

# INHALTSVERZEICHNIS

## Bewegungen und Kräfte

|          |   |          |            |   |           |
|----------|---|----------|------------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Bewegungen und Kräfte</b>  | <b>8</b> | <b>1.4</b> | <b>Die Newton'schen Axiome und ihre Anwendung</b> | <b>30</b> |
| 1.1      | Bewegungen von Körpern  | 10       | 1.4.1      | Die Newton'schen Axiome                           | 30        |
| 1.1.1    | Beschreibung von Bewegungen   | 10       |            | Methode: Anwendung der Newton'schen Axiome        | 31        |
|          | Methode: Zeit-Geschwindigkeit-Diagramme   | 11       |            | Exkurs: Sicherheitssysteme im Auto                | 32        |
| 1.1.2    | Geradlinige Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit                                 | 12       | 1.4.2      | Haftkräfte und Reibungskräfte                     | 33        |
| 1.1.3    | Geradlinige Bewegungen mit konstanter Beschleunigung                                  | 14       | 1.4.3      | Die gleichförmige Kreisbewegung                   | 34        |
|          | Methode: Messwerterfassung und -auswertung durch Videoanalyse und Tabellenkalkulation | 16       | 1.4.4      | Die Zentripetalkraft                              | 36        |
| 1.1.4    | Bewegungen im Straßenverkehr  | 18       | 1.4.5      | Vertiefung: Scheinkräfte und Inertialsysteme      | 38        |
| 1.1.5    | Fallbewegungen  | 19       |            | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                 | <b>40</b> |
|          | Exkurs: GALILEI und die Fallgesetze   | 21       |            | Freier Fall und Fallen mit Luftwiderstand         | 40        |
| 1.2      | Kräfte und Bewegungsänderungen  | 22       |            | Ein Sprung aus 38 969 Metern Höhe                 | 40        |
| 1.2.1    | Trägheit und Masse  | 22       |            | Wenn die Zentripetalkraft plötzlich wegfällt      | 41        |
| 1.2.2    | Die Grundgleichung der Mechanik   | 24       |            | Die Physik von Windkraftanlagen                   | 41        |
|          |   |          |            | Warum benutzen Weitspringer keine Hanteln?        | 42        |
|          |   |          |            | Mit Reibung Schiffe festmachen                    | 42        |
| 1.3      | Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften und Bewegungen                              | 26       |            | <b>Grundwissen Bewegungen und Kräfte</b>          | <b>43</b> |
| 1.3.1    | Vektoren in der Physik  | 26       |            | <b>Wissenstest Bewegungen und Kräfte</b>          | <b>44</b> |
|          | Methode: Zerlegung vektorieller Größen  | 27       |            |   |           |
| 1.3.2    | Wurfbewegungen  | 28       |            |   |           |
|          | Exkurs: Segeln – Kursnehmen mit Geschwindigkeitsvektoren                              | 29       |            |   |           |

## Energie und Impuls

|          |                              |           |            |  |           |
|----------|------------------------------|-----------|------------|--|-----------|
| <b>2</b> | <b>Energie und Impuls</b>    | <b>46</b> | <b>2.3</b> | <b>Anwendungen der Erhaltungssätze</b> | <b>62</b> |
| 2.1      | Energie und Energieerhaltung | 48        | 2.3.1      | Das Raketenprinzip                     | 62        |
| 2.1.1    | Mechanische Energieformen    | 48        | 2.3.2      | Stoßvorgänge                           | 63        |
|          | Exkurs: Physik und Sport     | 53        |            | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>      | <b>66</b> |
| 2.1.2    | Erhaltung der Energie        | 54        |            | Energie aus dem Meer                   | 66        |
|          |                              |           |            | Mit Sonnensegel zur Venus              | 67        |
| 2.2      | Impuls und Impulserhaltung   | 58        |            | <b>Grundwissen Energie und Impuls</b>  | <b>68</b> |
| 2.2.1    | Der Impuls                   | 58        |            | <b>Wissenstest Energie und Impuls</b>  | <b>69</b> |
| 2.2.2    | Der Impulserhaltungssatz     | 60        |            |  |           |

