

SUMÁRIO

Apresentação	15
1. Referenciais e Coordenadas Cartesianas	17
1.1 Introdução.....	17
1.2 O Espaço Físico	18
1.3 Tempo	19
1.3.1 Mas o Tempo é Finito ou Infinito?	21
1.3.2 Pode-se Viajar no Tempo Continuamente, como se Pudéssemos Assistir a um Filme de Trás para a Frente?.....	21
1.4 Posição no Espaço.....	22
1.5 Eventos.....	22
1.6 Movimentos.....	23
1.7 Sistemas de Referência, ou Referenciais	23
1.7.1 Sistema de Referência Cartesiano	25
1.8 Coordenadas	27
1.8.1 Coordenadas Cartesianas em uma Dimensão.....	27
1.8.2 Coordenadas Cartesianas em Duas e Três Dimensões	28
1.8.3 Distância entre Dois Pontos no Espaço.....	35
1.9 Equivalência de Referenciais	37
1.10 Referenciais Inerciais	37
2. Outras Coordenadas	39

2.1	Coordenadas mais Gerais.....	39
2.2	Superfícies e Curvas Generalizadas	41
2.3	Coordenadas Cartesianas	42
2.4	Coordenadas Cilíndricas.....	45
2.5	Coordenadas Polares.....	49
2.6	Coordenadas Esféricas.....	51
2.7	As Coordenadas Latitude e Longitude	53
3.	Movimento: Conceitos Cinemáticos	57
3.1	Movimentos no Universo	57
3.2	Movimento e Repouso.....	60
3.3	Trajetoária.....	60
3.4	A Coordenada Espaço	62
3.5	Velocidade	65
3.6	Velocidade Escalar Média	65
3.7	Velocidade Escalar Instantânea	68
3.8	Aceleração Escalar	72
3.9	Conclusão.....	78
4.	Grandezas Escalares e Vetoriais.....	79
4.1	Introdução.....	79
4.2	Grandezas Vetoriais e Grandezas Escalares	80
4.3	Representação Gráfica de Vetores	81
4.4	Representação Analítica de um Vetor	82
4.4.1	Componentes no Espaço Tridimensional	85
4.5	Operações com Vetores.....	85
4.5.1	Multiplicação por um Escalar (por um Número)	86
4.5.2	Soma de Vetores.....	87
4.5.3	Subtração de Vetores.....	92
4.6	Extensão para Muitos Vetores	93
4.7	Produtos de Vetores	95
4.7.1	Produto Escalar de Dois Vetores	95
4.7.2	Produto Vetorial de Dois Vetores.....	97
4.8	Grandezas Definidas como Produtos Vetoriais	98
5.	Cinemática Vetorial.....	101
5.1	Referenciais	101
5.2	Referencial Cartesiano Generalizado	104
5.3	Referenciais Vetoriais mais Gerais.....	108
5.4	Vetores em Coordenadas Polares.....	110
5.5	Vetores Velocidade e Aceleração em Coordenadas Cartesianas	112

5.6	Vetor Aceleração	115
5.6.1	Vetor Posição em Coordenadas Polares.....	116
5.6.2	Vetor Velocidade em Coordenadas Polares	119
5.7	Vetor Posição e Vetor Velocidade em Coordenadas Cilíndricas	120
5.8	Vetor Aceleração em Coordenadas Polares e Cilíndricas	121
6.	As Leis de Newton	125
6.1	Os <i>Principia</i>	125
6.2	Lei da Inércia.....	126
6.3	A Primeira Lei de Newton: Referenciais Inerciais.....	128
6.4	O que é Massa?.....	129
6.5	A Segunda Lei de Newton	132
6.5.1	A Segunda Lei de Newton em Coordenadas Cartesianas.....	136
6.6	A Terceira Lei de Newton	139
6.7	A Segunda Lei de Newton em Coordenadas Polares	143
6.8	Comentários Sobre as Leis de Newton	147
6.8.1	Sobre a Independência das Leis	147
6.8.2	Sobre as Condições Iniciais	147
6.8.3	Mecanicismo.....	148
6.9	Resolvendo Problemas de Mecânica	148
7.	Movimentos Simples	155
7.1	Introdução.....	155
7.2	O Movimento Uniforme.....	156
7.3	Movimento Uniforme ao Longo de uma Curva.....	161
7.4	A Luz e o Movimento Uniforme.....	165
7.5	Movimento Uniformemente Variado	168
7.5.1	Forças Constantes.....	168
7.5.2	Aceleração Escalar Constante	171
7.6	Lançamento na Vertical e a Queda Livre	174
7.7	Movimento numa Calha e num Plano Inclinado	179
8.	Movimento dos Projéteis.....	185
8.1	Introdução.....	185
8.2	Galileu e o Movimento dos Projéteis.....	186
8.3	As Condições Iniciais.....	187
8.3.1	Ângulo de Tiro e as Componentes da Velocidade	189
8.4	O Problema Geral.....	189
8.4.1	Tempo de Voo e Alcance do Projétil.....	190
8.4.2	Altura Máxima	190
8.5	Equações Básicas do Movimento	191

