

SUMÁRIO

Apresentação.....	15
1. O Oscilador Harmônico Simples	17
1.1 Osciladores Mecânicos.....	17
1.2 Equação de Movimento do Oscilador Harmônico	19
1.2.1 Características do Movimento	22
1.2.2 Movimentos Oscilatórios.....	23
1.3 A Equação Horária do MHS	24
1.3.1 Período e Frequência	26
1.3.2 Velocidade e Aceleração no MHS.....	29
1.4 Movimento na Vertical.....	31
1.5 Energia no MHS.....	34
1.6 O Pêndulo Simples.....	36
2. Oscilações Amortecidas	41
2.1 Dissipação da Energia Mecânica.....	41
2.2 Equação Diferencial	42
2.2.1 Dois Regimes	45
2.2.2 Solução da Equação Diferencial	46
2.3 Equações Horárias para as Oscilações Amortecidas	49
2.3.1 Regime Sobreamortecido.....	50
2.3.2 Regime Subamortecido	52

2.3.3	Amortecimento Crítico	53
2.4	Potência Dissipada	54
3.	Oscilações Forçadas	59
3.1	Oscilações Livres e Forçadas	59
3.2	Equação Diferencial	60
3.3	Força Harmônica	64
3.3.1	Transiente	64
3.3.2	Regime Estacionário	66
3.4	Potência	68
3.5	Ressonância	70
3.6	Fase e Amplitude	73
4.	O que São Ondas?	79
4.1	Movimento Ondulatório	79
4.1.1	As Ondas e a Nossa Vida	80
4.2	Som	82
4.3	Luz	84
4.4	Condições para Formação de uma Onda	86
4.5	Fenômenos Associados à Propagação Ondulatória	91
4.6	Comprimento de Onda	94
4.7	Transmissão de Energia	96
4.8	Relação com o Oscilador Harmônico	98
5.	Ondas e Pulsos	103
5.1	Meios Discretos e Contínuos	103
5.2	Dinâmica de uma Corda	104
5.3	Equação de Onda	106
5.4	Solução Geral da Equação de Onda	109
5.4.1	Condições Iniciais	111
5.5	Propagação de um Pulso	113
5.5.1	Reflexão de Pulsos em uma Extremidade Fixa	116
5.5.2	Reflexão em uma Extremidade Livre	120
6.	Ondas Estacionárias	123
6.1	Superposição de Ondas Viajando em Sentidos Opostos	123
6.2	Equação de Onda e Ondas Estacionárias	125
6.3	A Equação de Ondas em Duas ou Três Dimensões	130
6.3.1	Ondas Estacionárias em uma Membrana Retangular	132
6.3.2	Ondas Estacionárias em Três Dimensões	135

7. Som	139
7.1 Som e Ondas Sonoras.....	139
7.2 Equação de Onda em um Fluido	141
7.3 Velocidade do Som.....	143
7.4 Frequência e Período de Ondas Sonoras	146
7.4.1 Altura do Som.....	146
7.4.2 Sons Harmoniosos.....	147
7.4.3 Notas e Escalas Musicais	147
7.4.4 Diferenças Notáveis.....	149
7.5 Intensidade do Som.....	149
7.6 Instrumentos Musicais	151
7.6.1 Ondas Sonoras Estacionárias	152
7.6.2 Instrumentos de Sopro.....	152
7.6.3 Instrumentos de Cordas	156
7.6.4 Instrumentos de Percussão	157
7.7 Sons Harmônicos e Ruídos.....	158
7.8 Timbre	161
8. Energia, Calor e Temperatura	163
8.1 Energia Térmica	163
8.2 Temperatura, Calor e Equilíbrio Térmico	165
8.3 Calor e Trabalho	167
8.4 Primeira Lei da Termodinâmica	170
8.5 Termometria	173
8.5.1 Escalas de Temperatura	174
8.5.1.1 Pontos Fixos e a Escala Centígrada	175
8.5.1.2 A Escala de Temperatura do Gás Ideal	176
8.5.1.3 Temperatura Termodinâmica	178
8.5.1.4 Escalas Celsius e Fahrenheit	179
8.5.2 Termômetros	181
8.5.2.1 Escala Internacional de Temperatura de 1990	182
8.5.2.2 Outros Termômetros de Uso Prático	184
9. Propriedades Termomecânicas dos Materiais	187
9.1 Gases: Leis Empíricas	187
9.1.1 Lei de Boyle-Mariotte	188
9.1.2 Unidades de Pressão	190
9.1.3 Leis de Charles e de Gay-Lussac.....	190
9.1.4 Teoria Atômica: Dalton e Avogadro	192
9.1.4.1 Quantidade de Substância e o Mol	195
9.1.5 Lei de Avogadro	197

