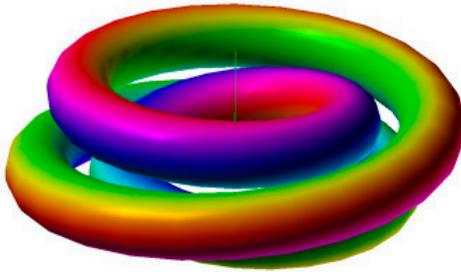


Karl-Otto Eschrich

Grundbegriffe der Physik

3., korrigierte und mit um zwei Absätzen erweiterte Auflage



Eine Einführung in die Grundbegriffe der Physik,
daraus einige weiterreichende Schlussfolgerungen,
vorangestellt einführende metaphysische Begriffe

Karl-Otto Eschrich

Grundbegriffe der Physik

3., korrigierte und mit um zwei Absätzen erweiterte Auflage

Gewidmet meinem Onkel

Bernhard Eschrich

* 31. Oktober 1926 – † 29. Oktober 2007

Weimar

Ich behaupte demnach: die transzendentalen Ideen sind niemals von konstitutivem Gebrauche, so, dass dadurch Begriffe gewisser Gegenstände gegeben würden, und in dem Falle, dass man sie so versteht, sind es bloß vernünfteln (dialektische) Begriffe. Dagegen aber haben sie einen vortrefflichen und unentbehrlich notwendigen regulativen Gebrauch, nämlich den Verstand zu einem gewissen Ziele zu richten, in Aussicht auf welches die Richtungslinien aller seiner Regeln in einem Punkt zusammenlaufen, der, ob er zwar nur eine Idee (focus imaginarius), d.i. ein Punkt ist, aus welchem die Verstandesbegriffe wirklich nicht ausgehen, indem er ganz außerhalb der Grenzen möglicher Erfahrung liegt, dennoch dazu dient, ihnen die größte Einheit neben der größten Ausbreitung zu verschaffen.

Immanuel Kant (1724 – 1804), (KdrV, A 644)

3. Auflage Mai 2013
Selbstverlag
Copyright © Karl-Otto Eschrich, Potsdam 2013
Druck Karl-Otto Eschrich
Auszugsweise Kopien nur mit Quellenangabe
Anschrift des Verfassers:
Karl-Otto Eschrich
Lennéstraße. 81
D - 14471 Potsdam

Vorbemerkung

In diesem Beitrag wird der Versuch unternommen, die Grundbegriffe der Physik zu definieren und grundlegende Zusammenhänge zu erschließen. Es geht also um Fragen wie: Was ist der Raum und wie entsteht er? Was ist ein Elementarteilchen, welche Eigenschaften hat es und wie kann man es sich vorstellen? Wie kann man dessen Eigendrehimpuls darstellen? Neben einigen Zusammenhängen werden einfache Modelle vorgestellt. So ergibt sich zwanglos eine Deutung der *Sommerfelds*chen Feinstrukturkonstanten, welche experimentell überprüft werden kann. Zuletzt geht es um das Problem der Asymmetrie der Welt und es wird ein Versuch zu dessen Lösung aufgezeigt. Dabei ist die zentrale Frage: Wo ist die „Antimaterie“?

Dabei wird auf Begriffen der ersten vier Bände des Lehrbuches der Theoretischen Physik von Landau/Lifschitz aufgebaut, wie beispielsweise Ereignis, Beobachtung, Messung. Das Verständnis der Grundlagen dieser Bände wird vorausgesetzt. Dennoch werden einige elementare Zusammenhänge wiedergegeben, um darauf aufbauen zu können. Der mathematische Apparat wird hier nicht angewendet, Schulkenntnisse sind ausreichend.

Einleitend müssen einige allgemeinere, übergeordnete Begriffe geklärt werden, die zum Verständnis des Beitrages notwendig sind und von denen einige oft unklar oder gar verwirrend gebraucht werden, wie: Was ist eine Wissenschaft, was eine Theorie, was ein Gesetz und was ist Materie?

Der Beitrag ist in Abschnitte gegliedert, denen ein Stichwort vorangestellt ist. Ihre Anordnung folgt mehr einer schlüssigen Entwicklung, nicht dem Alphabet. Taucht im laufenden Text ein Stichwort auf, das einen eigenen Abschnitt hat, ist dieses gegebenenfalls unterstrichen.

Einige Abbildungen mit erklärenden Texten sind im Mittelteil des Heftes enthalten.

Potsdam, Oktober 2005

Kurt-Ilja Erdmann

Bemerkung zur 2. Auflage

Nach anfänglich lediglich stilistischen Korrekturen und einer klareren Darstellung im Abschnitt über das Photon stellte ich fest, dass einige tiefergehende Änderungen im Abschnitt 17 über Fluktuation und im Abschnitt 28 über das Photon vorgenommen werden mussten, wobei sich für erweiterte Erklärungen ein Anhang als angebracht erwies.

Schließlich hatte ich im April 2009 eine Idee, wie elektromagnetische und starke Wechselwirkung zusammenhängen könnten. Ich glaube sogar ihre gemeinsame Natur und ihren gemeinsamen Ursprung erkannt zu haben. Dies hätte zur Folge, die Artikel 30 und 31 über Quarks, Proton und Neutron bzw. das Neutrino neu darstellen zu müssen, was eine weitere Abkehr von den gewohnten Vorstellungen bedeuten würde und demzufolge schwieriger nachzuvollziehen wäre. Aus diesem Grunde wurde meine Vorstellung über das Wesen der starken Wechselwirkung und der daraus folgenden Konsequenzen, die Quarks und die Neutrinos betreffend, in einem neuen, nachfolgenden Artikel • 32 dargestellt (in den ursprünglichen Artikeln 30 und 31 wurde einiges gestrichen, was sich nun als überflüssig oder gar unsinnig erweist). Durch die Erweiterung des Elementarteilchenmodells können z.B. die Frage nach dem Massenunterschied zwischen Neutron und Proton geklärt und Aussagen zur Stabilität dieser Teilchen gemacht werden. Die Neutrinos erscheinen in einem neuen Licht und es gibt nunmehr eine plausible Erklärung zur sog. Dunklen Materie, mitsamt einer Abschätzung ihrer Häufigkeit in Relation zur sichtbaren Materie.

Die Anmerkung zu Neutronensternen wurde größtenteils gestrichen und eine zur sog. Dunklen Energie hinzugefügt.

Frau Dr. Ursula Novotny, Leipzig, danke ich für die sprachliche Durchsicht.

Potsdam, März 2012

Die dritte Auflage erhält kleinere Ergänzungen und zwei weitere Abschnitte und damit im Zusammenhang stehende Korrekturen am vorherigen Text.

Potsdam, Mai 2013

Karl-Ilja Erdreich

Die Hinweise auf das „LEHRBUCH DER THEORETISCHEN PHYSIK“ von L. D. Landau und E. M. Lifschitz werden als Landafschitz abgekürzt.

Inhaltsverzeichnis

Gliederung/Abschnitt	Seite
<u>Allgemein:</u>	
• 1 Wissenschaft	1
• 2 Physik	1
• 3 Theorie	2
• 4 Gesetz	3
• 5 Grundbegriff	3
• 6 Materie	4
<u>Einführend:</u>	
• 7 Modell	4
• 8 Beobachtung	5
• 9 Ereignis & Eigenschaft	5
• 10 Πανδύνατο (Pandynato)	6
• 11 Punkt	6
• 12 Raum (physikalisch)	7
• 13 Dimension	9
• 14 Zeit (physikalisch)	9
• 15 Wirkung	9
• 16 Quantenobjekt	10
• 17 Fluktuation	10
<u>Zusammenhänge:</u>	
• 18 Energie	12
• 19 Masse	12
• 20 Bewegungsgröße	12
• 21 Feld	13
• 22 Urzeugung	13
• 23 Evolution	13
• 24 Symmetrie und Symmetrieverletzung	13
<u>Prinzipien:</u>	
• 25 Variationsprinzip	14
• 26 Korrespondenzprinzip	14
• 27 Erhaltungssätze	15
<u>Schlussfolgerungen:</u>	
• 28 Photon	15
• 29 Elektron und Positron	22
• 30 Quarks, Proton und Neutron	30
Anmerkung I (Neutronenstern, Dunkle Materie/Masse)	36
• 31 Neutrino	37
Abbildungen	39 - 42
Texte zu den Abbildungen	38 & 43

• 32 Gemeinsame Grundlage der Wechselwirkungen	44
32.1 Grundlagen	44
32.2 Wechselwirkungsteilchen (Bosonen)	47
32.2.1 Ungeladene Bosonen	47
32.2.2 Geladene Bosonen	49
32.3 Die „gespaltenen“ ungeladenen Bosonen – die Fermionen	51
32.4 Stärke der Wechselwirkungen	52
32.5 Zuordnung der Bosonen zu den Gluonen	54
32.6 Wechselwirkung der Quarks mit Bosonen (Gluonen)	55
32.7 Wechselwirkung der Leptonen mit Bosonen	56
32.8 Farbneutrale Konglomerate aus zwei Quarks – die Mesonen	57
32.9 Farbneutrale Konglomerate aus drei Quarks – die Baryonen	58
32.10 Dunkle Materie (Masse)	63
32.11 Erweiterung mit Ladungen höherer Symmetrie	64
32.12 Eine Bemerkung zum Quantenzustand eines Teilchens	64
• 33 Erweiterter Spin/Spiralität	65
• 34 Wechselwirkung von Leptonen mit Leptonen ohne Bosonen [neu]	67
• 35 Subteilchen	70
• 36 Higgs oder Nicht-Higgs [neu]	71
• 37 Asymmetrie der Welt	73
Eine kleine Geschichte	75
Anhang I: Interpretation der Teilchenrelationen	76
Anhang II: Trägheit, Gravitationskonstante und Kosmologie	86
Nachtrag	90
Biografisches	91

• 1 Wissenschaft

Die Wissenschaft ist die Gesamtheit des Wissens und der Methoden über ein zwar begrenztes, jedoch in sich umfassendes Gebiet der menschlichen Erfahrung. So kann man zwar Bereiche der Naturwissenschaften wie Physik, Chemie und Biologie abgrenzen und als eigenständige Wissenschaft ansehen, doch sie durchdringen sich teilweise gegenseitig. Ebenso werden die Geisteswissenschaften in Bereiche gegliedert wie Geschichte, Philologie, Philosophie, Psychologie, Theologie, Staats- und Rechtswissenschaft, Wirtschaftswissenschaft, Kunstwissenschaft u.a. Innerhalb einer Wissenschaft gibt es Bereiche, z.B. in der Physik die Mechanik, die Elektrodynamik, die Thermodynamik, die Quantenmechanik, die Gravitationstheorie usw., die als Theorien bezeichnet werden und keine eigenständigen Wissenschaften sind. Im Gegenteil, es wird versucht, sie zu vereinheitlichen.

Die Wissenschaft setzt Grundbegriffe genügend hoher Abstraktion voraus. In der Umgangs- oder Alltagssprache sind Begriffe nicht genau definiert – ihnen ist eine Unschärfe eigen. Diese Unschärfe muss in der Wissenschaft auf ein Minimum reduziert werden.

Im wissenschaftlichen Überbau sind hauptsächlich die Vorstellungen der Wissenschaftler über ihre Wissenschaft enthalten, die bewussten und die unbewussten; aber auch allgemein in der Wissenschaft anerkannte Prinzipien. In der Physik wurde beispielsweise das Variationsprinzip geschaffen. Dieses wurde über mehrere Schritte aus dem Prinzip des kürzesten (oder auch längsten) Weges eines Lichtstrahls entwickelt.

• 2 Physik

Die Physik ist die Wissenschaft der unbelebten Materie. Die Materie wird als objektiv existent, also außerhalb eines Bewusstseins existierend betrachtet. Die Physik selbst hingegen ist ein Produkt des menschlichen Geistes. *Ebenso ist unsere Vorstellung von der Materie das Produkt der Sinnesorgane und ihrer Erweiterung durch Messgeräte.* Am Anfang jeder Wissenschaft steht die Bildung und Auswahl von Begriffen. Grundlage dafür ist das vorhandene Abstraktionsvermögen, das sich durch den Umgang mit der Natur – mit der Materie – herausgebildet hat. Ebenso ist eine grundlegende Eigenschaft des Bewusstseins, nach Beziehungen zwischen Begriffen zu suchen und für diese neue Begriffe zu bilden. Letztere Begriffe sind die Grundlage für höhere Abstraktionsebenen. Eine der höchsten Abstraktionsebenen besteht in der Mathematik.

Eines der wesentlichsten Merkmale der Physik besteht darin, zwischen (unter bestimmten Gesichtspunkten zusammengehörenden) Begriffen ein System von Zusammenhängen zu finden *und* diese mathematisch zu formulieren, d.h. in der Regel in Form von Gleichungen. Sind alle zusammengehörenden Begriffe dergestalt miteinander verknüpft, so ist eine Theorie begründet.

• 3 Theorie

Eine Theorie stellt ein abgeschlossenes System von Gesetzen (in der Mathematik von Axiomen) dar, das außerdem widerspruchsfrei und vollständig ist.¹ Der von *Kurt Gödel* (1906 – 1978) stammende Unvollständigkeitssatz besagt, dass jedes hinreichend mächtige formale System entweder widersprüchlich oder unvollständig ist. In der Physik werden komplexe und widersprüchliche Aussagen eines Modells insofern negiert, dass man sagt, das Modell sei nicht anwendbar, also mindestens eine Annahme falsch ist.

