

Gunnar Källén

Elementarteilchen- physik

2. Auflage mit einem ergänzenden
Kapitel von J. Steinberger



Wissenschaftsverlag

Elementarteilchenphysik

...

Elementarteilchen- physik

von

Prof. Dr. Gunnar Källén †

*Institut für theoretische Physik der
Universität Lund*

2. Auflage

mit einem ergänzenden Kapitel

von

Prof. Dr. Jack Steinberger

*European Organization for Nuclear
Research, Genf*



Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich
B. I. - Wissenschaftsverlag

Das vorliegende Buch ist die deutsche Übersetzung von
„Elementary Particle Physics“
von Gunnar Källén.
Veröffentlicht mit Genehmigung des Originalverlages
Addison-Wesley Publishing Company Inc.,
Reading, Massachusetts, USA

Originalausgabe © 1964 in the USA
by Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
Deutsche Übersetzung © 1965 by Bibliographisches Institut AG, Mannheim
2. Auflage © 1974 by Bibliographisches Institut AG, Mannheim
Alle Rechte vorbehalten
Nachdruck, auch auszugsweise, verboten
Satz und Druck: Zehnersche Buchdruckerei, Speyer
Bindarbeit: Klambt-Druck GmbH., Speyer
Printed in Germany · ISBN 3-411-01403-2
A

VORWORT ZUR DEUTSCHEN NEUAUFLAGE

Professor Gunnar Källén ist am 13. Oktober 1968 bei einem Flugzeugunglück ums Leben gekommen.

Zum Zeitpunkt seines Todes hatte er schon in großen Zügen die Bearbeitung seines Buches Elementarteilchen-Physik vollendet. Eine Neuauflage war für das Jahr 1969 vorgesehen.

Wir, seine Schüler und Mitarbeiter in Lund, nahmen auf Wunsch seiner Familie mit dem Verlag Kontakt auf und erbaten uns, die Arbeit zu Ende zu führen.

Die Änderungen, die an der ersten Auflage vorgenommen wurden, waren schon von Professor Källén vorgesehen und im wesentlichen auch von ihm selbst verfaßt worden. Dies gilt insbesondere für die Einführung des Helizitätsformalismus zur Behandlung von Teilchen mit Spin, für das völlig neu geschriebene Kapitel 18 über höhere Symmetrien und für den Anhang 4 über die $SU(3)$ -Gruppe. An passenden Stellen sind jedoch von uns neue experimentelle Ergebnisse in den Text eingearbeitet worden.

Größere Änderungen wurden eigentlich nur im Zusammenhang mit Kapitel 16 über den Zerfall des K -Mesons vorgenommen. Professor Källén hatte eine Beschreibung der theoretischen und experimentellen Situation geplant, die sich nach der Entdeckung der Effekte, die zur CP -Verletzung führen, ergeben hatte.

Wir sind dankbar dafür, daß sich ein leitender Fachmann auf diesem Gebiet, Professor J. Steinberger, freundlicherweise bereit erklärte, die schwere Aufgabe zu übernehmen, das Material für Kapitel 16 zu bearbeiten. Es wurde beschlossen, daß Professor Källéns ursprünglicher und pädagogisch durchdachter Text unverändert beibehalten werden sollte, abgesehen allerdings von kleineren Änderungen, die besser mit dem Formalismus der CP -Verletzung übereinstimmen. Professor Steinberger hat in einigen neu verfaßten Abschnitten des Kapitels 16 (16.11–16.15) über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse der CP -Verletzung berichtet.

Abschließend möchten wir Professor Källéns Sekretärin, Frau Margareta Bergsten, für ihre Hilfe und aufopfernde Arbeit im Zusammenhang mit der Fertigstellung des Manuskriptes danken.

