

Inhaltsübersicht

1 (Klassische) Mechanik: Bewegungen im Raum 1

1.1 Eine elementare, aber energiebetonte Einführung 2

- 1.1. 1 Ist die Gießkanne ein hydrostatisches Paradoxon? 3
- 1.1. 2 Herons Springbrunnen 4
- 1.1. 3 Die seltsame Waage von Roberval 5
- 1.1. 4 Die Höhe des Schwerpunkts 7
- 1.1. 5 Ist die Schwerpunktsregel ein Naturgesetz? 7
- 1.1. 6 Die Logik der schwarzen Raben und die „induktive Methode“ 9
- 1.1. 7 Vorläufiges über die (Höhen-) Energie 12
- 1.1. 8 Die Masse als Menge der Materie und ihre Dichte 13
- 1.1. 9 der Formalismus mit Einheiten und Dimensionen 15
- 1.1.10 Die Energie des homogenen Schwerfeldes 17
- 1.1.11 Die einfache Maschine schlechthin 18
- 1.1.12 Wo bleibt die Energie, woher kommt sie? 19

1.2 Kinematik: Geschwindigkeit und Beschleunigung 21

- 1.2.1 (M) Funktion und Ableitung 21
 - 1.2.1.1 Reelle Zahlen und Funktionen 21
 - 1.2.1.2 Steigungsdreieck, Tangente, Ableitung 22
 - 1.2.1.3 Rechenregeln für das Differenzieren (Ableiten) 24
 - 1.2.1.4 Zur Kurvendiskussion 26
 - 1.2.1.5 * Historische Bemerkungen 26
- 1.2.2 (M) Vektoren, Winkel \sin & \cos 27
 - 1.2.2.2 Betrag, Polarkoordinaten, Winkel, Winkelfunktionen 27
- 1.2.3 Geschwindigkeit 29
 - 1.2.3.1 * Mehr und weniger Ernsthaftes über Folgen und Reihen 30
 - 1.2.3.2 * Überholt Achilles die Schildkröte? 32
 - 1.2.3.3 * Unendlich viele Schritte vor dem ersten? 33
 - 1.2.3.4 * Ruht der fliegende Pfeil? 33
 - 1.2.3.5 (A) Überholen ohne Beschleunigen 35
- 1.2.4 Beschleunigung 36
- 1.2.5 Relativitätsprinzip 40
- 1.2.6 Wurparabel 41
 - 1.2.6.1 (A) Weiteste Wurparabel 41
 - 1.2.6.2 * Wurf mit Reibung, Simulation WURF 43
 - 1.2.6.3 (A) Erweiterter grafischer Fahrplan 45
- 1.2.7 * Spiele zur Beschleunigung 45
 - 1.2.7.1 * Kugel in Labyrinth mit verstellbarer Neigung 46
 - 1.2.7.2 * Beschleunigung auf kariertem Papier 46
 - 1.2.7.3 * Computer-Spiel BESCHLEUNIGUNG 47
 - 1.2.7.4 * Differenzenfolgen und arithmetische Folgen 48
 - 1.2.7.5 * Ungenauigkeiten aufgrund der iterativen Berechnung 49
 - 1.2.7.6 * (A) Iterationsungenauigkeit 50
 - 1.2.7.7 * Physik als Datenreduktion 50