9.2	Gases Ideais	197
9.2.1	Teoria Cinética da Pressão	200
9.3	Gases Reais	203
9.3.1	Interações Moleculares	203
9.3.2	A Equação de Van der Waals	205
9.4	Líquidos e Sólidos	208
9.4.1	Derivadas Parciais	209
9.4.2	Definições dos Coeficientes Termomecânicos	210
9.4.2.1	Exemplo: Coeficientes do Gás Ideal	212
9.4.2.2	Aproximação Linear para a Equação de Estado	213
9.4.3	Líquidos	214
9.4.4	Sólidos	216
9.4.4.1	Coeficiente Linear de Dilatação Térmica	216
9.4.4.2	Coeficientes de Elasticidade	218
9.4.4.3	Dados Experimentais	219
10.	Primeira Lei da Termodinâmica	227
10.1	Processos Termodinâmicos e a Primeira Lei	228
10.1.1	Calor e Trabalho	230
10.1.2	Transformações quase Estáticas	231
10.1.3	Trabalho e Calor em Transformações quase Estáticas	232
10.2	Capacidades Térmicas	237
10.2.1	Capacidades Térmicas e Energia Interna	239
10.2.2	Capacidade Térmica a Volume Constante	240
10.2.3	Capacidade Térmica a Pressão Constante	241
10.2.3.1	Função Entalpia	242
10.2.4	Relação entre C_V e C_P	246
10.2.4.1	Gases Ideais	247
10.2.4.2	Caso Geral	249
10.2.5	Dados Experimentais	252
10.2.5.1	Capacidade Térmica de Sólidos	252
10.2.5.2	Capacidade Térmica de Líquidos	254
10.2.5.3	Capacidade Térmica de Gases	255
10.3	Princípio da Equipartição da Energia	260
10.3.1	Fator de Boltzmann e Temperatura	262
10.3.2	Quantização da Energia	265
10.3.3	Velocidade Quadrática Média	269
10.4	Mudanças de Estado e Calores Latentes	272
10.4.1	Diagrama de Fases da Água	273
10.4.1.1	Linhas de Coexistência e Pontos Característicos	275
10.4.2	Diferenças de Entalpia entre Fases: Calores Latentes	278

10.4.2.1	Calores Latentes	281
10.4.3	Equilíbrio e Transições de Fases	282
10.4.4	Água no Ambiente.....	286
10.4.4.1	Pressão Parcial e Umidade do Ar	286
10.4.4.2	Evaporação e o Ciclo da Água.....	291
10.4.4.3	Evaporação e Ebulição	292
10.5	Calorimetria	296
10.5.1	Aplicação da Primeira Lei a Processos Isobáricos	296
10.5.1.1	Calorímetro de Gelo	298
10.5.1.2	O Método da Mistura	299
10.6	Além da Água.....	303
10.6.1	Liquefação de Gases e Baixas Temperaturas.....	303
10.6.2	Diagrama de Fases do Dióxido de Carbono	306
10.6.3	Outros Fluidos	307
10.6.4	Outros Materiais	308
11.	Segunda Lei da Termodinâmica	313
11.1	Fontes de Energia	313
11.2	Transformações em Gases	316
11.2.1	Transformações Isocóricas.....	316
11.2.1.1	Isocóricas do Gás Ideal.....	317
11.2.2	Transformações Isobáricas.....	318
11.2.2.1	Isóbaras do Gás Ideal.....	320
11.2.3	Transformações Isotérmicas	321
11.2.3.1	Isotermas do Gás Ideal	323
11.2.4	Transformações Adiabáticas	324
11.2.4.1	Adiabatatas do Gás Ideal	325
11.2.4.2	Gás Ideal com C_V Constante	328
11.2.4.3	Gases Reais	329
11.2.5	Expansão Livre.....	331
11.2.6	Processos Reversíveis e Irreversíveis	333
11.3	Máquinas Térmicas.....	335
11.3.1	Eficiência das Máquinas Térmicas	335
11.3.1.1	Motores Térmicos.....	336
11.3.1.2	Refrigeradores e Bombas Térmicas.....	338
11.3.2	Motor de Otto.....	339
11.3.2.1	Ciclo de Otto para um Gás Ideal.....	343
11.4	Segunda Lei da Termodinâmica e Suas Consequências.....	347
11.4.1	Teorema de Carnot.....	348
11.4.2	O Ciclo de Carnot e a Definição Termodinâmica de Temperatura	352

