

Inhaltsverzeichnis

1 Mechanische Schwingungen		2 Mechanische Wellen	
Erkunden & Einsteigen	9	Erkunden & Einsteigen	27
1.1 Schwingungen	10	2.1 Wellenausbreitung	28
1.1.1 Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen	10	2.1.1 Von Schwingungen zur Welle	28
Methode: Modellierung einer Potenzfunktion	12	Exkurs: Die Wellengleichung	30
1.1.2 Periodendauern	13	2.1.2 Wellen in der Ebene und im Raum	31
1.1.3 Die harmonische Schwingung	14	2.1.3 Wellen bei Erdbeben	33
Methode: Ableitung nach der Zeit	16	2.1.4 Doppler-Effekt	34
Methode: Zeigerdiagramm und Phasenwinkel	16	Exkurs: Messung der Geschwindigkeit von Blut	35
Methode: Die Differentialgleichung der harmonischen Schwingung	18	2.2 Eigenschaften von Wellen	36
1.1.4 Die Energie der harmonischen Schwingung	19	2.2.1 Überlagerung von Wellen	36
1.1.5 Energieabgabe – Dämpfung	20	2.2.2 Interferenz zweier Kreiswellen	38
1.1.6 Energiezufuhr – erzwungene Schwingungen	22	2.2.3 Doppelspalt statt zwei Sender	39
Exkurs: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe	23	Exkurs: Interferenz im Zeigermodell	40
1.1.7 Überlagerung von Schwingungen	24	2.2.4 Welleneigenschaften und die Modellvorstellung von Huygens	41
Methode: Überlagerung zweier Schwingungen in Zeigerdarstellung	25	2.2.5 Reflexion, stehende Wellen und Eigenschwingungen	44
Trainieren & Testen	26	2.2.6 Stehende Longitudinalwellen	46
		Exkurs: Musikinstrumente	47
		Trainieren & Testen	48

3 Wellenmodell des Lichts

Erkunden & Einstiegen	49
Exkurs: Licht als elektromagnetische Welle	50
3.1 Licht als Welle	51
3.1.1 Beugung in der Wellenoptik	51
3.1.2 Interferenz mit Doppelspalt & Gitter	52
3.1.3 Einzelpunkt und Interferenz	56
3.1.4 Polarisation von Licht	58
3.2 Interferometer	62
3.2.1 Michelson-Interferometer	62
3.2.2 Mach-Zehnder-Interferometer	63
3.3 Geschwindigkeit des Lichts	64
3.3.1 Messung der Lichtgeschwindigkeit	64
3.3.2 Die Brechzahl	66
Exkurs: Interferenz mit Seifenhaut / dünnen Folien	66
Trainieren & Testen	67

4 Gravitationsfelder

Erkunden & Einstiegen	69
4.1 Die Gravitationskraft	68
4.1.1 Das Sonnensystem	68
Exkurs: Ein schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße und der Physik-Nobelpreis	69
4.1.2 Die Kepler'schen Gesetze	70
4.1.3 Das Gravitationsgesetz	70
4.2 Bewegungen im Gravitationsfeld	72
4.2.1 Die Gravitationsfeldstärke	72
4.2.2 Energie im Gravitationsfeld	73
4.2.3 Satelliten und Raumfahrt	74
Exkurs: Erde und Sonnensystem in der Vorstellung von der Antike bis zur Neuzeit	76
Exkurs: Ebbe und Flut	78
Trainieren & Testen	79

