

# Inhaltsverzeichnis

Einführung .....	1
Einleitung .....	1
Grundlagen .....	1
<b>1 Bewegung und Energie .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Grundbegriffe .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Translationsbewegungen eines Massenpunktes .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.1 Untersuchung der gleichförmigen Bewegung .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2 Überlagerung von gleichförmigen Bewegungen beliebiger Richtungen</b>	<b>17</b>
A) Die Vektoren $\vec{v}_s$ und $\vec{v}_1$ besitzen gleiche Richtung und Orientierung ..	18
B) Die Vektoren $\vec{v}_s$ und $\vec{v}_1$ besitzen gleiche Richtung aber entgegen- gesetzte Orientierung .....	18
C) Die Vektoren $\vec{v}_s$ und $\vec{v}_1$ stehen senkrecht aufeinander .....	19
D) Die Vektoren $\vec{v}_s$ und $\vec{v}_1$ schließen einen beliebigen Winkel ein .....	20
<b>1.2.3 Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung aus dem</b>	
Zustand der Ruhe .....	26
A) Experimentelle Untersuchung der Bewegung .....	27
B) Die mittlere Geschwindigkeit .....	30
C) Bestimmung der Geschwindigkeit des Gleiters an einem bestimmten Ort $x_1$ .....	34
D) Die momentane Geschwindigkeit .....	36
E) Die Beschleunigung .....	38
F) Zusammenfassung .....	40
G) Ergänzung: Die momentane Geschwindigkeit als mathematischer Grenzwert .....	41
H) Musteraufgabe zur gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung .....	44
I) Übungsaufgaben zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung .....	47
J) Der freie Fall .....	47
<b>1.2.4 Anwendungsbeispiel zur gleichförmigen und gleichmäßig</b>	
<b>beschleunigten Bewegung .....</b>	<b>53</b>
<b>1.3 Zusammengesetzte Bewegungen .....</b>	<b>57</b>
<b>1.3.1 Das Unabhängigkeitsprinzip .....</b>	<b>57</b>
<b>1.3.2 Überlagerung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter</b>	
<b>Bewegung .....</b>	<b>58</b>
A) Die Vektoren $\vec{v}_0$ und $\vec{a}$ sind parallel .....	59
a) Der senkrechte Wurf nach unten .....	60
b) Der senkrechte Wurf nach oben .....	61
B) Die Vektoren $\vec{v}_0$ und $\vec{a}$ stehen senkrecht aufeinander (waagrechter Wurf) .....	64
a) Der waagrechte Wurf .....	64
b) Übungsaufgaben zum waagrechten Wurf .....	69
<b>1.3.3 Zusammenfassung und Übungsaufgaben .....</b>	<b>69</b>

<b>1.4 Kraft und Masse</b> .....	71
1.4.1 Das erste Newton'sche Gesetz .....	72
1.4.2 Das zweite Newton'sche Gesetz .....	74
1.4.3 Das dritte Newton'sche Gesetz .....	78
1.4.4 Zusammenhang zwischen Masse und Gewichtskraft .....	80
1.4.5 Anwendungen zu den Newton'schen Gesetzen .....	80
A) Einfache Probleme aus der Statik .....	81
B) Bewegung eines Körpers auf horizontaler Bahn .....	83
C) Bewegung eines Körpers auf der geneigten Ebene .....	84
1.4.6 Aufgaben zu den Gesetzen von Newton .....	86
<b>1.5 Die gleichmäßige Kreisbewegung eines Massenpunktes</b> .....	88
1.5.1 Grundlagen zur Beschreibung der Kreisbewegung .....	88
1.5.2 Die Vektoren der Kreisbewegung .....	90
A) Der Ort als Vektor der Kreisbewegung .....	90
B) Der Vektor der Bahngeschwindigkeit .....	91
C) Der Vektor der Beschleunigung .....	93
D) Zusammenfassung der Vektoren der Kreisbewegung .....	95
1.5.3 Übungsaufgaben zur gleichmäßigen Kreisbewegung .....	95
1.5.4 Das Kraftgesetz für die Kreisbewegung .....	96
1.5.5 Anwendungen zur Zentralkraft .....	102
A) Durchfahren einer nicht überhöhten Kurve .....	102
B) Kurvenüberhöhung .....	102
C) Drehfrequenzregler .....	103
D) Radfahren in der Kurve .....	103
1.5.6 Zentrifugalkraft und Zentripetalkraft; Rotierende Bezugssysteme .....	104
1.5.7 Übungsaufgaben zur Zentralkraft .....	106
<b>1.6 Arbeit und Energie</b> .....	110
1.6.1 Verschiedene Formen der Arbeit .....	110
A) Beschleunigungsarbeit .....	112
B) Hubarbeit .....	113
C) Reibungsarbeit als nicht mechanische Form der Arbeit .....	113
D) Spannarbeit .....	114
1.6.2 Verschiedene Formen mechanischer Energie .....	115
A) Kinetische Energie .....	115
B) Potentielle Energie .....	116
C) Wärmeenergie .....	116
1.6.3 Der Energieerhaltungssatz der Mechanik .....	117
1.6.4 Anwendungsbeispiele zum Energieerhaltungssatz der Mechanik .....	120
A) Vertikale Kreisbewegung .....	120
B) Fadenpendel .....	123
C) Federpendel .....	124
D) Pumpspeicherkraftwerk .....	127
1.6.5 Übungsaufgaben zum Energieerhaltungssatz der Mechanik .....	128
1.6.6 Erweiterung des mechanischen Energieerhaltungssatzes .....	130
Ergänzung: Das Arbeit-Energie-Prinzip .....	130
Übungsaufgaben zum Arbeit-Energie-Prinzip .....	132

