

Inhalt

Abschnitt I: Teilchenbeschleuniger

1	Überblick über die Strahlungsquellen	9
1.1	Anwendungen von Strahlungsquellen	9
1.2	Arten von Strahlungsquellen	13
2	Grundlagen zur Teilchenbeschleunigung und Strahloptik	17
2.1	Relativistische Energien und Massen	17
2.2	Prinzip der Beschleunigung geladener Teilchen	20
2.3	Grundlagen zur Strahloptik mit elektrischen und magnetischen Feldern	26
2.3.1	Wirkung elektrischer Felder auf geladene Teilchen	28
2.3.2	Wirkung magnetischer Felder auf geladene Teilchen	33
2.3.3	Teilchenführung mit Magnetfeldern	39
2.3.4	Schwache und starke Fokussierung mit Magnetfeldern*	42
3	Elektronen- und Ionenquellen	48
3.1	Elektronenquellen	48
3.1.1	Die Kathoden von Röntgenröhren	48
3.1.2	Fokussierung der Elektronenstrahlenbündel	55
3.1.3	Elektronenkanonen für Beschleuniger	58
3.2	Ionenquellen	63
3.2.1	Einschlussquellen für hohe Ionenströme	67
3.2.2	Die Plasmatröns	69
3.2.3	Die Penning-Ionenquellen	70
3.2.4	Die HF-Ionenquellen	72
3.2.5	Elektronenstrahl-Ionenquellen	76
3.2.6	Quellen für negative Ionen	79
4	Die Röntgenröhre	86
4.1	Röntgenspektren	89
4.1.1	Entstehung der Röntgenbremsstrahlung	89
4.1.2	Intensitätsspektren der Röntgenbremsstrahlung*	90
4.1.3	Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Röntgenbremsstrahlung	96
4.1.4	Charakteristische Röntgenstrahlung	99

4.2	Filterung von Röntgenspektren	102
4.3	Darstellung von Röntgenspektren im Wellenlängenbild	113
4.4	Abbildungseigenschaften von Röntgenstrahlern	114
4.5	Extrafokalstrahlung	118
4.6	Winkelverteilungen von Röntgenstrahlung	119
4.7	Bauformen von Röntgenröhren	122
4.8	Technische Aspekte beim Anodenaufbau von Röntgenröhren	130
4.9	Theorie zur thermischen Belastbarkeit der Anoden von Röntgenröhren*	138
5	Gleichspannungsbeschleuniger	143
5.1	Cockcroft-Walton-Beschleuniger	143
5.2	Marx-Generatoren	145
5.3	Van de Graaff-Beschleuniger	146
5.4	Gleichspannungsbeschleuniger mit HF-Generatoren	150
6	Hochfrequenzgeneratoren	153
6.1	Das Magnetron	153
6.2	Klystrons	155
7	Linearbeschleuniger	159
7.1	Hohlwellenleiter und Hohlraumresonatoren*	160
7.1.1	Hohlwellenleiter*	160
7.1.2	Hohlwellenleiter mit Irisblenden*	162
7.1.3	Hohlraumresonatoren*	163
7.2	Phasenfokussierung in HF-Beschleunigern*	165
7.3	Beschleuniger mit Wideröe-Struktur	167
7.4	RFQ-Beschleuniger	169
7.5	Beschleuniger mit Alvarez-Struktur	171
7.6	Elektronenlinearbeschleuniger	173
7.6.1	Energiegewinn der Elektronen bei der Hochfrequenzbeschleunigung*	173
7.6.2	Das Wanderwellenprinzip	174
7.6.3	Das Stehwellenprinzip	176
7.6.4	Vergleich von Wander- und Stehwellenprinzip	179
8	Medizinische Elektronenlinearbeschleuniger	183
8.1	Anforderungen an medizinische Elektronenlinearbeschleuniger	183

