

EINFÜHRUNG
IN DIE KERNPHYSIK MIT
POLARISIERTEN TEILCHEN

VON

DIETER FICK

PHYSIKALISCHES INSTITUT
DER UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/WIEN/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

II

Inhaltsverzeichnis

0.	<u>Einleitung</u>	1
1.	<u>Beschreibung der Polarisation von Spin 1/2-Teilchen und Spin 1-Teilchen</u>	
1.1	Das Problem	7
1.2	Dichteoperator, Dichtematrix	11
1.3	Definition der Polarisation von Spin 1/2- und Spin 1-Teilchen	14
1.3.1	Spin $s = 1/2$	14
1.3.2	Spin $s = 1$	18
1.4	Beschreibung der Polarisation mit sphärischen Tensoren	27
1.5	Abweichende Definition von sphärischen Tensoren	30
1.6	Literatur zu Kapitel 1	32
2^	<u>Erzeugung polarisierter Teilchenstrahlen</u>	
2.1	Physik des H- und D-Atoms im Grundzustand	34
2.1.1	Das H-Atom	34
2.1.2	Das D-Atom	43
2.2	Erzeugung von polarisierten Ionen nach dem Atomstrahl-Prinzip	48
2.2.1	Prinzipieller Aufbau einer Quelle nach dem Atomstrahl-Prinzip	48
2.2.2	Der Dissoziator	50
2.2.3	Erzeugung eines Atomstrahles mit polarisierten Hüllenelektronen	51

2.2.4	Übertragung der Hüllenpolarisation auf die Kernpolarisation	55
2.2.4.1	Das H-Atom	55
2.2.4.2	Das D-Atom	59
2.2.5	Polarisationserhöhung durch Hochfrequenzübergänge	63
2.2.6	Schwächfeldionisierer	70
2.2.7	Starkfeldionisierer	74
2.2.8	Umladung des polarisierten Ionenstrahles zu negativen Ionen	75
2.2.9	Spindrehung	76
2.2.10	Beschleunigung von polarisierten Ionen	82
2.2.10.1	Tandem	82
2.2.10.2	Zyklotron	83
2.2.11	Messung der Polarisation von Ionenstrahlen	85
2.2.12	Daten	85
2.3	Physik des H- und D-Atoms im angeregten Zustand mit $n = 2$	86
2.4	Erzeugung polarisierter Ionen nach dem Lambshift-Verfahren (Lambshiftquelle)	95
2.4.1	Idee des Lambshiftverfahrens	95
2.4.2	Prinzipieller Aufbau einer Lambshiftquelle	96
2.4.3	Herstellung eines Strahles metastabiler Wasserstoffatome	98
2.4.4	Selektives Quenchen	99
2.4.5	Polarisationserhöhung durch nicht-adiabatische Übergänge	100
2.4.6	Umladung, Ionisation	105
2.4.7	Daten	107
2.5	Erzeugung von polarisierten Teilchen durch Kernreaktionen	108
2.6	Polarisation durch korrelierte Streuung in Kristallen (Channeling)	108
2.7	Literatur zu Kapitel 2	110

2_.	<u>Reaktionsmatrix, Meßgrößen, Folgerungen aus den Invarianzeigenschaften der starken Wechselwirkung, explizite Form der Winkel- verteiliitig</u>	
3.1	Die Heaktionsmatrix	114
3.2	Meßgrößen, Observable	117
3.3	Paritätsoperation, Parität der Beaktionsmatrix	127
3.4	Koordinatensysteme	130
3.5	Paritätsverhalten der Observablen	134
3.6	Zeitumkehrinvarianz, Zusammenhang zwischen den Observablen für die Hin- und Bückreaktion	139
3.6.1	Differentieller Wirkungsquerschnitt	142
3.6.2	Analysierstärke und Polarisaton	143
3.7	Explizite Form der Wirkungsquerschnitte	148
3.7.1	Winkelverteilung mit polarisierten Spin 1/2-Projektilen	148
3.7.2	Winkelverteilung mit polarisierten Spin 1-Projektilen	152
3-8	Literatur zu Kapitel 3	158
4.	<u>Messung der Polarisaton von Teilchen- strahlen</u>	
4.1	Bestimmung der Polarisaton von Spin 1/2- Teilchen	160
4.1.1	Prinzip eines Doppelstreuexperimentes	160
4.1.2	Realistische Durchführung eines Doppel- streuexperimentes	164
4.1.3	Messung der Polarisaton von elastisch gestreuten Teilchen	169

4.2	Bestimmung der Polarisierung von Spin 1-Teilchen	172
4.2.1	Prinzip eines Doppelstreuexperimentes	172
4.2.2	Messung der Tensorpolarisierung von Deuteronen mit der ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ - oder ${}^5\text{He}(d,p){}^4\text{He}$ -Seaktion	175
4.2.3	Messung der Tensorpolarisierung von elastisch gestreuten Deuteronen und Bestimmung der Vektoranalysierstärke für die elastische Deuteron- ${}^4\text{e}$ -Streuung	181
4.3	Literatur zu Kapitel 4	188
5.	<u>Messung der Analysierstärke mit Teilchenstrahlen aus Quellen für polarisierte Ionen</u>	
5.1	Messung von Vektoranalysierstärken	189
5.1.1	Allgemeines	189
5.1.2	Experimente mit polarisierten Protonen	199
5.1.3	Experimente mit vektorpolarisierten Deuteronen	205
5.2	Messung von Tensoranalysierstärken	209
5.2.1	Allgemeines	209
5.3	Gleichzeitige Messung von Vektor- und Tensoranalysierstärken	213
5.3.1	Allgemeines	213
5.3.2	Experimente mit polarisierten Deuteronen	218
5.4	Überwachung der Polarisierung	218
5.5	Literatur zu Kapitel 5	222

6.	<u>Explizite Gestalt der Reaktionsmatrix</u> <u>und ihre experimentelle Bestimmung</u>	
6.1	Reaktionsmatrix für den Fall $1/2 + 0 \rightarrow$ $1/2 + 0$	223
6.1.1	Gestalt der M-Matrix	223
6.1.2	Zusammenhang zwischen den Observablen und den Koeffizienten der Reaktionsmatrix	229
6.2	Bestimmung der Koeffizienten der Reaktions- matrix für die elastische Streuung von Spin $1/2$ -Teilchen an Spin 0 -Teilchen	236
	Sachregister	247