Im ersten Schritt der Bildung einer Theorie steckt ein Großteil der geistigen Leistung, nämlich herauszufinden, was wesentlich und was unwesentlich bezüglich der beabsichtigten Theorie ist. Aus der Natur wird also ein Bereich abgegrenzt und somit vieles ausgegrenzt. Einige Begriffe bilden die Grundlage (Grundbegriffe), aus denen alle anderen Begriffe unter Anwendung von Definitionen und Gesetzen (Axiomen) abgeleitet werden können. In der Physik werden die Beziehungen zwischen den Begriffen durch mathematische Relationen ausgedrückt, in der Regel durch Gleichungen. Das bedeutet, man verwendet Begriffe einer höheren Abstraktionsebene und erreicht dadurch eine Universalität der physikalischen Beziehungen. Eine einzelne Beziehung ist häufig ein physikalisches Gesetz. Einer Theorie gingen in ihrer Entwicklung häufig einzelne Gesetze voraus; meist erst die Zusammenführung einzelner Gesetze ergibt eine Theorie.

Die Universalität der eine Theorie bildenden Gesetze erlauben ihre (nahezu unbeschränkte) Anwendung auf Modelle der materiellen Umwelt. Eine Theorie hat bereits auf Grund der Wahl der Begriffe einen eingegrenzten Geltungsbereich. Dieser kann durch Widersprüche bei ihrer Anwendung weiter eingegrenzt werden. Andererseits fordern die Widersprüche zu einer Erweiterung oder Schöpfung einer neuen Theorie heraus, letzteres oft auf der Basis eines völlig neuen Begriffsystems oder neuer Vorstellungen über diese Begriffe. Als notwendige Voraussetzung für die Richtigkeit der übergeordneten Theorie ist, dass die untergeordnete Theorie als Spezialfall enthalten ist (was abzuleiten manchmal auf Grund der unterschiedlichen Begriffssysteme nicht einfach ist).

Ein aus einer Theorie abgeleiteter Lehrsatz, also eine Aussage mit besonderer Bedeutung, ist ein Theorem, z.B. das Noether–Theorem, welches Erhaltungssätze und Symmetrien in Zusammenhang bringt.

Ein besonders anschauliches Beispiel einer Theorie ist die von *James Clerc Maxwell* (1831 – 1879) stammende Elektrodynamik. Sie entstand aus einer Reihe bereits bekannter Gesetze, die unter einer einheitlichen Sicht-

¹ Der von *Kurt Gödel* (1906 – 1978) stammende Unvollständigkeitssatz besagt, dass jedes hinreichend mächtige formale System entweder widersprüchlich oder unvollständig ist. In der Physik werden komplexe und widersprüchliche Aussagen eines Modells insofern negiert, dass man sagt, das Modell sei nicht anwendbar, also mindestens eine Annahme falsch ist.

weise zusammengefasst wurden. Sie ist auf die elektrischen und magnetischen Erscheinungen der Natur begrenzt. Es stellte sich heraus, dass das Licht eine elektromagnetische Erscheinung ist, was man vorher nicht geahnt hatte. Als man das Elektron als Träger der (negativen) elektrischen Ladung entdeckte, stieß man gleichsam bei ihm an die Grenze der Anwendbarkeit der Theorie. Die dabei auftretenden Widersprüche wurden zum größten Teil in einer neuen, auf anderen Vorstellungen und anderen Grundbegriffen basierenden Theorie, der Quantenelektrodynamik, gelöst.

Als Beispiel einer Theorie, die aus einem einzigen Gesetz besteht, ist die Newtonsche Gravitationstheorie, bestehend aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz, zu nennen. Aufgrund später festgestellter Unvereinbarkeiten mit der Elektrodynamik schuf *Albert Einstein* (1879 – 1955) eine neue Gravitationstheorie (Allgemeinen Relativitätstheorie, 1915/16).

Theorien enthalten unbekannte und somit unausgesprochene Voraussetzungen. Das ist dem begrenzten Erkenntnisstand über unsere eigenen Erfahrungen geschuldet. So setzt beispielsweise die Newtonsche Mechanik unausgesprochen einen metrischen Raum und metrische Zeit voraus.

• 4 Gesetz

Ein Gesetz ist der einfachste Bestandteil einer Wissenschaft. Auf der Grundlage bereits vorhandener Begriffe wird ein Zusammenhang zwischen ihnen hergestellt und durch eine mathematische Relation ausgedrückt, am einfachsten in Form einer Gleichung. Ein Gesetz hat einen eingeschränkten Geltungsbereich. In einem Gesetz wird das „Konzentrat“ aus mannigfaltiger Beobachtung und Messungen ausgedrückt und insbesondere durch die mathematische Form verallgemeinert. Dadurch wird es in seinem Geltungsbereich universell anwendbar. Ein Gesetz verstehen ist häufig nichts weiter als Gewöhnung an die verwendeten Begriffe, aber in dem Maße, dass man es anwenden kann.

Existiert eine Theorie, so verlangt man als notwendige Bedingung für ihre Richtigkeit, dass aus ihr die einzelnen Gesetze abgeleitet werden können.

• 5 Grundbegriff

Die Grundbegriffe sind im Rahmen der Theorie nicht definiert, also nicht erklärt. Ihre Bedeutung erschließt sich aus früheren Erfahrungen (des Wissenschaftlers) und kann nur an Hand von Beispielen deutlich gemacht werden. Alle anderen in einer Theorie verwendeten Begriffe werden von ihnen abgeleitet.

Dabei besteht eine gewisse Willkür, welche Begriffe als Grundbegriffe und welche als abgeleitete Begriffe gewählt werden (vergleiche die Keplerschen Gesetze mit der Newtonschen Mechanik plus dem Newtonschen Gravitationsgesetz).

• 6 Materie

Der Begriff der Materie kann nur im Gegensatz zum Begriff des Bewusstseins (manchmal inkorrekt als menschlicher Geist bezeichnet) verstanden werden.

Über die Sinnesorgane und das Bewusstsein tritt der Mensch, selbst aus Materie bestehend, mit Materie in Wechselwirkung. Infolge der Selbstreflexion (einer internen Wechselwirkung des Bewusstseins „mit sich selbst“) kann ein Eigenbewusstsein entstehen. Somit gelingt eine Trennung des Eigenbewusstseins von allem anderen. Da man anderen Individuen „vernünftigerweise“ ebenfalls ein Eigenbewusstsein zugestehen sollte, kann man Materie als alles außerhalb und vor allem unabhängig von jeglichem Bewusstsein Existierendem verstehen. Ein Individuum hat nur ein Bild der Materie, also eine Vorstellung über sie. Dieses Bild ist natürlich vom Bewusstsein und den vorgeschalteten Sinnesorganen abhängig, da man nur im Bewusstsein über die Materie reflektieren kann. Da jedes Bewusstsein beschränkt ist, ist das Bild der Materie nicht nur unvollständig, sondern auch einseitig, gleichsam eine Maske der Materie. Für ein einzelnes Individuum existiert die Materie (nur) in dessen Bewusstsein.

Die Materie hat verschiedene Eigenschaften und Erscheinungsformen. Raum und Zeit sind bestimmt nicht Materie, werden aber durch sie (nicht zwangsläufig, siehe • 8 Beobachtung) hervorgerufen. Letztendlich sind Raum und Zeit Eigenschaften der Materie wie Wirkung, Energie und Bewegungsgröße (s. z.B. die grundlegenden Relationen, • 17, • 28).

• 7 Modell

Ein Modell ist ein Ausschnitt aus der Umwelt und deren Reduktion auf physikalische (allgemeiner: wissenschaftliche) Begriffe. Die dadurch mögliche Anwendung einer oder mehrerer Theorien ermöglicht Aussagen über Zustände oder das Verhalten des Modells, die entweder bereits bekannt waren oder neu sind. So können Vorhersagen getroffen oder auch Theorien auf ihre Richtigkeit oder ihren Geltungsbereich überprüft werden. In der Regel ist ein Modell nicht von der Umgebung isoliert. Dann muss aber bestimmt sein, welche Wechselwirkungen mit der Umgebung bestehen.

Eine Theorie trägt ebenfalls Eigenschaften eines Modells (das trifft auch auf Philosophien zu).

Um eine Aussage zu erhalten sind zwei Aufgaben zu lösen. Als erstes müssen das Modell aufgestellt und dessen mathematischen Beziehungen, im einfachsten Fall Gleichungen, verknüpft werden. Besonders bei komplexen Strukturen gelingen keine endgültigen mathematischen Verknüpfungen, beispielsweise in Form von Gleichungen. Dann bleibt nur der Weg numerischer Rechnungen, in der Regel mit dem Ergebnis von Zahlen, in Tabellen angeordnet und in Grafiken veranschaulicht. Der zweite Schritt besteht da-

rin, die mathematischen Ableitungen oder/und numerischen Werte zu interpretieren und zu verstehen.

• 8 Beobachtung

Die Beobachtung ist einer der wichtigsten Grundlagen jeder Wissenschaft. Der Begriff der Beobachtung ist in der Physik so bedeutend, dass aus ihm die Grundlage des Verständnisses der Materie im Raum und in der Zeit abgeleitet werden kann. In der Wissenschaft werden Ereignisse beobachtet und mit Begriffen in Verbindung gebracht, zwischen denen Beziehungen oder Zusammenhänge gesucht werden.

Eine Messung ist eine Beobachtung unter einer Reihe spezieller Voraussetzungen. Beispielsweise sind bei einer Messung die Existenz und die vorhergehende Festlegung von Maßstäben erforderlich.

• 9 Ereignis & Eigenschaft

Unter Ereignis sind die Wechselwirkungen von Eigenschaften zu verstehen. Eigenschaften in der Physik z. B. sind die Ladungen (elektrische Ladung, die Farbladung der Quarks, usw.). Gibt es einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen zwei Eigenschaften, so versteht man in der Physik darunter, dass sie einander einer Wirkung, einer Wechselwirkung, unterliegen.

Ein Ereignis ist nur dann beobachtbar, wenn es eingegrenzt ist. Außerdem ist es nur dann als solches zu beobachten, wenn die wechselwirkenden Eigenschaften nicht „zusammenfallen“: Ein Ereignis ist nur dann beobachtbar, wenn sich die wechselwirkenden Eigenschaften in Raum und Zeit unterscheiden. Unterscheiden sich zwei Eigenschaften nicht in Raum und Zeit, so würden sie „zusammenfallen“, wären identisch und es hätte keinen Sinn, von einer Wechselwirkung zu sprechen.

Da sich wechselwirkende Eigenschaften in Raum und Zeit unterscheiden (müssen), muss die Ausbreitung der Wirkung zwischen ihnen begrenzt sein. Diese obere Grenze der Ausbreitung der Wechselwirkung wird mit der Lichtgeschwindigkeit (Vakuumlichtgeschwindigkeit) identifiziert.

Es gibt noch eine weitere Einschränkung über die Wirkung zwischen zwei Eigenschaften. Denn will man von einer Wechselwirkung sprechen, kann sie nicht beliebig klein sein, sonst hätte man einen Grenzübergang zu keiner Wechselwirkung, was sinnlos wäre: Es gibt eine untere Grenze für das Maß einer Wirkung. Dieser minimale Wert soll mit dem Planckschen Wirkungsquantum identifiziert werden.

Die Ausbreitung der Wirkung erfolgt wiederum durch Eigenschaften; in der Physik z.B. durch Wechselwirkungsteilchen (Felder) beschrieben.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass es Materie gibt, die diese Bedingungen nicht erfüllt, etwa ohne Unterschiede in Raum oder Zeit existiert. Dann ist

die Wechselwirkung einer direkten Beobachtung nicht zugänglich. Unterscheiden sich die Eigenschaften in der Grenzgeschwindigkeit, z.B. die der elektromagnetischen (Lichtgeschwindigkeit c) von der der starken (bisher auch als c angenommen), dann ist zwischen ihnen ebenfalls keine direkte Wechselwirkung möglich (ausgenommen die Gravitation, da diese durch den Raum selbst vermittelt wird, siehe • 21 Feld). Das minimale Maß der Wirkung, das Wirkungsquantum, gilt als universellere Größe und wird für alle Eigenschaften als gleich angenommen.

- **10 Πανδύνατο** (Pandynato)

Unter Pandynato versteht man den Ausgangszustand aller Materie mit der Eigenschaft, Ereignisse hervorbringen zu können. Es existiert unabhängig von Raum und Zeit, die vielmehr erst durch die Ereignisse entstehen. Pandynato ist die Übertragung von das Allmögliche in die griechische Sprache.²

Insbesondere kann ein Ereignis eine Quanten-Fluktuation sein.

Infolge von Symmetrieverletzungen und dadurch ermöglichter Bildung stabiler Konglomerate (z.B. gewisser Elementarteilchen), kann daraus durch Evolution der Ausgangszustand eines Kosmos entstehen.

Die Anzahl der verschiedenen Ereignisse, also u. a. die Art der Wechselwirkungen, wird als begrenzt, aber groß angenommen.

- **11 Punkt**

In der Mathematik ist ein Punkt ein geometrisches Objekt der Dimension Null, welches in einem Raum beliebiger Dimension eingebettet sein kann oder ein geometrisches Objekt beliebiger Dimension mit der Ausdehnung Null. In der Physik können einem Punkt Eigenschaften zugeschrieben werden, beispielsweise kann er eine Masse (Massepunkt) oder auch eine elektrische Ladung (Punktladung) besitzen. Die Einführung des Punktes ist als Grenzübergang eines Festkörpers mit kleiner werdender Ausdehnung, bis zur Ausdehnung Null zu verstehen. Somit ist offensichtlich, dass ein Punkt ein transzendentes Objekt ist, also in der „Realität“ nicht existiert, sondern eine Idealisierung, eine Abstraktion darstellt.

Quantenobjekte, wie die sogenannten Elementarteilchen, können im Allgemeinen nicht wie Festkörper behandelt werden. Deshalb ist bei ihnen der

² Das griechische Wort Pandynato ist für unsere Zwecke gebildet und in germanischen Sprachen leider etwas sperrig; ein lateinisches ist nicht zu finden, da es keinen Ausdruck für Möglichkeit/möglich gibt. Am nächsten käme omnipotens, als Substantiv omnipotentia, welches allmächtig bzw. das Allmächtige bedeutet und nicht den Kern der Aussage des alle Möglichkeiten Beinhaltenden trifft (nach Dr. Ursula Novotny, Leipzig). Außerdem ist die Eigenschaft omnipotens in der abendländischen bzw. christlichen Kultur Gott zugeschrieben.