1.6.7	Leistung, mittlere Leistung und Wirkungsgrad .....	132
<b>1.7</b>	<b>Impuls und Impulserhaltungssatz .....</b>	<b>135</b>
1.7.1	Der Impuls .....	135
1.7.2	Zusammenhang zwischen Impuls und Kraft .....	136
1.7.3	Impulserhaltungssatz .....	137
1.7.4	Der zentrale Stoß .....	138
	A) Experimentelle Untersuchung des geraden zentralen Stoß .....	138
	B) Allgemeine Berechnung der Geschwindigkeiten beim völlig unelastischen Stoß .....	141
	C) Berechnung des Energieverlustes beim völlig unelastischen Stoß ..	142
	D) Allgemeine Berechnung der Geschwindigkeiten beim elastischen Stoß .....	143
1.7.5	Anwendungsbeispiele zum Impulserhaltungssatz und den Stoßgesetzen .....	145
	A) Ballistisches Pendel .....	145
	B) Kugelpendel .....	147
	C) Raketenantrieb .....	148
1.7.6	Übungsaufgaben zum Impulserhaltungssatz und den Stoßgesetzen ..	150
<b>2</b>	<b>Mechanische Schwingungen .....</b>	<b>154</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeine Eigenschaften und Kennzeichen von mechanischen Schwingungen .....</b>	<b>154</b>
2.1.1	Beispiele .....	154
2.1.2	Kennzeichen von Schwingungen .....	154
2.1.3	Definition wichtiger Begriffe .....	154
<b>2.2</b>	<b>Die harmonische Schwingung .....</b>	<b>156</b>
2.2.1	Die Bewegungsgleichungen einer harmonischen Schwingung .....	156
2.2.2	Darstellung von harmonischen Schwingungen .....	160
	A) Liniendiagramm .....	160
	B) Zeigerdiagramm .....	160
2.2.3	Die Bewegungsgleichungen der harmonischen Schwingung bei unterschiedlichen Anfangsbedingungen .....	160
	A) Allgemeiner Fall .....	161
	B) Zum Zeitnullpunkt durchläuft der schwingende Körper seine Ruhelage .....	161
	C) Zum Zeitnullpunkt ist die Elongation maximal, der Körper im Umkehrpunkt .....	162
2.2.4	Das lineare Kraftgesetz für die harmonische Schwingung .....	162
<b>2.3</b>	<b>Beispiele für harmonische Schwingungen .....</b>	<b>163</b>
2.3.1	Federpendel .....	163
	A) Das horizontale Federpendel .....	163
	B) Das vertikale Federpendel .....	164
	C) Schaltung von Federn .....	164
	D) Beispiel .....	165

