

Inhaltsverzeichnis

I	Vektorrechnung	1
1	Einführung und Grunddefinitionen	1
2	Das Skalarprodukt	3
3	Komponentendarstellung eines Vektors	6
4	Das Vektorprodukt (axialer Vektor)	9
5	Das Spatprodukt	20
6	Anwendung der Vektorrechnung	22
7	Differentiation und Integration von Vektoren	34
8	Das begleitende Dreiein	45
9	Flächen im Raum	61
10	Koordinatensysteme	64
11	Vektorielle Differentialoperationen	79
12	Bestimmung von Linienintegralen	106
13	Die Integralsätze von Gauß und Stokes	109
14	Berechnung von Oberflächenintegralen	121
15	Volumen (Raum)-Integrale	125
II	Newtonsche Mechanik	129
16	Die Newtonschen Axiome	129
17	Grundbegriffe der Mechanik	135
x 18	Die allgemeine lineare Bewegung	154
19	Der freie Fall	157

× 20	Die Reibung	166
ℓ 21	Der harmonische Oszillator	192
22	Mathematische Zwischenbetrachtung (Reihenentwicklung, Eulersche Formeln)	206
× 23	Der gedämpfte harmonische Oszillator	209
× 24	Das Pendel	225
25	Mathematische Vertiefung: Differentialgleichungen	240
× 26	Planetenbewegungen	245
27	Spezielle Probleme in Zentralfeldern	281
× 28	Die Erde und unser Sonnensystem	294
III Relativitätstheorie		335
29	Relativitätsprinzip und Michelson-Versuch	335
30	Die Lorentz-Transformation	343
31	Eigenschaften der Lorentz-Transformation	361
32	Additionstheorem der Geschwindigkeiten	393
33	Die Grundgrößen der Mechanik im Minkowski-Raum	399
34	Anwendungen der speziellen Relativitätstheorie	436

Aufgaben und Beispiele

Aufgabe:	3.1	Addition und Subtraktion von Vektoren	8
Aufgabe:	4.1	Vektorprodukt	15
Aufgabe:	4.2	Determinanten	16
Aufgabe:	4.3	Beweis von Determinantenregeln	17
Beispiel:	4.4	Laplacescher Entwicklungssatz	19
Aufgabe:	6.1	Abstandsvektor	22
Aufgabe:	6.2	Projektion eines Vektors auf einen anderen	22
Aufgabe:	6.3	Geraden- und Ebenengleichung	23
Beispiel:	6.4	Der Kosinussatz	23
Beispiel:	6.5	Der Satz von Thales	24
Beispiel:	6.6	Die Drehmatrix	25
Aufgabe:	6.7	Überlagerung von Kräften	27
Beispiel:	6.8	Gleichgewichtsbedingung für einen starren Körper ohne feste Drehachse	28
Aufgabe:	6.9	Kraft und Drehmoment	29
Aufgabe:	6.10	Stabkräfte im Dreieck	31
Aufgabe:	6.11	Gesamtkraft und Drehmoment	33
Beispiel:	7.1	Differentiation eines Vektors	35
Beispiel:	7.2	Differentiation eines Produktes aus Skalar und Vektor	37
Aufgabe:	7.3	Geschwindigkeit und Beschleunigung auf einer Raumkurve	38
Beispiel:	7.4	Kreisbewegung	39
Beispiel:	7.5	Schraubenlinie	40
Beispiel:	7.6	Integration eines Vektors	41
Aufgabe:	7.7	Integration eines Vektors	42
Aufgabe:	7.8	Bewegung auf einer Raumkurve	42
Aufgabe:	7.9	Bewegung auf einer Raumkurve	44
Aufgabe:	8.1	Krümmung und Torsion	52
Beispiel:	8.2	Frenetsche Formeln am Kreis	52
Beispiel:	8.3	Begleitendes Dreiein und Schraubenlinie	54
Beispiel:	8.4	Evolvente eines Kreises	58
Aufgabe:	8.5	Bogenlänge	58
Beispiel:	8.6	Verallgemeinerung der Evolute	59