8.5.1	Trajectoria do Projétil.....	196
8.5.2	Altura Máxima.....	198
8.5.3	Tempo de Queda	200
8.5.4	Alcance do Projétil e Velocidade ao Atingir o Solo.....	201
8.6	Casos Particulares	204
8.6.1	Lançamento na Vertical	204
8.6.2	Lançamento Vertical para Cima	205
8.6.3	Lançamento Vertical para Baixo.....	207
8.6.4	Queda Livre.....	210
8.6.5	Lançamento na Horizontal.....	212
8.6.6	Lançamento a Partir do Solo	214
8.6.7	Alcance Máximo	215
9.	Movimento Circular	219
9.1	Introdução	219
9.1.1	Movimentos Circulares na Antiguidade	219
9.1.2	Epículos.....	220
9.2	Newton e o Movimento Circular Uniforme	223
9.3	Variáveis no Movimento Circular.....	223
9.4	Cinemática do Movimento Circular	226
9.4.1	Velocidade Angular, Velocidade Escalar e Velocidade Vetorial.....	226
9.4.2	Aceleração Angular, Vetorial e Centrípeta	231
9.5	A Dinâmica do Movimento Circular.....	234
9.6	Movimento Circular Uniforme	237
9.7	Movimento Circular em um Campo Gravitacional.....	243
10.	Trabalho e Variação da Energia Cinética	247
10.1	Introdução	247
10.2	A Energia Cinética	249
10.3	Trabalho Realizado por uma Força.....	250
10.4	Trabalho Realizado por uma Força Constante	250
10.5	Trabalho Realizado por uma Força que Não é Constante e Varia.....	253
10.6	Definindo Melhor a Integral de Linha do Vetor Força	255
10.7	Unidades de Trabalho.....	263
10.8	Forças Unidimensionais Dependentes Apenas de uma Variável.....	263
10.9	Potência de uma Força	265
10.10	Unidades de Energia e Potência	265
10.11	Trabalho e Variação de Energia Cinética	266

10.12 Forças que Não Realizam Trabalho	268
11. Energia Mecânica	271
11.1 Forças Conservativas	271
11.2 Força Derivada a Partir da Energia Potencial	273
11.3 Diferencial de Funções	275
11.4 Trabalho e Variação da Energia Potencial	277
11.5 Caso Unidimensional	278
11.6 Energia Potencial Gravitacional a Partir da Força Gravitacional	280
11.7 Energia Potencial Eletrostática a Partir da Força Elétrica	282
11.8 Energia Mecânica e sua Conservação	282
11.9 Energia no Movimento dos Projéteis	283
11.10 Energia Mecânica Associada a Forças Elétricas	286
11.11 Forças Dissipativas	291
12. Cinemática das Rotações	295
12.1 Introdução	295
12.2 Rotações	297
12.3 Rotação em Torno de um Eixo	301
12.4 O Vetor Deslocamento Angular	305
12.5 O Vetor Velocidade Angular	306
12.6 Acelerações Angular e Centrípeta	309
12.7 Referenciais em Rotação	311
12.8 Vetor Aceleração: Caso Geral	314
13. Forças de Inércia	317
13.1 Introdução	317
13.2 Referenciais Inerciais e Não Inerciais	318
13.3 Forças de Inércia	319
13.4 Sistemas Dotados de Aceleração numa Única Direção	321
13.5 Movimento ao Longo de uma Curva	323
13.6 Forças Centrífuga e de Coriolis	328
14. Sistemas de Partículas	335
14.1 Introdução	335
14.2 Sistemas de Duas Partículas	336
14.3 As Equações de Evolução de um Sistema Discreto de Partículas	341
14.4 Conservação do Momento Linear	343
14.5 O Centro de Massa	344