BO ANDERSSON

PETER ARRHÉN

JAN BOHMAN

LARS GISLÉN

GÖSTA GUSTAFSON

CECILIA JARLSKOG

MATS LYBERG

VORWORT

Wenn man das Vorwort von neuen Büchern ähnlich dem vorliegenden liest, so findet man in den meisten den Satz, daß das Buch eine verbesserte und erweiterte Fassung einer Vorlesung sei, die der Verfasser in irgendeinem Jahr an irgendeiner Universität gehalten hat. Obwohl wir wünschten, daß dieses Buch eine Ausnahme bilden würde, können wir dies schlecht behaupten, denn es ist in der Tat aus einer Vorlesung heraus entstanden, die während des Studienjahres 1961–1962 an dem Institut für theoretische Physik der Universität Lund (Schweden) gehalten wurde. Der Hauptzweck der Vorlesung, und damit auch des Buches, besteht darin, den Studenten, die sich auf dem Gebiet der Elementarteilchen spezialisieren wollen, das notwendige Rüstzeug mitzugeben. Deshalb wollen wir die grundlegenden Rechenmethoden recht ausführlich behandeln. Einige Standardbeispiele sind so weit durchgerechnet worden, daß ein grober Vergleich mit den Experimenten möglich wird. Wir haben jedoch weder versucht, zu einem gerechneten Prozeß jede kleine Korrektur mit zu berücksichtigen, noch alle Effekte zu beschreiben, die für die Interpretation eines speziellen Experimentes wichtig sind. So werden elektromagnetische Strahlungskorrekturen nur kurz erwähnt, aber nirgends ausführlich diskutiert. Überdies wenden wir uns hauptsächlich an Studenten mit Vorkenntnissen und Interesse an theoretischer Physik. Infolgedessen werden keine experimentellen Details diskutiert, aber die Rechnung wird in möglichst engem Kontakt mit dem experimentellen Material durchgeführt. Der Autor hofft, daß dies Buch auch für Experimentalphysiker, die an allgemeinen theoretischen Ideen interessiert sind, zumindest teilweise von Nutzen sein wird.

Wie schon erwähnt, ist das Buch hauptsächlich für Studenten geschrieben. Der Forscher mit Erfahrungen in der Elementarteilchenphysik wird sehr wenig finden, was er nicht schon vorher wußte. Er wird sich wahrscheinlich bei all den rechnerischen Details dieses Buches langweilen. Weiterhin wird er sein Arbeitsgebiet – ganz zu schweigen von seinen eigenen Arbeiten – nur ungenügend behandelt finden. Gegen diesen Vorwurf wollen wir uns nicht verteidigen. Die Einzelheiten der Rechnung sollen dem interessierten Studenten zugute kommen, der den Stoff erlernen möchte. Wir diskutieren einige Rechenmethoden, die uns methodisch wichtig erscheinen und wenden diese auf spezielle Probleme an, die hauptsächlich zur Illustration gedacht sind. Wir haben nicht den Ehrgeiz, eine handbuchartige Übersicht über den Stoff zu geben. Aber wir hoffen, daß jemand, der sich durch die Probleme dieses Buches hindurch-

gearbeitet hat, nur wenig Schwierigkeiten bei der Anwendung der gleichen Methoden auf andere Probleme haben wird.

Die Stoffauswahl dieses Buches ist eine Frage des Geschmacks und deshalb Ansichtssache, und die Meinungen darüber können beträchtlich voneinander abweichen. Unter den Themen, die nicht in diesem Buch enthalten sind, die wir aber gerne behandelt hätten, erwähnen wir: Nukleon-Nukleon-Streuung, Diffraktionsstreuung und höhere Symmetriegruppen der Elementarteilchen. Soweit es den ersten Punkt betrifft, ist der Verfasser der Ansicht, daß dabei keine wesentlich neuen Methoden benutzt werden, die nicht im Zusammenhang mit π -Meson-Nukleon-Streuung oder K-Meson-Nukleon-Streuung behandelt wurden, und deshalb wurde dieser Punkt fallengelassen. Das Buch ist ohnehin umfangreich genug. Auf der anderen Seite ist die Diffraktionsstreuung sicher von grundsätzlichem Interesse und ist eines der interessantesten Gebiete der Elementarteilchenphysik gerade in dem Jahr der Niederschrift dieses Buches. Verschiedentlich wurde deshalb angeregt, zumindest eine kurze Diskussion darüber in das Buch aufzunehmen. Doch der Verfasser ist der Ansicht, daß dieser Gegenstand noch nicht eine solche Form angenommen hat, daß ein brauchbarer Überblick gegeben werden könnte. Insbesondere sind die experimentellen Ergebnisse noch sehr unsicher, und neuerdings scheinen gerade einige der interessantesten theoretischen Voraussagen ziemlich eindeutig dem Experiment zu widersprechen. Die Situation kann sich in wenigen Jahren völlig ändern – vielleicht schon, wenn das Buch gedruckt vorliegt –, aber vom heutigen Standpunkt aus (Juni 1963) hält der Verfasser diese Beschränkung für genügend gerechtfertigt.