2.3.2	Das Fadenpendel .....	165
2.3.3	Die Flüssigkeit im U-Rohr .....	166
<b>2.4</b>	<b>Der Energieerhaltungssatz bei harmonischen Schwingungen .....</b>	<b>167</b>
	Ergänzung: Dämpfung harmonischer Schwingungen .....	170
	A) Schwingfall .....	170
	B) Aperiodischer Grenzfall .....	170
	C) Kriechfall .....	171
<b>2.5</b>	<b>Freie und erzwungene Schwingungen .....</b>	<b>171</b>
	Ergänzung: Gekoppelte Pendel .....	176
<b>2.6</b>	<b>Übungsaufgaben zu den mechanischen Schwingungen .....</b>	<b>177</b>
<b>3</b>	<b>Das Gravitationsfeld .....</b>	<b>184</b>
<b>3.1</b>	<b>Geschichtliche Betrachtung .....</b>	<b>184</b>
3.1.1	Das geozentrische Weltbild .....	184
3.1.2	Das heliozentrische Weltbild .....	185
<b>3.2</b>	<b>Die Kepler'schen Gesetze .....</b>	<b>187</b>
3.2.1	Das erste Kepler'sche Gesetz (1609) .....	187
3.2.2	Das zweite Kepler'sche Gesetz (1609) .....	187
3.2.3	Das dritte Kepler'sche Gesetz (1619) .....	187
3.2.4	Beispiele zur Anwendung des dritten Kepler'schen Gesetzes .....	188
<b>3.3</b>	<b>Das Gravitationsgesetz .....</b>	<b>189</b>
3.3.1	Herleitung des Gravitationsgesetzes .....	189
3.3.2	Bestimmung der Gravitationskonstanten G .....	192
3.3.3	Anwendungsbeispiele zum Gravitationsgesetz .....	195
	A) Grafische Darstellung der Gravitationskraft .....	195
	B) Berechnung der Masse und der mittleren Dichte der Erde .....	196
	C) Berechnung der Masse der Sonne .....	196
	D) „Gravitationsfreier“ Punkt zwischen zwei Körpern .....	197
<b>3.4</b>	<b>Das radialsymmetrische Gravitationsfeld .....</b>	<b>199</b>
3.4.1	Der allgemeine Feldbegriff .....	199
3.4.2	Darstellung des Feldes .....	199
3.4.3	Das Gravitationsgesetz in vektorieller Darstellung .....	200
3.4.4	Die Gravitationsfeldstärke .....	200
3.4.5	Das homogene Feld .....	201
<b>3.5</b>	<b>Verschiebungsarbeit und potentielle Energie (Lageenergie) .....</b>	<b>202</b>
3.5.1	Grundlagen .....	202
3.5.2	Homogenes Gravitationsfeld .....	203
3.5.3	Verschiebungsarbeit im radialsymmetrischen Gravitationsfeld .....	204
	A) Berechnung der Verschiebungsarbeit längs einer Feldlinie .....	204
	B) Bewegung des Probekörpers auf der Oberfläche einer Kugel, die zur Erde konzentrisch ist .....	206
	C) Bewegung auf einem beliebigen Weg im Gravitationsfeld .....	206