## Gravitation

|          |   |           |              |   |                   |
|----------|---|-----------|--------------|---|-------------------|
| <b>3</b> | <b>Gravitation</b>                                    | <b>70</b> | <b>3.2.2</b> | <b>Vertiefung: Die Gezeiten</b>           | <b>76</b>         |
| 3.1      | Newtons Gravitationsgesetz                            | 72        | 3.2.3        | Energie im Gravitationsfeld               | 77                |
| 3.1.1    | Die Keplerschen Gesetze                               | 72        | 3.2.4        | Satelliten und Raumfahrt                  | 78                |
| 3.1.2    | Das Gravitationsgesetz                                | 72        |              | <b>3.3</b>                                | <b>Weltbilder</b> |
|          | Exkurs: Ein schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße | 74        | 3.3.1        | Von der Antike zu KEPLER und NEWTON       | 80                |
|          |   |           | 3.3.2        | Das heutige kosmologische Weltbild        | 82                |
|          |   |           |              | Exkurs: Kometen- und Meteoriteneinschläge | 85                |
| 3.2      | Bewegungen im Gravitationsfeld                        | 75        |              | <b>Grundwissen Gravitation</b>            | <b>86</b>         |
| 3.2.1    | Die Gravitationsfeldstärke                            | 75        |              | <b>Wissenstest Gravitation</b>            | <b>87</b>         |

## Mechanische Schwingungen und Wellen

|          |   |           |            |  |            |
|----------|---|-----------|------------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>Mechanische Schwingungen und Wellen</b>                        | <b>88</b> | <b>4.2</b> | <b>Mechanische Wellen</b>                  | <b>100</b> |
| 4.1      | Mechanische Schwingungen  | 90        | 4.2.1      | Entstehung und Ausbreitung                 | 100        |
| 4.1.1    | Schwingungsvorgänge und Schwingungsgrößen                         | 90        | 4.2.2      | Eigenschaften von Wellen                   | 102        |
| 4.1.2    | Die harmonische Schwingung  | 91        |            | Exkurs: Erdbebenwellen                     | 103        |
| 4.1.3    | Bedingungen und Eigenschaften der harmonischen Schwingungen       | 92        | 4.2.3      | Überlagerung von Wellen                    | 104        |
| 4.1.4    | Die Energie der harmonischen Schwingung                           | 93        |            | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>          | <b>106</b> |
| 4.1.5    | Energieabgabe und Energieaufnahme bei Schwingungen                | 94        |            | Exoplaneten                                | 106        |
|          | Exkurs: Der Einsturz der Tacoma-Brücke – eine Resonanzkatastrophe | 95        |            | <b>Grundwissen</b>                         |            |
| 4.1.6    | Überlagerung von Schwingungen                                     | 96        |            | <b>Mechanische Schwingungen und Wellen</b> | <b>108</b> |
|          | Methode: Die Zeigerdarstellung der harmonischen Schwingung        | 97        |            | Wissenstest                                |            |
|          | Exkurs: Schwingungen und Musik                                    | 98        |            | <b>Mechanische Schwingungen und Wellen</b> | <b>109</b> |