Ähnliches gilt für die höheren Symmetriegruppen der Elementarteilchen, wie sie in den letzten Jahren vorgeschlagen worden sind. Einige von ihnen sind sehr einleuchtend und von einem ästhetischen Standpunkt interessant, doch keine von ihnen scheint experimentell so gut gesichert zu sein, daß eine Aufnahme in dieses Buch gerechtfertigt wäre. Außerdem ist die Untersuchung dieser Symmetrie methodisch sehr ähnlich der des Isotopenspins, die sehr ausführlich in verschiedenen Kapiteln dieses Buches beschrieben wird.

Überhaupt ist die Auswahl der zur Illustration der phänomenologischen Analyse behandelten Gegenstände etwas konservativ. Als ein Beispiel erwähnen wir die Diskussion der verschiedenen Resonanzen oder sehr kurzlebigen Elementarteilchen, die in den letzten Jahren gefunden worden sind. Dies ist ein Gebiet, das manches interessante Problem im Zusammenhang mit der Bestimmung der Quantenzahlen der Resonanzzustände bietet. Tatsächlich werden die in Frage kommenden Methoden in einiger Ausführlichkeit diskutiert, und wir haben ziemliche Mühe darauf verwendet, daß die wichtigsten Rechenmethoden an zumindest einem Bei-

spiel gezeigt werden. Wir wollen jedoch nicht eine vollständige Liste aller bis jetzt gefundenen Resonanzen geben. Wie die Dinge jetzt stehen, würde eine solche Liste in sehr kurzer Zeit veraltet sein. Andererseits ist dieses Gebiet so interessant, daß es sehr bedauerlich wäre, es wegen des Risikos der Veralterung völlig zu übergehen. Deshalb haben wir nur einige der gesicherten Resonanzen behandelt. Aus naheliegenden Gründen sind es gerade diejenigen, die zuerst entdeckt worden sind. Wir glauben, daß das Ziel, die wichtigsten Methoden mit einzubeziehen, auf diese Weise zufriedenstellend erreicht werden kann – dafür müssen wir uns an manchen Stellen auf ziemlich unsichere experimentelle Ergebnisse beziehen.

Wir haben schon erwähnt, daß eines der Hauptziele unserer Untersuchung darin besteht, eine phänomenologische Analyse soweit durchzuführen, daß ein Vergleich mit dem Experiment vernünftig ist. Wenn ein experimenteller Wert angeführt wird, zitieren wir auch die Arbeit, der er entnommen wurde. Der Sinn dieser Zitierung besteht nur darin, die Informationsquelle offen anzugeben. Selbstverständlich haben wir dafür gesorgt, daß die angegebenen Werte nicht völlig unsinnig sind, aber wir haben die Literatur nicht allzu gründlich durchgesehen. Wenn dem Leser ein besserer Wert zur Verfügung steht, sollte es ihm möglich sein, diesen in die Formeln einzusetzen und die numerischen Werte umzurechnen. Das kann notwendig werden, entweder weil der Verfasser einige der in Frage kommenden Arbeiten übersehen hat, oder weil neue bessere Ergebnisse mittlerweile vorliegen (Das Buch ist hauptsächlich auf Ergebnisse gegründet, die dem Verfasser vor Ende April 1963 zur Verfügung standen. Hier und da sind auch spätere Experimente berücksichtigt worden, aber in sehr unsystematischer Weise.) Das Zitat einer Arbeit schließt natürlich weder ein, daß das betreffende Experiment als erstes vorlag, noch daß es das beste zur Zeit verfügbare ist. Der Verfasser ergreift gerne diese Gelegenheit, sich bei jedem ein für allemal zu entschuldigen, der der Ansicht ist, daß man seiner Arbeit oder seinem besseren Wert nicht das richtige Gewicht beigemessen hat.