Übergang zu einem Punkt im Allgemeinen nicht möglich (siehe auch Raum).

• 12 Raum (physikalisch)

Der physikalische Raum ist ein abstraktes Gebilde, in dem Ereignisse stattfinden. Der physikalische Raum ist mit der Zeit verknüpft, da die Ausbreitung einer Wirkung begrenzt ist (plus Relativitätsprinzip). In der Physik sind verschiedene Modelle eines Raumes gebräuchlich.

Raum, klassisch

Der Raum der klassischen Physik ist der Anschauung der Mechanik entlehnt und, beginnend mit *Newton* (1643 – 1727) und abgeschlossen durch *Einstein*, mit bestimmten Eigenschaften ausgestattet.

Der Raum enthält Punkte, die beliebig dicht beieinander liegen und somit ein (Punkte-)Kontinuum ausfüllen. Jeder Dimension des Raumes kann ein eindimensionaler Raum, eine Linie, zugeordnet werden und jedem Punkt der Linie kann wiederum eine reelle Zahl zugeordnet werden, die der Größe nach geordnet werden können (praktischerweise unter Zuhilfenahme eines Maßstabes, der Einheitslänge). Unter dieser Voraussetzung und unter Beachtung der Topologie und der Krümmung des Raumes kann zwischen zwei Punkten ein Abstand definiert und gemessen werden (metrischer Raum). Bei einem n -dimensionalen Raum kann jedem Punkt ein n -fach-Tupel reeller Zahlen zugeordnet werden.

Dies bildet die wesentlichen Voraussetzungen der Differentialrechnung, die von *Newton* und *Leibniz* (1646 – 1716) unabhängig voneinander eingeführt wurde und in der Physik zum wichtigsten Werkzeug bei der Beschreibung kontinuierlicher Größen dient. Da für Quantenobjekte die Einführung des Punktes nicht möglich ist, können diese auch nicht in einem klassischen Kontinuums-Raum beschrieben werden.

Durch die Bildung von Konglomeraten aus Quantenobjekten, die Körper bilden können, sind transzendental Raum-Punkte möglich, und somit transzendental ein metrischer, klassischer Raum.

Raum, nichtklassisch

Im Allgemeinen können keine Punkte eingeführt werden. Daher können einer Raumdimension keine reellen Zahlen zugeordnet werden, dafür wird symbolisch beispielsweise \mathfrak{x} (x fett und mit Querstrich) geschrieben. Deshalb können keine Abstände, wie im klassischen Raum, gemessen werden. Der Raum kann nur über die Wechselwirkung eingeführt werden. Die Bildung einer Größe $1/\mathfrak{x}$ ist nicht möglich.

Mit der nichtklassischen Zeit \mathfrak{t} kann somit keine symbolische Geschwindigkeit $\mathfrak{v} = \mathfrak{x}/\mathfrak{t}$ definiert werden.

Zur Charakterisierung des Raumes dienen die Dimensionen, die Topologie, eine Struktur (z. B. Schleifen, s. erweiterter Spin) und die Torsion. Außerdem soll es möglich sein, dem Raum ein Volumen \mathcal{V} zuzuschreiben. Dem Raum eines Quantenobjektes kann ebenfalls ein Volumen zugeordnet werden, welches durch die Eigenschaften des Quantenobjektes bestimmt wird, insbesondere dessen Ladung(en).

Unterräume können gemeinsame Unterräume haben, die Relationen von Ladungen widerspiegeln (s. • 30 Quarks, • 32.3). Physikalische Räume entstehen durch Wechsel-Wirkung. Durch Abstraktion zu mathematischen Räumen ist es möglich, sie in (andere) mathematische Räume einzubetten.

Man kann einen nichtklassischen n-dimensionalen Raum in einen klassischen n-dimensionalen – metrischen – Raum einbetten. Man hinterlegt quasi einem nichtmetrischen Raum einen metrischen Raum und macht ihn somit pseudometrisch. (Weiteres siehe • 16 Quantenobjekt)

Für den nichtklassische Raum \mathfrak{x} kann im Einbettungsraum der (metrische) Abstand $x = |\mathbf{x}|$ durch eine Abbildung $\mathfrak{x} \Rightarrow |\mathbf{x} + \delta\mathbf{x}|$ eingeführt werden, der mit einer Unschärfe $\delta\mathbf{x}$ behaftet ist, welche unter speziellen Voraussetzungen vernachlässigt werden kann. Analog kann für die Zeit \mathfrak{t} ein Zeitmaß t durch $\mathfrak{t} \Rightarrow t + \delta t$ eingeführt werden, wobei die zeitliche Unschärfe δt auftritt (näheres siehe Anhang I).

Im Einbettungsraum kann mit $(x + \delta x)/(t + \delta t) = v + \delta v$ die Geschwindigkeit $v = x/t$ definiert werden, der die Unschärfe δv anhaftet.

Die Obergrenze der Ausbreitung der Wechselwirkung hat einen klassischen Wert c . Da es sich hierbei um eine Idealisierung handelt, wird c ohne Unschärfen eingeführt; d.h sie hat einen genau definierten Wert (Geschwindigkeit der Lichtausbreitung im klassischen Vakuum). Ebenso hat das Wirkungsquantum einen klassischen Wert h . Als fundamentale Größen sollte ihnen (im Rahmen der Physik) der Wert 1 zugeschrieben werden.

Bei Messungen, die im klassischen metrischen Einbettungs-Raum ausgeführt werden, erhält man zwangsläufig mit Unschärfen behaftete Geschwindigkeiten und Wirkungen; was natürlich auch für die Lichtgeschwindigkeit und die Elementarwirkung h (\hbar) zutrifft.

Beobachterraum

Beobachtungen und Messungen werden im Beobachterraum ausgeführt. Es ist der für die Anschauung gewohnte dreidimensionale Riemannsche Raum, ergänzt durch eine Dimension der Zeit.

Im Rahmen der Newtonschen Mechanik gibt es nur im *dreidimensionalen* Raum in Verbindung mit der eindimensionalen Zeit bei zentralen Potentialen nur für $U = U_0/r$ und $U = U_k \cdot r^2$ geschlossene Bahnen (Landafschitz, Bd. I).

- **13 Dimension** (des Raumes)

Aufgrund der einer Wechselwirkung innewohnenden Symmetrie hat der durch sie erzeugte Raum eine bestimmte Anzahl von Dimensionen (näheres beispielsweise unter • 30).

- **14 Zeit (physikalisch)**

Die physikalische Zeit ist ein abstraktes Gebilde, in welcher Ereignisse stattfinden.

Analog zum klassischen Raum gibt es die

klassische Zeit

Der Zeitpunkt ist der Übergang eines Zeitintervalls gegen Null, wobei ein Zeitintervall durch Zählung der Zeiteinheiten bestimmt ist. Die Zeiteinheiten werden durch periodische Prozesse definiert. Ebenso gibt es die

nichtklassische Zeit

mit den entsprechenden Eigenschaften wie der des Raumes. Die physikalische Zeit entsteht durch Wechsel-Wirkung und besitzt eine Dimension (siehe weiter unten). Analog der Einbettung eines nichtklassischen Raumes in einen klassischen metrischen Raum kann man die nichtklassische Zeit in die klassische Zeit einbetten, wobei eine Unschärfe der Zeit auftritt.

- **15 Wirkung**

Die Wirkung ist die grundlegende Größe in der Physik. Die Physik beschäftigt sich mit der Wechsel-Wirkung der Objekte untereinander (siehe auch • 8 Beobachtung und • 9 Ereignis & Eigenschaft). Das Maß dieses Wirkungs-austausches kann keine beliebigen Werte annehmen, sondern muss ein Vielfaches des Planckschen Wirkungs-Quantums (Symbol: h , oder häufig $\hbar = h/2\pi$) betragen. Dies postulierte zuerst *Albert Einstein* im Jahre 1905 für die Wechselwirkung des Lichtes mit Atomen, dem Lichtelektrischen- oder Photo-Effekt. Die Quanten des Lichtes sind die damit eingeführten Photonen.

In der klassischen Newtonschen Physik wurde die Wirkung, Symbol W , als $W = E * t$ (Energie mal Zeit, eigentlich das Integral der Energie über die Zeit $W = \int E dt$) eingeführt.

Hier wird gerade umgekehrt vorgegangen. Aus dem Grundbegriff Wirkung werden andere Begriffe wie Raum und Zeit einerseits und Bewegungsgröße (Impuls) bzw. Energie andererseits abgeleitet.

• **16 Quantenobjekt**

Ein Quantenobjekt wird durch seine Wechsel-Wirkung mit anderen Quantenobjekten bestimmt.

„Hinterlegt“ man Quantenobjekten, deren physikalischer Raum nichtklassisch ist, einen klassischen, metrischen Raum, dann erscheint das Quantenobjekt als „verschmiertes“ Gebilde. Dies ist der tiefere Hintergrund der Unschärferelation von *Werner Heisenberg* (1901-1976), geht jedoch darüber hinaus. In einer kleinen Umgebung eines Raumpunktes gibt es dann nur noch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, mit einem klassischen Körper, einem Gerät, ein Quantenobjekt zu messen (Gerät, nach *Lew Landau* (1908 – 1968)). Der offensichtliche „Umweg“, die zusätzlich eingeführte Metrik, kann sich jedoch als nützlich erweisen, wenn man das Werkzeug der Differential- oder Integralrechnung benutzen will, wie sie in der klassischen Physik bei der Darstellung von Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen häufig angewendet wird. Dann müssen alle „zuviel“ eingeführten Punkte und Linien wieder aufsummiert (oder integriert) werden (*Feynman*-sche Pfadintegrale, *Richard Feynman* (1918 – 1988)).

In den Anfangsjahren der Quantenmechanik sprach man von **Aufenthaltswahrscheinlichkeit**, offensichtlich unter der Vorstellung eines Quantenobjektes als punktförmigen oder kugelförmigen Körper der klassischen Mechanik. Dies wurde durch *Lew Landau* spätestens im Jahre 1947 korrigiert. Es ist die Wahrscheinlichkeit einer Messung.

• **17 Fluktuation**

Eine Fluktuation hat die Wirkung \hbar (oder h , das Maßsystem ist hier nicht festgelegt; gemäß dem üblichen Gebrauch wird hier ebenfalls \hbar geschrieben). Eine Fluktuation ist nicht an die Existenz eines Raumes und der Zeit geknüpft. Es genügt das Vorhandensein einer schlichten Möglichkeit – der Potenz – einer Fluktuation. Dafür, für das Ur-Universum, wurden bereits verschiedene Begriffe eingeführt. Seiner Bedeutung nach ist es Πανδύνατο (Pandynato – das alle Eigenschaften und Dinge in seiner möglichen Existenz Enthaltende).

Diese Fluktuation erzeugt gemäß den Identitäten

$$\begin{array}{ll} \mathbb{E} \otimes \mathfrak{t} = \pm \hbar, & * \\ \mathfrak{p} \otimes \mathfrak{x} = \pm \hbar & ** \end{array}$$

die Zeit \mathfrak{t} und den Raum \mathfrak{x} (weiteres siehe Anhang I). Die Zeit \mathfrak{t} besitzt eine (einzige) Dimension, da \mathbb{E} eine einkomponentige Größe ist (näheres in • 18 Energie). Der Raum \mathfrak{x} ist in der Anzahl der Dimensionen nicht festgelegt, nach unserer Erfahrung muss er mindestens die Anzahl drei haben. Festgelegt ist nur die Dimension, in welche die Bewegungsgröße \mathfrak{p} gerichtet ist. Die Richtung des Impulses \mathfrak{p} , mit $\mathfrak{p} \otimes \mathfrak{p} \neq 1$ (das Skalarprodukt von \mathfrak{p} ist eine nichtmetrische Größe), ist die ausgezeichnete Dimension im Raum des Teilchens. Es besteht demzufolge ein grundlegender Unterschied zwischen

dem Raum \mathfrak{x} und der Zeit \mathfrak{t} einer Fluktuation und der Raum-Zeit, in welcher diese eingebettet sein können – nicht sein müssen. Im Raum \mathfrak{x} und in der Zeit \mathfrak{t} *existiert keine Wechselwirkung der enthaltenen Eigenschaft* (näheres siehe Anhang I).

Die Dynamik, ausgedrückt durch die Bewegungsgröße, ist eine immanente Eigenschaft einer Fluktuation. Zu jeder Eigenschaft (also einer speziellen Ladung) gibt es eine Gegen- oder Anti-Eigenschaft. Dem entsprechen die beiden Vorzeichen \pm vor \hbar (man könnte auch sagen, die Eigenschaft wechselwirkt mit dem Maß $+\hbar$, die Antieigenschaft mit dem Maß $-\hbar$). Man erkennt leicht, dass die obigen Relationen unverändert/invariant sind bei Ladungskonjugation (C-Transformation), plus Umkehrung aller Raumkoordinaten (Spiegelung oder Paritäts-Transformation P), plus Zeitspiegelung (T-Transformation). Die grundlegenden Identitäten sind gegenüber einer CPT-Transformation invariant.

