

Angewandte Kernphysik

Einführung und Übersicht

Von Prof. Dr. rer. nat. Wilhelm T. Hering
Universität München



B. G. Teubner Stuttgart • Leipzig 1999

S2RA

Inhalt

1. Nukleare Chronometrie

1.1	Einleitung	9
1.2	Radioaktive Zerfallsgesetze	10
	1.2.1 Einfacher Zerfall	11
	1.2.2 Probenaktivität	11
	1.2.3 Zerfallsketten	12
	1.2.4 Produktion radioaktiver Nuklide	15
1.3	Radioaktive Zerfallsmoden	17
	1.3.1 Betazerfall und Elektroneneinfang	18
	1.3.2 Alphazerfall und Spontanspaltung	19
	1.3.3 Isomere Übergänge	21
1.4	Nachweismethoden	22
	1.4.1 Messung der Probenaktivität	23
	1.4.2 Zählertypen	24
	1.4.3 Untergrundstrahlung	27
	1.4.4 Teilchenzahlmessung	31
	1.4.5 Beschleunigermassenspektrometrie(AMS)	37
	1.4.6 Resonanzionisierungsspektroskopie (RIS)	42
	1.4.7 Kernspurmethoden	44
1.5.	Altersbestimmung	45
	1.5.1 Probenbedingungen	46
	1.5.2 Messung von Isotopenverhältnissen	47
1.6	Kosmochemische Anwendungen	49
	1.6.1 K/Ar-und Rb/Sr-Methoden	49
	1.6.2 Radioblei-Methode	50
	1.6.3 Alter der Erde und des Sonnensystems	51
	1.6.4 Zeitpunkt der Elementsynthese	54
	1.6.5 Alter des Universums	56
1.7.	Geophysikalische Anwendungen	57
	1.7.1 Palaeowissenschaften	59
	1.7.2 Kosmogene Radioisotope	60
	1.7.3 Aktivitätsalter	64
	1.7.4 Bestrahlungsalter	66
1.8	Kulturwissenschaftliche Anwendungen	68
	1.8.1 Radiokohlenstoffmethode	68
	1.8.2 Datierungsbeispiele	74
	1.8.3 Thermolumineszenz-Methode	78

2. Nukleare Radiografie

2.1	Strahlendurchgang durch Materie.....	81
2.1.1	Geladene Teilchen.....	81
2.1.2	Ungeladene Teilchen.....	83
2.1.3	Photonen.....	84
2.1.4	Bremsstrahlung.....	88
2.1.5	Synchrotronstrahlung.....	90
2.2	Ionenstrahlanalytik.....	91
2.2.1	Absorptionsradiografie.....	92
2.2.2	Streuradiografie (RBS, ERDA).....	97
2.2.3	Sekundärionenemission (SIMS).....	108
2.3	Aktivierungsanalysen.....	110
2.3.1	Kernaktivierung (NRA,PIGE).....	110
2.3.2	Hüllenaktivierung (PIXE, ffIXE).....	115
2.4	Tracermethoden.....	117
2.4.1	Fremdatom-Markierung.....	118
2.4.2	Isotopen-Markierung.....	123
2.4.3	Positronen-Emissionstomografie (PET).....	125
2.5	Stabile Tracerkerne.....	128
2.5.1	Isotopenverhältnisse.....	128
2.5.2	Kernresonanzspektroskopie (NMR).....	135
2.6	Nukleare Festkörperphysik.....	144
2.6.1	Strukturanalyse.....	144
2.6.2	Mößbauerspektroskopie.....	147
2.6.3	Gestörte Winkelkorrelationen (PAC).....	154
2.6.4	Kernresonanzmethoden.....	155
2.6.5	Positronenvernichtung.....	158
2.6.6	Coulombexplosion.....	160
2.7	Strahlenquellen für Sondenteilchen.....	161
2.7.1	Neutronenquellen.....	162
2.7.2	Photonenquellen.....	172
2.7.3	Ionenbeschleuniger.....	177
2.7.4	Mikrosonden.....	179
2.8	Spezielle Nachweisgeräte.....	180
2.8.1	Großflächenzähler.....	181
2.8.2	Neutronenzähler.....	182
2.8.3	Raumsondeninstrumente.....	183

