

ÍNDICE

Introdução	13
I. Fundamentos da Mecânica Clássica	17
I.1. Cinemática do Ponto Material	17
I.1.1. Coordenadas Cartesianas: Vetores e Tensores Cartesianos	18
I.1.2. Outras Coordenadas Úteis: Cilíndricas, Esféricas; Base Local	23
I.1.3. Velocidade e Aceleração: Quantidade de Movimento	25
I.1.4. Momento Cinético	27
I.1.5. Energia Cinética	28
I.2. Cinemática de um Sistema de Pontos Materiais	29
I.2.1. Centro de Massa	29
I.2.2. Decomposição do Momento Cinético e da Energia	30
I.3. Sólido Rígido	32
I.3.1. Referencial do Sólido	33
I.3.2. Campo de Velocidades do Sólido	34
I.3.3. Campo de Acelerações do Sólido	38
I.3.4. O Centro de Massa; Quantidade de Movimento Total	38
I.3.5. O Momento Cinético: Decomposição em Momento Orbital e Momento Intrínseco	39
I.3.6. O Tensor de Inércia; Momentos Principais e Eixos Principais de Inércia	40
I.3.7. A Energia Cinética e sua Decomposição	43
I.3.8. Os Ângulos de Euler	44
I.4. As Leis de Newton	47
I.4.1. O Primeiro Princípio e o Princípio da Relatividade; Referenciais de Inércia	47
I.4.2. O Segundo Princípio. Origem das Forças. Lei Fundamental da Dinâmica	49
I.4.3. O Terceiro Princípio	51
I.4.4. Dinâmica de um Sistema de Partículas	52
I.4.5. Trabalho e Potência; Forças Conservativas. A Energia Mecânica	54
I.4.6. O Teorema do Virial	59
I.4.7. O Sistema Isolado - Leis de Conservação	62
I.4.8. Movimento do Sólido Livre: as Equações de Euler	63

1.5. Referenciais não Inerciais; Forças de Inércia (Centrífuga, Coriolis)	71
1.5.1. Movimentos à Superfície da Terra	74
1.5.2. A Queda de um Grave	77
1.5.3. O Pêndulo de Foucault	80
1.5.4. O Girocompasso de Foucault	83
1.6. Forças de Contacto	85
1.6.1. Componente Normal e Atrito; Rolamento sem Deslizamento	85
1.6.2. Forças de Viscosidade	90
1.6.3. Colisões, Impulsos e Coeficiente de Restituição	91
1.7. Estabilidade e Modos Normais	93
1.7.1. Estabilidade de Estados de Equilíbrio	94
1.7.2. Modos Normais	98
1.8. Problemas	102
II. Formulação Lagrangeana	107
II.1. O Princípio de d'Alembert	108
II.1.1. Relações Lineares entre as Velocidades Generalizadas	110
II.1.2. Deslocamento Virtual e Deslocamento Real	112
II.1.3. O Princípio de d'Alembert	113
II.1.4. O Lagrangeano	117
II.1.5. Potenciais Generalizados: Força de Lorentz e Forças Inerciais	119
II.1.6. Uma Invariância Trivial das Equações de Euler-Lagrange	124
II.1.7. Relações não Integráveis: Multiplicadores de Lagrange e Forças de Ligação	126
II.1.8. Forças de Viscosidade - Função de Dissipação de Rayleigh	130
II.1.9. Momentos Conjugados. Função de Hamilton	132
II.2. O Princípio Variacional de Hamilton; a Ação	135
II.2.1. O Método Variacional	136
II.2.2. Algumas Aplicações Simples	139
II.3. Dependência da Ação nas Condições Limite. Simetrias e Leis de Conservação	141
II.3.1. Dependência nas Coordenadas Limite	142
II.3.2. Dependência nos Instantes Inicial e Final	144
II.3.3. Simetrias e Leis de Conservação	145
II.4. Coordenadas Cíclicas. O Teorema de Noether.	149
II.5. O Problema de Dois Corpos para um Potencial Central	155