8.2	Aufbau von medizinischen Elektronenlinearbeschleunigern	185
8.3	Der Strahlerkopf im therapeutischen Elektronenbetrieb	187
8.3.1	Umlenkung und Fokussierung des Elektronenstrahlenbündels	189
8.3.2	Homogenisierung des Elektronenstrahlenbündels	192
8.3.3	Kollimation des Elektronenstrahls	200
8.4	Der Strahlerkopf im Photonenbetrieb	204
8.4.1	Bremsstrahlungserzeugung und Auslegung des Bremstargets	204
8.4.2	Homogenisierung des Photonenstrahlenbündels	207
8.4.3	Kollimation des Photonenstrahlenbündels	212
8.5	Das Doppeldosismonitorsystem	218
8.6	Keilfilter zur Formung von Photonenfeldern	221
8.7	Portal-Imaging-Systeme	232
8.8	Strahlenschutzprobleme an medizinischen Elektronenlinearbeschleunigern	236
8.8.1	Baulicher Strahlenschutz	237
8.8.2	Apparativer Strahlenschutz	238
8.8.3	Materialaktivierungen	240
8.9	Das Cyberknife	244
9	Ringbeschleuniger	251
9.1	Einteilung der Ringbeschleuniger	251
9.2	Das Betatron	252
9.3	Zyklotrons	258
9.3.1	Funktionsweise und Bauformen von klassischen Zyklotrons	258
9.3.2	Relativistische Zyklotrons	264
9.3.3	Zyklotrons für die Protonentherapie	270
9.4	Mikrotrons	281
9.5	Synchrotrons	288
9.5.1	Die räumliche Fokussierung der Teilchen im Synchrotron*	291
9.5.2	Die Phasenfokussierung der Teilchen im Synchrotron*	293
9.6	Das Rhodotron für industrielle Anwendungen	295
10	Synchrotronstrahlung und Speicherringe	297
10.1	Entstehung der Synchrotronstrahlung	297
10.2	Speicherringe zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung	300

Abschnitt II: Radionuklidproduktion

11 Kernreaktoren	304
11.1 Grundlagen zur Kernspaltung	304
11.1.1 Spaltbare Materialien	304
11.1.2 Neutroneninduzierte Kernspaltung	306
11.1.3 Spaltfragmentverteilungen	312
11.2 Funktionsweise von Kernreaktoren	315
11.3 Überblick über technische Bauformen von Kernreaktoren	320
11.4 Sonderformen von Kernreaktoren	323
11.4.1 Die Garching-er Forschungsreaktoren	323
11.4.2 Der natürliche Reaktor in Gabun	329
12 Neutronenquellen	332
12.1 Reaktor-neutronen	335
12.1.1 Strahlentherapeutische Anwendung von Reaktor-neutronen	335
12.2 Neutronenquellen mit Beschleunigern	336
12.2.1 Spallationsquellen	337
12.2.2 Fusionsgeneratoren	338
12.2.3 Zyklotron-Neutronenquellen	340
12.3 Neutronenquellen mit spontanen Spaltern	342
12.4 Neutronenstrahler vom Typ (α, n)	342
13 Radionukliderzeugung	345
13.1 Spezifische Aktivität radioaktiver Strahler*	346
13.2 Erzeugung neutronenreicher Nuklide durch Kernspaltung	349
13.3 Neutronenaktivierungen	350
13.4 Erzeugung von Positronenstrahlern	355
13.5 Radionuklidgeneratoren für die Nuklearmedizin	358
13.5.1 Der Molybdän-Technetiumgenerator	359
13.5.2 Weitere Radionuklidgeneratoren*	363

Abschnitt III: Strahlungsquellen mit radioaktiven Strahlern

14 Radionuklide für die medizinische Radiologie	367
14.1 Radionuklide für strahlentherapeutische Anwendungen	367
14.2 Radionuklide für die Nuklearmedizin	370
15 Perkutane Kobaltbestrahlungsanlagen	373
15.1 Kobaltstrahler	373
15.2 Konventionelle isozentrische Kobaltanlagen	376
15.3 Das stereotaktische Kobaltbestrahlungsgerät Gammaknife	379
16 Afterloadinganlagen	381
16.1 Prinzip des medizinischen Afterloadings	381
16.2 Strahlungsquellen für das medizinische Afterloading	383
16.3 Erzeugung der therapeutischen Dosisleistungsverteilungen	385
17 Anhang	388
17.1 Einheiten des Internationalen Einheitensystems SI, abgeleitete Einheiten	388
17.2 Physikalische Fundamentalkonstanten	392
17.3 Daten von Elementarteilchen, Nukleonen und leichten Nukliden	393
17.4 Strahlungsfeldgrößen	394
17.5 Elemente des Periodensystems	395
18 Literatur	398
18.1 Lehrbücher und Monografien	398
18.2 Deutsche Normen zur Dosimetrie und zum Strahlenschutz	400
18.3 Gesetze, Verordnungen und Richtlinien zum Strahlenschutz, gültig für die Bundesrepublik Deutschland	404
18.4 Nationale und internationale Protokolle und Reports zu Dosimetrie und Strahlenschutz	405
18.5 Wissenschaftliche Einzelarbeiten	412
18.6 Wichtige Internetadressen	415
Sachregister	417