Ein weiterer Punkt soll im Zusammenhang mit unserer Behandlung von experimentellen Werten erwähnt werden. In verschiedenen Fällen gibt es mehrere relevante Literaturstellen und es wird festgehalten, daß der angegebene Wert ein „gewichtetes Mittel“ der Daten darstellt. Dieser Satz bedeutet, daß wir unkritisch mit den in den Originalarbeiten angegebenen Fehlergrenzen einen Mittelwert berechnet haben, indem wir jeden Wert mit einem Gewicht umgekehrt proportional zu dem Quadrat seines Fehlers versehen haben. Ein solches Vorgehen ist nicht einwandfrei, weil man eigentlich die systematischen Fehler nicht in Betracht zieht, und weil auch verschiedene Autoren sich nach verschiedenen

Konventionen bei der Fehlerangabe richten. Da es jedoch nicht unsere Hauptaufgabe war, eine Sammlung der zuverlässigsten experimentellen Werte zusammenzustellen, sind wir der Meinung, daß der Zeitaufwand für eine bessere Behandlung der experimentellen Werte in keinem Verhältnis zu den daraus gewonnenen Resultaten stehen würde.

Das vielleicht größte Problem beim Abfassen dieses Buches war die Entscheidung, welche Vorkenntnisse beim Leser vorausgesetzt werden können. Selbstverständlich muß man gewisse Vorkenntnisse annehmen, damit der Umfang des Buches in angemessenem Rahmen bleibt. In der eingangs erwähnten Vorlesung setzte sich die Hörerschaft hauptsächlich aus Studenten der theoretischen Physik zusammen. Bei diesen konnte man eine gründliche Kenntnis nicht nur der gewöhnlichen nicht-relativistischen Quantenmechanik, sondern auch der Dirac-Gleichung und einige Kenntnis – wenn auch nur oberflächlich – der elementaren Quantenfeldtheorie voraussetzen. Nach langem Zögern und in Anbetracht der Ratschläge von vielen Seiten entschloß sich der Verfasser, den Haupttext des Buches auf der Stufe der ursprünglichen Vorlesung zu schreiben. Auf vielen Universitäten wird man manches von dem hier gebotenen Stoff zu einem früheren Zeitpunkt in der Kursvorlesung behandeln, an anderen Universitäten setzt man möglicherweise größere Anfangskenntnisse des betreffenden Stoffes voraus. Zum leichteren Verständnis haben wir in drei Anhängen einiges von dem Stoff, der in den verschiedenen Teilen des Buches benötigt wird, zusammengestellt. Die drei Anhänge sind sehr knapp gehalten, und es wird vielleicht niemand in der Lage sein, sich ihren Stoff ohne weitgehende Vorkenntnisse anzueignen. Die Anhänge können jedoch jemandem von Nutzen sein, der den Stoff bereits kennt, aber seine Kenntnisse wieder ein wenig auffrischen möchte und sich dabei auf die Teile konzentrieren will, die er für den Haupttext des Buches am nötigsten braucht. Davon abgesehen haben die Anhänge auch den Sinn, eine einheitliche Bezeichnungsweise und Normierung für die Theorie des Drehimpulses, der Dirac-Gleichung und der Feldquantisierung zu erreichen. Solchen Lesern, für die die drei Anhänge zu wenig ausführlich sind, empfehlen wir, den Stoff eigens aus einem Lehrbuch zu erlernen. Sehr viele Bücher sind für diesen Zweck geeignet. Wir erwähnen hier für jeden Anhang nur ein Buch, das so ausgewählt wurde, daß Bezeichnungen usw. mit den hier gebrauchten soweit als möglich übereinstimmen: A. R. Edmonds, *Angular Momentum in Quantum Mechanics**, Princeton University Press (1960) für Anhang I; M. E. Rose, *Relativistic Electron Theory*, John Wiley and Sons (1961) für Anhang II; und F. Mandl, *Introduction to Quantum Field Theory* für Anhang III.