II.5.1. Constantes do Movimento	155
II.5.2. Equação da Órbita	158
II.5.3. Teorema de Bertrand	163
II.5.4. O Oscilador Harmónico	166
II.5.5. O Problema de Kepler	168
II.5.6. Difusão por um Potencial Central	172
II.6. O Pião Simétrico	180
II.6.1. Constantes do Movimento	180
II.6.2. Tipos de Movimento	183
II.6.3. Pião Rápido	186
II.6.4. Precessão Regular	187
II.6.5. Pião Vertical	188
II.6.6. Sistema Isolado: o Princípio de Maupertuis	190
II.7. Estabilidade das Soluções	197
II.8. Problemas	207
 III. Formulação Hamiltoniana e Transformações Canónicas	217
III.1. A Formulação de Hamilton	217
III.1.1. O Hamiltoniano	217
III.1.2. As Equações de Hamilton. Comparação com as Equações de Euler-Lagrange	221
III.1.3. O Segundo Princípio Variacional de Hamilton	223
III.1.4. Simetrias e Leis de Conservação	224
III.2. Transformações Canónicas	227
III.2.1. Função Geradora - Exemplos	228
III.2.2. O Teorema de Noether Revisitado	237
III.2.3. Composição de Transformações Canónicas	242
III.2.4. Invariantes de Poincaré	246
III.3. Colchetes de Lagrange e Colchetes de Poisson	251
III.3.1. Relação entre Colchetes de Poisson e Colchetes de Lagrange	254
III.3.2. Invariância Canónica dos Colchetes de Poisson	258
III.3.3. Propriedades dos Colchetes de Poisson	260
III.4. Transformações de Contacto Infinitesimais	266
III.4.1. Variação de uma Função de Fase por Ação do Gerador	271
III.4.2. O Teorema de Liouville	274
III.4.3. Funções de Fase Vetoriais e Momento Angular	276

III.4.4. Ângulos de Euler, Momentos Conjugados e Momento Angular	280
III.5. Dinâmica em Hamiltonianos só com Momentos Angulares	283
III.6. Problemas	289
 IV. A Teoria de Hamilton-Jacobi	 303
IV.1. Função Principal de Hamilton. Equação de Hamilton-Jacobi	304
IV.2. Função Principal de Hamilton para Sistemas Conservativos	307
IV.3. Analogia com a Ótica Geométrica	312
IV.4. Da Equação Eikonal à Equação de Schroedinger	315
IV.5. Problemas	318
 V. Variáveis Ação-Ângulo	 321
V.1. Sistema Periódicos	321
V.2. As Variáveis de Ação e as Variáveis Ângulo	323
V.2.1. Os Períodos do Sistema	324
V.2.2. Degenerescências	326
V.3. Potencial Central e Variáveis Ação-Ângulo	329
V.4. Quantificação de Bohr-Sommerfeld	335
V.5. Invariantes Adiabáticos	339
V.6. Problemas	346
 VI. Teoria de Perturbações	 353
VI.1. Transformações Canônicas e Operadores	353
VI.2. O Operador Hamiltoniano	359
VI.3. Teoria de Perturbações Canônica	365
VI.4. O Método Hipervirial de Hellmann-Feynman	371
VI.4.1. Sistemas Unidimensionais	371
VI.4.2. Potenciais Centrais	374
VI.5. Problemas	381
 VII. Ressonância Paramétrica	 389
VII.1. Mapas e Estabilidade de Lyapounov	389
VII.2. Mapas Lineares no Plano	392
VII.3. Instabilidades na Equação de Hill	394
VII.4. Instabilidades na Equação de Mathieu	399
VII.4.1. Ressonâncias e Amplificações	401

vii.4.2. Efeito do Atrito (Stokes)	404
vii.5. Estabilização do Ponto Fixo	407
vii.6. Problemas	411
viii. Sistemas Dinâmicos	415
viii.1. Sistemas de Primeira Ordem	417
viii.2. Sistemas de Segunda Ordem	420
viii.2.1. Sistemas Conservativos	420
viii.2.2. As Equações de Euler para um Sólido Livre	422
viii.2.3. Sistemas Gradiente	425
viii.2.4. Equações de Lotka-Volterra	427
viii.2.5. Ciclos-Limite	429
viii.3. Sistemas de Terceira Ordem	432
viii.3.1. O Sistema de Lorenz	432
viii.3.2. Sensibilidade às Condições Iniciais	435
viii.4. Integrabilidade em Sistemas Hamiltonianos	436
viii.4.1. Toros Invariantes	437
viii.4.2. Os Mapas de Poincaré	440
viii.5. Dinâmica do Intervalo	442
viii.5.1. Mapas Lineares	443
viii.5.2. Mapas Quadráticos	446
viii.5.3. As Constantes de Feigenbaum	450
viii.5.4. Caos	455
viii.6. Problemas	458
ix. Apêndices	463
ix.1. Formulação Lagrangeana para Campos Escalares	463
ix.2. Formulação Lagrangeana para o Campo Eletromagnético	466
ix.3. O Integral de Caminho	470
x. Bibliografia	475
xi. Índice Remissivo	477