<b>3.5.4</b>	Potentielle Energie im radialsymmetrischen Gravitationsfeld .....	207
A)	Das Bezugsniveau liegt auf der Oberfläche des Felderregers .....	208
B)	Das Bezugsniveau liegt im Unendlichen .....	208
<b>3.5.5</b>	Das Gravitationspotential .....	209
<b>3.5.6</b>	Die Fluchtgeschwindigkeit .....	210
<b>3.6</b>	<b>Satellitenbewegung</b> .....	211
<b>3.6.1</b>	Grundlagen .....	211
<b>3.6.2</b>	Die erste kosmische Geschwindigkeit .....	212
<b>3.6.3</b>	Der Synchronsatellit .....	213
<b>3.6.4</b>	Die kinetische Energie eines Satelliten .....	214
<b>3.6.5</b>	Potentielle Energie eines Satelliten .....	214
A)	Bezugsniveau im feldfreien Raum .....	214
B)	Bezugsniveau auf der Oberfläche .....	215
<b>3.6.6</b>	Gesamtenergie des Satelliten .....	215
A)	Bezugsniveau im feldfreien Raum .....	215
B)	Bezugsniveau der potentiellen Energie liegt auf der Oberfläche des felderzeugenden Körpers (Erde) .....	216
C)	Zusammenfassung .....	216
<b>3.6.7</b>	Energiedifferenzen für zwei Satellitenbahnen .....	217
<b>3.7</b>	<b>Aufgaben zum Gravitationsfeld</b> .....	218
<b>3.7.1</b>	Musteraufgabe .....	218
<b>3.7.2</b>	Übungsaufgaben .....	220
<b>4</b>	<b>Elektrisches Feld</b> .....	226
<b>4.1</b>	<b>Wiederholung</b> .....	226
<b>4.1.1</b>	Grundbegriffe .....	226
<b>4.1.2</b>	Messung der elektrischen Ladung .....	227
A)	Das Elektroskop .....	227
B)	Der Messverstärker .....	228
<b>4.2</b>	<b>Darstellung des elektrischen Feldes; Feldlinien</b> .....	228
<b>4.2.1</b>	Beispiele einfacher Felder .....	228
<b>4.2.2</b>	Eigenschaften von Feldlinien .....	230
<b>4.3</b>	<b>Kraftwirkung zwischen Punktladungen; Coulomb'sches Gesetz</b> .....	231
<b>4.3.1</b>	Experimentelle Untersuchung mit der Drehwaage .....	231
<b>4.3.2</b>	Vektorielle Darstellung des Coulomb'schen Gesetzes .....	237
<b>4.3.3</b>	Größenvergleich zwischen Gravitations- und Coulombkraft .....	237
<b>4.4</b>	<b>Die elektrische Feldstärke</b> .....	238
<b>4.4.1</b>	Definition der Feldstärke .....	238
<b>4.4.2</b>	Experimentelle Untersuchung der elektrischen Feldstärke im radialsymmetrischen Feld .....	241
<b>4.5</b>	<b>Verschiebungsarbeit, Potential und Spannung im radial- symmetrischen Feld</b> .....	243
<b>4.5.1</b>	Verschiebungsarbeit im Radialfeld .....	243

4.5.2	Potentielle Energie im radialsymmetrischen elektrischen Feld .....	244
4.5.3	Das Potential .....	246
4.5.4	Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten (Spannung) .....	247
4.5.5	Potentialmessung mit der Flammensonde .....	249
<b>4.6</b>	<b>Das homogene Feld eines Kondensators</b> .....	251
4.6.1	Die elektrische Feldstärke im homogenen Feld .....	251
4.6.2	Verschiebungsarbeit im homogenen Feld .....	254
4.6.3	Potentielle Energie im homogenen Feld .....	255
4.6.4	Potential und Potentialdifferenz im homogenen elektrischen Feld .....	255
<b>4.7</b>	<b>Elektrische Influenz</b> .....	258
4.7.1	Elektrische Flächenladungsdichte und Flussdichte im Plattenkondensator .....	259
4.7.2	Die elektrische Flussdichte im homogenen Feld eines Plattenkondensators .....	260
4.7.3	Zusammenhang zwischen der elektrischen Feldstärke eines Plattenkondensators und seiner Flächenladungsdichte .....	261
4.7.4	Bestimmung der elektrischen Feldkonstante $\epsilon_0$ .....	262
<b>4.8</b>	<b>Die Kapazität</b> .....	263
4.8.1	Definition der Kapazität .....	263
4.8.2	Kapazität eines Plattenkondensators .....	264
4.8.3	Materie im elektrischen Feld .....	264
4.8.4	Schaltung von Kondensatoren .....	265
	A) Reihenschaltung .....	265
	B) Parallelschaltung .....	266
4.8.5	Technische Kondensatoren .....	267
4.8.6	Die Kapazität einer geladenen Kugel mit Radius R .....	267
<b>4.9</b>	<b>Energie im elektrischen Feld</b> .....	268
4.9.1	Herleitung der Gleichung zur Berechnung der in einem geladenen Kondensator gespeicherten Energie .....	268
4.9.2	Die elektrische Energie des Plattenkondensators .....	270
<b>4.10</b>	<b>Bestimmung der Elementarladung nach Millikan (1868–1953; Nobelpreis 1923)</b> .....	271
<b>4.11</b>	<b>Bewegung freier geladener Teilchen im elektrischen Feld</b> .....	273
4.11.1	Der glühelektrische Effekt .....	273
4.11.2	Bewegung parallel zur Feldstärke $\vec{E}$ im homogenen Feld .....	273
	A) Bewegung der Ladung parallel zu den Feldlinien ohne Anfangsgeschwindigkeit .....	273
	B) Bewegung der Ladung parallel zu den Feldlinien mit Anfangsgeschwindigkeit .....	275
4.11.3	Bewegung senkrecht zur Feldstärke .....	276
<b>4.12</b>	<b>Übungsaufgaben zum elektrischen Feld</b> .....	280