Es gibt noch eine Beziehung mit der Größe eines Drehimpulses, die des Spins \mathfrak{s} :

$$\mathfrak{s} \otimes \mathbf{G} = \pm \hbar \quad \text{***}$$

mit der gerichteten Größe $\mathbf{G} = \mathcal{G} \mathfrak{n}_{\mathfrak{s}}$, die Eigenschaften der Geometrie des Raumes \mathfrak{x} des Teilchens ausdrückt. \mathcal{G} ist eine klassische Zahl ohne Unschärfe und kann nur rationale Werte annehmen, positive als auch negative (weiteres siehe Anhang I und • 33 Erweiterter Spin). $\mathfrak{n}_{\mathfrak{s}}$ ist die Richtung des Spinvektors $\mathfrak{s} \hat{=} \mathfrak{n}_{\mathfrak{s}} \hat{\mathfrak{s}}$, dessen Skalarprodukt $\mathfrak{n}_{\mathfrak{s}} \otimes \mathfrak{n}_{\mathfrak{s}} = 1$ ohne Unschärfe ist (der Spin ist in seiner Richtung „unscharf“, dessen Betrag hingegen metrisch, weiteres im Anhang I). Deshalb kann *** einfacher als

$$\hat{\mathfrak{s}} * \mathcal{G} = \pm \hbar \quad \text{***'}$$

geschrieben werden, wobei der Operator \otimes in eine gewöhnliche Multiplikation übergeht. $\hat{\mathfrak{s}}$ wird Spiralitytät oder Helizität (engl.: helicity) genannt und ergibt sich aus dem Spinvektor durch $\hat{\mathfrak{s}} = \mathfrak{n}_{\mathfrak{s}} \otimes \mathfrak{s}$. $\mathfrak{n}_{\mathfrak{p}}$ wird parallel zu $\mathfrak{n}_{\mathfrak{s}}$ angenommen. $\mathfrak{n}_{\mathfrak{s}}$ wird natürlicherweise in Einheiten von \hbar angegeben. In einem Modell für Teilchen kann die Spiralitytät mit der Torsion \mathcal{T} , $\mathcal{T} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ eines Raumes in Zusammenhang gebracht werden und einem weiteren Strukturelement, der Anzahl \mathcal{Z} dessen Schleifen, $\mathcal{Z} = 1, 2, \dots$ (siehe Anhang I & • 28 Photon). Es ist $\mathcal{G} = \mathcal{Z}/\mathcal{T}$, die Spiralitytät ist also $\hat{\mathfrak{s}} = \pm(\mathcal{T}/\mathcal{Z}) * \hbar$. Hier wird die Spiralitytät als die ursprüngliche Größe angesehen, da sie sich unmittelbar aus der Raumstruktur eines Teilchens ergibt – der Spin ist von der Spiralitytät abgeleitet.

Das in einer Fluktuation erzeugte Teilchen ist im einfachsten Fall ein Photon. Da dieses Photon einer unmittelbaren Messung nicht zugänglich ist, wird es virtuelles Photon bezeichnet. Es wurde im Rahmen der Quantenelektrodynamik zur Beschreibung der Wechselwirkung elektrischer Ladungen eingeführt.

• 18 Energie

Die Energie, Symbol \mathbb{E} , wird durch die Norm $\|F\|$ einer Wechselwirkung, die durch die Größe F beschrieben wird, festgelegt. Dies muss in einer Weise geschehen, dass im Übergang zu metrischen Größen E entsteht (Korrespondenz-Prinzip). Dies geschieht häufig durch die Bildung einer quadratischen Form aus den Eigenschaften/Ladungen und aus Größen, die deren Wechselwirkungen beschreiben.

Es muss u. a. die Bedingung $\sum \mathbb{E} \otimes \mathbb{t} = n \cdot \hbar$ erfüllt sein (n ist die Anzahl der beteiligten Fluktuationen; Summation \sum über n (freie) Teilchen).

Man kann auch eine „negative“ Energie $\mathbb{E} = -\|F\|$ definieren, was durch eine Spiegelung der Zeit $\mathbb{t} \Rightarrow -\mathbb{t}$ umgekehrt werden kann (s. • 28 Photon).

Da in F nichtklassische Größen wie \mathbb{x} und eventuell \mathbb{t} eingehen, sind $\|F\|$ und \mathbb{E} im Einbettungsraum mit Unschärfen behaftet, man kann somit den Übergang $\mathbb{E} \Rightarrow E + \delta E$ vollziehen.

• 19 Masse

Symbol m . In metrischen Räumen wird den darin eingebetteten Feldern oder anderen, begrenzten, materiellen Objekten mit der Energie $\mathbb{E} \Rightarrow E$ durch die Einsteinsche Relativitätstheorie im Übergang (oder genauer Korrespondenz, • 26) zur Newtonschen Mechanik eine dynamische Trägheit und eine gravitative Wirkung zugeschrieben. Dies wird durch eine träge bzw. gravitative Masse ausgedrückt, die durch die bekannte Formel $E = m \cdot c^2$ festgelegt ist (näheres s. • 29, Fußnote S. 26).

Eine Unschärfe der Energie hat eine Unschärfe der Masse zur Folge. (Die Relativitätstheorie ist für $\delta E = 0$ formuliert).

Heutzutage wird der Begriff Masse (unberechtigt) als Synonym für Ruheenergie verwendet. Z.B. wenn davon gesprochen wird, woher Teilchen ihre Masse haben, meint man deren Ruheenergie.

• 20 Bewegungsgröße (Impuls)

Symbol \mathbb{p} . Die Bewegungsgröße ist eine allgemeine Intensitätsgröße einer Wechselwirkung. Sie wird durch einen Satz \mathbb{p}_i von M Werten dargestellt, gemäß der Anzahl M der Dimensionen des Raumes. In Darstellung in den räumlichen Dimensionen \mathbb{x}_i müssen sie für ein Teilchen die Bedingung $\mathbb{p}_i \otimes \mathbb{x}_i = \pm \hbar$ erfüllen (Summe über i von 1 bis M). Für eine Fluktuation besteht nicht der Zusammenhang $|\mathbb{x}_i|/\mathbb{t} = c$ (siehe auch • 17 Fluktuation).

• 21 Feld

Ein Feld ist eine Hilfsgröße zur Beschreibung einer Wechselwirkung. Die Wechselwirkung kann andererseits durch eine Vielzahl virtueller Teilchen (Fluktuationen) beschrieben werden.

In der klassischen Physik wurde der Feldbegriff zur Beschreibung von Kräften zwischen Ladungen eingeführt. Eine Sonderrolle hat die Gravitationskraft. Sie bedarf letztlich zu ihrer Beschreibung keines Feldes (virtuelle Gravitonen), denn sie kann vollständig auf die Raumkrümmung zurückgeführt und durch dessen Metrik beschrieben werden. Diese Sonderstellung ist einleuchtend, ist doch ihre Ursache, die Energie (plus Bewegungsgröße, plus Druck oder Spannung), eine abgeleitete Größe aus den verschiedenen Wechselwirkungen (Feldern). Anderenfalls wären Gravitonen Teilchen von Teilchen (oder ein Feld eines Feldes). Die Beschreibung der Gravitation ist bis zu Abständen möglich, die groß sind gegenüber den zeitlichen und räumlichen Unschärfen, die im Einbettungsraum vorhanden sind.

• 22 Urzeugung

Ausgangspunkt der Urzeugung ist das Pandynato und eine Fluktuation und weitere Fluktuationen, bis zur Bildung eines stabilen Zustandes.

• 23 Evolution

Ausgangspunkt der Evolution ist eine Urzeugung, und weitere Urzeugungen verschiedener Eigenschaften (Wechselwirkungstypen) in Verbindung mit Symmetrieverletzungen, die zur Entstehung des Kosmos und dessen Entwicklung führen (Näheres siehe unter • 37 Asymmetrie der Welt).

• 24 Symmetrie und Symmetrieverletzung

In der Physik spricht man von der Symmetrie einer Theorie und der Symmetrie eines (konkreten) Systems. Dabei gibt es kontinuierliche und diskrete Symmetrien bezüglich des Raumes, der Zeit oder eines Parameters. Wenn eine Theorie eine gewisse Symmetrie besitzt, muss das durch sie beschriebene System diese Symmetrie nicht aufweisen. Die Existenz von Symmetrien spielt insbesondere in den Theorien eine wichtige Rolle, da Erhaltungssätze daraus folgen. Andererseits ist gerade die Verletzung einer räumlichen Symmetrie bei Konglomeraten von großer Bedeutung, da dies die Bildung übergeordneter Konglomerate und Strukturen ermöglicht.

• 25 Variationsprinzip

Das Variationsprinzip hat sich in der Physik zu einem mächtigen Werkzeug entwickelt. Mit seiner Hilfe können in metrischen Räumen für physikalische Objekte (Felder oder stoffliche Objekte) die Bewegungsgleichungen bzw. Grundgleichungen abgeleitet werden. Dabei wird verlangt, dass die Variation der Wirkung zwischen zwei beliebigen, aber festen Raumpunkten verschwindet. Die Wirkung selbst wird als Integral einer bestimmten Funktion (der Lagrange-Funktion) über die Zeit dargestellt. Diese Funktion ist vorerst nicht bekannt; man legt nur fest, von welchen physikalischen Größen und in welcher Form sie von diesen abhängt, d.h. man gibt bestimmte Symmetrien vor.

Dass dabei die Wirkung extremale Werte annimmt, ist nicht der Hintergrund des Prinzips, sondern die Eigenschaft, dass bei verschwindender Variation der Wirkung sich diese nicht ändert. Also kleine Änderungen, Variationen, der physikalischen Größen dürfen die physikalische Größe Wirkung nicht ändern. Daraus folgen stabile Lösungen der Lagrange-Funktion, mit anderen Worten: es werden Funktionen gesucht, deren Zeitintegral sich nicht ändert, wenn ihre Parameter variiert werden. Als Nebenprodukt aus der Differentialgeometrie erhält man extremale Werte des Zeitintegrals.

In der nichtmetrischen Raum-Zeit $(\mathfrak{X}, \mathfrak{t})$ kann im Allgemeinen für Wechselwirkungen kein Variationsprinzip eingeführt werden. Das hängt damit zusammen, dass die physikalische Größe Wirkung keinen kontinuierlichen Wert annimmt, da W ein Vielfaches von \hbar ist, also keine infinitesimal variierten Werte annehmen kann. Für eine sehr große Anzahl von Teilchen ist die Wirkung eine quasi kontinuierliche Größe. Dann kann auch in einer nichtmetrischen Raum-Zeit $(\mathfrak{X}, \mathfrak{t})$ ein Variationsprinzip angewendet werden, da die Wirkung eine Größe ohne Unschärfe ist. Dabei müssen alle Wirkungen der gesamten Raum-Zeit oder eines isolierten Teiles der Raum-Zeit berücksichtigt werden. Es sind nur Prozesse möglich, bei denen die Wirkung eine stabile Größe ist, ihre Variation verschwindet. Wäre die Wirkung nicht stabil, würde sie in so kurzer Zeit wie möglich einem stabilen Zustand zustreben. Die Wechselwirkung von Teilchen mit Umwandlungen scheint ein instabiler Prozess zu sein.

Bei Photonen bedeutet dies (im Einbettungsraum) den Übergang zur Wellenoptik und bei Negation der Unschärfe zur geometrischen Optik – der Lichtstrahl nimmt einen Weg mit extremalen Abstand.

• 26 Korrespondenzprinzip

Man fordert, dass in den allgemeineren Theorien die spezielleren als Grenzfälle enthalten sind. Dies erlaubt eventuell die Interpretation neu auftretender physikalischer Größen und das Verständnis der allgemeineren und abstrakteren Theorie.

Bekannte Beispiele dafür sind der Übergang der speziellen Relativitätstheorie zur Newtonschen Mechanik, wenn man die Grenzgeschwindigkeit c formal gegen Unendlich streben lässt, und der Übergang der Quantenmechanik zur Newtonschen Mechanik, wenn man das Wirkungsquantum \hbar formal gegen Null streben lässt.

• 27 **Erhaltungssätze**

Das *Noether-Theorem* sagt aus, dass zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eines physikalischen Systems eine Erhaltungsgröße existiert und umgekehrt. Es wurde 1915 von *Emmy Noether* (1882 – 1935) bewiesen.

Symmetrie bedeutet dabei, dass sich das Verhalten eines physikalischen Systems bei Anwendung einer bestimmten Transformation (z.B. Koordinatentransformation oder Eichtransformation) nicht verändert.

Eine Erhaltungsgröße des Systems ist eine Größe, die sich als Funktion der Zeit, genauer gesagt durch die Dynamik des Systems, nicht ändert [aus Wikipedia: Noether-Theorem].

Eine diskrete Größe wird bei einer diskreten Symmetrie erhalten, z. B. die Spiralität bei Spiegelsymmetrie.

• 28 **Photon**

Das Photon ist das *u n i v e r s e l l e* Elementarteilchen (Quant), Symbol γ . Es bewegt sich mit der Grenzgeschwindigkeit c (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum) der elektromagnetischen Wechselwirkung und hat damit kein Ruhesystem und keine Ruhenergie bzw. Ruhmasse. Es ist bekannt, dass alle mit Ruhenergie (Ruhmasse) behafteten Teilchen mit ihren Antiteilchen annihilieren können, wobei ein Photon oder mehrere Photonen entstehen (gemeint ist hier die „gewöhnliche“ Materie, nicht die sogenannte Dunkle Energie). Man muss daraus den Schluss ziehen, dass in Umkehrung dieser Tatsache das Photon virtuell alle existierenden Eigenschaften/Ladungen enthält (siehe dazu den ab der 2. Auflage neuen Abschnitt • 32 Gemeinsame Grundlage der Wechselwirkungen); insbesondere neben der Eigenschaft die Antieigenschaft, die sich außerhalb des Photonenraumes gegenseitig aufheben und somit dort als virtuelle Eigenschaften erscheinen. Der eigentliche Grund dafür, dass das Photon keine Ruhenergie besitzt besteht darin, dass Eigenschaft und Antieigenschaft im Photonenraum getrennt sind, je einen Halbraum einnehmen, denn dadurch ist $\mathbf{E}_0 = \|\mathbf{F}\| = \|\mathbf{F}^+\| + \|\mathbf{F}^-\| = 0$.