* Deutsche Übersetzung 1964, BI-Hochschultaschenbücher Bd. 53/53a.

Eine erwähnenswerte Ausnahme von dem sonst elementaren Niveau des Buches bildet das Kapitel 5 über die formale Theorie der π -Meson-Nukleon-Streuung. In diesem Kapitel werden wesentlich mehr Kenntnisse über die Quantenfeldtheorie vorausgesetzt, als in den übrigen Teilen des Buches. Tatsächlich war der Stoff des Kapitels 5 in der dem Buch zugrunde liegenden ursprünglichen Vorlesung nicht enthalten, sondern er war Teil einer Spezialvorlesung über Quantenfeldtheorie. Der Verfasser hat ihn für den fortgeschrittenen Leser aufgenommen. Auch könnte uns vorgeworfen werden, eine Diskussion der phänomenologischen π -Meson-Nukleon-Physik sei unvollständig ohne Erwähnung des statischen Modells und der Vorwärtsdispersionsrelationen. Wenn man diese Themen überhaupt behandelt, dann sollten sie mit solcher Ausführlichkeit behandelt werden, daß der Leser zumindest den Eindruck hat, er hätte einen vernünftigen Überblick über das Gebiet bekommen. Andererseits hielten wir es nicht für wert, uns auf eine Diskussion all der in diesem Zusammenhang auftretenden mathematischen Probleme einzulassen. Deshalb wurde die ganze Diskussion in Kapitel 5 auf einige vereinfachende und teilweise ziemlich unrealistische Annahmen aufgebaut. Alle Renormierungsprobleme wurden im wesentlichen stillschweigend übergangen. Unter anderem nehmen wir an, daß manche Kommutatoren von Operatoren am Lichtkegel so regulär sind, daß sie mit Stufenfunktionen multipliziert werden können. Weiter wurden die asymptotischen Eigenschaften der Felder in einer Weise behandelt, die eine starke Vereinfachung darstellt, verglichen mit dem, was in jedem realistischen Modell geschieht. Der Verfasser rechtfertigt sich dafür hauptsächlich mit pädagogischen Gründen, aber zudem auch damit, daß nach seiner Meinung einige der am häufigsten benutzten Methoden noch nicht weit genug entwickelt sind, um realistische Fälle zu behandeln. Es wäre sicher nicht gerechtfertigt, in einem Buch über Elementarteilchenphysik in eine ausführliche Diskussion über diese sehr verwickelten und teilweise umstrittenen Fragen einzutreten. Ein anderer unkonventioneller Teil des Kapitels 5 bezieht sich auf die Behandlung des Polterms der relativistischen Dispersionsrelation für Vorwärtsstreuung mit Hilfe eines Differentialoperators. Diese Methode, das Problem zu behandeln, hat den Nachteil, daß man nicht sieht, daß die Größe, die wir das Quadrat der renormierten Kopplungskonstanten nennen wollen, notwendig positiv ist, aber den Vorteil, jede Diskussion über Analytizität der Vertexfunktion zu erübrigen. Eine vollständige und detaillierte Behandlung des Stoffes von Kapitel 5 würde ein eigenes Buch erfordern. Trotz aller Anstrengungen, die Mathematik zu vereinfachen, fürchtet der Verfasser, daß dieses Kapitel manchem Leser zu schwer sein wird, da aber seine Resultate in den anderen Teilen des Buches wenig benutzt werden, kann dieses Kapitel ohne weiteres überschlagen werden. Solche

Leser müssen einige Sätze über die Reduktionstechnik ohne Beweis zur Kenntnis nehmen.