1.3 Das Nullsummenspiel der Impulse 52

1.3.1 Inertialsysteme 53

1.3.2 Impuls, Masse und Impulsatz 55

1.3.2.1 Gleiche Teilchen behalten ihren „Mittelpunkt“ 55

1.3.2.2 Die Materiemenge („Masse“) als Bewertungsfaktor 55

1.3.2.3 Der Impuls als Bewegungsgröße 56

1.3.2.4 Die Erhaltung des Impulses 57

1.3.2.5 Ruhe- und Schwerpunktsystem 57

1.3.3 Kräfte als (einseitige Ansichten) von Wechselwirkungen 58

1.3.3.1 Definition der Kraft (-Summe) 59

1.3.3.2 Eine Kraft zwischen zwei Punktmassen 60

1.3.3.3 Punktmechanik mit mehr als zwei Punktmassen 61

1.3.3.4 Parallel- und Hintereinanderschaltung in einer Dimension 62

1.3.3.5 Kräfte als Enden von Impulsströmen 63

1.3.3.6 Kraftmessung 64

1.3.3.7 * Die Ankunft des Impulses heißt auch „Trägheitskraft“ 65

1.3.3.8 Das Gesetz von Hooke 66

1.3.3.9 Die Schwerkraft im homogenen Grenzfall 66

1.3.3.10 Kraftschluss und Haftung 67

1.3.3.11 Heimexperiment zur „Trägheit“? 69

1.3.3.12 Die Muskelkraft als besonders untypische Kraft 69

1.3.3.13 Ist die Kraft mehr als nur die Impulsänderungsrate? 70

1.3.4 Beispiele zur Dynamik 71

1.3.4.1 (A) Richtungsänderung 71

1.3.4.2 (A) Inelastischer Stoß 71

1.3.4.3 (A) Die Erde fällt auf den Apfel (?) 72

1.3.4.4 (A) Der Versuch von Atwood („Fallmaschine“) 73

1.3.4.5 (A) Ein Standard-Versuch mit der Luftkissenbahn 73

1.3.4.6 (A) Das Verlassen der Fähre 74

1.3.5 Ist das nun Statik oder Dynamik? 75

1.3.5.1 (A) Erbsen fallen auf die Waage 75

1.3.5.2 (A) Hüpfen 75

1.3.5.3 (A) Hubschrauber 76

1.3.5.4 (A) Tennis auf dem Wasser 76

1.3.6 Beispiele zur Statik 77

1.3.6.1 Haben acht Pferde so viel Kraft wie sechzehn? 77

1.3.6.2 Statische Netze (Fachwerk) 78

1.3.6.3 (A) Das goldene Fass 79

1.3.6.4 (A) Balkenwaage und Briefwaage 80

1.3.6.5 (A) Die Eleganz der Schrägseilbrücke 81

1.3.6.6 * Ein Computerprogramm findet (auch) Gleichgewichte 81

1.3.7 Punktmassen auf Kreisbahnen 82

1.3.7.1 (A) Ein Doppelstern kommt selten allein 84

1.3.7.2 (A) Bremsen in der Kurve 84

1.3.7.3 (A) Kurvenüberhöhung und Glatteis 85

1.3.8 Kann man Trägheitskräfte spüren? 86

1.3.8.1 Echte und sogenannte Schwerelosigkeit: Volumenkraft 86

1.3.8.2 Der Marsch der Impulse durch die Strukturen: „Oberflächenkraft“ 88

1.3.8.3 Vom Gefühl der Ruhe im Schwerfeld 90

1.3.8.4 Wo ist beim Kettenkarussell unten? 91

1.3.8.5 * Das scheinbare Schwerfeld 92

1.3.8.6 (A) Warum fällt der Fahrgast nicht aus der Achterbahn? 93

1.3.9 * Historische Bemerkungen 93

1.3.9.1 * Aristoteles 93

1.3.9.2 * Buridan und die Impetustheorie 95

1.3.9.3 * Galileo Galilei 95

1.4 Energie in der Mechanik 98

1.4.1 Kinetische Energie 98

1.4.1.1 (A) Wirkungsgrad von Windkonvertern nach Betz 99

1.4.2 (M) Integral - einmal ganz anschaulich 100

1.4.3 (M) Das skalare Produkt zweier Vektoren 102

1.4.4 Kann man Energie aufbewahren? 103

1.4.4.1 (A) Stabhochsprung 106

1.4.4.2 Definition der Leistung 107

1.4.4.3 (A) Von menschlicher Leistung 107

1.4.4.4 (A) Was Autos so leisten 107

1.4.5 Energieentwertung durch Reibung 108

1.4.5.1 (A) Ein Erbsenmodell für das Mischen von Impulsen 109

1.4.5.2 (A) Bremsdiagramme 110

1.4.6 Gleichgewichte 112

1.4.7 * Hydrostatik 113

1.4.7.1 * Kapillarität 114

1.4.8 Energiebetrachtungen zu Stößen 115

1.4.8. 1 Was ist ein elastischer Stoß?