Ein Photon genügt natürlich den grundlegenden Relationen

$$\begin{array}{ll} \mathbf{E} \otimes \mathbf{t} = \pm \hbar, & * \\ \mathbf{p} \otimes \mathbf{x} = \pm \hbar, & ** \\ \hat{s}^* \mathcal{G} = \pm \hbar. & *** \end{array}$$

Da Photonen ein vollständiges Ladungssystem besitzen, sind sie gegenüber einer Ladungskonjugation C invariant. Das bedeutet, die beiden Vor-

zeichen \pm von \hbar können nicht für Photon und Antiphoton stehen. Offenbar gibt es zwei Formen von Photonen, die sich auf andere Weise unterscheiden: Photonen können sowohl eine positive als auch eine negative Raum-Zeit besitzen, und eine positive als auch negative innere geometrische Struktur \mathcal{G} . In einem Einbettungsraum kann der Impuls in positive als auch in negative Raum-Koordinaten gerichtet sein, in positive als auch negative Zeitrichtung, gemäß dem Vorzeichen von \hbar . In einer Photonenwelt sind positive und negative Raum-Zeit gleichberechtigt. Die Spiralität \hat{s} entspricht in der Elektrodynamik einer rechts- oder linkspolarisierten Welle.

Virtuelle Photonen entstehen durch eine Fluktuation. Durch eine Fluktuation können aber auch zwei reelle Photonen γ_1 und γ_2 aus dem Pandynato entstehen. Im ersten Fall mit unterschiedlichem Vorzeichen von \hbar ist

$$\begin{aligned}\mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{t}_1 + \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{t}_2 &= 0, \\ \mathbf{p}_1 \otimes \mathbf{x}_1 + \mathbf{p}_2 \otimes \mathbf{x}_2 &= 0, \\ \hat{s}_1 * \mathcal{G}_1 + \hat{s}_2 * \mathcal{G}_2 &= 0.\end{aligned}$$

Dazu wird die Erhaltung von Energie, Impuls und Spiralität verlangt, also

$$\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = 0, \quad \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = 0, \quad \hat{s}_1 + \hat{s}_2 = 0,$$

woraus

$$\mathbf{t}_2 = \mathbf{t}_1, \quad \mathbf{x}_2 = \mathbf{x}_1, \quad \mathcal{G}_2 = \mathcal{G}_1$$

folgen; Größen, die unbestimmt sind und positiv oder negativ sein können, wenn man beispielsweise bei $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b} > 0$ neben $\mathbf{a}, \mathbf{b} > 0$ auch $\mathbf{a}, \mathbf{b} < 0$ zulässt. Energie, Impuls und Spiralität eines Photons sind negativ; ihre Spins sind parallel.

Geht man im 2. Fall davon aus, das beide Photonen γ_1 und γ_2 bei \hbar gleiches Vorzeichen haben, führt dies auf

$$\begin{aligned}\mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{t}_1 - \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{t}_2 &= 0, \\ \mathbf{p}_1 \otimes \mathbf{x}_1 - \mathbf{p}_2 \otimes \mathbf{x}_2 &= 0, \\ \hat{s}_1 * \mathcal{G}_1 - \hat{s}_2 * \mathcal{G}_2 &= 0.\end{aligned}$$

Wiederum bei Erhaltung der physikalischen Größen

$$\mathbf{E}_2 = -\mathbf{E}_1, \quad \mathbf{p}_2 = -\mathbf{p}_1, \quad \hat{s}_2 = -\hat{s}_1,$$

folgt gegenüber dem 1. Fall umgekehrt

$$\mathbf{t}_2 = -\mathbf{t}_1, \quad \mathbf{x}_2 = -\mathbf{x}_1, \quad \mathcal{G}_2 = -\mathcal{G}_1,$$

alle unbestimmt, positiv oder negativ. Beide Spins \mathbf{s}_1 und \mathbf{s}_2 sind ebenfalls parallel. In allen Fällen gilt bei den raumzeitlichen Größen $\mathbf{t}, \mathbf{x}, \mathcal{G}$ einheitliches Vorzeichen eines bestimmten Photons (und somit einheitliches Vorzeichen der physikalischen Größen $\mathbf{E}, \mathbf{p}, \hat{s}$). Welcher der beiden Fälle eventuell nicht möglich sein sollte, müsste sich noch herausstellen; spielt jedoch im Weiteren hier keine relevante Rolle. Es ist naheliegend den ersten Fall mit wechselndem Vorzeichen des Wirkungsquantums als realistisch anzunehmen. Denn dem würde eine verschwindende Wirkung im Ausgangszustand des Pandynato entsprechen.

Es muss die wichtige Bemerkung gemacht werden, dass die in den obigen Gleichungen * und ** enthaltene Raum-Zeit $(\mathfrak{x}, c\mathfrak{t})$ bei der Urzeugung von Teilchen aus dem Pandynato nicht in einer Raum-Zeit entstehen – sie sind Raum und Zeit des Teilchens (hier Photons). Eigentlich muss es heißen: Jede Eigenschaft (Elementar-Ladung) hat ihren eigenständigen Raum und ihre eigenständige Zeit, die Zeit ist eindimensional, der Raum (mindestens) dreidimensional. Nicht nur für Fluktuationen, sondern für jedes reelle einfache Teilchen gelten die Zuordnungen *, **, ***'.

Der Raum und die Zeit, in welchen sich das Teilchen (Photon) befindet, werden erst durch die Bewegung, den Impuls, erzeugt, der Raum mit einer Dimension der Richtung des Impulses. Im 1. Fall genauer gesagt einer Halbdimension bei Raum und Zeit (zu Halbdimension s. Anhang I, zur Entstehung des Raumes und der Zeit außerhalb der Teilchen siehe weiter unten).

In der Raum-Zeit eines Teilchens, sozusagen „innerhalb“ derer, gibt es keine Wechselwirkung der Eigenschaft oder Eigenschaften, folglich auch keine Geschwindigkeit der Wechselwirkung. Das bedeutet im Rahmen der klassischen Physik, dass dieser Bereich im Beobachterraum wie ein Raum- bzw. Zeitpunkt zu behandeln ist, obwohl er auch dort eine Ausdehnung hat (s. folgenden Absatz). Anders ausgedrückt: Innerhalb der Raum-Zeit eines Teilchens ist die klassische Physik nicht anwendbar (andererseits kann durch klassische Geräte die Raum-Zeit eines Teilchens beeinflusst werden). Deshalb erscheint die Spiralität, und damit auch der Spin, als „innere“ Struktur des Teilchens in der klassischen Physik als aufgesetzt und fremd – solange man es nicht als Wellenpaket behandelt.

Befindet sich ein reelles Photon in einem metrischen Raum, erhält man darin die Beziehung

$$(E + \delta E) * (\Delta t + \delta t) = \pm \hbar, \quad \#$$

(wegen der Unschärfen δ müsste eine Verknüpfung \otimes stehen, zur Übersichtlichkeit wird hier einheitlich eine einfache Multiplikation geschrieben). In einer metrischen Zeit kann die Zeiteinheit t_0 mittels $\Delta t = w * t_0$ mit der reellen Zahl w eingeführt werden. Für die Schwingungsdauer T gilt dann $\Delta t = 2\pi * T$. Mit der Kreis-Frequenz $\omega = 1/wt_0 = 1/\Delta t$, ($\delta t = \delta w * t_0$, $\delta \omega = -\omega^2 * \delta t$), erhält man für ein Photon

$$E + \delta E = \pm(\omega + \delta \omega) * \hbar = \pm(v + \delta v) * \hbar, \quad \#'$$

mit der von *A. Einstein* eingeführten Beziehung mit der Frequenz $\nu = \omega/2\pi$ (dort ohne Unschärfen). Die Energie eines Photons wird (im Einbettungsraum) durch einen einzigen Parameter bestimmt, der mit einer Unschärfe gemäß $\delta E = \delta v * \hbar = \delta \omega * \hbar$ behaftet ist. Die Größe E und die zugehörige Unschärfe δE werden als voneinander unabhängig angesehen (Näheres siehe Anhang I). Die Anzahl der Schwingungen ist hier nicht festgelegt.

Ein Photon ist ein Quantenobjekt, festgelegt durch die fundamentale Naturgröße \hbar , das sich mit der Grenz-Geschwindigkeit c ausbreitet und mit einer beliebigen, aber festen Frequenz mit gewisser Unschärfe schwingt.

Aus der zweiten Relation für den Impuls und den Raum folgt im Einbettungsraum

$$(\mathbf{p} + \delta\mathbf{p}) * (\Delta\mathbf{x} + \delta\mathbf{x}) = \pm\hbar. \quad \#\#$$

Führt man in einem metrischen Raum die Längeneinheit l_0 mit der reellen Zahl K mittels $\Delta\mathbf{x} = \mathbf{K} * l_0$ ein, erhält man mit der Schwingungszahl

$\mathbf{k} = 1/Kl_0$ für ein Photon

$$\mathbf{p} + \delta\mathbf{p} = \pm(\mathbf{k} + \delta\mathbf{k}) * \hbar. \quad \#\#'$$

Mit der Schwingungslänge λ , $\lambda = 2\pi/k$ und mit $\Delta x_\eta = \Delta\mathbf{x} * \boldsymbol{\eta}_p$, $\Delta x_\eta = \lambda/2\pi$, ($\delta x_\eta = \delta\lambda/2\pi$), erhält man

$$|\mathbf{p} + \delta\mathbf{p}| * (\lambda + \delta\lambda) = \pm\hbar.$$

Die Bewegungsgröße des Photons ist mit einem Parameter, der Schwingungszahl bzw. der Schwingungslänge festgelegt.

Maßstäbe, hier t_0 und l_0 , können als Größen ohne Unschärfe nur in metrischen Räumen eingeführt werden.

Ist das schwingende Photon eine Welle? Es ist nur dann eine Welle, wenn für Frequenz und Schwingungszahl bzw. Schwingungslänge die Relation $\omega/k = c$ ($= v * \lambda$) erfüllt ist. Aus Schwingungszahl und Schwingungslänge werden Wellenzahl bzw. Wellenlänge. Dann folgt aus # und ## durch Elimination von \hbar und mit $\Delta x_\eta / \Delta t = \omega/k = c$ für ein Photon die Beziehung

$$|E + \delta E| = (|\mathbf{p}| + |\delta\mathbf{p}|) * c.$$

Im Beobachterraum sind die Energie und die Größe des Impulses des Photons – da es eine Welle ist – eindeutig miteinander verbunden.

Es ist nur formal $\Delta x_\eta / \Delta t = c$ eine Geschwindigkeit, denn $(\Delta\mathbf{x}, c * \Delta t)$ sind die Raum-Zeit des Photons im Beobachter-Raum (s. Anhang I). Der vierdimensionale Abstand des Raumes in Richtung des Impulses und der Zeit (mit der sog. Minkowski-Metrik) des Photons ist somit Null. Diese Raum-Zeit kann sich mit derjenigen anderer Teilchen überschneiden. Ist das andere Teilchen vollständig im Photon enthalten, besitzt es darin eine Geschwindigkeit.

Aus der Behandlung von Wellen ist bekannt, dass die Unschärfen $\delta\omega$, $|\delta\mathbf{k}|$, oder δv , $\delta\lambda$, die Anzahl der Schwingungen N begrenzt: $N \approx \omega/\delta\omega = |\mathbf{k}|/|\delta\mathbf{k}|$ usw. Aus einer unbegrenzten Anzahl von Schwingungen, d.h. einer beliebig langen Welle, wird infolge der Unschärfen eine in Ausbreitungsrichtung begrenzte Welle, ein Wellenpaket. Die Länge des Wellenpaketes wird von der Wellenlänge und der Anzahl der Schwingungen bestimmt und wird mit der Ausdehnung des Photons in Impulsrichtung gleichgesetzt. In der Optik entspricht dies im Einbettungsraum der Kohärenz-Länge.

Historisch hat man aus dem Transformationsverhalten des Spins den Schluss gezogen, dass er eine innere Eigenschaft des Teilchens sein muss.

Es gibt und gab hierfür viele Versuche, Modelle zur geometrischen Darstellung zu finden³.

Es gibt unter Mathematikern/Physikern die Auffassung, dass für Teilchen nur Modelle mit parallelisierbarer Oberfläche möglich sind. Parallelisierbare Sphären sind die 1-Sphäre (herkömmlicher Kreis), die 3-Sphäre (sozusagen die 4-dimensionale Kugel) und die 7-Sphäre. Hier gibt es Parallelen zu den komplexen Zahlen, und den Quaternionen und schließlich den Oktonionen (oder Cayleyzahlen). Die 2-Sphäre, die herkömmliche Kugel, ist nicht parallelisierbar; sie besitzt zwei singuläre Punkte. Anschaulich gesprochen: Überzieht man die Kugel mit einem Fell, so kann sie nicht überall glatt gekämmt werden, man erhält zwei singuläre Punkte, Wirbel oder abstehende Haare. Führt man die singulären Punkte zusammen (bei Deformation durch das Innere der Kugel) und entfernt sie aus der Fläche, erhält man einen Torus. Der Torus ist also parallelisierbar, woran auch eine (endliche) Torsion nichts ändert. Den Torus kann man überall glatt kämmen. Es gibt die Vermutung, dass nur solche Körper als Modelle für (einfache) Teilchen möglich sind, deren Oberfläche parallelisierbar ist. Bei höheren Symmetrien ergeben sich höherdimensionale geometrische Objekte.

Durch die Physik muss die Einschnürung so erfolgen, dass das Volumen (bzw. die Querschnittsfläche) sich nicht ändert, da dieses mit der Ladungsmenge in Zusammenhang steht.

Es taucht die Frage auf, ob es überhaupt möglich ist einem Teilchen ohne Ruhesystem, wie dem Photon, ein geometrisches Modell zuzuordnen. Man kann schließlich als Beobachter dem Photon nicht nebenherlaufen und es in Ruhe betrachten, aber man kann durchaus seine Ausdehnung mit den Unschärfen im Beobachterraum grob bestimmen. In Bewegungsrichtung ist es die (unscharfe) Kohärenzlänge, senkrecht dazu ist es unbegrenzt, „nimmt aber, über einem bestimmten Abstand, schnell ab“, wie aus dem Wirkungsquerschnitt bekannt ist. Auf Grund dieser „Abmessungen“ kann man ein Modell konstruieren. Das Modell hat keine „scharfe“ Oberfläche, lässt sich aber damit besser darstellen.

