

Werner Stolz

# Radioaktivität

## Grundlagen – Messung – Anwendungen

4., überarbeitete und erweiterte Auflage



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

---

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. Atomkern</b> . . . . .	9
1.1. Kernaufbau . . . . .	9
1.2. Kernradius . . . . .	11
1.3. Kernmasse . . . . .	12
1.4. Bindungsenergie . . . . .	13
1.5. Kerntypen und Stabilität . . . . .	14
1.6. Kernspin und Kernmomente . . . . .	16
<b>2. Radioaktive Kernumwandlungen</b> . . . . .	19
2.1. Wesen der Radioaktivität . . . . .	19
2.2. Umwandlungsgesetz . . . . .	20
2.3. Aktivität . . . . .	22
2.4. Radioaktives Gleichgewicht . . . . .	23
2.5. Statistische Schwankungen . . . . .	26
2.6. Alphaumwandlung . . . . .	29
2.7. Betaumwandlung . . . . .	33
2.8. Gammaübergänge . . . . .	39
2.9. Spontane Kernspaltung . . . . .	46
2.10. Spontane Nukleonenemission . . . . .	48
2.11. Spontane Emission schwerer Teilchen ( $Z \geq 6$ ) . . . . .	50
<b>3. Natürlich radioaktive Nuklide</b> . . . . .	52
3.1. Natürliche Umwandlungsreihen . . . . .	52
3.2. Isolierte natürlich radioaktive Nuklide . . . . .	54
<b>4. Künstliche Kernumwandlungen</b> . . . . .	56
4.1. Arten der künstlichen Kernumwandlung . . . . .	56
4.2. Reaktionsenergie . . . . .	57
4.3. Wirkungsquerschnitt . . . . .	58
4.4. Zwischenkernprozeß . . . . .	59
4.5. Kernreaktionen ungeladener Teilchen . . . . .	60
4.6. Kernreaktionen geladener Teilchen . . . . .	62
4.7. Künstliche Kernspaltung . . . . .	63
4.8. Thermonukleare Reaktionen . . . . .	67
<b>5. Herstellung radioaktiver Nuklide</b> . . . . .	69
5.1. Aktivierungsgleichung . . . . .	69
5.2. Herstellung radioaktiver Nuklide im Kernreaktor . . . . .	70
5.3. Herstellung radioaktiver Nuklide im Zyklotron . . . . .	72
5.4. Abtrennung radioaktiver Nuklide aus Spaltproduktgemischen . . . . .	74

---

---

5.5. Herstellung radioaktiver Nuklide mit Generatorsystemen . . . . .	75
5.6. Herstellung von Transuranelementen . . . . .	76
<b>6. Radioaktive Strahlungsquellen . . . . .</b>	<b>79</b>
6.1. Alphastrahlungsquellen . . . . .	80
6.2. Betastrahlungsquellen . . . . .	80
6.3. Gammastrahlungsquellen . . . . .	81
6.4. Bremsstrahlungsquellen . . . . .	82
6.5. Neutronenquellen . . . . .	83
<b>7. Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Atomen . . . . .</b>	<b>87</b>
7.1. Wechselwirkung geladener Teilchen mit Atomen . . . . .	87
7.1.1. Übersicht . . . . .	87
7.1.2. Ionisationsbremsung . . . . .	88
7.1.3. Strahlungsbremsung . . . . .	90
7.2. Wechselwirkung von Neutronen mit Atomen . . . . .	92
7.2.1. Übersicht . . . . .	92
7.2.2. Elastische Streuung . . . . .	93
7.2.3. Unelastische Streuung . . . . .	94
7.3. Wechselwirkung von Photonen mit Atomen . . . . .	95
7.3.1. Übersicht . . . . .	95
7.3.2. Photoeffekt . . . . .	95
7.3.3. Comptoneffekt . . . . .	97
7.3.4. Paarbildungseffekt . . . . .	99
<b>8. Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materialschichten . . . . .</b>	<b>101</b>
8.1. Wechselwirkung von geladenen Teilchen mit Materialschichten . . . . .	101
8.1.1. Absorption von Alphastrahlung . . . . .	101
8.1.2. Absorption von Betastrahlung . . . . .	102
8.1.3. Rückstreuung von Betastrahlung . . . . .	105
8.2. Wechselwirkung von ungeladenen Teilchen mit Materialschichten . . . . .	107
8.2.1. Schwächung von Photonenstrahlung . . . . .	107
8.2.2. Rückstreuung von Photonenstrahlung . . . . .	109
8.2.3. Bremsung von Neutronen . . . . .	110
<b>9. Messung ionisierender Strahlung . . . . .</b>	<b>112</b>
9.1. Strahlungsdetektoren . . . . .	112
9.1.1. Ionisationskammern . . . . .	113
9.1.2. Proportionalzählrohre . . . . .	116
9.1.3. Auslösezählrohre (Geiger-Müller-Zählrohre) . . . . .	120
9.1.4. Szintillationszähler . . . . .	124
9.1.5. Halbleiterdetektoren . . . . .	129
9.1.6. Photographische Emulsionen . . . . .	133
9.1.7. Festkörperspurdetektoren . . . . .	135
9.1.8. Thermolumineszenzdetektoren . . . . .	136
9.2. Messung der Aktivität . . . . .	137
9.2.1. Absolute Aktivitätsmessung . . . . .	137
9.2.2. Relative Aktivitätsmessung . . . . .	141
9.3. Messung der Strahlungsenergie . . . . .	142
9.3.1. Gammaspektrometrie . . . . .	142
9.3.2. Alphaspektrometrie . . . . .	146
9.3.3. Betaspektrometrie . . . . .	147
9.3.4. Neutronenspektrometrie . . . . .	148