5 Elektrische Felder		6 Magnetische Felder			
Erkunden & Einsteigen		80	Erkunden & Einsteigen	117	
5.1	Ladung und elektrisches Feld	82	6.1	Kraftwirkung des magnetischen Feldes	118
5.1.1	Grundlagen einfacher Stromkreise	82	6.1.1	Das magnetische Feld	118
5.1.2	Elektrostatik	84		Exkurs: Magnetfeld der Erde	119
5.1.3	Elektrische Felder und ihre Darstellung Exkurs: Elektrostatisches Lackieren / Gewitter / Laserdrucker	86	6.1.2	Elektrischer Strom und Magnetfeld Methode: Feldlinien/Vektoren dreidimensional darstellen	120
5.1.4	Elektrische Feldstärke und Spannung	90	6.1.3	Stärke des Magnetfelds	122
5.1.5	Radialsymmetrisches Feld und Coulombsches Gesetz	93	6.1.4	Methode: Das Vektorprodukt	123
	Methode: Überlagerung von Feldern	94	6.1.5	Die Lorentzkraft	124
5.1.6	Ladung und Feldstärke – die elektrische Feldkonstante ϵ_0	96	6.1.6	Die Masse geladener Teilchen	128
			6.1.7	Zyklotron und Synchrotron	132
				Hall-Effekt / Bestimmung der magnetischen Flussdichte	134
5.2	Geladene Teilchen im E-Feld	98	6.2	Magnetfeld von Leiter und Spule	136
5.2.1	Die Elektronenkanone	98	6.2.1	Magnetfeld im Innern einer Spule	136
5.2.2	Bewegung im Querfeld	99	6.2.2	Magnetfeld eines Leiters	136
5.2.3	Die Elementarladung – Millikan-Versuch	101		Exkurs: Wie funktioniert ein Joystick?	138
				Exkurs: Felder im Vergleich	139
5.3	Der Kondensator	102		Trainieren & Testen	140
5.3.1	Der Kondensator als Ladungsspeicher	102			
	Methode: Ladungsmessung Q – Bedeutung des Flächeninhalts unter t - I -Graphen	105			
5.3.2	Der Kondensator / das elektrische Feld als Energiespeicher	106			
	Methode: Rechnen mit Einheiten	107			
5.3.3	Energie und Leistung	108			
5.3.4	Aufladen und Entladen eines Kondensators	110			
	Methode: Datenauswertung – Modellierung einer Exponentialfunktion	112			
Trainieren & Testen		116			

7 Induktion		8 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	
Erkunden & Einsteigen	141	Erkunden & Einsteigen	185
7.1 Phänomen Induktion	142	8.1 Elektrische Schwingungen	186
7.1.1 Induktionsversuche	142	8.1.1 Der Schwingkreis	186
7.1.2 Induktion und magnetischer Fluss	144	Methode: Herleitung der thomsonschen Schwingungsgleichung	188
Exkurs: Elektrische Wirbelfelder	146	Idee der Rückkopplung	190
Methode: Induktionsphänomene mit einer Strukturierungshilfe erklären	146		
7.1.3 Induktion durch Änderung des Magnetfelds oder der Fläche	148	8.2 Elektromagnetische Wellen	192
7.1.4 Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	151	8.2.1 Entstehung elektromagnetischer Wellen	192
7.1.5 Die Lorentzkraft als Ursache von Induktion	154	- Hertzscher Dipol	192
7.1.6 Die lenzsche Regel	156	8.2.2 Elektromagnetisches Spektrum	194
7.1.7 Wirbelströme	160	Modulation	195
Exkurs: Lenzsche Regel und Energieerhaltung	162	Exkurs: Maxwell und Hertz: elektromagnetische Wellen	195
7.1.8 Selbstinduktion	163	Eigenschaften elektromagnetischer Wellen (Mikrowellen)	196
Methode: Induktivität L einer Spule aus der Änderungsrate der Stromstärke ermitteln	165		
Trainieren & Testen	167	Trainieren & Testen	200
7.2 Wechselstrom und Energietransport	168		
7.2.1 Erzeugung einer Wechselspannung – der Generator	168		
7.2.2 Elektrische Leistung und Energie	171		
7.2.3 Spannung und Stromstärke im Wechselstromkreis	172		
7.2.4 Der Transformator	174		
7.2.5 Fernleitung elektrischer Energie	178		
7.2.6 Wechselstromkreis Exkurs: Herleitungen der Wechselstromwiderstände X	180		
Trainieren & Testen	182		
Exkurs: Öffentliche Energieversorgung – Drehstromnetz / Geplante zentrale Stromtrassen / Lastkurven	184		