Obwohl die Ruhenergie des Photons verschwindet, enthält es doch virtuelle Eigenschaften/Ladungen und die Anti-Eigenschaften/Anti-Ladungen, die einen (mindestens) dreidimensionalen Raum, sozusagen als deren Gefäß, erfordern. Diese Dreidimensionalität hängt mit der Dreidimensionalität des Beobachterraumes zusammen, der aus einem Photonenraum seinen Ausgang

³ Mathematisch naheliegend ist die Hopf-Faserung einer 3-Sphäre. Da die 3-Sphäre diffeomorph zur Lie-Gruppe (Spin3) ist, die als Überlagerung der Drehgruppe SO(3) auf der 2-Sphäre operiert. (aus dt. Wikipedia)

nimmt (s.u.). Als Grundelement für das Modell eines Photons scheint eine Raumstruktur mit der Topologie von Toroiden geeignet (siehe Bilder 1a, 5 bis 11). Dieses Modell ist auch die Ausgangsform für Teilchen mit der Spiralität von $\frac{1}{2}$, z.B. den Elektronen (siehe folgenden Abschnitt • 29 Elektron und Positron). Die Richtung des Impulses ist dabei die Hauptachse des Torus (mit Unschärfen!). Um diese Achse ist der Toroid kreisförmig gewunden; quasi wie ein Schlauch mit dem Radius r , dessen Mittellinie kreisförmig mit dem größeren Radius R um die Hauptachse führt. Der Torus bildet hierbei eine einzige Schleife, bezeichnet mit $\mathcal{Z} = 1$.

Wie ist die Spiralität 1, in Einheit von h oder \hbar , des Photons durch den Torus darzustellen? Hierbei bietet sich eine Torsion des Ringes an, d.h. eine Drehung des kleinen Kreises entlang des großen Kreises. Eine Torsion \mathcal{T} mit $\mathcal{T} = 1$ bedeutet eine Drehung des kleinen Kreises um einen Vollwinkel bei einem Umlauf um die Hauptachse. Es ergibt sich $\mathcal{G} = \mathcal{Z}/\mathcal{T} = 1$.

Würde man ein Band entlang des großen Kreises in das Innere des Torus legen, welches mit verdreht ist, so wäre es bei einem Umlauf um die Hauptachse ebenfalls einmal voll verdreht. Bildet das Innere des Torus einen vollständigen Raum, so wird dieser durch das Band in zwei Halbräume getrennt (beide sollen das gleiche Volumen haben). Nach dem Photonenmodell befindet sich in einem dieser beiden Halbräume die (positive) Ladung/Eigenschaft, im anderen die (negative) Anti-Ladung/Anti-Eigenschaft.

Um aus der Darstellung eines Photons ein Anti-Photon darzustellen, muss man eine C-Transformation – eine Ladungskonjugation – ausführen. Dem entspricht aber auch eine Drehung von 180° bzw. π um die Hauptachse. Da ein Anfangs-Phasenwinkel nicht festzulegen ist, kann man prinzipiell nicht von Antiphotonen sprechen, sondern lediglich von einem Antiphoton zu einem bestimmten anderen Photon, besser von einer Phasenverschiebung der Torsion, die mit der des Drehwinkels übereinstimmt. In Analogie hierzu steht eine Phasenverschiebung beim Photon als elektromagnetischer Welle.

Die Unbestimmtheit des Phasen-Anfangswinkels steht im Einklang mit den grundlegenden Beziehungen $*$, $**$ und $***$, die bezüglich der Achse des Impulses \mathfrak{h}_p rotationssymmetrisch sind. Außerdem könnte daraus die Erhaltung der Eigenschaften/Ladungen folgen.

Was schwingt bei einem Photon und welche ist die Richtung der Schwingung?

Gemäß einer grundlegenden Voraussetzung bewegt sich jedes reelle Photon mit der Grenzgeschwindigkeit c . Demnach ist eine (reale) Schwingung in Richtung der Ausbreitung nicht möglich, muss also senkrecht auf dem Impuls stehen. In der Elektrodynamik ist das Photon eine elektromagnetische Welle, die Schwingung eines elektrischen und eines dazu senkrecht schwingenden magnetischen Feldes gleicher Größe, die beide senkrecht auf der Wellennormalen (der Ausbreitungsrichtung) stehen. Da die Welle in Richtung der Ausbreitung begrenzt ist, handelt es sich um ein Wellenpaket,

ein physikalisches Objekt mit drei Raumdimensionen. In der Quantenelektrodynamik ist das Verständnis eher umgekehrt. Elektrische und magnetische Felder und die elektromagnetischen Wellen werden durch virtuelle bzw. reelle Photonen dargestellt. Je nach der Eigenschaft des Drehimpulses (Bahndrehimpuls plus Spin) bei einer Spiegelung unterscheidet man elektrische und magnetische Photonen (Landafschitz, Bd. IV, § 6).

Da bleibt als dritte Möglichkeit, das Photon durch die Schwingung der Ladung und Antiladung gegeneinander darzustellen. Auf diese Weise könnte man die verschiedenen Arten von Photonen darstellen (virtuelle elektrische und magnetische Photonen für die elektrischen und magnetischen Felder). Diese Schwingung der virtuellen Ladungen (positive gegen negative) stellt eine Symmetrieverletzung dar und ermöglicht eine Wechselwirkung mit anderen virtuellen oder reellen Photonen, deren „Rotationssymmetrie“ ebenfalls gebrochen ist. Die virtuellen Ladungen werden quasi infolge der Symmetrieverletzung „ein wenig“ reell (Bild 3). Es ist gerade so, als ob im Photon ein elektrisches oder/und magnetisches Feld vorhanden wäre – analog dem Bild in der Elektrodynamik. Als anschauliche Hilfsgröße kann ein solches elektromagnetisches Feld dienen. Dies wirft ein anderes „Licht“ auf die Elektromagnetische Welle der klassischen Elektrodynamik.

Vermöge seiner Energie kann dem Photon in einem Einbettungsraum zur Behandlung seiner Dynamik (Allgemeine Relativitätstheorie) eine Masse zugeschrieben werden. Diese Energie bzw. Masse bewirkt im Einbettungsraum eine „Bahnkrümmung“ in einem Schwerfeld oder die Übertragung von Impuls bei „Reflexion“ und daraus die Bestimmung der Ruhmasse des gestoßenen Teilchens.

In einem Photonen-Raum sind weitere Fluktuationen möglich, insbesondere kann ein weiteres reelles Photonenpaar entstehen. Dessen Impulsrichtung muss nicht mit der des ersten Paares übereinstimmen. Dann wird aus einer „inneren“ Raumdimension des ersten Photons eine weitere Dimension im „Außenraum“. Ein weiteres Photonenpaar kann aus der dritten „inneren“ Dimension die dritte Dimension des „Außenraumes“ aufspannen. Haben die Räume der Photonenpaare einheitliches Vorzeichen, wird ein jeweils weiteres Photonenpaar die Räume (genauer die Raum-Zeit) mit anderem Vorzeichen aufspannen. Damit sind ein sich unaufhörlich sich ausdehnender dreidimensionaler Raum und eine Zeit-Dimension entstanden, und zwar sowohl in positiver als auch in negativer Richtungen. Dies ist die Urzeugung (• 22) einer vierdimensionalen Raum-Zeit, die Grundlage zur Entstehung eines Kosmos durch Evolution (• 23).

Wären die Unschärfen δ nicht vorhanden, würden die Gln. # und ## die von *Werner Heisenberg* eingeführte Unschärferelation für Photonen ausdrücken (dort an Stelle von E und \mathbf{p} die Differenzen ΔE und $\Delta \mathbf{p}$), mit einem anderen Verständnis der Differenzen, bekanntlich als Unschärfen oder Un-

genauigkeiten beim Messprozess. Mit Messgeräten, die Genauigkeiten von dE , dp , dt oder dx besitzen, für die $dE \ll \Delta E$, $dp \ll \Delta p$, $dt \ll \Delta t$ und $dx \ll \Delta x$ gelten, kann man die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten messen.

Überschneiden sich die Räume zweier Photonen, spricht man von Verschränkung.

• 29 Elektron und Positron

Das Elektron und sein Antiteilchen, das Positron, sind die elementaren Träger der elektrischen (Einheits-)Ladung – auch Elementarladung genannt – und der „Gegenladung“ e^- bzw. e^+ , die entgegengesetzt gleich sind, $e^- = -e^+$. Die Wechselwirkung zwischen ihnen erfolgt durch den Austausch virtueller Photonen (siehe weiter unten). Die Theorie hierzu ist die Quantenelektrodynamik (QED). In der klassischen Elektrodynamik wird die Wechselwirkung durch elektrische und magnetische Felder ausgedrückt, die aus der Wirkung von Kräften zwischen den Ladungsträgern abgeleitet sind. Heutzutage stellt man sich unter diesen Feldern demzufolge eine Vielzahl fluktuierender virtueller Photonen vor und spricht in diesem Sinne auch in der QED von Feldern. Elektronen und Positronen können unter bestimmten Umständen aber auch reelle Photonen „abstrahlen“. Dies ist das weite Feld der ausgesprochen komplexen QED. So bedarf es längerer Rechnung, um beispielsweise die „Vernichtung“ eines Elektron-Positron-Paares und der dabei entstehenden Photonen zu behandeln.

Es soll bemerkt werden, dass man durch elementare Rechnung im Rahmen der klassischen Physik erkennen kann, dass aus einem einzigen Photon spontan kein Elektron-Positron-Paar entstehen kann. Ein Photon hat bei gegebener Energie im Vergleich zu Teilchen mit Ruhenergie E_0 den größtmöglichen Impuls, nämlich $p = E/c$ (s. • 28). Für Teilchen mit Ruhenergie gilt $\mathbf{p} = E \cdot \mathbf{u}/c^2$ (s. Fußnote S. 26). Daraus folgt, dass nur für $u \rightarrow c$ der Impulserhaltungssatz und der Energieerhaltungssatz erfüllt wären, d.h. unendlich großem Impuls und unendlich hoher Energie des Elektrons und des Positrons, und damit auch des erzeugenden Photons. Es muss also neben dem erzeugenden Photon ein weiteres Teilchen vorhanden sein, das mit ihm in Wechselwirkung treten und den „überschüssigen“ Impuls aufnehmen kann. In der QED – und der Realität – dienen hierfür z.B. Ansammlungen von Protonen, wie sie in Atomkernen vorhanden sind (der Wirkungsquerschnitt steigt mit dem Quadrat der Anzahl der Protonen). Vergleichsweise klein ist der Wirkungsquerschnitt bei der Streuung (Wechselwirkung) zweier Photonen. Eine hohe Erzeugungsrate von Elektron-Positron-Paaren ohne zusätzliche Teilchen mit Ruhenergie erfordert also eine hohe Photonendichte. Da das „Photonengas“ auseinander strebt, existiert dieser Zustand nur in der Anfangsphase des Kosmos und in eventuell speziell dazu eingerichteten Experimenten.

Es muss noch eine zweite wesentliche Voraussetzung erfüllt sein, wenn aus einem Photon ein Elektron–Positron–Paar entstehen soll. Die virtuellen Ladungen des Photons unterliegen zwar einer Schwingung, aber sie bilden bis auf diese schwingungsbedingte Asymmetrie eine „Einheit“. Um sie in reelle Ladungen zu verwandeln, müssen sie durch ein starkes elektrisches Feld quasi auseinander gerissen werden. Das ist außerdem nur möglich, wenn eine weitere, vierte Dimension des Raumes vorhanden ist oder erzeugt wird, denn in drei Raumdimensionen können die durch die Torsion des Torus umeinander verdrehten Ladungen nicht getrennt werden.

Eine Urzeugung eines Elektron–Positron–Paares aus dem Pandynato infolge einer Fluktuation ist weniger wahrscheinlich. Deshalb wird diese Paarerzeugung in einer bereits existierenden Raum-Zeit mit hoher Photondichte betrachtet und kann so die Betrachtungsweise im Unterschied zur Urzeugung eines Photonenpaares abkürzen. Das Elektron/Positron unterliegt einer elementaren Wechselwirkung, die in direktem Zusammenhang mit dem Wirkungsquantum steht (siehe auch • 15 Wirkung). Somit gelten für ein reelles Positron/Elektron die Beziehungen

$$\begin{aligned} \mathbf{E} \otimes \Delta \mathbf{t} &= \pm \hbar, & * \\ \mathbf{p} \otimes \Delta \mathbf{x} &= \pm \hbar, & ** \\ \hat{s} \doteq \mathbf{s} \otimes \boldsymbol{\eta}_s &= \pm \mathcal{T} \mathcal{Z} \hbar, & *** \end{aligned}$$

Die Größen $\Delta \mathbf{x}$ und $\Delta \mathbf{t}$ sind hier keine ursprünglichen Gebilde des Raumes und der Zeit, da sie in einer bereits existierenden Raum-Zeit $(\mathbf{x}, \mathbf{ct})$ eingebettet sind. Ihre Bedeutung wird unten klar. Die Größe \mathcal{G} , mit $\mathcal{G} = \mathcal{Z}/\mathcal{T}$, wurde in •17 Fluktuation eingeführt. Außerdem ist $\boldsymbol{\eta}_s$ parallel zu $\boldsymbol{\eta}_p$. Beim Elektron ist $\mathcal{T} = \pm 1$ und offensichtlich $\mathcal{Z} = 2$; die Spiralität des Teilchens folglich $\hat{s} = \pm \hbar/2$. Für das Elektron als Spin $1/2$ -Teilchen kann man sich vorstellen, es durch einen zweischleifigen Torus mit Torsion ± 1 darzustellen (man könnte an die Berührungslinie tangential ein Möbiusband legen). Ein solches geometrische Objekt hat die gleichen Transformationseigenschaften wie ein Spinor: Umläuft man die Toriodachse zweimal, ist man wieder am „Ausgangspunkt“ des Dreh- als auch des Torsionswinkels, bei einmaligem Umlauf ist der Torsionswinkel einhalbmal gedreht (Bilder 5, 6, 7). Grundlegend ist der Dreh- oder Phasenwinkel der inneren Torsion des Torus (s. a. • 33 Erweiterter Spin/Spiralität). Die Spiralität jedes elementaren Teilchens mit Torsion ± 1 ist der Kehrwert der Anzahl der notwendigen Drehungen um die Hauptachse des Torus, um wieder zum Ausgangs-Phasenwinkel der inneren Torsion zu gelangen.

