

Inhaltsverzeichnis

1	Bewegungen	1
1.1	Beschreibung von Bewegungen in der Newton'schen Mechanik	3
1.1.1	Bewegung im Gravitationsfeld	8
1.1.2	Kreisbewegungen eines Massepunkts	19
1.1.3	Drehbewegungen eines starren Körpers	22
1.1.4	Harmonische Schwingungen	50
1.1.5	Wellen	64
1.1.6	Charakterisierung der Newton'schen Mechanik	85
1.2	Beschreibung von Bewegungen in der Lagrange'schen Mechanik	86
1.2.1	Herleitung des Lagrange-Formalismus aus einem Differenzialprinzip	87
1.2.2	Herleitung des Lagrange-Formalismus aus einem Integralprinzip	103
1.2.3	Anwendungen des Lagrange-Formalismus	108
1.2.4	Charakterisierung der Lagrange'schen Mechanik	122
1.3	Beschreibung von Bewegungen in der Hamilton'schen Mechanik	125
1.3.1	Hamilton-Funktion	125
1.3.2	Bewegungsgleichungen der Hamilton'schen Mechanik	129
1.3.3	Anwendungen des Hamilton-Formalismus	132
1.3.4	Charakterisierung der Hamilton'schen Mechanik	135
	Anhang 1.1 Trägheitsmoment einer Kugel	137
	Anhang 1.2 Anwendung des d'Alembert'schen Prinzips für statische Berechnungen	140
	Anhang 1.3 Generalisierte Kräfte in einem System zweier Massepunkte	143
2	Elektrizität und Magnetismus	149
2.1	Feldbegriff in der Physik	152
2.2	Elektrisches Feld	155

2.2.1	Experimenteller Nachweis des elektrischen Feldes.	155
2.2.2	Quantitative Kennzeichnung elektrischer Ladungen und Ströme.	157
2.2.3	Elektrische Feldstärke und elektrische Flussdichte	160
2.2.4	Quellen und Wirbel des elektrischen Feldes	168
2.2.5	Potenzial und elektrische Spannung	172
2.2.6	Kugel- und Plattenkondensator	178
2.2.7	Wirkung des elektrischen Feldes auf Stoffe	181
2.2.8	Ohm'sches Gesetz und Widerstandsgesetz	187
2.2.9	Energie des elektrischen Feldes.	189
2.3	Magnetisches Feld	192
2.3.1	Experimenteller Nachweis des magnetischen Feldes	192
2.3.2	Magnetische Feldstärke und Durchflutungsgesetz	194
2.3.3	Magnetische Flussdichte und Lorentzkraft	198
2.3.4	Quellen und Wirbel des magnetischen Feldes.	203
2.3.5	Wirkung des magnetischen Feldes auf Stoffe	207
2.3.6	Zeitlich veränderliche Magnetfelder und elektro- magnetische Induktion.	208
2.3.7	Energie des magnetischen Feldes	210
2.4	Maxwell'sche Gleichungen	212
2.4.1	Maxwell'sche Ergänzung und Differenzialgleichungssystem der Maxwell'schen Gleichungen.	212
2.4.2	Erfüllung des Ladungserhaltungssatzes.	214
2.4.3	Vorhersage der Existenz elektromagnetischer Wellen.	214
2.4.4	Energiedichte und Intensität einer elektromagnetischen Welle	221
2.4.5	Elektrische und magnetische Felder an Grenzflächen.	224
2.5	Eigenschaften elektromagnetischer Wellen	230
2.5.1	Interferenz	231
2.5.2	Beugung.	237
2.5.3	Polarisation	246
2.5.4	Brechung und Reflexion	252
2.5.5	Natur des Lichts.	281
Anhang 2.1	Bestimmung der Elementarladung mithilfe des Öltröpfchenversuchs nach Millikan	282
Anhang 2.2	Driftgeschwindigkeit von Ladungen im Leiter	285
3	Relativität.	289
3.1	Grundlegung der Speziellen Relativitätstheorie.	290
3.2	Galilei-Transformation und Lorentz-Transformation	296
3.2.1	Galilei-Transformation	296
3.2.2	Lorentz-Transformation.	297