1.4.8. 2 (A) Elastischer Stoß zweier Punktmassen im SPS 116

1.4.8. 3 (A) Der schlechte Billardspieler (gleiche Massen) 117

1.4.8. 4 * (A) der gute Billardspieler (Stoßparameter) 118

1.4.8. 5 (A) Tischtennisball (extrem verschiedene Massen) 119

1.4.8. 6 (Heimexperiment): Ein Ball will hoch hinaus 119

1.4.8. 7 (A) Swing-by

1.4.8. 8 (A) Molekül und Stempel 122

1.4.8. 9 (A) Die Unfallforschung der Biertisch-Experten 123

1.4.8.10 Ein elastisches Modell für den inelastischen Stoß 123

1.5 Drehimpuls und Starrer Körper 125

1.5.1 (M) Kreuzprodukt 125

1.5.2 Drehimpuls und sein Erhaltung 126

1.5.2.1 Zentralkraft und Flächensatz 127

1.5.3 Drehmoment 128

1.5.3.1 (A) Unterarm 128

1.5.4 Starrer Körper und Trägheitsmoment 128

1.5.4.1 (A und Heimversuch) Eine Latte als Falltür 129

1.5.4.2 (A) Speichen auf Biegen und Brechen 131

1.5.4.3 (A) Von der Tätigkeit der Eistanzerin 132

1.5.5 Analogien zwischen Translation und Rotation 131

2 Gravitation und Astronomie 133

2.1 Keplers Gesetze 133

2.2 Newtons Gravitationsgesetz 134

2.2.1 (A) Newtons Exponent aus Keplers Gesetzen I und II 137

2.2.2 (A) Keplers 3. Gesetz für eine Kreisbahn 137

2.2.3 (A) Heliozentrische Mondbahn 137

2.2.4 (A) Erdmasse aus Fallbeschleunigung 139

2.2.5 (A) Fallbeschleunigungen bei gleicher Dichte 139

2.3 (M) Satz von Gauß 139

2.4 Bewegung im Potentialtopf 141

2.4.1 * (A) Kreise im Geschwindigkeitsraum 145

2.4.2 * Simulationsprogram PLANET 147

- 2.5 * Weniger einfache Umläufe 148**
- 2.6 * Entfernungen 151**
- 2.7 * Warum ist es nachts dunkel? 152**
- 2.8 * Bezugssysteme und Weltsysteme 153**
 - 2.8.2 * Simulation TYCHO & COPERNICUS 157
 - 2.8.3 * Zwei Jahrhunderte Aufspüren unbekannter Planeten 158
- 2.9 * Der Zeitpfeil in der Astronomie 162**
 - 2.9.1 * Kant und die Gezeitenreibung der Erde 162
 - 2.9.2 * Hubble und die Expansion des Raumes

3 Elektrodynamik 165

3.1 Elektrostatik 166

- 3.1.1 Coulomb-Gesetz 166
 - 3.1.1.1 (A) Dipole 167
 - 3.1.1.2 (A) Mechanisches Modell zum Dipol 168
- 3.1.2 Vergleich der Elektrostatik mit der Gravitation 168
- 3.1.3 Elektrische Feldstärke 169
 - 3.1.3.1 * Ein Balance-Akt und der Satz von Earnshaw 170
- 3.1.4 Elektrische Spannung, Potential 171
- 3.1.5 * Feld-(linien-)bilder 171
- 3.1.6 Kondensator und Energiedichte 175
 - 3.1.6.1 (A) Wo steckt der Fehler? 177
 - 3.1.6.2 (A) Elektrostatisches Haften 178
- 3.1.7 * Polarisierbarkeit 178

