

Teilchendetektoren

von
Prof. Dr. Claus Grupen
Universität Siegen



Wissenschaftsverlag
Mannheim · Leipzig · Wien · Zürich

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	15
1 Wechselwirkung von Teilchen und Strahlung mit Materie	17
1.1 Wechselwirkung von geladenen Teilchen	18
1.1.1 Energieverlust durch Ionisation und Anregung	20
1.1.2 Ionisationsausbeute	31
1.1.3 Vielfachstreuung	37
1.1.4 Bremsstrahlung	38
1.1.5 Direkte Paarerzeugung	42
1.1.6 Energieverlust durch photonukleare Wechselwirkungen	43
1.1.7 Gesamter Energieverlust	43
1.1.8 Energie-Reichweite-Beziehung für geladene Teilchen	45
1.2 Wechselwirkungen von Photonen	50
1.2.1 Photoeffekt	51
1.2.2 Compton-Effekt	52
1.2.3 Paarerzeugung	54
1.2.4 Totaler Photoabsorptionsquerschnitt	56
1.3 Starke Wechselwirkungen von Hadronen	60
1.4 Drift und Diffusion in Gasen	62
2 Charakteristische Größen von Detektoren	71
3 Einheiten der Strahlungsmessung	83
4 Detektoren zur Orts- und Ionisationsmessung	89
4.1 Ionisationskammern	89
4.2 Proportionalzähler	97

4.3	Auslösezähler (Geiger-Müller-Zähler)	107
4.4	Streamer-Rohre	109
4.5	Teilchenregistrierung in Flüssigkeiten	116
4.6	Vieldrahtproportionalkammer	119
4.7	Ebene Driftkammern	128
4.8	Zylindrische Drahtkammern	136
4.8.1	Zylinder-Proportionalkammern und Zylinder-Driftkammern	137
4.8.2	Jet-Driftkammern	145
4.8.3	Zeit-Projektions-Kammer (TPC – Time Projection Chamber)	149
4.9	Abbildungskammer	154
4.10	Alterungseffekte in Drahtkammern	156
4.11	Blaskammer	163
4.12	Nebelkammer	170
4.13	Streamer-Kammer	173
4.14	Neon-Flash-Kammern	179
4.15	Funkenkammern	182
4.16	Kernemulsionen	188
4.17	Silberhalogenidkristalle	194
4.18	Röntgenfilme	195
4.19	Thermolumineszenz-Detektoren	196
4.20	Radiophotolumineszenz-Detektoren	198
4.21	Plastikdetektor	198
4.22	Vergleich der Detektoren zur Orts- und Ionisations- messung	201
5	Zeitmessung	205
5.1	Photomultiplier	205
5.2	Szintillatoren	213
5.3	Planare Funkenzähler	226
6	Teilchenidentifizierung	229
6.1	Neutronennachweis	230
6.2	Neutrinodetektoren	235
6.3	Flugzeitzähler	235
6.4	Cherenkov-Zähler	238
6.5	Übergangsstrahlungsdetektoren (TRD - Transition Radiation Detektor)	255

6.6	Mehrfachmessung der spezifischen Ionisation	263
6.7	Vergleich der Methoden zur Identifizierung geladener Teilchen	270
7	Energiemessung	273
7.1	Halbleiterzähler	274
7.2	Elektron-Photon-Kalorimeter	291
7.3	Hadron-Kalorimeter	307
7.4	Teilchenidentifikation mit Kalorimetern	326
7.5	Eichung und Überwachung von Kalorimetern	332
7.6	Kryogenische Kalorimeter	335
8	Impulsmessung	341
8.1	Magnetspektrometer für Experimente mit festem Target	341
8.2	Magnetspektrometer für spezielle Anordnungen	350
9	Beispiele für Anwendungen von Detektorsystemen	359
9.1	Strahlenkamera	360
9.2	Oberflächenuntersuchungen mit langsamen Protonen	363
9.3	Tumorthherapie mit schweren Teilchen	365
9.4	Nuklididentifizierung im radioaktiven Fallout	368
9.5	Suche nach verborgenen Grabkammern in Pyramiden	369
9.6	Experimenteller Nachweis für $\nu_e \neq \nu_\mu$	372
9.7	Funkenkammerteleskop für hochenergetische γ -Strahlen	376
9.8	Messung von ausgedehnten Luftschauern mit dem Fliegenauge	378
9.9	Suche nach dem Nukleon-Zerfall mit Wasser-Cherenkov-Zählern	381
9.10	Altersbestimmung mit Hilfe der ^{14}C -Methode	382
9.11	Havariedosimetrie	384
9.12	Das Elektron-Positron-Speicherring-Experiment ALEPH	384
	Schlußbetrachtung	393
	Glossar	395

Anhang A	
Tabelle wichtiger Naturkonstanten	423
Anhang B	
Definition und Umrechnung einiger physikalischer Einheiten	427
Literaturverzeichnis	431
Index	453