14.6	Movimento do Centro de Massa	348
14.7	O Centro de Massa como Sistema de Referência	351
14.8	Momento Angular de um Sistema de Partículas.....	354
14.9	A Conservação do Momento Angular Total.....	355
14.10	Energia Cinética de um Sistema de Partículas.....	357
14.11	Energia Potencial do Sistema.....	358
15.	Colisões.....	361
15.1	Do Cotidiano à Investigação Científica.....	361
15.2	Etapas do Processo de Colisão	363
15.3	O Uso das Leis de Conservação	365
15.4	Colisões com Alvo Fixo	367
15.5	Colisões Decorrentes de Contato: O Papel da Dinâmica	368
15.6	Colisões Elásticas e Inelásticas.....	371
15.7	Colisões Totalmente Inelásticas	376
15.8	Colisões Frontais.....	378
15.9	Colisões Relativísticas e Não Relativísticas	381
16.	Movimento dos Corpos Rígidos	387
16.1	Introdução	387
16.2	Definindo as Variáveis do Movimento.....	389
16.3	A Velocidade de um Ponto Sobre o Corpo Rígido	391
16.4	Movimento de Translação.....	394
16.5	Movimento de Rotação	395
16.6	O Momento Angular.....	396
16.7	O Torque	397
16.8	Torque e Rotação	398
16.9	Momento Angular e o Momento de Inércia.....	401
16.10	O Teorema dos Eixos Paralelos	410
16.11	Eixos Principais de Inércia.....	414
16.12	Energias Cinética e Potencial do Corpo Rígido.....	416
17.	Dinâmica do Corpo Rígido	423
17.1	Utilização de Dois Referenciais na Descrição do Movimento	423
17.2	As Equações de Euler.....	424
17.3	Rolamento sem Deslizamento.....	428
17.4	Pêndulo Composto.....	430
17.5	Movimento Giroscópio.....	446
18.	Gravitação.....	451
18.1	A Interação Gravitacional	451

18.2	Newton, a Lua e a Teoria da Gravitação Universal.....	453
18.3	Massa e Gravitação.....	459
18.3.1	Massa Inercial e Massa Gravitacional	460
18.4	Potencial Gravitacional e Campo Gravitacional.....	461
18.5	Massas Geram um Campo Gravitacional.....	462
18.6	Campo e Potencial Gravitacional de uma Distribuição Discreta de Massas.....	465
18.7	Campo e Potencial Gravitacional de uma Distribuição Contínua de Massas	467
18.8	Campo Gravitacional Gerado por uma Distribuição Esférica de Massas.....	471
18.9	A Aceleração da Gravidade.....	475
19.	As Leis de Kepler.....	483
19.1	Introdução.....	483
19.2	Forças Centrais.....	484
19.3	Dinâmica do Movimento	487
19.4	Lei das Áreas	489
19.5	Energias Positivas, Negativas e Nulas	491
19.6	Velocidade de Escape	494
19.7	O Problema das Órbitas	495
19.8	Órbitas Elípticas	497
19.9	Mais uma Lei de Kepler	498
19.10	A Velocidade Radial: Afélio e Periélio	501
19.11	Por que os Cometas Não Caem Sobre o Sol?	502
19.12	Outras Trajetórias Possíveis.....	503
	Referências Bibliográficas.....	505
	Sobre o Autor.....	507