3.2 Elektrischer (Gleich-) Strom 180

- 3.2.1 elektrische Stromstärke 180
- 3.2.2 Knotenregel 181
- 3.2.3 Energietransport 181
- 3.2.4 Maschenregel 184
- 3.2.5 Ohm-Widerstand 185
 - 3.2.5.1 (A) Falsche Glühlampen 186
 - 3.2.5.2 (A) Spannungsteiler mit Last 186
 - 3.2.5.3 (A) Vielfachdrehspulgerät 187
- 3.2.6 * Leitungsmechanismen 188
- 3.2.7 (M) Exponentialfunktionen und Logarithmen 189
 - 3.2.7.1 (A) Kondensator auf- und entladen 191

3.3 Magnetfeld und Lorentz-Kraft 194

- 3.3.1 Ampère-Kraft 195
- 3.3.2 Lorentz-Kraft und Definition von B 195
 - 3.3.2.1 (A) Induktion und Hall-Effekt 196
- 3.3.3 Durchflutungsgesetz 197
 - 3.3.3.1 Der Magnetismus der Erde 198
 - 3.3.3.2 (A) Magnetfeld eines Drahtes 199
 - 3.3.3.3 (A) Lange Spule 199
- 3.3.4 * Biot-Savart-Gesetz und Helmholtz-Spulen 200
 - 3.3.4.1 (A) Messung der Spezifischen Ladung 202

3.4 Induktionsvorgang und Wechselstrom 203

- 3.4.1 Induktionsgesetz 203
- 3.4.2 Wechselstromgenerator 204
 - 3.4.2.1 (A) Erdinduktor 204

- 3.4.3 Effektivwerte 205
- 3.4.4 Zeigerdiagramm und Drehstrom 206
 - 3.4.4.1 (A) Drehstrom 207
- 3.4.5 * (M) Komplexe Zahlen 207
- 3.4.6 * Induktivität 208
- 3.4.7 * Maxwell-Gleichungen (in Integral-Form) 209
- 3.4.8 * Michael Faraday 210

4 Schwingungen und Wellen 211

4.1 Schwingungen 211

- 4.1. 1 Federpendel qualitativ 211
- 4.1. 2 (M) Sinus und Cosinus und ihre Ableitungen 212
- 4.1. 3 Ungedämpftes Federpendel quantitativ 213
 - 4.1. 3.1 (A) Federdrehpendel 214
 - 4.1. 3.2 (A) Energien beim Federpendel und beim Federdrehpendel 215
- 4.1. 4 Elektrischer Schwingkreis etc. 216
- 4.1. 5 * Analogien zwischen mechanischen und elektrischen Größen 217
- 4.1. 6 Dämpfung 219
 - 4.1. 6.2 * (A) Stark gedämpfte (d.h. aperiodische) Schwingung 219
 - 4.1. 6.3 * (A) Aperiodischer Grenzfall 220
 - 4.1. 6.4 * (A) Schwache Dämpfung (d.h. periodischer Fall) 221
- 4.1. 7 Rückkopplung und Resonanz 222
- 4.1. 8 * Anharmonische Schwingungen 223
- 4.1. 9 Chaos 225
- 4.1.10 Schwebungen 226
- 4.1.11 Gekoppelte Schwingungen 227
- 4.1.12 * Bandbreite und Datenfluss 228