Nicht nur bei der Trennung der beiden Halbräumen des Photons ist eine weitere Raumdimension erforderlich. Bei der folgenden 180° -Verdrehung des „halben“ (Photonen-)Torus zu einer 8 wird die Torsion nicht geändert, sie verschiebt sie nur entlang des Ringes, was unwesentlich ist. Das Zusammenlegen zur Doppelschleife würde im dreidimensionalen Raum hingenommen die Torsion um ± 1 ändern. Deshalb muss das Umklappen zur Doppel-

schleife ebenfalls in einer zusätzlichen vierten Raumdimension erfolgen, ohne Änderung der Torsion. Die Doppelschleife muss so gelegt werden, dass die beiden Halbräume – man stelle sie sich mit Schnittflächen vor – einen vollständigen Raum ergeben.

Abgesehen davon, dass die Toroide durch die Unschärfe beliebig ausgedehnt sein können, können sie auch dekompaktifiziert werden, indem die beiden Radien R und r gemeinsam gegen unendlich gehen (z.B. $R=r+a \rightarrow \infty$, $a = \text{const.}$). Führt man eine Dichtefunktion ein, kann ein Torus zur Veranschaulichung der Begrenzung eines bestimmten Dichtewertes dienen.

Es gilt: Elementare Teilchen besitzen einen kompletten Raum, in mindestens drei Dimensionen. Das ist für Teilchen mit Spiralität $\neq 0$ ein geteilter Torus ganzzahliger Torsion mit einer bestimmten Anzahl von Schleifen zur Bildung eines vollständigen Raumes.

Aus mathematischer Sicht ist der Zusammenhang klar. Zur Beschreibung des halbzahligen Spins verwendet man eine $SU(2)$ -Gruppe, häufig in Form von Matrizen (mit komplexen Elementen), die nicht sehr anschaulich sind. Nimmt man hingegen die zu $SU(2)$ isomorphe Drehgruppe $SO(3)$ mit reellen Elementen, kann man zu anschaulichen geometrischen Objekten gelangen. Zur Veranschaulichung von $SO(3)$ in Euklidischen Räumen benötigt man jedoch vier Raum-Dimensionen. Hilfreich sind hier die Quaternionen \mathbf{H} , dargestellt als $q = a+bi+cj+dk$, mit den reellen Zahlen a, b, c, d und den imaginären Einheiten i, j, k , also $i^2=j^2=k^2 = -1$ und $ijk = -1$. Ein Modell eines vierdimensionalen Elektrons wäre jedoch keine befriedigende Lösung, insbesondere da zur Definition einer Ladung und der mit ihr zusammenhängenden Energie – nach obiger Grundlage – lediglich drei Dimensionen erforderlich sind. Die Lösung besteht in der Einführung der Hopf-Faserung, die vermutlich mit dem Modell des mehrschleifigen Torus mit Torsion in Zusammenhang steht. Die Hopf-Faserung stellt in gewissem Sinne eine i.a. nicht ganzzahlige innere Drehung eines Torus dar. Nun legt man ein Band in den Torus, welches die Fasern enthält und dessen Rand im Torus, also der Torusfläche, liegt (das wäre bei Spin $\frac{1}{2}$ -Teilchen ein Möbiusband). Lässt man die Breite des Bandes mitsamt der Torusbegrenzung gegen Null gehen, schnürt quasi den Torus ein, erhält man die oben besprochenen Schleifen (z.B. Spin $\frac{1}{2}$) oder Trennungen (bei ganzzahliger Torsion) des Torus. Also können beide Darstellungen ineinander überführt werden.

Eigenschaften der Drehgruppe im 4-dimensionalen Raum werden durch eine komplexere Geometrie im 3-dimensionalen Raum über-

tragen. [Eine kurze Einführung ist in der engl. Wikipedia unter *Hopf fibration* und *Clifford torus* zu finden.]

Dieses Gebiet sei den Mathematikern überlassen, denn Hilbert erklärte sein Interesse für die mathematische Physik mit der Bemerkung: „Die Physik ist für die Physiker eigentlich viel zu schwer.“ Schließlich ist die Geometrisierung von 3-Mannigfaltigkeiten ein Gebiet der Mathematik, welches erst seit dem Jahre 1980 verstärkt in Angriff genommen wurde und im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts wesentliche Fortschritte gemacht.

Letztlich muss noch die oben beschriebene „Aufspaltung“ von Räumen, z.B. dem des Photons, in Halbräume und aus diesen die Bildung mehrerer Räume, z.B. die beiden des Elektrons und Positrons, mathematisch behandelt werden.

Was bedeuten nun die Größen Δt und Δx in den Beziehungen $*, **$? Für die Zahlen w und K und den Maßstäbe für Zeit t_0 und Länge l_0 im metrischen Einbettungsraum des Elektrons, analog dem Vorgehen beim Photon, erhält man

$$\Delta t \Rightarrow w \cdot t_0 \text{ und } \Delta x \Rightarrow K \cdot l_0,$$

und – erst einmal formal – die Schwingungsfrequenzen $\omega = 1/wt_0$, ($\delta\omega = \delta w/t = -\omega^2 \delta t$), $k = K/l_0 = 2\pi/\lambda$, ($\delta k = \delta K/l_0$, usw.), $\omega = 2\pi \cdot v$. Für die Energie und den Impuls erhält man ebenso

$$E + \delta E = (\omega + \delta\omega) \cdot \hbar = (v + \delta v) \cdot \hbar, \quad \#'$$

$$\mathbf{p} + \delta \mathbf{p} = (\mathbf{k} + \delta \mathbf{k}) \cdot \hbar, \text{ bzw. } |\mathbf{p} + \delta \mathbf{p}| \cdot (\lambda + \delta \lambda) = \hbar, \quad \#\#'$$

mit dem Unterschied, dass hier keine Welle mit der Phasengeschwindigkeit c vorliegt, also $\omega/k = v \cdot \lambda \neq c$ ist. Auf Grund der Ruhenergie des Elektrons besitzt es eine kleinste Frequenz $\omega_0 = E_0/\hbar$, $v_0 = E_0/\hbar$.

Wie ist die Existenz des Feldes zu erklären? Die Schwingung hat Konsequenzen. Schwingen kann nur die Ladungsverteilung, d.h. der Torus schwingt in seinem (kleinen) Durchmesser mit hoher Frequenz. Da das Elektron in einem bereits vorhandenen Raum (\mathfrak{x} , $c \cdot \mathfrak{t}$) existiert, eingebettet ist, urzeitlich im Photonenraum, steht mit der schwingenden und somit symmetriebrechenden Ladungsverteilung ein virtuelles Photonenfeld in Verbindung. Dieses Feld ist sozusagen außerhalb des Elektronenraumes und erscheint in der klassischen Elektrodynamik als das elektrische Feld des Elektrons. Obwohl beide immanent zusammengehören, gibt es eine gewisse, auch räumliche Trennung zwischen ihnen.

In der „Eigenzeit“ ΔT (aus $\Delta t \Rightarrow \Delta T = 1/v$) laufen die beiden Prozesse – Emission und Absorption eines Photons – nach

$$\mathbf{E}_1 \cdot \mathfrak{t}_1 = + \hbar \text{ und } \mathbf{E}_2 \cdot \mathfrak{t}_2 = - \hbar$$

ab (analog für die Impulse), d.h. es ist

$$\mathbf{E}_1 \cdot \mathfrak{t}_1 + \mathbf{E}_2 \cdot \mathfrak{t}_2 = 0.$$

Bleibt z.B. die Energie des Elektrons in der Eigenzeit ΔT konstant, muss $\mathbf{E}_2 = - \mathbf{E}_1$, $\mathfrak{t}_2 = \mathfrak{t}_1$ oder $\mathbf{E}_2 = + \mathbf{E}_1$, $\mathfrak{t}_2 = - \mathfrak{t}_1$ sein (analog für die Impulse).

Steht E_1 für die Energie des emittierten Photons, so steht E_2 für die negative Energie des zweiten emittierten Photons oder gleichbedeutend damit die (positive) Energie eines absorbierten Photons. Ist die Energie der beiden Photonen (betragsmäßig) nicht gleich, so nimmt dessen Energie zu oder ab, wird es beschleunigt oder gebremst, nimmt es Strahlung auf oder gibt welche ab (Bremsstrahlung).

Das Feld des Elektrons wird wesentlich durch den Einbettungsraum bestimmt, von seiner Gestalt (u.a. Topologie) und vor allem welche der Raumdimensionen begrenzt oder unendlich ist – und natürlich von der Lage der anderen elektrischen Ladungen.

An dieser Stelle werden einige Beziehungen aus der Gründerzeit der Quantenmechanik angegeben. Dies geschieht hier im Beobachterraum. Der Übersichtlichkeit wegen werden die Unschärfen der auftretenden Größen nicht aufgeschrieben, sie sind also „im Geist“ hinzuzufügen.

Durch die Gleichung der (relativistischen) Mechanik $\mathbf{p} = E \cdot \mathbf{u} / c^2$ (1) wird dem Teilchen die Geschwindigkeit \mathbf{u} und mittels der Einsteinschen Gleichung $E = m \cdot c^2$ (2) dem Teilchen die Masse m zugeschrieben, woraus sich die aus der klassischen Mechanik bekannte Darstellung des Impulses $\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{u}$ (3) ergibt. Es gilt analog dem Zusammenhang von E_0 und $E = E_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ (4), $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$ (5), mit $\beta = u/c$ (6), wobei m_0 die sog. Ruhmasse des Elektrons ist (dies gilt auch für makroskopische Körper). Die Einsteinsche Gleichung (2) wird normalerweise als Äquivalenz von Energie und Masse verstanden. Hier besitzt die Energie eine grundlegendere Bedeutung als die Masse. Letztere wird lediglich zur Beschreibung der Dynamik, der Bahnkurven, der Teilchen/Körper in Mehrteilchen/Mehrkörpersystemen in der Newtonschen Mechanik eingeführt. Nach hiesigem Verständnis ist m lediglich eine Abkürzung für E/c^2 im Beobachterraum und bekommt nur im Übergang zur klassischen Mechanik ihre Bedeutung⁴.

Die Gleichungen ** und ###' bedeuten, dass jedes elementare Teilchen bei seiner Entstehung eine Bewegungsgröße besitzt.

⁴ Ausgangspunkt ist das Wirkungsintegral $W = \int L \cdot dt$, mit der Lagrangefunktion $L = E_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$, woraus man den Impuls $\mathbf{p} = \partial L / \partial \mathbf{u} = E \cdot \mathbf{u} / c^2$ erhält und daraus mit Gl. (4) und $ds = c \cdot dt \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$, die Wirkung $W = E_0 \int ds / c$, die offensichtlich lorentzinvariant ist. Durch quadrieren von \mathbf{p} erhält man $E^2 = \mathbf{p}^2 \cdot c^2 + E_0^2$. Die Bewegungen werden letztlich durch die Divergenzfreiheit des Energie-Impuls-Tensors festgelegt, wobei die Krümmung der Raum-Zeit eingeht, die ihrerseits vom Energie-Impuls-Tensor bestimmt ist. Stets ohne Gebrauch des Begriffes der Masse, also weder der Trägheit noch der Gravitation aus der Newtonschen Mechanik. E_0 hat die Bedeutung der hier neu auftretenden Ruhenergie (bei $p=0$). Erst die Existenz der Ruhenergie berechtigt die Einführung der Ruhmasse $m_0 = E_0/c^2$, durch Vergleich mit der Newtonschen Beziehung $\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{u}$. Der obige Ausdruck für \mathbf{p} erlaubt die – erforderliche – allgemeinere und bekannte Gleichung für nicht ruhende Teilchen/Körper $E = mc^2$, mit $m = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}$.

Es wird die Phasengeschwindigkeit $c_{ph} = v \cdot \lambda (= \Delta x / \Delta t)$ eingeführt. Mit den Gleichungen #', ##' erhält man $c_{ph} = E/p$ und weiter mit der Gleichung (1) folgt $c_{ph} \cdot u = c^2$. Letztere ist die für Wellenpakete bekannte Gleichung. Die Gruppengeschwindigkeit u ist mit der Geschwindigkeit des Teilchens identisch.

Diese Aussage kann durch Lösung der Dispersionsrelation

$$u \equiv c_{gr} = -\lambda^2 dv/d\lambda (= d\omega/dk)$$

ebenfalls unter Verwendung der Gleichungen #', ##' und (1), (4) bestätigt werden. Mit der Integrationskonstanten E_0 ist die Lösung

$$1. E(u) = E_0 / \sqrt{1 - \beta^2} \text{ für } E_0 \neq 0 \text{ und } u < c \text{ [also Gl. (4)], und}$$

$$2. u = c \text{ für } E_0 = 0 \text{ und beliebigem } E.$$

Die Grundlagen der Wellenmechanik stehen nicht im Widerspruch zur (speziell) relativistischen Mechanik!

Im Falle $u < c$ muß $c_{ph} > c$ sein. Letztere ist kein Widerspruch zu den grundsätzlichen Voraussetzungen, da c_{ph} keine Wechselwirkung beschreibt (wohl aber u).

Aus den Gleichungen ##' und (3) folgt die de Broglie-Beziehung

$$\lambda = h/mu, \text{ bzw. } \Delta x = \hbar/mu = \hbar \cdot \sqrt{1 - \beta^2} / m_0 u,$$

die durch Beugungsexperimente in hoher Genauigkeit bestätigt ist.