## Quantenobjekte

|          |  |            |            |   |            |
|----------|--|------------|------------|---|------------|
| <b>5</b> | <b>Quantenobjekte</b>  | <b>110</b> | <b>5.3</b> | <b>Photonen</b>   | <b>150</b> |
| 5.1      | Wellenoptik  | 112        | 5.3.1      | Der lichtelektrische Effekt                                     | 150        |
| 5.1.1    | Wellenphänomene  | 112        | 5.3.2      | Energiemessung bei Photoelektronen                              | 152        |
| 5.1.2    | Interferenz am Doppelspalt   | 114        |            | Methode: Messung der Bewegungsenergie von Elektronen            | 153        |
|          | Methode: Berechnung von Lichtwellenlängen mittels kleinster Wegdifferenzen | 116        | 5.3.3      | $E = hf$  | 154        |
|          | Exkurs: Berechnung von Wegdifferenzen ohne Näherungen                      | 117        | 5.3.4      | Umkehrung des lichtelektrischen Effekts                         | 156        |
| 5.1.3    | Lichtwellenlänge und Farbe   | 118        | 5.3.5      | Licht und Photonen  | 157        |
| 5.1.4    | Interferenz am Gitter  | 119        | <b>5.4</b> | <b>Welleneigenschaften der Elektronen</b>                       | <b>158</b> |
| 5.1.5    | Wellenlängenmessung mit dem Gitter   | 120        | 5.4.1      | De-Broglie-Wellen   | 158        |
| 5.1.6    | Leuchtdioden und Wellenlängen  | 122        |            | Vertiefung: Bestätigung der De-Broglie-Gleichung                | 159        |
| 5.1.7    | Bestimmung kleinster Wegdifferenzen  | 124        | 5.4.2      | Das Elektron – kein klassisches Teilchen                        | 160        |
| 5.1.8    | Das Huygens'sche Prinzip   | 126        |            | Exkurs: Interferenzen von Neutronen                             | 161        |
|          | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>  | <b>130</b> | <b>5.5</b> | <b>Quantenphysik und klassische Physik</b>                      | <b>162</b> |
|          | Wellenlängenmessung mit der Kamera   | 130        | 5.5.1      | Die Photonverteilung hinter dem Doppelspalt                     | 162        |
|          | Wellentheorie und Korpuskeltheorie des Lichts                              | 130        |            | Methode: Simulation der Photonverteilung hinter dem Doppelspalt | 164        |
|          | Spektren von nahezu weiß leuchtenden Dioden                                | 131        | 5.5.2      | Das Elektron als Quantenobjekt                                  | 166        |
|          | Farben hinter einer CD   | 131        | 5.5.3      | Interpretationsprobleme der Quantenphysik                       | 168        |
| 5.2      | Elektronen   | 132        |            | Exkurs: Verschränkte Zustände und spukhafte Fernwirkung         | 170        |
| 5.2.1    | Quantelung der Ladung  | 133        |            | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                               | <b>172</b> |
| 5.2.2    | Geladene Teilchen im elektrischen Feld                                     | 134        |            | Sonnenbrand und Wirkungsquantum                                 | 172        |
| 5.2.3    | Die elektrische Kraft und die Energie                                      | 136        |            | Intensität des Lichts   |            |
|          | Exkurs: Das Laborbuch von R. A. MILLIKAN                                   | 137        |            | beim lichtelektrischen Effekt                                   | 172        |
| 5.2.4    | Auswertung des Millikan-Versuchs   | 138        |            | Welleneigenschaften großer Moleküle                             | 173        |
| 5.2.5    | Das Elektron im Fadenstrahlrohr  | 140        |            | Erkenntnistheoretische Aussagen                                 | 173        |
|          | Vertiefung: Fadenstrahlrohr und elektrisches Feld                          | 141        |            | <b>Grundwissen Quantenobjekte</b>                               | <b>174</b> |
| 5.2.6    | Die Masse des Elektrons  | 142        |            | Wissenstest Quantenobjekte                                      | 176        |
|          | Vertiefung: Ablenkung und Masse  | 143        |            |   |            |
|          | Vertiefung: Fadenstrahlrohr und magnetisches Feld                          | 144        |            |   |            |
|          | Exkurs: Polarlicht und Van-Allen'scher Strahlungsgürtel                    | 146        |            |   |            |
|          | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>  | <b>148</b> |            |   |            |
|          | Das Elektron auf der Kreisbahn im Modell                                   | 148        |            |   |            |
|          | Bewegung des Elektrons im Fadenstrahlrohr                                  | 148        |            |   |            |
|          | Präsentation der Massenabhängigkeit  | 149        |            |   |            |
|          | Teilchenbeschleuniger  | 149        |            |   |            |