4.2 Wellen 231

- 4.2.1 * Wellengleichung 232
 - 4.2.1.1 * Die Differentialgleichung für Wellen auf einer Saite 232
 - 4.2.1.2 * Verallgemeinerung der Wellengleichung und Lösungen 234
 - 4.2.1.3 * Stehende Wellen 236
- 4.2.2 Elongation und Energiestromdichte 237
- 4.2.3 Zwei dünne Spalte 239
 - 4.2.3.1 (A) Lautsprecher übereinander
- 4.2.4 Gitter aus // Spalten 242
- 4.2.5 Breite Spalte 245
- 4.2.6 Weitere Anwendungen und Fermat-Prinzip 247
 - 4.2.6.1 (A) Brechung einer Welle 247
 - 4.2.6.2 (A) Strahlenoptik als Grenzfall
 - 4.2.6.3 (A) Exakte Abbildungen 249
 - 4.2.6.4 * Wie eine Linse funktioniert 250
 - 4.2.6.5 * Fermat-Prinzip 251
 - 4.2.6.6 *(A) Überzählige Pfade? 252
- 4.2.7 * In Luft hören 253
- 4.2.8 * Farben sehen 256
- 4.2.9 * Hologramme als Speicher optischer Informationen 258

5 Strahlenoptik 260

5.1 Lichtstrahl als Modell 260

- 5.1.1 Gültigkeitsgrenzen auf Grund der Wellenoptik 261
- 5.1.2 Gültigkeitsgrenzen auf Grund der Quantenphysik 261
- 5.1.3 Historische Anmerkungen 262
- 5.1.4 Grundregeln der Strahlenoptik 263

5.2 Paraxiale Optik 263

- 5.2.1 (A) Brechung an Kugelfläche (Auge ohne Linse) 264
- 5.2.2 Dünne Linse (zwei koaxiale Kugelschalen „im Abstand 0“) 265
- 5.2.3 Anwendungen der „Knick-Formel“ 266
 - 5.2.3.1 * Computerzeichnung von Strahlengängen 266
 - 5.2.3.2 Zeichnerisches Verfahren 267
 - 5.2.3.3 (A) Ausgezeichnete Strahlen 268
- 5.2.4 Optische Abbildung 269
 - 5.2.4.1 (A) Objektiv als dünne Linse 271
 - 5.2.4.2 (A) Zwischenring 271
 - 5.2.4.3 Mikroskop 271
 - 5.2.4.4 (A) Fernrohre 273
 - 5.2.4.5 (A) Brillenoptik 274
 - 5.2.4.6 * Knobelaufgabe und Programmierschlag 275
- 5.2.5 * Bemerkungen zum Auge 276

6 Thermodynamik und kinetische Gastheorie 277

6.1 Ideales Gas 277

- 6.1.1 Ideales Gas als Modell 277
- 6.1.2 Vom Impuls zum Druck 278
- 6.1.3 Thermische Zustandsgleichung 279
 - 6.1.3.1 * Historische Bemerkungen (id. Gas) 279
 - 6.1.3.2 * Teilchenzahl als sogenannte Stoffmenge 280
 - 6.1.3.3 (A) Luftmoleküle im Zimmer 280
 - 6.1.3.4 (A) Heißluftballon
- 6.1.4 * Spezifische Wärmekapazität 281

6.2 Der Stirling-Kreisprozess 282

- 6.2.1 Isotherme Volumenänderungen 282
- 6.2.2 Der Stirling-Prozess als Kreisprozess 284
- 6.2.3 Wärmepumpe und Wärmekraftmaschine 286
- 6.2.4 Bleibt die „Arbeitsfähigkeit“ erhalten? 288
 - 6.2.4.1 (A) Wärmepumpe 291

6.3 Die Entropie, ein unbekanntes Wesen? 292

- 6.3.1 Makroskopische Definition der Entropie 292
- 6.3.2 (A) Entropie bei dem Stirling-Prozess 294
- 6.3.3 Die schwierige Klärung des Wortes „Wärme“ 294
- 6.3.4 (A) Zunahme der Entropie bei der Wärmeleitung 296
- 6.3.5 Ausströmversuch von Gay-Lussac 297
- 6.3.6 Satz von der nicht abnehmenden Entropie (2.Hauptsatz) 297
- 6.3.7 Wahrscheinlichkeit und Entropie 299