3.3	Metrik des Minkowski-Raums und Raum-Zeit-Diagramm	305
3.3.1	Metrik des Minkowski-Raums	305
3.3.2	Raum-Zeit-Diagramm	308
3.4	Anwendung der Speziellen Relativitätstheorie in der Mechanik	310
3.4.1	Relativität der Gleichzeitigkeit	310
3.4.2	Relativität der Zeitmessung	311
3.4.3	Relativität der Längenmessung	318
3.4.4	Transformation der Geschwindigkeit	322
3.4.5	Transformation der Beschleunigung	324
3.4.6	Masse, Energie und Impuls	326
3.4.7	Verwendung von Vierervektoren in der Mechanik	332
3.5	Anwendung der Speziellen Relativitätstheorie in der Elektrodynamik	334
3.5.1	Potenziale für das elektromagnetische Feld	336
3.5.2	Lorenz-Eichung	338
3.5.3	Maxwell'sche Gleichungen in Lorentz-invarianter Darstellung	339
3.5.4	Energie-Impuls-Tensor der Elektrodynamik	350
3.6	Ausblick auf die Allgemeine Relativitätstheorie	354
3.6.1	Grundlegung der Allgemeinen Relativitätstheorie	355
3.6.2	Prinzipien der Allgemeinen Relativitätstheorie	357
3.6.3	Transformation der Minkowski-Tensoren zu Riemann-Tensoren	361
3.6.4	Transformation der Differenzialoperatoren vom Minkowski-Raum zum Riemann-Raum	362
3.6.5	Geodätengleichung	368
3.6.6	Metrischer Tensor für den freien Fall eines Teilchens in einem Gravitationsfeld	370
3.6.7	Einstein'sche Feldgleichungen	372
3.6.8	Ausgewählte Ergebnisse der Allgemeinen Relativitätstheorie	376
Anhang 3.1	Transformationen im Minkowski-Raum	378
Anhang 3.2	Kovariante Ableitung und Christoffel-Symbole	383
Anhang 3.3	Bestimmung der Geodätengleichung mithilfe der Variationsrechnung	387
Anhang 3.4	Krümmung	388
4	Quanten	395
4.1	Besonderheiten der Quantenmechanik	395
4.2	Der Weg zur Quantenmechanik	399
4.2.1	Historische Entwicklung	399
4.2.2	Quantenhypothese und de-Broglie-Hypothese	401
4.2.3	Äußerer fotoelektrischer Effekt	406
4.2.4	Compton-Effekt	408

4.2.5	Planck'sches Strahlungsgesetz.	410
4.2.6	Bohr'sches Atommodell.	413
4.3	Zentrale Elemente der Quantenmechanik	420
4.3.1	Wellenfunktion.	420
4.3.2	Schrödinger-Gleichung und Korrespondenzprinzip	424
4.3.3	Berechnung von Messwerten und Erwartungswerten . . .	437
4.3.4	Ehrenfest'sches Theorem.	447
4.3.5	Unschärferelation.	451
4.3.6	Quantenverschränkung	455
4.3.7	Postulate der Quantenmechanik	474
4.4	Ausgewählte Ergebnisse der Quantenmechanik	477
4.4.1	Freies Quantenobjekt.	477
4.4.2	Quantenobjekt unter dem Einfluss einer potenziellen Energie, deren Kurve stückweise konstant ist und mindestens eine Sprungstelle besitzt	481
4.4.3	Harmonischer Oszillator	490
4.4.4	Wasserstoffatom.	502
4.4.5	Erklärung des Aufbaus des Periodensystems der Elemente mit dem Orbitalmodell.	508
5	Wärme	523
5.1	Rund um das Phänomen Wärme	525
5.2	Grundlagen der Chemie und Definition molarer Größen.	528
5.2.1	Grundlagen der Chemie.	528
5.2.2	Stoffmenge und molare Größen.	532
5.3	Zustandsgleichungen	536
5.3.1	Thermische Zustandsgleichung für das ideale Gas	536
5.3.2	Kalorische Zustandsgleichung für das ideale Gas und Gleichverteilungssatz	540
5.3.3	Zustandsgleichung für das reale Gas	546
5.3.4	Zustandsgleichung für Festkörper	550
5.4	Wärmekapazität	551
5.5	Erster Hauptsatz der Thermodynamik und einige seiner Anwendungen	558
5.5.1	Formulierung des Ersten Hauptsatzes	558
5.5.2	Isochore Zustandsänderungen	562
5.5.3	Isobare Zustandsänderungen	563
5.5.4	Isotherme Zustandsänderungen	566
5.5.5	Isentrope Zustandsänderungen	568
5.6	Kreisprozesse	572
5.6.1	Kreisprozesse bei Verbrennungsmotoren.	572
5.6.2	Carnot'scher Kreisprozess	577
5.7	Entropie und Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik.	583
5.7.1	Thermodynamische Definition der Entropie	583
5.7.2	Partielle Ableitungen der Entropie.	588