|                                |  |     |   |     |
|--------------------------------|--|-----|---|-----|
| <b>6 Elektrodynamik</b>        |  |     |   |     |
| 6                              | <b>Elektrodynamik</b>  | 178 | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                     | 210 |
|                                | Exkurs: Ampacity – Energietransport mit supraleitendem Stromkabel  | 179 | Bremsen durch Induktion   | 210 |
| 6.1                            | <b>Induktionsphänomene</b>   | 180 | Energieumsatz eines Elektroautos                                      | 210 |
| 6.1.1                          | Magnetfeld und Lorentz-Kraft                                       | 182 | Energie vom Nabendynamo   | 211 |
|                                | Methode: $\vec{B}$ als zeitliche Änderung der Magnetfeldstärke $B$ | 185 | Wirkungsgrad eines Schaltwandlers                                     | 211 |
| 6.1.2                          | Vertiefung: Magnetfeld von Leiter und Spule                        | 186 | <b>6.3 Energietransport mit Wechselspannung</b>                       | 212 |
| 6.1.3                          | Induktion an der Leiterschaukel                                    | 188 | 6.3.1 Rotierende Spule im Magnetfeld                                  | 212 |
| 6.1.4                          | Das Induktionsgesetz   | 190 | Vertiefung: Induktionsspannung und Induktionsstrom                    | 213 |
|                                | Methode: Parameter der Induktionsspannung im Modell                | 194 | 6.3.2 Energietransport im Wechselstromkreis                           | 214 |
|                                | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                  | 196 | Exkurs: Der Stromkrieg – Entscheidung zwischen zwei Systemen          | 215 |
|                                | Spannung an der Fallröhre  | 196 | 6.3.3 Der Transformator   | 216 |
|                                | Spannung am Fahrraddynamo  | 196 | Vertiefung: Funktionsweise des Transformators                         | 217 |
|                                | Spannung der Lichtmaschine   | 197 | 6.3.4 Energietransport über Freileitungen                             | 218 |
|                                | Der bessere Nabendynamo  | 197 | Exkurs: Die öffentliche Versorgung mit elektrischer Energie           | 220 |
| 6.2                            | <b>Energie und Energietransport</b>                                | 198 | 6.3.5 Energieübertragung mit Gleichstrom                              | 222 |
| 6.2.1                          | Energie, Energiestrom und Leistung                                 | 199 | Exkurs: Entwicklung der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungstechnik | 224 |
| 6.2.2                          | Energie und Spannung   | 200 | Exkurs: Die Anfänge der Stromversorgung                               | 225 |
| 6.2.3                          | Wirbelströme   | 203 | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                     | 226 |
| 6.2.4                          | Die Lenzsche Regel   | 204 | Messung des Erdmagnetfelds  | 226 |
| 6.2.5                          | Vertiefung: Felder als Energiespeicher                             | 206 | Wirkungsgrad eines realen Transformators                              | 226 |
|                                | Exkurs: Stromversorgung eines Prozessors                           | 209 | Kabellose Aufladung eines Elektroautos                                | 227 |
|                                |  |     | <b>Grundwissen Elektrodynamik</b>                                     | 228 |
|                                |  |     | <b>Wissenstest Elektrodynamik</b>                                     | 230 |
| <b>7 Strahlung und Materie</b> |  |     |   |     |
| 7                              | <b>Strahlung und Materie</b>                                       | 232 | 7.3.2 Kernreaktionen  | 252 |
| 7.1                            | <b>Linienpektren</b>   | 234 | Methode: Umgang mit der Nuklidkarte                                   | 254 |
| 7.1.1                          | Die Quantenhafte Emission und Absorption                           | 234 | Exkurs: Auf der Suche nach neuen Elementen                            | 255 |
| 7.1.2                          | Der Franck-Hertz-Versuch   | 236 | Exkurs: Positronen-Emissions-Tomographie                              | 255 |
| 7.1.3                          | Atomspektren   | 238 | 7.3.3 Das Zerfallsgesetz  | 256 |
|                                | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                  |     | Methode: Auswerten von Messdaten                                      | 258 |
|                                | Fraunhofer-Linien  | 239 | 7.3.4 Abschirmung   | 259 |
|                                | Freihand-Experimente   | 239 | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                     |     |
|                                | Sternspektren  | 240 | Radiokohlenstoffmethode (C14-Methode)                                 | 260 |
| 7.2                            | <b>Physik der Atomhülle</b>  | 241 | Reichweite von $\alpha$ - und $\beta$ -Strahlung                      | 261 |
| 7.2.1                          | Diskrete Energieniveaus  | 241 | Radionuklidbatterien  | 261 |
| 7.2.2                          | Zustände des Wasserstoffatoms                                      | 242 | Absorption von Strahlung  | 261 |
| 7.2.3                          | Vertiefung: Stationäre Zustände und stehende Wellen                | 244 | 7.3.5 Strahlungsdetektoren  | 262 |
|                                | Farbstoffmoleküle  | 245 | 7.3.6 Dosimetrie und biologische Wirkung                              | 264 |
|                                | Atomradien   | 245 | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                     |     |
|                                | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                  |     | Dosis-Wirkungsbeziehung   | 267 |
|                                | Historische Atommodelle  | 246 | Radon   | 267 |
| 7.2.4                          | Röntgenstrahlung   | 248 | <b>7.4 Aufbau der Materie</b>   | 268 |
|                                | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                  |     | 7.4.1 Die Bausteine des Standardmodells                               | 268 |
|                                | Das Spektrum der Röntgenstrahlung                                  | 249 | 7.4.2 Austauschteilchen im Standardmodell                             | 270 |
|                                | Medizinische Anwendung   | 249 | 7.4.3 Teilchenreaktionen  | 272 |
| 7.3                            | <b>Ionisierende Strahlung</b>                                      | 250 | 7.4.4 Feynman-Diagramme   | 274 |
| 7.3.1                          | Radioaktivität   | 250 | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>                                     |     |
|                                |  |     | Der LHC und Teilchendetektoren  | 275 |
|                                |  |     | <b>Grundwissen Strahlung und Materie</b>                              | 276 |
|                                |  |     | <b>Wissenstest Strahlung und Materie</b>                              | 278 |