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>IX</b>
<b>5 Magnetisches Feld und Induktion .....</b>	<b>285</b>
<b>5.1 Wiederholung .....</b>	<b>285</b>
<b>5.2 Magnetfelder stromdurchflossener Leiter .....</b>	<b>287</b>
5.2.1 Das Magnetfeld eines geraden stromdurchflossenen Leiters .....	288
5.2.2 Das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule .....	289
5.2.3 Die Ampère'sche Hypothese .....	290
5.2.4 Das Magnetfeld der Erde .....	291
<b>5.3 Die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld .....</b>	<b>292</b>
5.3.1 Beispiele .....	292
5.3.2 U-V-W Regel der rechten Hand .....	293
5.3.3 Die Ampère-Definition .....	293
<b>5.4 Die magnetische Flussdichte .....</b>	<b>294</b>
5.4.1 Messung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter .....	294
5.4.2 Vektorielle Darstellung der Kraft .....	297
<b>5.5 Bewegung geladener Teilchen im homogenen Magnetfeld .....</b>	<b>298</b>
5.5.1 Bewegung von freien Ladungsträgern im Inneren eines Körpers, der von einem homogenen Magnetfeld durchsetzt wird .....	298
A) Die Lorentzkraft .....	298
B) Der Halleffekt .....	299
5.5.2 Bewegung von freien Teilchen im homogenen Magnetfeld .....	301
A) Bahn geladener freier Teilchen im homogenen Magnetfeld .....	301
B) Die $\frac{e}{m}$ -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr .....	303
5.5.3 Überlagerung von elektrischen und magnetischen Feldern; Wienfilter ..	304
<b>5.6 Die magnetische Flussdichte einer langgestreckten leeren Spule .....</b>	<b>305</b>
<b>5.7 Die elektromagnetische Induktion .....</b>	<b>309</b>
5.7.1 Untersuchung der Induktion im geschlossenen Leiterkreis .....	309
A) Gleichförmig bewegter Leiter im homogenen Magnetfeld (1. Fall) ..	309
B) Leiterschleife im veränderlichen Magnetfeld einer langen Spule (2. Fall) .....	314
C) Der magnetische Fluss .....	317
D) Zusammenfassung der beiden Fälle .....	318
5.7.2 Energieerhaltung bei Induktionsvorgängen; Die Lenz'sche Regel .....	319
5.7.3 Das Vorzeichen der Induktionsspannung .....	320
5.7.4 Anwendungsbeispiele .....	321
A) Magnetstab in Spule .....	321
B) Thomson'scher Ringversuch .....	322
C) Spule mit Weicheisen .....	322
D) Wirbelstromdämpfung .....	323

<b>5.8</b>	<b>Erzeugung sinusförmiger Induktionsspannung</b>	324
5.8.1	Untersuchung mit Hilfe des Induktionsgesetzes	325
5.8.2	Untersuchung mit Hilfe der Induktionsspannung, die an den Enden eines bewegten Leiters im homogenen Magnetfeld entsteht	325
5.8.3	Leistung im Wechselstromkreis	326
<b>5.9</b>	<b>Selbstinduktion</b>	329
5.9.1	Ein- und Ausschaltvorgänge bei Gleichstrom	329
A)	Einschaltvorgang bei Gleichstrom	329
B)	Ausschaltvorgang bei Gleichstrom	329
C)	Periodisches Ein- und Ausschalten	331
D)	Mathematische Beschreibung der Selbstinduktion	332
5.9.2	Die Selbstinduktivität einer langgestreckten Spule	333
<b>5.10</b>	<b>Energie des magnetischen Feldes</b>	334
<b>5.11</b>	<b>Übungsaufgaben zum magnetischen Feld</b>	335
<b>6</b>	<b>Schaltelemente im Wechselstromkreis</b>	341
<b>6.1</b>	<b>Der Wechselstromwiderstand</b>	341
<b>6.2</b>	<b>Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis; Wirkwiderstand</b>	341
<b>6.3</b>	<b>Der Kondensator im Wechselstromkreis</b>	343
<b>6.4</b>	<b>Die Spule im Wechselstromkreis</b>	350
<b>6.5</b>	<b>Übungsaufgaben zu den elektrischen Schwingungen</b>	356
<b>Lösungen</b>		357