

# 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>
1.2.1 Untersuchung der gleichförmigen Bewegung .....	9
1.2.2 Überlagerung von gleichförmigen Bewegungen beliebiger Richtungen	17
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
1.2.3 Die gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung aus dem	
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
1.2.4 Anwendungsbeispiel zur gleichförmigen und gleichmäßig	
beschleunigten Bewegung .....	53
<b>1.3 Zusammengesetzte Bewegungen .....</b>	<b>57</b>
1.3.1 Das Unabhängigkeitsprinzip .....	57
1.3.2 Überlagerung von gleichförmiger und gleichmäßig beschleunigter	
Bewegung .....	58
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
1.3.3 Zusammenfassung und Übungsaufgaben .....	69

<b>1.4</b>	<b>Kraft und Masse</b>	<b>71</b>
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</b>	<b>Die gleichmäßige Kreisbewegung eines Massenpunktes</b>	<b>88</b>
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</b>	<b>Arbeit und Energie</b>	<b>110</b>
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

3.5.4	Potentielle Energie im radialsymmetrischen Gravitationsfeld .....	207
	A) Das Bezugsniveau liegt auf der Oberfläche des Felderregers .....	208
	B) Das Bezugsniveau liegt im Unendlichen .....	208
3.5.5	Das Gravitationspotential .....	209
3.5.6	Die Fluchtgeschwindigkeit .....	210
<b>3.6</b>	<b>Satellitenbewegung</b> .....	211
3.6.1	Grundlagen .....	211
3.6.2	Die erste kosmische Geschwindigkeit .....	212
3.6.3	Der Synchronsatellit .....	213
3.6.4	Die kinetische Energie eines Satelliten .....	214
3.6.5	Potentielle Energie eines Satelliten .....	214
	A) Bezugsniveau im feldfreien Raum .....	214
	B) Bezugsniveau auf der Oberfläche .....	215
3.6.6	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
3.6.7	Energiedifferenzen für zwei Satellitenbahnen .....	217
<b>3.7</b>	<b>Aufgaben zum Gravitationsfeld</b> .....	218
3.7.1	Musteraufgabe .....	218
3.7.2	Übungsaufgaben .....	220
<b>4</b>	<b>Elektrisches Feld</b> .....	226
<b>4.1</b>	<b>Wiederholung</b> .....	226
4.1.1	Grundbegriffe .....	226
4.1.2	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
4.2.1	Beispiele einfacher Felder .....	228
4.2.2	Eigenschaften von Feldlinien .....	230
<b>4.3</b>	<b>Kraftwirkung zwischen Punktladungen; Coulomb'sches Gesetz</b> .....	231
4.3.1	Experimentelle Untersuchung mit der Drehwaage .....	231
4.3.2	Vektorielle Darstellung des Coulomb'schen Gesetzes .....	237
4.3.3	Größenvergleich zwischen Gravitations- und Coulombkraft .....	237
<b>4.4</b>	<b>Die elektrische Feldstärke</b> .....	238
4.4.1	Definition der Feldstärke .....	238
4.4.2	Experimentelle Untersuchung der elektrischen Feldstärke im radialsymmetrischen Feld .....	241
<b>4.5</b>	<b>Verschiebungsarbeit, Potential und Spannung im radial- symmetrischen Feld</b> .....	243
4.5.1	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 Flammsonde .....	249
<b>4.6</b>	<b>Das homogene Feld eines Kondensators</b> .....	<b>251</b>
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> .....	<b>258</b>
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> .....	<b>263</b>
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> .....	<b>268</b>
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> .....	<b>271</b>
<b>4.11</b>	<b>Bewegung freier geladener Teilchen im elektrischen Feld</b> .....	<b>273</b>
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 Anfangs- geschwindigkeit .....	273
	B) Bewegung der Ladung parallel zu den Feldlinien mit Anfangs- geschwindigkeit .....	275
4.11.3	Bewegung senkrecht zur Feldstärke .....	276
<b>4.12</b>	<b>Übungsaufgaben zum elektrischen Feld</b> .....	<b>280</b>

<b>5</b>	<b>Magnetisches Feld und Induktion</b>	<b>285</b>
<b>5.1</b>	<b>Wiederholung</b>	<b>285</b>
<b>5.2</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>Die magnetische Flussdichte einer langgestreckten leeren Spule</b>	<b>305</b>
<b>5.7</b>	<b>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>	<b>324</b>
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>	<b>329</b>
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>	<b>334</b>
<b>5.11</b>	<b>Übungsaufgaben zum magnetischen Feld</b>	<b>335</b>
<b>6</b>	<b>Schaltelemente im Wechselstromkreis</b>	<b>341</b>
6.1	Der Wechselstromwiderstand	341
6.2	Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis; Wirkwiderstand	341
6.3	Der Kondensator im Wechselstromkreis	343
6.4	Die Spule im Wechselstromkreis	350
6.5	Übungsaufgaben zu den elektrischen Schwingungen	356
<b>Lösungen</b>		<b>357</b>