6.4 * Aus Geschichte und Gegenwart der Energietechnik 300

6.4.1 * Viele Sorten Kreisprozesse 300

6.4.1.1 * Rückblick auf die Stirling-Maschine 300

6.4.1.2 * Isobaren, Isentropen usw. 300

6.4.1.3 * Zehn Kombinationen von „Iso-Kurven“ als Kreisprozesse 301

6.4.1.4 * Die Dampfmaschine und ihr glückloser Erfinder Denys Papin 302

6.4.1.5 * Carnot und Reittlinger 304

6.4.1.6 * Ericsson und der Jet-Set 305

6.4.1.7 * Verbrennungsmotoren nach Otto und Diesel 306

6.4.2 * Zur Energiewirtschaft: Die unsichtbaren Sklaven 307

7 Spezielle Relativitätstheorie (SRT) 308

7.1 Relativistische Dynamik 308

7.1.1 Hängt die Masse von der Geschwindigkeit ab? 308

7.1.2 Das Pythagoras-Dreieck der SRT 309

7.1.3 Grenzfall: langsam und also klassisch 311

7.1.4 Grenzfall: fast oder ganz wie das Licht 312

7.1.5 Wechsel des Bezugssystems 312

7.1.6 Systeme aus mehreren Teilchen, Erhaltung und Invarianz 313

7.1.6.1 * (A) Ruheenergie mehrerer Photonen (!) 315

7.1.6.2 (A) Warum Collider so wirtschaftlich sind 316

7.1.6.3 * (A) HERA 317

7.1.6.4 (A) Kann ein freies Elektron ein Photon verschlucken? 317

7.1.6.5 Compton-Effekt 318

7.1.7 Masse und Energie: identisch oder ineinander umwandelbar? 319

7.1.8 Das „Ganze“ ist *weniger* als seine „Teile“: Bindungsenergien 321

7.2 * Relativistische Kinematik 322

7.2.1 * Die sogenannte Galilei-Transformation (zum Vergleich) 322

7.2.2 * Lorentz-Transformation 323

7.2.2.1 * Myonen lassen sich Zeit mit dem Zerfall 325

7.2.2.2 * Werden Maßstäbe kürzer? („Lorentz-Fitzgerald-Kontraktion“) 326

7.2.2.3 * Das „Additionstheorem“ der Geschwindigkeiten 328

7.2.2.4 Unser Gehirn ist zu langsam zum Schen der Relativitätstheorie 329

7.3 * Albert Einstein 330

8 Struktur der Materie 332

8.0.1 * Historische Anmerkungen (Atomphysik) 332

8.1 Quantenmechanik 333

8.1.1 Wellenmechanik und Unbestimmtheit 334

8.1.1.1 Klassische Unbestimmtheit bei Schwingungen 334

8.1.1.2 (A) Akustische Unbestimmtheit 335

8.1.1.3 Fotoeffekt 336

8.1.1.4 Materiewellen 338

8.1.1.5 Quantenmechanische Unbestimmtheit 338

8.1.1.6 (A) Passen Elektronen in den Kern? 340

8.1.2 Bosonen, Fermionen und Pauli-Prinzip 340

8.2 Fundamentale Fermionen: Leptonen und Quarks 341

8.2.1 Nichts ist einfacher als das Elektron 343

8.2.2 Das Positron und andere „Anti-Materie“ 344

8.2.3 Neutrinos als Poltergeister und Welträtsel 346

8.2.4 Myon und Tauon, des Elektrons schwere Geschwister 347

8.2.5 Zweimal sechs Sorten Quarks 347

8.3 Bosonen und Wechselwirkungen 349

8.3.1 Reichweiten: Wer leicht ist, kommt weiter! 349

8.3.2 „Farbiger Klebstoff“ hält die Welt zusammen (Gluonen) 349

