

DIE THEORIE DER STREUMATRIX I

für die Wechselwirkungen fundamentaler Teilchen

A. O. BARUT
UNIVERSITY OF COLORADO



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/WIEN/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

I. Teil: Allgemeine Prinzipien

1	Die kinematischen Prinzipien der Quantentheorie in der S-Matrix. Formulierung	17
1.1	Die S-Matrix	17
1.2	Das Quantenprinzip.	21
1.3	Die Unitaritätsbedingung.	22
1.4	Das „Diagonalisieren“ der S-Matrix	25
1.5	Die Definition von Raum und Zeit und der Weg zur Raum-Zeit Beschreibung.	27
2	Invarianzprinzipien	29
2.1	Formulierung der Invarianzbedingung	29
2.2	Unitäre Darstellungen der Symmetriegruppen	32
2.3	Die Bestimmung der unitären Darstellungen der Poincare-Gruppe	35
2.4	Die Darstellungen der Kleinen Gruppen.	39
2.5	S-Matrix und Amplituden.	46
2.6	Spinoramplituden.	49
2.7	Eine Anwendung: Auswahlregeln für die Fermionzahl Aufgaben und Ergänzungen.	54
3	Übergangswahrscheinlichkeit, Phasenraum und Unitarität	59
3.1	Streuquerschnitte und Lebensdauern.	59
3.2	Polarisation.	64
3.3	Unitarität	65
3.4	Das allgemeine Optische Theorem.	67
3.5	Phasenraumfaktoren, ausgedrückt durch die Gesamtenergie Aufgaben und Ergänzungen.	68
4	Die Konstruktion kovarianter Streuamplituden	73
4.1	Die Konstruktion von Isospinamplituden.	73
4.2	Die Konstruktion von Spinamplituden.	77
4.3	Die direkte Konstruktion von Helizitätsamplituden	84

4.4	Eichinvarianz und Amplituden für Photonprozesse	85
4.5	Amplituden für Neutrinoprozesse	
	Aufgaben und Ergänzungen	92
5	Diskrete Symmetrietransformationen und Analytische Fortsetzung	95
5.1	Diskrete Symmetrie Operationen	95
5.2	Die Parität	96
	Die Paritätstransformation des Polarisationsvektors	99
5.3	Zeitumkehr und Antiteilchen	100
5.4	Die diskreten Transformationen TCP, C, T	103
	Transformationen der Indizes in den spinoriellen Amplituden	105
5.5	TCP-Theorem und Analytizität	109
	Der Zusammenhang mit den komplexen Lorentztransformationen	111
	Die Existenz der Antiteilchen	112
5.6	Crossing-Relationen	114
	Crossing-Relationen für den Isospin	115
5.7	Die Innere Parität eines Teilchen-Antiteilchen Paares	117
	Aufgaben und Ergänzungen	117
6	Skalare Amplituden und invariante Produkte von Impulsen	119
	Aufgaben und Ergänzungen	129
7	Analytische Fortsetzung und Singularitäten der S-Matrix	131
7.1	Die Definition der Analytischen Fortsetzung	132
7.2	Normale Schwellensingularitäten	134
7.3	Die Beiträge der Ein- und Zwei-Körper Zwischenzustände zur Unitarität	135
	a) Elastische Unitarität, b) Partialwellenamplituden, c) Phasenverschiebungen, d) Die Beziehung zwischen der Unitaritätsgleichung und den Partialwellen, e) Der Übergang zur nicht-relativistischen Potentialstreuung, f) Pole im zweiten Blatt	
7.4	Die Definition des physikalischen Blattes	145
7.5	Anomale Schwellen	146
7.6	Einfache und Doppelte Dispersionsrelationen	150