5.7.3	Berechnung der Entropie des idealen Gases aus der thermodynamischen Definition der Entropie.	589
5.7.4	Irreversible Prozesse	592
5.7.5	Formulierung und Interpretation des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik	599
5.7.6	Statistische Definition der Entropie	602
5.7.7	Berechnung der Entropie des idealen Gases aus der statistischen Definition der Entropie	610
5.8	Thermodynamische Potenziale und Maxwell-Beziehungen	619
5.8.1	Thermodynamische Potenziale	619
5.8.2	Maxwell-Beziehungen	626
5.9	Ausblick auf die Ensembletheorie	628
5.9.1	Mikrokanonisches Ensemble	632
5.9.2	Kanonisches Ensemble	634
5.9.3	Großkanonisches Ensemble	636
	Anhang 5.1 Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen im idealen Gas	637
	Anhang 5.2 Umformung thermodynamischer Zustandsgrößen mit Jakobideterminanten	641
6	Exkursionen in die Mathematik	643
6.1	Erweiterung des schulischen Zahlenbegriffs	644
6.2	Erweiterung des schulischen Ableitungs- und Integralbegriffs	655
6.2.1	Ableitung und Integration von Funktionen mit einer unabhängigen Variablen.	656
6.2.2	Ableitung und Integration von Funktionen mit mehreren unabhängigen Variablen.	659
6.3	Erweiterung des schulischen Matrizenbegriffs	683
6.3.1	Operationen mit Matrizen	684
6.3.2	Quadratische Matrizen	689
6.3.3	Weitere Produkte von Matrizen	693
6.4	Erweiterung des schulischen Vektorbegriffs	700
6.4.1	Vektoren im Physik- und Mathematikunterricht der Schule	700
6.4.2	Vektorräume	704
6.4.3	Skalarprodukte zweier Vektoren gleicher Dimension ...	710
6.4.4	Kreuzprodukt dreidimensionaler Vektoren	738
6.4.5	Tensorprodukt von Vektoren	738
6.4.6	Mehrfachprodukte von Vektoren	742
6.5	Vektoranalysis	745
6.5.1	Gradient eines Skalarfeldes	746
6.5.2	Gradient eines Vektorfeldes	759
6.5.3	Divergenz eines Vektorfeldes	760
6.5.4	Rotation eines Vektorfeldes	766

6.6	Fourier-Analysis.	776
6.6.1	Fourier-Reihen.	776
6.6.2	Fourier-Integrale und Delta-Distribution.	788
6.7	Legendre-Transformation.	795
6.8	Variationsrechnung.	798
6.9	Verwendung von Operatoren in der Quantenmechanik.	810
6.9.1	Allgemeine Betrachtungen	810
6.9.2	Vektoren und Operatoren in Hilbert-Räumen mit Orthonormalbasis	819
6.9.3	Hermiteische Operatoren	829
6.9.4	Projektionsoperatoren	836
6.9.5	Unitäre Operatoren	838
Ausblick		845
Personenverzeichnis		849
Stichwortverzeichnis.		853