

**Einführung
in die
Kernphysik**

von

Harry Friedmann

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Entdeckung der Radioaktivität, natürliche Radioaktivität	7
1.1 Entdeckung	7
1.2 Natürliche Radioaktivität	8
1.3 Die kosmische Strahlung.....	8
1.4 Strahlenarten und natürliche Zerfallsreihen	11
1.5 Zerfallsgesetze, radioaktives Gleichgewicht.....	14
1.6 Die Entdeckung des Atomkerns (Rutherford-Streuung)	17
1.7 Wirkungsquerschnitt und Massenbelegung	21
2 Die statistische Natur des radioaktiven Zerfalls	23
3 Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	27
3.1 Wechselwirkung geladener Teilchen mit Materie	27
3.1.1 Wechselwirkung schwerer, geladener Teilchen mit Materie	27
3.1.2 Wechselwirkung von Elektronen mit Materie	35
3.1.3 Wechselwirkung von Positronen mit Materie	39
3.2 Wechselwirkung von Neutronen mit Materie	39
3.3 Wechselwirkung von Photonenstrahlung mit Materie	41
3.3.1 Compton-Streuung	41
3.3.2 Photoeffekt	44
3.3.3 Paarbildung.....	45
3.3.4 Totaler Absorptionsquerschnitt.....	47
3.4 Sekundärprozesse	49
4 Strahlungsdetektoren.....	51
4.1 Prinzipien	51
4.1.1 Kalorimeter.....	51
4.1.2 Gas-Ionisationsdetektoren.....	51
4.1.2.1 Stromkammer	53
4.1.2.2 Impulsionskammer	55
4.1.2.3 Proportionalzähler	56
4.1.2.4 Geiger-Müller-Zähler	57
4.1.3 Festkörper-Ionisationsdetektoren	59
4.1.4 Szintillationsdetektoren	62
4.1.4.1 Anorganische Szintillatoren	62
4.1.4.2 Organische Szintillatoren	64
4.1.5 Cerenkov-Detektor	64
4.1.6 Teilchenspurdetektoren	65
4.1.6.1 Nebelkammer (Cloud chamber) und Diffusionskammer	65
4.1.6.2 Blaskammer (Bubble chamber).....	65
4.1.6.3 Photographische Methode – Kernspuremulsion	67
4.1.6.4 Vieldrahtkammern (Multi-wire chambers)	67
4.1.7 Thermolumineszenzdetektoren	67
4.1.8 Spezialdetektoren	68
4.2 Elektronische Impulsverarbeitung.....	69
5 Neue Teilchen und künstliche Radioaktivität.....	73
5.1 Isotope	73
5.2 Die Entdeckung des Neutrons	73
5.3 Die Entdeckung des Positrons.....	74

5.4	Künstliche Radioaktivität	74
6	Aufbau der Atomkerne	77
6.1	Kernmassen	77
6.1.1	Statische elektrische und magnetische Felder	77
6.1.2	Massenspektrometer	80
6.1.3	Massenbestimmung über Kernumwandlungen	81
6.2	Die Größe des Atomkerns	83
7	Das Tröpfchenmodell des Atomkerns	91
7.1	Isotopentafel	91
7.2	Das Tröpfchenmodell	92
7.3	Stabilität gegen β -Zerfall	96
7.4	Stabilität gegen Nukleonenemission	98
7.5	Stabilität gegen Spaltung	98
8	Die quantenmechanische Behandlung des Atomkerns	101
8.1	Grundlagen	101
8.2	Zur Lösung der Schrödinger-Gleichung	103
8.3	Das Schalenmodell, Einzelteilchenniveaus	106
8.4	Kollektive Anregungen	111
8.5	Kernmomente	112
8.5.1	Elektrische Momente	112
8.5.2	Magnetische Momente	114
8.6	Experimentelle Bestimmung von Kernspin und -momenten	116
8.6.1	Kernspin	116
8.6.2	Kernmomente	118
8.7	Niveauübergänge	120
9	Der Mößbauer-Effekt	129
9.1	Nukleare Resonanzabsorption	129
9.2	Natürliche Linienbreiten	132
9.3	Anwendungen der Mößbauer-Spektrometrie	133
10	Die Theorie des α-Zerfalls	137
10.1	Modell des α -Teilchens im Potential des Restkerns	137
10.2	Ergänzende Bemerkungen zum α -Zerfall	139
11	Der β-Zerfall	141
11.1	Das β -Spektrum	141
11.2	Fermis Theorie des β -Zerfalls	141
11.3	Der experimentelle Nachweis des Neutrinos	147
11.4	Die Neutrinomassen	148
11.5	Die schwache Wechselwirkung	150
11.6	Erlaubte und verbotene Übergänge	151
11.7	Die Paritätsverletzung	152
12	Kernreaktionen	159
12.1	Grundlagen	159
12.2	Erhaltungssätze und Kinematik	161
12.3	Qualitativer Verlauf von Anregungsfunktionen	164
12.4	Die quantenmechanische Behandlung der Streuung	166
12.5	Kernpotentiale und das optische Modell	174
12.6	Die R-Matrix-Theorie	175
12.7	Reaktionsmodelle	179
12.7.1	Compoundkernreaktionen	179
12.7.2	Direkte Kernreaktionen	185