3. Nukleare Radiotomie

3.1	Permanente Strahlenschäden.....	187
3.1.1	Latente Spurenbildung.....	188

3.1.2	Technische Strahlendefekte.....	191
3.1.3	Sputtering.....	193
3.1.4	Strahlenwirkungseinheiten.....	195
3.2	Strahleninduzierte Materialveränderungen.....	197
3.2.1	Implantierungen.....	197
3.2.2	Ionenstrahlinduzierte Schichtenbildung.....	200
3.2.3	Dotierungen.....	201
3.2.4	Ionenstrahlepitaxie.....	202
3.2.5	Mikromechanik.....	204
3.2.6	Großtechnische Strahlennutzung.....	208
3.3	Strahlenbiologie.....	210
3.3.1	Zellkernstruktur.....	210
3.3.2	Zellschädigung.....	211
3.3.3	Dosiswirkungen.....	213
3.3.4	Strahlenabschirmung.....	217
3.4	Strahlenschutznormen.....	219
3.5	Strahlentherapie.....	221
3.5.1	Interne Strahlenquellen.....	223
3.5.2	Gamma/Elektronentherapie.....	224
3.5.3	Protonentherapie.....	224
3.5.4	Schwerionentherapie.....	226
3.5.5	Pionentherapie.....	229
3.5.6	Neutronentherapie.....	229
3.6	Strahlenquellen für Radiotomie.....	232
3.6.1	Ionenbeschleuniger.....	232
3.6.2	Synchrotronstrahlungsquellen.....	234
3.6.3	Neutronenquellen.....	236
4. Nukleare Energie		
4.1	Exotherme Kernreaktionen.....	238
4.1.1	Kernbindungsenergie.....	239
4.1.2	Schaleneffekte.....	241
4.1.3	Kernspaltung.....	243
4.1.4	Kernfusion.....	247
4.1.5	Resonanzreaktionen.....	248
4.2	Sternbrennen.....	250
4.2.1	Thermische Fusionsreaktionen.....	250
4.2.2	Wasserstoffbrennen.....	252
4.2.3	Heliumbrennzyklus.....	254
4.2.4	Elementsynthese.....	255
4.3	Spaltreaktoren.....	257
4.3.1	Spaltneutronen.....	258

4.3.2	Neutronenmoderation.....	261
4.3.3	Reaktordynamik.....	264
4.3.4	Neutronendichteverteilung.....	268
4.3.5	Leistungsreaktoren.....	272
4.3.6	Brutreaktoren.....	277
4.3.7	Moderne Sicherheitskonzepte.....	280
4.4	Fusionsreaktoren.....	282
4.4.1	Fusionspfade.....	283
4.4.2	Lawson-Kriterium.....	285
4.4.3	Magneteinschluß-Maschinen.....	286
4.4.4	Trägheitseinschluß-Maschinen.....	295
4.4.5	Katalytische Fusion.....	299
4.5	Spezielle Reaktoren.....	300
4.5.1	Naturreaktoren.....	300
4.5.2	Satellitenreaktoren.....	301
4.5.3	Nukleare Antriebe.....	302
4.5.4	Hybridreaktorenkonzepte.....	303
4.6	Nukleare Entsorgung.....	305
4.6.1	Kernreaktorenabfall.....	305
4.6.2	Aufarbeitungsstrategien.....	307
4.6.3	Endlagerung.....	308
	Literaturverzeichnis.....	311
	Glossar der verwendeten Symbole.....	317
	Lexikon physikalischer Größen.....	318
	Sachverzeichnis.....	320