9	Quantenobjekte	10	Elemente der Relativitätstheorie		
	Erkunden & Einstiegen	201	Erkunden & Einstiegen	237	
9.1	Eigenschaften von Licht	202	10.1	Spezielle Relativitätstheorie	238
9.1.1	Der lichtelektrische Effekt	202	10.1	Einstins Postulate	238
9.1.2	Lichtquantenhypothese	204	10.1.2	Relativität der Gleichzeitigkeit	240
9.1.3	Energie von Fotoelektronen	205		Exkurs: Das Global Positioning System (GPS)	
9.1.4	Impuls eines Photons	208	– Relativitätstheorie im Alltag	241	
	Exkurs: Innerer Fotoeffekt bei Solarzellen	209	Eigenzeit und Zeitdilatation	242	
			Längenkontraktion	243	
9.2	Materie und Interferenz	210		Exkurs: Zwillingsparadoxon?	244
9.2.1	Doppelspalt und Elektronen	210	10.1.5	Geschwindigkeitsaddition	245
9.2.2	Elektronenbeugung am Kristall	211		Exkurs: Das Hafele-Keating-Experiment	245
			10.1.6	Masse und Energie	246
9.3	Experimente mit einzelnen Quantenobjekten	214	10.2	Allgemeine Relativitätstheorie	248
9.3.1	Wahrscheinlichkeiten	214			
9.3.2	Doppelspaltversuch mit einzelnen Quantenobjekten	216			
9.3.3	Wellenfunktion für Elektronen & Dichtewolken	218			
9.3.4	Tunneleffekt	222			
9.3.5	Schrödingers Katze	223			
9.3.6	Welcher-Weg-Information & Komplementarität	224			
	Exkurs: Zeigerformalismus	227			
9.3.7	Die Unbestimmtheitsrelation	228			
9.3.8	Verschränkte Zustände	230			
9.3.9	Delayed-Choice-Versuche	232			
9.3.10	Datenübermittlung mit polarisierten Photonen	234			
	Trainieren & Testen	236			

11 Atomphysik

Erkunden & Einsteigen	251
11.1 Entwicklung der Vorstellungen vom Atom	252
11.1.1 Historische Modelle	252
Exkurs: Was ist ein Modell?	253
11.1.2 Quantenhafte Emission und Absorption	254
11.1.3 Franck-Hertz-Versuch	258
11.1.4 Diskrete Energieniveaus	260
11.2 Atommodell der Quantenphysik	262
11.2.1 Linearer Potentialtopf	262
11.2.2 ψ bei Wasserstoff	264
Exkurs: Die Schrödinger-Gleichung	265
11.2.3 Atome mit mehreren Elektronen	267
Methode: Subjektive Methode zur Bestimmung von λ	268
11.3 Anwendungen	269
11.3.1 Röntgenstrahlung	269
11.3.2 Der Laser – Funktionsprinzip	272
11.3.3 Fotolumineszenz	273
Trainieren & Testen	276
Exkurs: Mathematik zum historischen Modell von Bohr	276

12 Kerne und Teilchen

Erkunden & Einsteigen	277
12.1 Strahlung und Kernaufbau	278
12.1.1 Ionisierende Strahlung	278
12.1.2 Aufbau eines Atomkerns	280
12.1.3 Arten der Kernumwandlung	282
Exkurs: Neutrinos und die Gruppe der „Schmächtigen“	285
12.2 Ionisierende Strahlung	286
12.2.1 Quellen	286
12.2.2 Das Zerfallsgesetz	288
Methode: Modellierung einer Exponentialfunktion	290
Methode: Unsicherheit von Zählraten z	291
Methode: C14-Methode zur Altersbestimmung	292
12.2.3 Abstand und Abschirmung	294
12.2.4 Strahlenmessgrößen	296
12.2.5 Biologische Wirkung	299
Exkurs: Wie entsteht ein Grenzwert für Strahlenbelastung?	299
12.2.6 Zählung und Energiemessung	302
12.3 Energie aus dem Kern	306
12.3.1 Massendifferenz und Energie	306
12.3.2 Kernspaltung & Kernfusion	308
12.3.3 Kernreaktor	310
12.4 Atomkern als Potentialtopf	312
Exkurse: Spin von Elementarteilchen / Suche nach Dunkler Materie / Dunkle Energie	316
12.5 Teilchenphysik	317
12.5.1 Elementare Teilchen	317
12.5.2 Wechselwirkungen und Austauschteilchen	320
Methode: Feynman-Diagramme	320
Exkurs: Masse eines Protons (und der Elementarteilchen)	322
Trainieren & Testen	324

Anhang

Spektraltafel	325
Methode: Abschätzen von Messunsicherheiten	326
Zur Wiederholung: Formeln Mechanik	328
Lösungen zu T&T	329
Stichwortverzeichnis	339
Auszug aus der Nuklidkarte	342
Tabelle: Physikalische Größen	344
Tabelle: Atommassen	345
Bildquellenverzeichnis	346
Periodensystem der Elemente	347