---

---

9.4. Messung der Halbwertszeit . . . . .	149
9.4.1. Messung der Halbwertszeit durch Aufnahme von Umwandlungskurven. . . . .	149
9.4.2. Messung von Halbwertszeiten sehr langlebiger und sehr kurzlebiger radioaktiver Nuklide . . . . .	150
9.5. Messung der Energiedosis . . . . .	151
9.5.1. Strahlungsfeldgrößen . . . . .	152
9.5.2. Energiedosis . . . . .	153
9.5.3. Sondenmethode. . . . .	154
9.5.4. Dosismessung . . . . .	156
<b>10. Anwendung radioaktiver Nuklide . . . . .</b>	<b>159</b>
10.1. Anwendung der Schwächung, Streuung und Bremsung von Strahlung. . . . .	160
10.1.1. Dickenmessung. . . . .	160
10.1.2. Füllstandsmessung . . . . .	161
10.1.3. Dichtemessung . . . . .	162
10.1.4. Gammaradiographie . . . . .	164
10.1.5. Feuchtemessung . . . . .	165
10.2. Wirkung von Strahlung auf Stoffe . . . . .	165
10.2.1. Strahlenchemie . . . . .	165
10.2.2. Strahlentherapie . . . . .	167
10.2.3. Strahlensterilisation . . . . .	169
10.2.4. Lebensmittelbestrahlung . . . . .	169
10.3. Anregung elementspezifischer Photonenstrahlung . . . . .	170
10.3.1. Röntgenemissionsanalyse . . . . .	170
10.3.2. Prompte Kernreaktionen . . . . .	172
10.4. Markierung mit radioaktiven Nukliden . . . . .	173
10.4.1. Prinzip der radioaktiven Markierung. . . . .	173
10.4.2. Untersuchung von Stofftransportvorgängen . . . . .	175
10.4.3. Verschleißmessung. . . . .	176
10.4.4. Nuklearmedizinische Diagnostik . . . . .	177
10.4.5. Aktivierungsanalyse . . . . .	179
10.5. Umwandlung von Strahlungsenergie in andere Energieformen . . . . .	181
10.5.1. Radionuklidbatterien . . . . .	181
10.5.2. Radioaktive Leuchtfarben . . . . .	183
10.6. Altersbestimmung . . . . .	183
10.6.1. Prinzip der radiometrischen Altersbestimmung . . . . .	183
10.6.2. Radiometrische Altersbestimmungsmethoden . . . . .	184
<b>11. Strahlenschutz . . . . .</b>	<b>187</b>
11.1. Strahlenschäden und Strahlenschutz. . . . .	187
11.2. Äquivalentdosis . . . . .	188
11.3. Natürliche und zivilisatorische Strahlenbelastung. . . . .	190
11.4. Strahlenschutzgrenzwerte . . . . .	191
11.5. Begrenzung der Strahlenbelastung. . . . .	194
11.6. Strahlenschutzüberwachung . . . . .	196
11.7. Radioaktive Abfälle . . . . .	197
11.8. Natürliche Strahlenexposition in Gebäuden . . . . .	199
<b>Tabellenanhang . . . . .</b>	<b>203</b>
<b>Weiterführende Literatur. . . . .</b>	<b>208</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>210</b>

---