Beispiel:	9.1	Normalenvektor einer Fläche im Raum	63
Aufgabe:	10.1	Zur Geschwindigkeit und Beschleunigung in Zylinderkoordinaten	75
Aufgabe:	10.2	Darstellung eines Vektors in Zylinderkoordinaten	77
Aufgabe:	10.3	Winkelgeschwindigkeit und Radialbeschleunigung	78
Aufgabe:	11.1	Gradient eines Skalarfeldes	88
Aufgabe:	11.2	Bestimmung des Skalarfeldes aus dem zugehörigen Gradientenfeld	88
Aufgabe:	11.3	Divergenz eines Vektorfeldes	88
Aufgabe:	11.4	Rotation eines Vektorfeldes	89
Aufgabe:	11.5	Elektrische Feldstärke, elektrisches Potential	89
Aufgabe:	11.6	Differentialoperationen in Kugelkoordinaten	90
Aufgabe:	11.7	Reziprokes Dreibein	96
Aufgabe:	11.8	Reziproke Koordinatensysteme	97
Beispiel:	12.1	Linienintegral über ein Vektorfeld	108
Aufgabe:	13.1	Wegunabhängigkeit eines Linienintegrals	115
Aufgabe:	13.2	Bestimmung der Potentialfunktion	118
Aufgabe:	13.3	Wirbelfluß eines Kraftfeldes durch eine Halbkugel	119
Aufgabe:	13.4	Zum konservativen Kraftfeld	120
Beispiel:	14.1	Zur Berechnung eines Oberflächenintegrals	122
Aufgabe:	14.2	Fluß durch eine Oberfläche	124
Beispiel:	15.1	Berechnung eines Volumenintegrals	126
Aufgabe:	15.2	Berechnung einer Gesamtkraft aus der Kraftdichte	127
Aufgabe:	16.1	Einfache Seilrolle	132
Aufgabe:	16.2	Doppelte Seilrolle	133
Beispiel:	17.1	Potentielle Energie	138
Aufgabe:	17.2	Impulsstoß durch zeitabhängiges Kraftfeld	140
Aufgabe:	17.3	Kraftstoß	141
Aufgabe:	17.4	Das ballistische Pendel	142
Beispiel:	17.5	Kräfte bei der Bewegung auf einer Ellipse	145
Aufgabe:	17.6	Berechnung von Drehimpuls und Drehmoment	147
Aufgabe:	17.7	Nachweis, daß ein gegebenes Kraftfeld konservativ ist	148
Aufgabe:	17.8	Kraftfeld, Potential, Gesamtenergie	148
Aufgabe:	17.9	Impuls und Kraft auf einen Rammpfahl	149
Beispiel:	17.10	Elementare Betrachtungen über Scheinkräfte	151
Aufgabe:	19.1	Bewegung einer Masse im konstanten Kraftfeld	160
Aufgabe:	19.2	Bewegung auf einer Schraubenlinie im Schwerfeld	163
Aufgabe:	19.3	Raumschiff umkreist Erde	166

Beispiel:	20.1	Freier Fall mit Reibung nach Stokes	168
Beispiel:	20.2	Der schräge Wurf mit Reibung nach Stokes	170
Aufgabe:	20.3	Freier Fall mit Newtonscher Reibung	176
Aufgabe:	20.4	Bewegung einer Lokomotive mit Reibung	179
Beispiel:	20.5	Die schiefe Ebene	180
Aufgabe:	20.6	Zwei Massen auf schiefen Ebenen	182
Aufgabe:	20.7	Eine Kette rutscht vom Tisch	183
Aufgabe:	20.8	Eine Scheibe auf Eis – der Reibungskoeffizient	186
Aufgabe:	20.9	Ein Autounfall	187
Aufgabe:	20.10	Ein Teilchen auf einer Kugel	188
Aufgabe:	20.11	Eine Leiter lehnt an einer Wand	190
Aufgabe:	20.12	Eine Masse rutscht unter Haft- und Gleitreibung	191
Aufgabe:	21.1	Amplitude, Frequenz und Periode einer harmonischen Schwingung	199
Aufgabe:	21.2	Masse hängt an Feder	201
Aufgabe:	21.3	Schwingung einer Masse an einer ausgelenkten Feder	201
Aufgabe:	21.4	Schwingung eines schwimmenden Zylinders	202
Aufgabe:	21.5	Masse hängt an zwei Federn und schwingt	202
Aufgabe:	21.6	Zusammengesetzte Federn	204
Aufgabe:	21.7	Schwingung eines drehbar gelagerten Stabes	205
Aufgabe:	22.1	Zur Taylorreihe	208
Aufgabe:	23.1	Gedämpfte Schwingung eines Teilchens	219
Aufgabe:	23.2	Harmonische Oszillator wird von außen erregt	222
Aufgabe:	23.3	Massenpunkt in der x - y -Ebene	223
Aufgabe:	24.1	Die Zykloide	230
Aufgabe:	24.2	Das Zykloidenpendel	231
Aufgabe:	24.3	Eine Perle gleitet auf einer Zykloide	233
Aufgabe:	24.4	Das Problem der Tautochrone	234
Aufgabe:	24.5	Bewegung einer Peitschenschnur	237
Beispiel:	26.1	Das Cavendish Experiment	252
Aufgabe:	26.2	Kraftgesetz einer Kreisbahn	265
Aufgabe:	26.3	Kraftgesetz einer Spiralbahn	266
Aufgabe:	26.4	Die Lemniskatenbahn	267
Aufgabe:	26.5	Fluchtgeschwindigkeit auf der Erde	268
Aufgabe:	26.6	Das Raketenproblem	269
Aufgabe:	26.7	Bewegungsgleichungen einer Zweistufenrakete	271
Aufgabe:	26.8	Kondensation eines Wassertropfens	272
Aufgabe:	26.9	Bewegung eines Lastwagens mit variabler Ladung	273
Aufgabe:	26.10	Bahn eines Kometen	274
Aufgabe:	26.11	Bewegung im Zentralfeld	276
Aufgabe:	26.12	Meerwasser als Raketenantrieb	279