Wie aus diesen Bemerkungen hervorgeht, erfordern verschiedene Kapitel unterschiedliche Anstrengungen seitens des Lesers. Der Anfang ist mit Absicht sehr elementar gehalten. Wir beginnen mit einer Diskussion der relativistischen Bewegungsgrößen. Die allgemeinen Formeln werden ziemlich ausführlich auf die Massenbestimmung der Elementarteilchen angewandt. Möglicherweise erscheint dieser Teil des Buches etwas zu lang, wenn man an all die interessanten Probleme denkt, die aus Platzmangel nicht behandelt worden sind. Die Absicht dieses Kapitels liegt jedoch nicht in einer Liste der besten Massenwerte der Elementarteilchen, sondern darin, dem Studenten eine gute Übung in der Behandlung relativistischer Kinematik zu geben. In späteren Teilen des Buches werden diese Fragen nur sehr kurz behandelt, da diese Kenntnisse dann beim Leser als bekannt vorausgesetzt werden können. Dieses Vorgehen wird auch bei anderen Gebieten wiederholt. Themen, wie der Isotopenspin und die Phasenraumintegrale, um nur zwei Beispiele zu nennen, werden bei ihrem ersten Erscheinen sehr ausführlich behandelt, bei jedem neuen Auftreten werden immer weniger rechnerische Details gebracht. Es wird vorausgesetzt, daß der Leser, während er sich durch das Buch hindurcharbeitet, eine hinreichend große Erfahrung erwirbt, um selber die notwendigen Einzelheiten ausführen zu können. Wieder bildet Kapitel 5 eine hervorstechende Ausnahme von dem allgemeinen Plan des Buches.

Wir haben versucht, soweit als möglich Standardbezeichnungen zu verwenden. In einigen Fällen mußte der Verfasser eine willkürliche Wahl treffen, zum Beispiel bei den Ausdrücken Isotopenspin, Isospin, Isobaric-spin. Wir haben die erste Möglichkeit gewählt aus keinem anderen Grund, als daß man sich für eine Möglichkeit entscheiden muß, und es nach unserer Meinung keinen Hinweis gibt, der eine der drei Alternativen auszeichnen würde. Aus genau dem gleichen Grund – oder aus dem Fehlen einer Begründung – wurde der Isotopenspin mit T und nicht mit I bezeichnet. Das Wort „Meson“ wurde den Bosonen vorbehalten. Deshalb haben wir den Ausdruck μ -Meson zu vermeiden gesucht, und ihn durch μ -Teilchen ersetzt. Nur eine ungewöhnliche Bezeichnungsweise wurde absichtlich eingeführt, nämlich die quadratische Form $\lambda(s, m^2, M^2)$ in Gleichung (1-16f). Dieser Ausdruck kehrt sehr oft in verschiedenen Zusammenhängen wieder und hängt eng sowohl mit dem Schwerpunktpuls als auch mit den Impulsen im Laborsystem zweier Teilchen mit den Massen m und M und Schwerpunktsenergie $\sqrt{s}$ zusammen. Hoffentlich findet der Leser diesen Ausdruck ebenso bequem wie der Verfasser.

Es ist mir ein großes Vergnügen, für die Hilfe und die Unterstützung zu danken, die mir während der Niederschrift von vielen Seiten zuteil wurde. Der Hauptteil wurde im Institut für theoretische Physik, Universität Lund, Schweden abgefaßt, und der Verfasser möchte vielen Mitgliedern für die große Hilfe bei zahlreichen Gelegenheiten seinen Dank aussprechen. Besonders Herr J. Bohman hat uns bei der Vorbereitung der Zeichnungen, die nicht aus anderen Publikationen entnommen werden konnten, in unschätzbbarer Weise unterstützt. Das Manuskript in einer vernünftigen Zeit abzuschließen, war nur möglich durch die fachkundige Hilfe von Frau M. Bergsten, die die unangenehme Aufgabe hatte, alle die verschiedenen Versionen des Buches auf der Maschine zu schreiben. Ohne ihre aufopfernde Tätigkeit hätte sich die Publikation sehr verzögert. Teile des Manuskriptes wurden am Institut des Hautes Études Scientifiques in Paris geschrieben. Für die Unterstützung sei dem Institut und seinem Direktor, Monsieur L. Motchane, herzlich gedankt. Für die freundliche Erlaubnis, Zeichnungen zu reproduzieren, sei den Herausgebern von *The Physical Review*, *The Physical Review Letters*, *The Physics Letters*, *Il Nuovo Cimento* und *The CERN Scientific Information Service* unser Dank ausgesprochen.