a) Analytizität in zwei Variablen,	
b) Herleitung Einfacher Dispersionsrelationen aus Doppelten Dispersions Relationen, c) Verträglichkeit mit der Elastischen Unitarität; Spektralfunktionen,	
d) Ein Spezialfall; Potentialstreuung	
Aufgaben und Ergänzungen.167
8 Näherungsweise Bestimmung der Amplitude mit Hilfe von Unitarität und Cauchyrelationen.169
8.1 Die Polnäherung.169
8.2 Der Einfluß von Spin und Isospin.174
a) Austausch eines Teilchens mit Spin l zwischen zwei Teilchen ohne Spin, b) Austausch eines Spin $1/2$ Teilchens in der Spin O-Spin $1/2$ Streuung	
8.3 Zwei-Körper Körper und Näherungen mit höheren Zwischenzuständen.179
(1) Sukzessive Polnäherung, (2) Iteration von Unitarität und Analytizität, (3) Die N/D Methode	
Aufgaben und Ergänzungen.182
9 Asymptotische Eigenschaften und Schranken für Amplituden und Streuquerschnitte.183
9.1 Die asymptotische Form der Amplitude.184
a) Potentialstreuung, b) Watson-Sommerfeldtransformation, c) Beziehung zur Mandelstamdarstellung, d) Eindeutigkeit der Analytischen Fortsetzung in l , e) Unitaritätsrelationen für komplexes l , f) Der Zusammenhang mit gebundenen Zuständen und Resonanzen, g) Watson-Sommerfeldtransformation für die Potentialstreuung,	
h) Der relativistische Fall	
9.2 Das asymptotische Verhalten der Streuquerschnitte	200
a) Konstanter Totaler Wirkungsquerschnitt und rein Imaginäre Vorwärtsstreuamplitude, b) Das Pomeranchuk-Theorem, c) Das Beugungsmaximum	
9.3 Obere und untere Schranken für die Amplituden und Wirkungsquerschnitte aus Analytizität und Unitarität203
a) Obere Schranke aus der Analytizität in der z -Ebene und der Unitarität, b) Untere Schranken,	
c) Allgemeinere Annahmen über das asymptotische	

	Verhalten, d) Schranken für die Breite des Beugungsmaximums	
9.4	Folgerungen aus dem asymptotischen Verhalten für den Drehimpuls.	211
9.5	Analytische Fortsetzung in l	214
	a) Gebrauch der Elastischen Unitarität	
9.6	Die Eigenschaften der Pole in der l - und der s -Ebene	218
	Formel für die effektive Reichweite.	222
	Aufgaben und Ergänzungen.	223
<i>II. Teil: Grundlegende Teilchenprozesse</i>		
10	Die Zuordnung von Quantenzahlen.	227
10.1	Die Zuordnung von Raum-Zeit-Quantenzahlen für „stabile“ Teilchen.	227
	a) Das Photon, b) Die Leptonen, c) Die π -Mesonen, d) Die K -Mesonen, e) Die Nichterhaltung der Parität, f) Die CP-Symmetrie, g) Neutrale η -Mesonen, h) Die Möglichkeit einer CP- oder T-Verletzung, i) Nukleonen und Hyperonen, j) Relative innere Paritäten	
10.2	Die Zuordnung „innerer“ Quantenzahlen.	239
	a) Ladung, Baryonenzahl, Leptonenzahl, b) Ladungsunabhängigkeit und Isospin, c) Die Beziehung zwischen Isospin, Baryonenzahl und Ladung, d) Strangeness oder Hyperladungszahl, e) Klassifikation der Wechselwirkung nach den Erhaltungssätzen, f) Die G -Parität (Isospinparität), g) Massendifferenzen	
10.3	Die Quantenzahlen der Resonanzen.	252
	a) Pion-Nukleon Resonanzen, b) Pion Resonanzen, c) Pion-Kaon Resonanzen, d) Pion-Hyperon Resonanzen	
10.4	Höhere Teilchensymmetrien.	259
	Aufgaben und Ergänzungen.	262
11	Die Pion-Pion Streuung.	265
	11.1 Kinematik.	265
	11.2 Analytizität der Partialwellenamplituden.	268
	11.3 Näherungslösungen für die Partialwellenamplituden.	271

