

Inhaltsverzeichnis

1 Mechanische Schwingungen

Erkunden & Einsteigen	9
1.1 Schwingungen	10
1.1.1 Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen	10
Methode: Modellierung einer Potenzfunktion	12
1.1.2 Periodendauern	13
1.1.3 Die harmonische Schwingung	14
Methode: Ableitung nach der Zeit	16
Methode: Zeigerdiagramm und Phasenwinkel	16
Methode: Die Differentialgleichung der harmonischen Schwingung	18
1.1.4 Die Energie der harmonischen Schwingung	19
1.1.5 Energieabgabe – Dämpfung	20
1.1.6 Energiezufuhr – erzwungene Schwingungen	22
Exkurs: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe	23
1.1.7 Überlagerung von Schwingungen	24
Methode: Überlagerung zweier Schwingungen in Zeigerdarstellung	25
Trainieren & Testen	26

2 Mechanische Wellen

Erkunden & Einsteigen	27
2.1 Wellenausbreitung	28
2.1.1 Von Schwingungen zur Welle	28
Exkurs: Die Wellengleichung	30
2.1.2 Wellen in der Ebene und im Raum	31
2.1.3 Wellen bei Erdbeben	33
2.1.4 Doppler-Effekt	34
Exkurs: Messung der Geschwindigkeit von Blut	35
2.2 Eigenschaften von Wellen	36
2.2.1 Überlagerung von Wellen	36
2.2.2 Interferenz zweier Kreiswellen	38
2.2.3 Doppelspalt statt zwei Sender	39
Exkurs: Interferenz im Zeigermodell	40
2.2.4 Welleneigenschaften und die Modellvorstellung von Huygens	41
2.2.5 Reflexion, stehende Wellen und Eigenschwingungen	44
2.2.6 Stehende Longitudinalwellen	46
Exkurs: Musikinstrumente	47
Trainieren & Testen	48

3 Wellenmodell des Lichts

Erkunden & Einsteigen	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 Einzelspalt und Interferenz	56
3.1.4 Polarisierung 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 & Einsteigen	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

Erkunden & Einsteigen	80
5.1 Ladung und elektrisches Feld	82
5.1.1 Grundlagen einfacher Stromkreise	82
5.1.2 Elektrostatik	84
5.1.3 Elektrische Felder und ihre Darstellung Exkurs: Elektrostatisches Lackieren / Gewitter / Laserdrucker	86 89
5.1.4 Elektrische Feldstärke und Spannung	90
5.1.5 Radialsymmetrisches Feld und Coulombsches Gesetz Methode: Überlagerung von Feldern	93 94
5.1.6 Ladung und Feldstärke – die elektrische Feldkonstante ϵ_0	96
5.2 Geladene Teilchen im E-Feld	98
5.2.1 Die Elektronenkanone	98
5.2.2 Bewegung im Quersfeld	99
5.2.3 Die Elementarladung – Millikan-Versuch	101
5.3 Der Kondensator	102
5.3.1 Der Kondensator als Ladungsspeicher Methode: Ladungsmessung Q – Bedeutung des Flächeninhalts unter t - I -Graphen	102 105
5.3.2 Der Kondensator / das elektrische Feld als Energiespeicher Methode: Rechnen mit Einheiten	106 107
5.3.3 Energie und Leistung	108
5.3.4 Aufladen und Entladen eines Kondensators Methode: Datenauswertung – Modellierung einer Exponentialfunktion	110 112
Trainieren & Testen	116

6 Magnetische Felder

Erkunden & Einsteigen	117
6.1 Kraftwirkung des magnetischen Feldes	118
6.1.1 Das magnetische Feld Exkurs: Magnetfeld der Erde	118 119
6.1.2 Elektrischer Strom und Magnetfeld Methode: Feldlinien/Vektoren dreidimensional darstellen	120 121
6.1.3 Stärke des Magnetfelds Methode: Das Vektorprodukt	122 123
6.1.4 Die Lorentzkraft	124
6.1.5 Die Masse geladener Teilchen	128
6.1.6 Zyklotron und Synchrotron	132
6.1.7 Hall-Effekt / Bestimmung der magnetischen Flussdichte	134
6.2 Magnetfeld von Leiter und Spule	136
6.2.1 Magnetfeld im Innern einer Spule	136
6.2.2 Magnetfeld eines Leiters Exkurs: Wie funktioniert ein Joystick? Exkurs: Felder im Vergleich	136 138 139
Trainieren & Testen	140

7 Induktion

Erkunden & Einsteigen	141
7.1 Phänomen Induktion	142
7.1.1 Induktionsversuche	142
7.1.2 Induktion und magnetischer Fluss	144
Exkurs: Elektrische Wirbelfelder	146
Methode: Induktionsphänomene mit einer Strukturierungshilfe erklären	146
7.1.3 Induktion durch Änderung des Magnetfelds oder der Fläche	148
7.1.4 Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	151
7.1.5 Die Lorentzkraft als Ursache von Induktion	154
7.1.6 Die Lenzsche Regel	156
7.1.7 Wirbelströme	160
Exkurs: Lenzsche Regel und Energieerhaltung	162
7.1.8 Selbstinduktion	163
Methode: Induktivität L einer Spule aus der Änderungsrate der Stromstärke ermitteln	165
Trainieren & Testen	167
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	180
Exkurs: Herleitungen der Wechselstromwiderstände X	181
Trainieren & Testen	182
Exkurs: Öffentliche Energieversorgung – Drehstromnetz / Geplante zentrale Stromtrassen / Lastkurven	184

8 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

Erkunden & Einsteigen	185
8.1 Elektrische Schwingungen	186
8.1.1 Der Schwingkreis	186
Methode: Herleitung der thomsonschen Schwingungsgleichung	188
8.1.2 Idee der Rückkopplung	190
8.2 Elektromagnetische Wellen	192
8.2.1 Entstehung elektromagnetischer Wellen – Hertzscher Dipol	192
8.2.2 Elektromagnetisches Spektrum	194
8.2.3 Modulation	195
Exkurs: Maxwell und Hertz: elektromagnetische Wellen	195
8.2.4 Eigenschaften elektromagnetischer Wellen (Mikrowellen)	196
Trainieren & Testen	200

9 Quantenobjekte

Erkunden & Einsteigen	201
9.1 Eigenschaften von Licht	202
9.1.1 Der lichtelektrische Effekt	202
9.1.2 Lichtquantenhypothese	204
9.1.3 Energie von Fotoelektronen	205
9.1.4 Impuls eines Photons	208
Exkurs: Innerer Fotoeffekt bei Solarzellen	209
9.2 Materie und Interferenz	210
9.2.1 Doppelspalt und Elektronen	210
9.2.2 Elektronenbeugung am Kristall	211
9.3 Experimente mit einzelnen Quantenobjekten	214
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

10 Elemente der Relativitätstheorie

Erkunden & Einsteigen	237
10.1 Spezielle Relativitätstheorie	238
10.1 Einsteins Postulate	238
10.1.2 Relativität der Gleichzeitigkeit	240
Exkurs: Das Global Positioning System (GPS)	
– Relativitätstheorie im Alltag	241
10.1.3 Eigenzeit und Zeitdilatation	242
10.1.4 Längenkontraktion	243
Exkurs: Zwillingsparadoxon?	244
10.1.5 Geschwindigkeitsaddition	245
Exkurs: Das Hafele-Keating-Experiment	245
10.1.6 Masse und Energie	246
10.2 Allgemeine Relativitätstheorie	248

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