8.3.3 elektromagnetische Kraft und Photon, QED 350

8.3.3.1 (A) Skalenbeispiele zu Photonen 350

8.3.3.2 (A) Photoelektronenspektroskopie (PES) 352

8.3.4 Schwache Kraft und Weakonen, β -Zerfall 352

8.3.5 * Gravitation und Graviton 353

8.3.6 * Vereinheitlichungen 353

8.4 Teilchenverbindungen 354

8.4.1 Hadronen als Verbindungen aus Quarks 354

8.4.2 * Was sind elementare Teilchen? 356

8.4.2.1 * Ist das Tohu-wa-Bohu einfacher? 358

8.4.2.2 * Teilchen als Wandergruppen 359

8.5 Atomkerne 360

8.5.1 Elemente und Nuklide 360

8.5.2 Abmessungen der Kerne 361

8.5.3 Bethe-Weizsäcker-Formel 361

8.5.3.1 Volumenterm 362

8.5.3.2 Oberflächenterm 363

8.5.3.3 Asymmetrie-Term 363

8.5.3.4 Coulomb-Term 364

8.5.3.5 Paarungsterm 365

8.5.4 Isobarenschnitt und Beta-Zerfälle 365

8.5.4.1 (A) Massenbilanz bei Betazerfällen 366

8.5.5 Alpha-Zerfälle: mit Heisenberg-Kredit aus dem Gefängnis 367

8.5.6 Stabilitätstal 369

8.5.7 Spaltung 369

8.5.7.1 * Historische Anmerkungen zur Kernspaltung 371

8.5.8 Kernfusion 374

8.5.8.1 (A) Sonnenenergie 375

8.5.8.2 (A) Massebezogene Leistung 375

8.5.9 Zerfallskonstante 376

8.5.9.1 (A) Halbwertszeiten 376

8.5.9.2 (A) Das verschwundene Nuklid 377

8.6 Atome, Moleküle und Festkörper 377

8.6.1 Atome und ihre Hüllen 377

8.6.1.2 Die Unbestimmtheit bestimmt die Mindestgröße 378

8.6.1.3 Wellenfunktionen 379

8.6.1.4 Die radiale Abhängigkeit 380

8.6.1.5 Energiestufen im H-Atom und in Ionen, die ihm ähnlich sind. 381.

8.6.1.5 Haben Atome Zwiebelschalen? 382

8.6.1.6 * Noch mehr Quantenzahlen 386

8.6.2 * Moleküle 388

8.6.3 Festkörper 389

8.6.3.1 (A) Bragg-Reflexion 390

9 Anhang 392

9.1 Jahreszahlen vor allem zur Physik 392

9.2 Englische Vokabeln zur Physik 397

9.3 Zur Wortkunde physikalischer Fachwörter 399

9.3.1 Griechisches Alphabet 399

9.3.2 Präfixe (Vorsilben) 399

9.3.3 Wörter 400

9.4 Nicht nur Geheimtips 402

9.4.1 Fachliche und populäre Literatur 402

9.4.2 Aufgaben und Heimversuche 403

9.4.3 Physikgeschichte und klassische Originalliteratur 403

9.4.4 Physikalische und technische Ausstellungen 403

9.4.5 Fernsehsendungen 404

9.4.6 Vorträge und Tagungen nicht nur für Spezialisten 404

9.4.7 Unterhaltung mit Nähe zu Physik oder Mathematik 404

9.4.7.1 Rätsel und Scherze 404

9.4.7.2 Kunst und Physik 404

9.4.7.3 Romane, Erzählungen, Theaterstücke 405

9.5 Register 406

9.6 Zahlen und Einheiten 413

9.6.1 Naturkonstanten und atomare Einheiten 413

9.6.2 Metrische Basiseinheiten 413

9.6.3 Symbole für Zehnerpotenzen 413

9.6.4 Abgeleitete metrische Einheiten 414

9.6.5 Astronomische Faustdaten 414