Beispiel:	26.13	Geschichtliche Bemerkung zur Vertiefung.	279
Aufgabe:	27.1	Gravitationskraft eines homogenen Stabes	285
Aufgabe:	27.2	Gravitationskraft einer homogenen Scheibe	286
Aufgabe:	27.3	Gravitationspotential einer Hohlkugel	287
Aufgabe:	27.4	Tunnel durch die Erde	288
Aufgabe:	27.5	Stabilität einer Kreisbahn	293
Aufgabe:	27.6	Stabilität einer Kreisbahn	294
Aufgabe:	28.1	Massenakkretion der Sonne	316
Beispiel:	28.2	Bewegung eines geladenen Teilchens im Magnetfeld der Sonne	317
Beispiel:	28.3	Ausflug zu den äußeren Planeten	319
Aufgabe:	28.4	Periheldrehung	331
Aufgabe:	30.1	Lorenz-Invarianz der Wellengleichung	356
Aufgabe:	31.1	Klassische Längenkontraktion	363
Aufgabe:	31.2	Der Begriff der Gleichzeitigkeit	363
Aufgabe:	31.3	Zur Längenkontraktion	364
Beispiel:	31.4	Zerfall der μ -Mesonen	365
Aufgabe:	31.5	Zur Zeitdilatation	366
Aufgabe:	31.6	Relativität der Gleichzeitigkeit	367
Aufgabe:	31.7	Zur Lorentz-Transformation	392
Beispiel:	33.1	Konstruktion der Viererkräft durch Lorentz-Transformation	404
Beispiel:	33.2	Der Einsteinsche Kasten	409
Beispiel:	33.3	Zum Massenzuwachs mit der Geschwindigkeit	411
Aufgabe:	33.4	Relativistischer Massenzuwachs	413
Aufgabe:	33.5	Ablenkung des Lichtes im Gravitationsfeld	414
Aufgabe:	33.6	Massenverlust der Sonne durch Strahlung	423
Aufgabe:	33.7	Geschwindigkeitsabhängigkeit der Protonenmasse	424
Aufgabe:	33.8	Effektivität eines funktionierenden Fusionsreaktors	425
Aufgabe:	33.9	Zerfall des τ -Mesons	426
Aufgabe:	33.10	Lebensdauer der K^+ -Mesonen	427
Aufgabe:	33.11	Zur Kernspaltung	429
Aufgabe:	33.12	Masse – Energie – Äquivalenz am Beispiel des τ^0 -Mesons	430
Aufgabe:	33.13	Zur Paarvernichtung	431
Aufgabe:	33.14	Kinetische Energie des Photons	432
Aufgabe:	33.15	Das sogenannte „Zwillingsparadoxon“	433
Aufgabe:	33.16	Kinetische Energie eines relativistischen Teilchens	435
Aufgabe:	34.1	Die relativistische Rakete	444
Aufgabe:	34.2	Die Photonenrakete	446
Aufgabe:	34.3	Das relativistische Zentralkraftproblem	447
Aufgabe:	34.4	Beispiel zur Vertiefung: Gravitationslinsen	450