---

## Die Relativität von Zeit und Raum

---

|              |   |            |              |   |            |
|--------------|---|------------|--------------|---|------------|
| <b>8</b>     | <b>Die Relativität von Zeit und Raum</b>  | <b>280</b> | <b>8.3</b>   | <b>Kernenergie</b>  | <b>298</b> |
| <b>8.1</b>   | <b>Die relativistische Kinematik</b>  | <b>282</b> | <b>8.3.1</b> | <b>Kernfusion in der Sonne</b>  | <b>298</b> |
| <b>8.1.1</b> | <b>Äther und absoluter Raum</b>   | <b>282</b> |              | <b>Exkurs: Energie aus Fusionsreaktoren – eine Zukunftsvision</b>                   | <b>300</b> |
| <b>8.1.2</b> | <b>Die Relativitätspostulate</b>  | <b>284</b> | <b>8.3.2</b> | <b>Die Kernspaltung</b>   | <b>302</b> |
|              | <b>Exkurs: Navigation mit Satelliten</b>  | <b>285</b> |              | <b>Materialgestützte Aufgaben</b>   | <b>304</b> |
| <b>8.1.3</b> | <b>Lichtgeschwindigkeit als Grenze</b>  | <b>286</b> |              | <b>Das Fizeau-Experiment</b>  | <b>304</b> |
| <b>8.1.4</b> | <b>Myonen in der Atmosphäre</b>   | <b>287</b> |              | <b>Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie: Grundlagen der Theorie</b>           | <b>305</b> |
| <b>8.1.5</b> | <b>Eigenzeit und Zeitdilatation</b>   | <b>288</b> |              | <b>Exkurs: Die allgemeine Relativitätstheorie: Experimentelle Tests der Theorie</b> | <b>306</b> |
| <b>8.1.6</b> | <b>Vertiefung: Zeitdilatation und Längenkontraktion</b>                                     | <b>290</b> |              | <b>Grundwissen Relativität von Zeit und Raum</b>                                    | <b>308</b> |
| <b>8.1.7</b> | <b>Vertiefung: Zeitdilatation durch Gravitation</b>   | <b>292</b> |              | <b>Wissenstest Relativität von Zeit und Raum</b>                                    | <b>309</b> |
|              | <b>Exkurs: Das Hafele-Keating-Experiment – Atomuhren messen erstmals die Zeitdilatation</b> | <b>293</b> |              |   |            |
| <b>8.2</b>   | <b>Die relativistische Dynamik</b>  | <b>294</b> |              |   |            |
| <b>8.2.1</b> | <b>Die Massenzunahme</b>  | <b>294</b> |              |   |            |
| <b>8.2.2</b> | <b>Masse und Energie</b>  | <b>296</b> |              |   |            |

---

## Geschichte der Physik

---

|              |                                   |            |
|--------------|-----------------------------------|------------|
| <b>9</b>     | <b>Geschichte der Physik</b>      | <b>310</b> |
| <b>9.1</b>   | <b>Klassische Physik</b>          | <b>310</b> |
| <b>9.2</b>   | <b>Moderne Physik</b>             | <b>316</b> |
| <b>9.2.1</b> | <b>Quantenphysik</b>              | <b>316</b> |
| <b>9.2.2</b> | <b>Relativitätstheorie</b>        | <b>319</b> |
| <b>9.2.3</b> | <b>Elementarteilchenphysik</b>    | <b>320</b> |
| <b>9.2.3</b> | <b>Astrophysik und Kosmologie</b> | <b>322</b> |

---

## Anhang

---

|                                     |            |                                    |            |
|-------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
| <b>Musteraufgaben mit Lösungen</b>  | <b>324</b> | <b>Sachverzeichnis</b>             | <b>356</b> |
| <b>Kontextorientierte Aufgaben</b>  | <b>338</b> | <b>Namenverzeichnis</b>            | <b>359</b> |
| <b>Prüfungsorientierte Aufgaben</b> | <b>346</b> | <b>Bildquellenverzeichnis</b>      | <b>359</b> |
|                                     |            | <b>Physikalische Konstanten</b>    | <b>360</b> |
|                                     |            | <b>Spektraltafel</b>               | <b>361</b> |
|                                     |            | <b>Atommassen einiger Nuklide</b>  | <b>361</b> |
|                                     |            | <b>Periodensystem der Elemente</b> | <b>362</b> |
|                                     |            | <b>Nuklidkarte</b>                 | <b>363</b> |