaria o de Coriolis	119
Cuestiones y ejercicios	120
8. Dinámica del punto	123
8.1. Dinámica: su objetivo	123
8.1.1. Clasificación de la dinámica	124
8.1.2. Hipótesis previas	124
8.2. Leyes o principios de Newton	125
8.2.1. Sistema inercial	126
8.2.2. Masa inerte y fuerza motriz	127
8.2.3. Integrales primeras y condiciones de contorno	128
8.3. Ecuaciones intrínsecas de la dinámica	132
8.4. Magnitudes cinéticas	132
8.4.1. Cantidad de movimiento	132
8.4.3. Energía cinética	133
8.5. Trabajo y potencia	134
8.5.1. Trabajo	134
8.5.2. Potencia	137
8.5.3. Unidades y dimensiones de trabajo y potencia	137
8.6. Teoremas fundamentales	137
8.6.1. Teorema de la cantidad de movimiento	137
8.6.2. Teorema del momento cinético	139
8.6.3. Teorema de la energía cinética	141
8.7. Ecuación fundamental de la dinámica para sistemas puntuales de masa variable	143
Cuestiones y ejercicios	146

9. Trabajo y energía I	149
9.1. Campos escalares y vectoriales	149
9.1.1. Campos planos	150
9.2. Circulación de un campo vectorial	151
9.3. Gradiente de un campo escalar	152
9.3.1. El gradiente en coordenadas ortogonales	153
9.4. Función potencial	154
9.5. Movimiento de un punto material cuando la fuerza aplicada deriva de la potencia	156
9.6. Teorema de la conservación de la energía mecánica	157
9.7. Identificación de leyes de fuerza conservativa	158
Cuestiones y ejercicios	161
10. Trabajo y energía II	163
10.1. Movimiento rectilíneo de un punto material bajo fuerza conservativa dependiente sólo de la distancia a un plano fijo	163
10.1.1. Discusión del movimiento: barreras y pozos de potencial	164
10.2. Análisis dinámico del oscilador simple	168
10.2.1. Funciones horaria y cinemática	169
10.2.2. Estudio energético del oscilador simple	171
10.2.3. Densidad de probabilidad de la posición del oscilador simple ...	172
10.3. Movimiento del punto material cuando la fuerza no es conservativa: fuerzas disipativas	173
10.4. Movimiento de un grave en el seno de un fluido viscoso	174
10.4.1. Funciones horaria y cinemática	174
10.4.2. Estudio energético	176
10.5. Dinámica del movimiento oscilatorio	178
10.6. Oscilaciones amortiguadas	179
10.6.1. Pérdida de energía en un oscilador: factor de calidad y tiempo de relajación	181
10.7. Oscilaciones forzadas	184
10.7.1. Resonancia en amplitud	186
10.7.2. Resonancia en energía	188
10.7.3. Energía cinética media: ancho de banda	190
10.8. Análisis del oscilador en el campo complejo	191

10.8.1. Impedancia de un oscilador	191
10.8.2. Potencia transferida al oscilador	193
10.8.3. Análisis de Fourier de un movimiento periódico	194
10.9. Oscilaciones anarmónicas	196
10.10. Sistemas oscilantes con dos grados de libertad	200
Cuestiones y ejercicios	204
11. Campo gravitatorio	207
11.1. Ley y constante de gravitación universal	207
11.2. El campo gravitatorio	208
11.3. Principio de superposición de campos	209
11.4. Flujo de un campo vectorial: teorema de Gauss	210
11.5. Campo creado por una superficie esférica de masa gravitatoria	212
11.5.1. Método directo	212
11.5.2. Por aplicación del teorema de Gauss	215
11.6. Campo creado por una esfera de masa gravitatoria	216
11.6.1. Método directo	216
11.6.2. Por aplicación del teorema de Gauss	217
11.7. Campo creado por una distribución rectilínea de masa gravitatoria	218
11.7.1. Método directo	218
11.7.2. Por aplicación del Teorema de Gauss	220
11.8. El campo gravitatorio terrestre	221
Cuestiones y ejercicios	223
12. Movimiento con fuerzas centrales	227
12.1. Movimiento de un punto bajo fuerza central: expresión de la fuerza en función del tiempo y del ángulo	227
12.2. Concavidad y convexidad de la trayectoria	229
12.3. Ecuación de las cónicas en coordenadas polares	230
12.4. Naturaleza de la fuerza cuando la trayectoria es una cónica	232
12.5. Movimiento de un punto material bajo la acción de una fuerza central conservativa	233
12.6. Movimiento de un punto bajo la acción de una fuerza newtoniana: discusión de las trayectorias	235
12.7. Determinación de la trayectoria bajo fuerza central newtoniana	239