Lund, Schweden, Juni 1963

GUNNAR KÄLLÉN

VORWORT

ZUR DEUTSCHEN AUFLAGE

Die vorliegende deutsche Auflage des vor zwei Jahren geschriebenen Buches „Elementary Particle Physics“ ist eine ziemlich wortgetreue Übersetzung des englischen Originals. In der Zwischenzeit veröffentlichte Ergebnisse neuer experimenteller Forschungen sind in den Text eingearbeitet worden, wenigstens dann, wenn sich dies ohne allzu große Veränderungen ausführen ließ. Auf diese Weise ist die Literatur etwa bis zum Februar 1965 berücksichtigt worden. Bei den Änderungen hat der Verfasser Zurückhaltung geübt und nur dort Umarbeitungen vorgenommen, wo das englische Original erheblich veraltet war. Die allgemeine Anlage des Buches ist aber unverändert geblieben, insbesondere sind keine neuen Kapitel hinzugefügt worden.

Die wichtigsten prinzipiellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Elementarteilchenphysik in den Jahren 1963 bis 1965 sind wohl erstens die Entdeckung im Jahre 1964, daß die CP-Invarianz beim Zerfall von K^0 -Mesonen verletzt wird, und zweitens das durch die Entdeckung des Ω -Teilchens hervorgerufene große Interesse für die höheren Symmetrien der Elementarteilchen, insbesondere für SU(3) und ihre Verallgemeinerungen.

Da die CP-Verletzung beim K^0 -Zerfall numerisch sehr klein ist, konnte die ursprüngliche Diskussion dieses Zerfalls aus dem englischen Original unverändert übernommen werden, wenn nur die einleitende Bemerkung hinzugefügt wurde, daß die Theorie nicht als exakt betrachtet werden soll, daß sie aber den Zerfall in einer sehr guten Näherung beschreibt. Der Verfasser ist eigentlich erstaunt, daß ähnliche Bemerkungen nicht an mehreren Stellen nötig waren.

Leider war es nicht ebenso einfach, die Entwicklung auf dem Gebiet der höheren Symmetrien zu berücksichtigen. Eine verständliche Darstellung dieses Themas wäre nicht ohne ein neues Kapitel möglich. Dazu kommt, daß die Entwicklung dieser Theorie nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann. Insbesondere sind die möglichen Verallgemeinerungen von SU(3) immer noch sehr unklar. Diese Umstände – zusammen mit der Faulheit des Verfassers – müssen als Entschuldigung dafür dienen, daß die höheren Symmetrien auch in der deutschen Auflage nicht behandelt werden. Wenn in einigen Jahren eine neue Auflage des Buches notwendig werden sollte, so wird diese Ausrede wahrscheinlich nicht mehr brauchbar sein, und es wird vermutlich unumgänglich sein, eine Diskussion dieses Gebietes zu geben.

Abgesehen von den oben erwähnten Änderungen, die wegen der Entwicklung der Elementarteilchenphysik notwendig gewesen sind, sind auch mehrere kleine Fehler in den Gleichungen und im Text berichtigt worden. Ich bin besonders Herrn T. Wennström wie auch vielen anderen Lesern, die mich auf Fehler aufmerksam gemacht haben, zu großem Dank verpflichtet. Ich möchte zum Schluß auch Herrn Dr. P. Mittelstaedt und seinen Mitarbeitern, Herrn J. Benecke, Herrn Dr. D. Lüers und Herrn F. Wagner aus dem Max-Planck-Institut für Physik in München, die die deutsche Übersetzung ausgeführt haben, für ihre Arbeit recht herzlich danken.

Frösakull, Juli 1965

GUNNAR KÄLLÉN

INHALTSVERZEICHNIS

I. EINLEITENDE BEMERKUNGEN

KAPITEL 1. EINLEITUNG

1.1.	Liste der Elementarteilchen	23
1.2.	Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen . . .	25
1.3.	Das System der Einheiten	27
1.4.	Einige Bezeichnungen	29
1.5.	Relativistische Kinematik	30
1.6.	Die S -Matrix	34
1.7.	Unitarität der S -Matrix. Das optische Theorem . .	38