13 Kernspaltung.....	189
13.1 Zur Geschichte der Kernspaltung.....	189
13.2 Physikalische Grundlagen, Kettenreaktion	191
13.3 Die Atombombe	195
13.4 Physik der Kernreaktoren.....	206
13.5 Typen von Kernreaktoren.....	209
13.5.1 Leichtwasserreaktor: Siedewasserreaktor (BWR – Boiling Water Reactor), Druckwasserreaktor (PWR – Pressurized Water Reactor).....	210
13.5.2 Natururanreaktor (CANDU-Reaktor)	213
13.5.3 Graphitmoderierte Reaktoren	214
13.5.4 Schneller Brüter.....	216
13.6 Sicherheitsbewertung und Risiko	217
13.7 Kernreaktorunfälle	221
13.8 Beitrag der Kernenergie zur weltweiten Energiegewinnung	224
13.9 Ein natürlicher Kernreaktor.....	226
14 Kernfusion.....	229
14.1 Physikalische Grundlagen	229
14.2 Die Fusionsbombe.....	233
14.3 Fusionsreaktoren	236
14.3.1 Trägheitseinschluss	237
14.3.2 Magnetfeldeinschluss	241
14.3.3 Probleme und potentielle Gefahren von Fusionsreaktoren	249
15 Elementsynthese	255
16 Dosimetrie und die biologische Wirkung von Strahlung	261
16.1 Das Dosiskonzept.....	261
16.1.1 Grundlagen und grundlegende Größen	261
16.1.2 Angewandte Dosiskonzepte und Dosisgrößen.....	265
16.2 Die biologische Wirkung der Strahlung.....	267
16.2.1 Wirkung radioaktiver Strahlung.....	267
16.2.2 Deterministische Schäden	269
16.2.3 Stochastische Schäden.....	271
16.2.4 Individuelle Unterschiede der Strahlenempfindlichkeit.....	273
16.2.5 Hormesis.....	275
16.3 Die Strahlenbelastung des Menschen.....	279
16.3.1 Externe Strahlenbelastung.....	279
16.3.2 Interne Strahlenbelastung.....	282
16.3.3 Belastung durch Radon	284
16.4 Strahlentherapie.....	287
17 Beschleuniger	293
17.1 Elektrostatische Beschleuniger.....	293
17.1.1 Cockcroft-Walton-Beschleuniger.....	294
17.1.2 Van de Graaff Beschleuniger	295
17.1.3 Tandembeschleuniger.....	296
17.2 Elektrodynamische Beschleuniger	296
17.2.1 Linearbeschleuniger	297
17.2.2 Ringbeschleuniger	302
17.2.2.1 Betatron	302
17.2.2.2 Zyklotron.....	304
17.2.2.3 Stabilität und Fokussierung bei Ringbeschleunigern.....	306
17.2.2.4 Isochronzyklotron (Thomas-Zyklotron).....	310

17.2.2.5	Synchrotron (Synchro-Zyklotron).....	313
17.2.2.6	Zusatzeinrichtungen	315
18	Elementarteilchen.....	319
18.1	Die Idee der Elementarteilchen	319
18.2	Entdeckungen der Hochenergiephysik.....	319
18.3	Austauschkräfte und Wechselwirkungsteilchen.....	323
18.4	Der Weg zum Standardmodell	325
18.5	Das Standardmodell	328
18.5.1	Erhaltungssätze und Symmetrie	329
18.5.2	Leptonen.....	331
18.5.3	Hadronen	335
18.5.4	Der Higgs-Mechanismus.....	337
18.6	Vereinheitlichte Theorie.....	338
Anhang A	Wellen und ihre mathematische Darstellung.....	343
Anhang B	Die δ-Distribution (Dirac'sche δ-Funktion)	347
Anhang C	Vektoren und Differentialoperatoren.....	349
Anhang D	Einige formale Grundlagen der Quantenmechanik.....	359
Anhang E	Störungsrechnung und Fermis Goldene Regel	367
Anhang F	Die Born'schen Näherungen	371
Anhang G	Feynman-Diagramme.....	373
	Sachverzeichnis.....	377
	Personenverzeichnis	393