11.4.2.1	Eficiência das Máquinas de Carnot	356
11.5	Entropia	359
11.5.1	A Função de Estado Entropia	359
11.5.2	Entropia e a Segunda Lei	362
11.5.3	Cálculos de Entropia	366
11.5.3.1	Aquecimento/Resfriamento de um Corpo	367
11.5.3.2	Mudanças de Estado	368
11.5.4	Entropia e a Primeira Lei	371
11.5.4.1	Entropia de um Gás Ideal	372
11.5.4.2	Algumas Relações Formais	374
11.5.5	Vínculo entre as Equações de Estado.....	375
11.5.5.1	Aplicação aos Gases Ideais	377
11.5.5.2	Diferença entre C_p e C_v	378
11.5.5.3	Equação de Clausius-Clapeyron	378
11.5.6	Interpretação Microscópica da Entropia	381
11.5.6.1	Estados Microscópicos e Espaço de Fase	381
11.5.6.2	Microestados e Irreversibilidade	386
11.5.6.3	Microestados e Equilíbrio Térmico	388
11.6	Propagação do Calor	391
11.6.1	Condução Térmica	392
11.6.1.1	Lei de Fourier	394
11.6.1.2	Equação do Calor.....	395
11.6.1.3	Soluções para o Regime Estacionário	396
11.6.2	Condutividade Térmica	398
11.6.3	Convecção	404
11.6.4	Radiação Térmica.....	406
11.6.4.1	Radiação de Corpo Negro	407
11.6.4.2	Fórmula de Planck	409
11.6.4.3	Leis de Wien e de Stefan-Boltzmann	410
11.6.5	Propriedades da Radiação Térmica	414
11.6.5.1	Trocas de Calor por Radiação	418
12.	Teoria Cinética dos Gases.....	423
12.1	Teoria Cinética da Pressão	424
12.1.1	Pressão Cinética e Temperatura.....	426
12.1.2	Temperatura e Energia Interna	428
12.2	Distribuição de Velocidades de Maxwell-Boltzmann	428
12.2.1	Dedução de Maxwell	430
12.2.2	Função Distribuição para o Módulo da Velocidade	434
12.3	Atmosfera Isotérmica	438
12.4	Interações Moleculares e Gases Reais	441

12.4.1	Colisões Moleculares	443
12.4.1.1	Caminho Livre Médio	444
12.4.2	Coefficientes de Transporte	447
12.4.2.1	Condutividade Térmica	450
12.4.2.2	Viscosidade	450
12.5	Teoria de Van der Waals	453
12.5.1	Equações de Estado	453
12.5.2	Isotermas Instáveis e a Transição Líquido-Gás.....	457
13.	Mecânica dos Fluidos: Conceitos Básicos	463
13.1	Relevância do Tema	463
13.2	O que É um Fluido?.....	465
13.3	Caracterizando o Estado de um Fluido	467
13.3.1	Densidade de Massa ou Massa Específica	467
13.3.1.1	Densidade Relativa	469
13.3.2	Descrevendo o Movimento e a Velocidade de um Fluido	469
13.4	Campo de Velocidades de um Fluido	471
13.4.1	Exemplo: Campo de Velocidades de um Furacão	472
13.4.2	Fluidos Incompressíveis.....	474
13.5	Linhas de Corrente	475
13.5.1	Equação para as Linhas de Corrente	476
13.5.2	Escoamentos Irrotacionais.....	479
13.6	Pressão.....	481
13.6.1	Pressão Exercida por um Gás	482
13.6.1.1	Unidades de Pressão	484
13.6.1.2	Superfícies Isobáricas	484
13.7	Viscosidade de um Fluido: Fluidos Newtonianos	485
13.8	Número de Reynolds	489
13.9	Tensão Superficial e Capilaridade.....	489
14.	Hidrostática	493
14.1	O que É Hidrostática?	493
14.2	A Pressão Atmosférica	494
14.3	Diferenças de Pressão em um Fluido: A Lei de Stevin	498
14.3.1	Caso Geral.....	501
14.3.2	Atmosfera Isotérmica.....	503
14.3.3	Aplicações	504
14.3.3.1	Variações de Pressão e Mudança do Tempo	504
14.3.3.2	Vidros de <i>Spray</i>	504
14.3.3.3	Medindo a Pressão: Manômetros.....	505
14.4	O Princípio de Pascal	506

14.5 Lei de Arquimedes – O Empuxo	508
14.5.1 Entendendo o Princípio de Arquimedes.....	510
14.5.2 Quando um Corpo Imerso Sobe, Desce ou Flutua?	515
15. Introdução à Dinâmica dos Fluidos	517
15.1 Introdução	517
15.2 Conservação da Massa	518
15.2.1 Aplicação Simples: Escoamento Permanente	521
15.3 Equação de Bernoulli.....	525
15.3.1 O Sifão	529
15.3.2 Fenômeno de Venturi.....	531
15.3.3 Tubo de Pitot.....	534
15.4 Força de Sustentação	535
15.4.1 Efeito Magnus.....	536
15.5 Equação de Euler	537
15.6 Equação de Navier-Stokes	540
Referências Bibliográficas	543
Sobre os Autores.....	549