KAPITEL 2. MASEN DER ELEMENTARTEILCHEN

2.1.	Allgemeine Bemerkungen	40
2.2.	Massen von Elektron, Proton, Neutron, Photon und Neutrino	42
2.3.	Die Masse des μ -Teilchens	43
2.4.	Masse des geladenen π -Mesons und des μ -Teilchen- Neutrinos	44
2.5.	Die Masse des neutralen π -Mesons	46
2.6.	Masse des geladenen K -Mesons	53
2.7.	Die Masse des neutralen K -Mesons	55
2.8.	Die Masse des Λ -Teilchens	56
2.9.	Die Massen der geladenen Σ -Teilchen	57
2.10.	Die Masse des neutralen Σ -Teilchens	59
2.11.	Die Masse der Ξ -Teilchen	60

II. STARKE WECHSELWIRKUNGEN VON TEILCHEN OHNE STRANGENESS

KAPITEL 3. DIE QUANTENZAHLEN DES π -MESONS. DER ISOTOPENSIN

3.1.	Spin des π -Mesons. Allgemeiner Überblick	62
3.2.	Das Prinzip des detaillierten Gleichgewichts	63
3.3.	Der Spin des geladenen π -Mesons	67
3.4.	Der Spin des neutralen π -Mesons	69
3.5.	Die Parität des π -Mesons	71
3.6.	Qualitatives Bild des π -Mesons als Ursprung für Kernkräfte	73
3.7.	Der Isotopenspin für ein Nukleon	77
3.8.	Der Isotopenspin für zwei oder mehr Nukleonen . . .	80
3.9.	Der Isotopenspin für π -Mesonen	84
3.10.	Isotopenspin und zweite Quantisierung	86

KAPITEL 4. DIE STREUUNG VON π -MESONEN AN NUKLEONEN

4.1.	Überblick über die experimentelle Lage, Isotopenspin-Analyse	91
4.2.	Winkelverteilungen und Streuphasenanalyse	99
4.3.	Der Einfluß der Coulomb-Wechselwirkung auf die π -Meson-Nukleon-Streuung	103
4.4.	Vergleich mit experimentellen Daten	105
4.5.	Mehrdeutigkeiten bei der Bestimmung der Streuphasen	111
4.6.	Die Polarisation des gestoßenen Nukleons	112
4.7.	Einfluß der Coulombkräfte auf die Streuamplitude	117

KAPITEL 5. FORMALE THEORIE DER π -MESON-NUKLEON-STREUUNG

5.1.	Grundgedanken des statischen Modells. Die Bewe- gungsgleichung für das Mesonenfeld	124
5.2.	Asymptotische Mesonenfelder. Die S -Matrix	127
5.3.	Nichtrelativistische Reduktionstechnik	128
5.4.	Die Low-Gleichung	131
5.5.	Der Hamilton-Operator der Wechselwirkung	132
5.6.	Einführung der Streuphasen	135
5.7.	Näherungsweise Behandlung der Low-Gleichung. Die Beiträge von Ein-Nukleon-Zuständen	137
5.8.	Beiträge von Zuständen mit einem Nukleon und einem Meson	139
5.9.	Die Ein-Meson-Näherung. Die Formel für die effektive Reichweite	142
5.10.	Relativistische Reduktionstechnik	148
5.11.	Reduktion des S -Matrixelementes für die π -Meson- Nukleon-Streuung auf skalare Amplituden	153
5.12.	Spezialisierung auf die Vorwärtsstreuung :	156
5.13.	Dispersionsrelationen für die Vorwärtsstreuung; einleitende Diskussion	157
5.14.	Beweis von Dispersionsrelationen für die Vorwärts- streuung	159
5.15.	Der Vergleich mit experimentellen Daten	167

KAPITEL 6. DIE PHOTOERZEUGUNG VON π -MESONEN

6.1.	Qualitativer Vergleich zwischen der Photoerzeugung bei niedrigen Energien und der π -Meson-Nukleon- Streuung	173
6.2.	Anwendung des Prinzips des detaillierten Gleich- gewichts auf die Photoerzeugung des π -Mesons	176
6.3.	Die Winkelverteilungen bei der Photoerzeugung von π -Mesonen	180
6.4.	Die Polarisation des gestoßenen Korns	194