	a) Berechnung der Unstetigkeit am linken Schnitt,	
	b) Polnäherung des weit entfernten linken Schnittes	
11.4	Ein Beispiel: Selbstkonsistente Berechnung des g -Mesons.	279
11.5	Weitere Näherungen im ju -Problem.	285
11.6	„Bootstrap“ Näherungen.	285
	Aufgaben und Ergänzungen.	287
12	$piN \rightarrow piN$ und $pi \rightarrow pi \rightarrow NN$ -Streuung	289
12.1	Kinematik.	289
	a) Isospinamplituden, b) Spinamplituden im s -Kanal, c) Spinamplituden im s -Kanal, d) Helizitätsamplituden und Partialwellenamplituden im s -Kanal, e) Helizitätsamplituden und Partialwellenamplituden im s -Kanal, f) Crossing-Symmetrie	
12.2	Unitarität und Analytizität	306
	a) Kinematische Pole, b) Unitarität, c) Analytische Eigenschaften der Partialwellenamplituden, d) Analytische Fortsetzung nach dem Drehimpuls im s -Kanal	
12.3	Anwendungen.	321
	a) piN -Vorwärtsstreuamplitude, b) piN -Rückwärtsstreuamplitude, c) Dispersionsbeziehungen und Subtraktionen	
12.4	Effektive Reichweite.	322
	a) Der Fall mit Spin 0, b) Das piN -System, c) Formel für die Effektive Reichweite für $J = 1/2$, $J = 1/2$ Partialwellenamplituden	
12.5	„Reziproke Bootstrap“-Rechnung für JV und N^{33}	326
	Aufgaben und Ergänzungen.	329
13	Elektromagnetische Wechselwirkungen.	330
13.1	Übersicht über die elektromagnetischen Prozesse	330
13.2	Beschreibung von Spin 1 Teilchen und Photonen	330
13.3	Vertexamplituden mit Photonen.	333
13.4	Weiche Photonen und Cluster-Zerlegung der S -Matrix.	336
13.5	Schrittweise Polnäherung	338
	Beispiel: Compton-Streuung eines Fermions	339

13.6	Das anomale magnetische Moment der Leptonen	344
13.7	Terme höherer Ordnung und ihre Beziehung zu den Feynmangraphen	348
13.8	Zur Herleitung der Erhaltung der Ladung	350
	Aufgaben und Ergänzungen.	352
14	Zur Gravitationswechselwirkung.	353
14.1	Der irreduzible Polarisationsensor vom Spin 2	353
14.2	Vertexamplituden.	354
14.3	Streuamplituden.	355
14.4	Universalität	355
Anhänge		
1	Empirische Eigenschaften der Teilchen und Resonanzen.	357
2	Die inhomogene Lorentzgruppe (Poincare Gruppe)	363
3	Darstellungen der eingeschränkten Lorentzgruppe und der Drehgruppe durch 2×2 Unimodulare und Unitär-Unimodulare Gruppen	366
4	Clebsch-Gordan-Koeffizienten.	374
5	Der Zusammenhang zwischen der zwei- und vier-komponentigen Form der Amplituden.	378
6	Funktionen einer komplexen Veränderlichen	381
	1. Analytische Funktionen. Laurent Reihen.	384
	2. Cauchy Formel	387
	3. Dispersionsbeziehungen. Cauchy-Bremmermann Formel.	390
	4. Das Minimum Prinzip.	392
	5. Das Theorem von Weierstraß	393
	6. Der Satz von Mittag-Leffler.	394
	7. Verzweigungspunkte.	395
	8. Analytische Fortsetzung.	397
	9. Verschiedene Sätze.	399
7	Notwendige Bedingungen für die Singularitäten von komplexen Integraltransformierten.	404
8	Legendre Funktionen $P_\nu(z)$ und $Q_\nu(z)$; die Hypergeometrische Funktion $F(a, b; c, z)$	407
9	Einige wichtige Eigenschaften analytischer Funktionen von mehreren komplexen Veränderlichen	412

Bibliographie

Autorenregister

Sachregister