12.8. Leyes de Kepler	240
12.9. Dinámica planetaria	241
12.9.1. Determinación del tiempo en el movimiento elíptico	244
12.9.2. Determinación del tiempo en el movimiento parabólico	246
12.10. Teorema del virial	249
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	250
13. Dinámica de los sistemas I	253
13.1. Sistemas materiales: fuerzas exteriores e interiores	253
13.1.1. Fuerzas exteriores e interiores	254
13.2. Tercera ley de Newton	255
13.3. Magnitudes cinéticas	257
13.4. Momentos estáticos centrales o polares	257
13.5. Centro de masas: existencia y unicidad	259
13.6. Momentos estáticos respecto a recta y plano	259
13.6.1. Momento estático respecto de una recta	260
13.6.2. Momento estático respecto de un plano	261
13.7. Propiedades del centro de masas	263
13.8. Teoremas de Guldin	264
13.9. Teorema de la cantidad de movimiento	267
13.10. Teorema del centro de masas	268
13.11. Teorema del momento cinético central y axial	268
13.12. Teorema de la energía cinética	271
13.13. Ecuaciones universales de la mecánica	271
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	272
14. Dinámica de los sistemas II	275
14.1. Sistema de referencia del centro de masas.....	275
14.2. Expresión de las magnitudes cinéticas en el sistema del centro de masas	275
14.3. Ecuaciones de la mecánica en el sistema del centro de masas	277
14.4. Problema de los dos cuerpos: masa reducida	278
14.5. Movimiento de dos puntos materiales respecto de su centro de masas	280
14.6. Aplicación al Sol y a un planeta del problema de los dos cuerpos	280
14.7. Sistemas de muchas partículas: caso en que las fuerzas interiores derivan de potencial	281

14.8. Clasificación de la energía de un sistema material	284
14.9. Dinámica de colisiones	286
14.9.1. Sistema de laboratorio	286
14.9.2. Sistema del centro de masas	287
Cuestiones y ejercicios	296
15. Dinámica de los sistemas III	297
15.1. Momentos de inercia centrales, axiales y planarios	297
15.1.1. Momentos de inercia centrales	298
15.1.2. Momentos de inercia axiales	298
15.1.3. Momentos de inercia planarios	299
15.2. Productos de inercia	300
15.3. Teoremas de Steiner	304
15.4. Radio de giro	307
15.5. Relaciones de inercia entre tres rectas ortogonales y una cuarta concurrente con ellas	308
15.6. Elipsoide de inercia	309
15.6.1. Elipse de inercia	310
15.7. Elipsoide central de inercia y ejes principales de inercia	312
15.8. Dinámica del sólido rígido	312
15.9. Magnitudes cinéticas del sólido rígido	314
15.10. Sólido rígido que gira en torno a un eje fijo	319
15.11. Equilibrado estático y dinámico	319
15.12. Movimiento giroscópico	322
15.13. Movimientos de rotación, precesión y mutación de la Tierra	324
Cuestiones y ejercicios	325
16. Cinemática relativista	329
16.1. El principio de relatividad en física	329
16.2. Relatividad y propagación de la luz	330
16.2.1. Primeras determinaciones experimentales de la velocidad de la luz	330
16.2.2. Aberración de la luz	331
16.2.3. Otras experiencias	333
16.3. El experimento de Michelson y Morley	336
16.3.1. Posibles explicaciones	339
16.4. Relatividad de Einstein	340

16.5. Simultaneidad y ordenación en el tiempo	341
16.5.1. <i>Velocidad de propagación de las interacciones</i>	344
16.6. La transformación de Lorentz	345
16.7. Contracción del espacio y dilatación del tiempo	353
16.8. Intervalo entre dos sucesos: su invariancia	355
16.8.1. <i>Intervalos género tiempo y género espacio</i>	356
16.9. Tetravectores	356
16.10. Comprobaciones experimentales de la invariancia de la velocidad de la luz	358
16.10.1. <i>Aberración estelar</i>	358
16.10.2. <i>Emisión de rayos X a muy grandes distancias</i>	359
16.10.3. <i>Desintegración de los mesones π</i>	359
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	360
17. Dinámica relativista	363
17.1. Masa relativista	363
17.2. Expresión relativista de la fuerza	364
17.3. Expresión relativista de la energía	365
17.4. Tetravectores velocidad y cantidad de movimiento	368
17.5. Tetravector fuerza y transformación relativista de la fuerza	371
17.6. Energía y cantidad de movimiento de un sistema de partículas	373
17.6.1. <i>Energía propia y energía cinética de un sistema</i>	374
17.7. Sistema del centro de masas	375
17.8. Energía de un sistema de partículas en relatividad	377
17.9. Colisiones entre partículas con alta energía	378
17.9.1. <i>Bombardeo de partículas: energía umbral</i>	379
<i>Cuestiones y ejercicios</i>	383
Apéndice A. Sistema anglosajón de unidades	385
A.1. Unidades de longitud	385
A.2. Unidades de capacidad	387
A.3. Unidades de masa	389
Apéndice B. Unidades básicas del SI	391
Bibliografía	399