Bestimmt ist nicht die gesamte (Ruh-)Energie des Elektrons auf dessen schwingende Ladung zurückzuführen; ein Teil hat ihren Ursprung in der Energie des elektrischen Feldes (außerhalb des Elektronenraumes). Offensichtlich ist die Energie eines Elektrons auf diese beiden Anteile aufgeteilt, quasi dessen innere und äußere Energie:

$$E_w = (1 - \alpha) \cdot E_0 \text{ und } E_{el} = \alpha \cdot E_0.$$

Es erhebt sich die Frage, ob bei der Beugung von Elektronen das elektrische Feld beteiligt ist. Ist das Feld nicht beteiligt, müsste die de Broglie-Wellenlänge um den Faktor $1/(1 - \alpha) \approx 1,00735099534$ vergrößert sein, was experimentell nachprüfbar wäre (weiter unten wird α mit der Sommerfeldschen Feinstrukturkonstanten identifiziert, deren gemessener Zahlenwert hier eingesetzt ist).

Die klassische Physik zeigt einen Weg, die Frage nach der Länge l_e eines Elektrons im Beobachterraum zu beantworten. Offensichtlich ist die de Broglie-Länge $\Delta x = \hbar/mu$ nicht als Maß für die Ausdehnung eines Elektrons geeignet, denn ein ruhendes Elektron ist nicht unendlich ausgedehnt, außerdem besteht ein Widerspruch zur Lorentzkontraktion. Als einziger brauchbare Zusammenhang scheint

$$l_e = \kappa \cdot c \cdot \Delta t = c/\omega, \quad \kappa \geq 1, \text{ ist ein Formfaktor,} \quad (7)$$

zu sein (bei $\kappa=1$ ist der Minkowski-Abstand wie beim Photon Null). Der Bequemlichkeit halber wird vorerst $\kappa = 1$ gesetzt. Man erhält

$$l_e = \hbar/mc, \text{ bzw. die Wellenlänge des Wellenpaketes } \lambda_e = h/mc. \quad (8)$$

Diese Beziehung scheint sinnvoll, da sie insbesondere die richtige Abhängigkeit von der Geschwindigkeit u des Elektrons enthält

$$l_e = (\hbar/m_0c) \cdot \sqrt{(1-u^2/c^2)}, \text{ bzw. } \lambda_e = (h/m_0c) \cdot \sqrt{(1-u^2/c^2)},$$

d.h. die Längenkontraktion beschreibt. Diese Größen sind für $u = 0$ als Comptonlänge bzw. Comptonwellenlänge bekannt, $l_C = \hbar/m_0c$ und $\lambda_C = h/m_0c$. λ_C ist gleich der Wellenlänge eines Photons, welches die gleiche Energie wie das Elektron hat. Die grundlegende Bedeutung der Comptonlänge ist auch daran zu erkennen, dass sie als charakteristische Länge in die Dirac-Gleichung des Elektrons eingeht (üblicherweise steht dort m_0 , da \hbar und c Eins gesetzt worden sind – was zu einem falschen Verständnis führen kann).

Bis zu dieser Stelle ist nicht bestimmt, aus wieviel Wellenzügen N das Wellenpaket besteht, wie ausgedehnt es in Ausbreitungsrichtung ist. Das hängt von der hier unbekanntem Unschärfe ab:

$$N \approx \omega/\delta\omega = E/\delta E = k/\delta k.$$

Man kann für N jedoch die Wellenlänge des Paketes λ_e auf die Wellenlänge λ beziehen und erhält damit $N = u/c$, ein Wert, der immer kleiner 1 ist. D. h., das Wellenpaket eines Elektrons ist kürzer als dessen Wellenlänge, erst für Geschwindigkeiten nahe der Grenzgeschwindigkeit c erreicht es die Ausdehnung einer Wellenlänge und besitzt Wellencharakter. Bei einem ruhenden oder langsam bewegten Elektron überwiegt der Teilchencharakter.

In der klassischen Elektrodynamik hat man versucht, den Radius eines als kugelförmig angesehenen Elektrons zu bestimmen. Man setzt die Energie des Teilchens mit der Energie seines elektromagnetischen Feldes in Beziehung. Die Ergebnisse weichen um kleinere Zahlenfaktoren voneinander ab; auch abhängig davon, wie man die Verteilung der Ladung innerhalb des Elektrons ansetzt. Wegen dieser Unsicherheit – wen wundert's – kann man sich auf einen bequemen Zahlenfaktor einigen. Abweichend von der gebräuchlichen Festlegung wird hier nicht der sog. klassische Elektronenradius, sondern der Durchmesser verwendet, um Vergleichbarkeit mit der Festlegung für l_e (8) zu erhalten. Für ein ruhendes Elektron kann damit generell für die Energie des elektrischen Feldes

$$E_{el} = e^2/d_K,$$

mit d_K als Durchmesser der Kugel und der Elementarladung e des Elektrons, gesetzt werden. Mit der obigen Gleichung $E_{el} = \alpha \cdot E_0$ erhält man für den Parameter $\alpha = 1$ den sogenannten klassischen Durchmesser des Elektrons d_e ,

$$d_e = 2r_e = e^2/m_0c^2. \tag{9}$$

Wählt man andererseits für d_K die in Gl. (8) definierte Länge $l_e(0) = l_C$, ($\kappa=1$), so erhält man für α die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante α_{Som} ,

$$\alpha_{Som} = e^2/\hbar c = d_e/l_C. \tag{10}$$

α_{Som} ist der Anteil der elektrischen Feldenergie, also der elektrischen Wechselwirkungsenergie, eines fundamentalen Teilchens, dessen Durchmesser

die Comptonlänge $l_C = h/m_0c$ ist. Der Parameter α wird deshalb als Koppelkonstante der elektrischen Ladung bezeichnet. Im Allgemeinen ist α keine Konstante; im Nahbereich des Teilchens kann sie stark abweichen.

Die Form eines ruhenden Elektrons dürfte grob genähert auf Grund seiner Unschärfe als eine rotationssymmetrische „Wolke“ erscheinen. Als ihre Dicke (hier auch der Durchmesser des Torus-Ringes) wird $\kappa \cdot l_C$ angenommen. Diese ist wesentlich größer als der klassische Elektronendurchmesser.

Außerhalb von $\kappa \cdot l_e$ beginnt das Feld sozusagen abzufallen. Dringt ein Testteilchen (z.B. ein am Elektron gestreutes Photon hoher Energie) in den Bereich von $\kappa \cdot l_e$ ein, so wird das Feld nicht stärker, was auch beobachtet wird. Die Vorstellung, dass das Elektron eine (feste, glänzende!) Kugel ist, steht damit in Widerspruch. Man versucht ihn mit der Annahme zu lösen, dass die Ladung des Elektrons in näherer Umgebung durch virtuelle und polarisierte Photonen abgeschirmt wird, was darauf hinauslaufen würde, dass das Elektron eigentlich größer ist.

Ein ruhendes Elektron muss durch ein elektrisches Potential, d.h. andere Ladungen, z.B. einem Proton, „eingefangen“ sein. Nur dann hat es die angenäherte Kugelform.

Ein sich frei bewegendes Teilchen hat senkrecht zur Bewegungsrichtung keine bestimmte Größe, ist ein breit „verschmierter“ Doppeltorus. Das entspricht auch der Vorstellung eines Wellenpaketes, einer ebenen Welle mit unscharfer Frequenz, deren Ausdehnung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung nur durch zusätzliche Felder begrenzt werden kann. Ein „gefangenes“ Elektron wird in seiner Ausdehnung, genauer sein Raum \star , reduziert.

Zur Anschauung einige Zahlenwerte:

$$d_e = 2,818 \cdot 10^{-13} \text{ cm, (klass. Elektronen-}\varnothing\text{, üblicherweise } r_e)$$

$$l_C = 3,862 \cdot 10^{-11} \text{ cm,}$$

$$1/\alpha = 137,036,$$

$$\omega_0 = E_0/\hbar = c/l_C = 0,7763 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}, \text{ (Grundfrequenz des Elektrons)}$$

$$m_0 = 0,910938 \cdot 10^{-27} \text{ g,}$$

$$c = 2,9979246 \cdot 10^{10} \text{ cm/s,}$$

$$m_0c^2 = 0,8186968 \cdot 10^{-6} \text{ [cgs]} = 0,5110 \cdot 10^6 \text{ eV,}$$

$$\hbar = 1,0545716 \cdot 10^{-27} \text{ [cgs],}$$

$$a_0 = 5,291772083 \cdot 10^{-9} \text{ cm, (Bohrscher Radius),}$$

$$\rho_m = m_0/V_e = 30,203 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{klass}} = \rho_m \cdot (1/\alpha)^3 = 77,723 \cdot 10^9 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_e = e/V_e = 22,252 \cdot 10^{12} \text{ As/cm}^3,$$

der fiktiven Ladungsdichte im Inneren eines ruhenden, mit l_C als Durchmesser des als kugelförmig „modellierten“ Elektrons.

Zum Abschluss wird der nahezu zentrale Stoß zweier Photonen genügend hoher Energie und nahezu entgegengesetzter Richtung des Impulses (im Einbettungsraum) betrachtet. Ein Photon soll in ein Elektron-Positron-Paar zerfallen. Voraussetzung hierfür ist, dass sich die physikalischen Räume

($\Delta x, c \Delta t$) beider Photonen überschneiden. Die Energien des Elektrons und des Positrons sind einander nahezu gleich, demzufolge ist näherungsweise

$$E_{\text{Elektron}} = E_{\text{Photon}}/2 = h \cdot \nu_{\text{Photon}}/2.$$

Für den Elementarprozess Photon \Rightarrow Elektron + Positron gilt:

$$(\hat{S}_{\text{Elektron}} + \hat{S}_{\text{Positron}}) = \hbar,$$

(auf den rechten Seiten der Beziehungen steht vor \hbar noch ein Faktor (M-N), die Anzahl der Teilchen nach, minus der Anzahl der Teilchen vor der Wechselwirkung, die hier 2-1=1 ist.) Die Spiralitäten von Elektron und Positron sind gleich der des Photons, wie es infolge des Spinmodells sein muss.

Man sieht, dass $\hat{S}_{\text{Elektron}} = \hat{S}_{\text{Positron}} = \hbar/2$ ist.⁵

In der Quantenelektrodynamik (QED) wird in hoher Genauigkeit die Wechselwirkung von Photonen mit Atomkernen berechnet. Dabei erhält man für den totalen Streuquerschnitt σ einer Elektron-Positron-Erzeugung verhältnismäßig einfache Formeln für die Grenzfälle kleiner ($E_{\text{Photon}} \approx 2 \cdot E_{\text{Elektron}}$) und großer Energie ($E_{\text{Photon}} \gg 2 \cdot E_{\text{Elektron}}$) des Photons:

$$\sigma = z Z^2 \alpha^2 r_e^2 [\dots], \quad \text{bzw.} \quad \sigma = z' Z^2 \alpha^3 l_c^2 [\dots],^6$$

wobei die Zahlen z und z' sich in den beiden Fällen unterscheiden, ebenso der Ausdruck in den Klammern [], der die Energie des Photons im Verhältnis zur zweifachen Ruhenergie des Elektrons/Positrons in unterschiedlicher Weise enthält, $E_{\text{Photon}} > 2 \cdot E_{\text{Elektron}}$. Die Kernladungszahl Z geht quadratisch in die Formel ein. Dies widerspiegelt einmal die wirksame Masse des Kernes, die bei der Impuls-Wechselwirkung in Erscheinung tritt und als zweites die Wirkung des elektrischen Feldes des Kernes, der die Symmetrie der schwingenden virtuellen Ladungen des Photons bricht; bildlich gesprochen, diese Ladungen trennt. Offensichtlich ist dies eine Bestätigung des oben dargelegten Modells der Photonen.

Das magnetische Moment des Elektrons μ_e (bis zur 2. Näherung) ist

$$\mu_e \approx \frac{e\hbar}{2m_0c} \left(1 + \frac{\alpha_{\text{Som}}}{2\pi} - 0,328 \left(\frac{\alpha_{\text{Som}}}{\pi} \right)^2 \right)$$

(Landafschitz, Bd. IV, § 115). Ohne Korrekturen des elektrischen Feldes, also mit $\alpha_{\text{Som}} = 0$, erhielt man das Doppelte des magnetischen Momentes der „Bahnbewegung“ des Elektrons (quasi eines Ringstromes). Dies steht im Einklang mit dem Modell eines doppelschleifigen Torus für Spin- $1/2$ -Teilchen, speziell dem des Elektrons/Positrons. Die Ergänzungsterme mit α_{Som} bringen die Beiträge des elektrischen Feldes. Sie führen zum sogenannten anomalen magnetischen Moment des Elektrons/Positrons.

⁵ Die Erhaltung des Drehimpulses gilt für den Gesamt-Drehimpuls, der sich aus den Bahndrehimpulsen und den Eigendrehimpulsen, den Spins, aller Teilchen zusammensetzt. Hier wird der einfache Fall verschwindenden Bahndrehimpulses von Positron und Elektron betrachtet.

⁶ siehe Landafschitz, Bd. IV

[Die beiden folgenden Abschnitte werden zwar beibehalten, um die derzeit gängige Auffassung darzulegen; sie sind auf Grund einer Modifikation der gängigen Theorie, dargelegt in • 32, überholt und deshalb gegenüber der 1. Auflage gekürzt.]

• 30 Quarks, Proton und Neutron

Die Quarks, Symbol q , sind die Träger der starken Wechselwirkung, ihre Feldquanten sind die Gluonen, hier Symbol G (üblich ist g).

Quarks und Gluonen sind die Konstituenten der Protonen und Neutronen, Symbole p und n , die ihrerseits – auf Grund der Verletzung der räumlichen Symmetrie bei der starken Wechselwirkung – die Atomkerne bilden. Sie bilden auch andere Teilchen mit großer Ruhmasse (große Ruhmasse bedeutet groß im Vergleich zur Ruhmasse der Elektronen), die Hadronen, mit halbzahligem Spin, und die mittelschweren Mesonen, mit ganzzahligem Spin. Im Gegensatz zur elektrischen Ladung, die aus einer Einheit und ihrer Anti- bzw. Gegenladung besteht, besteht die starke Ladung aus drei Einheiten und ihren drei Anti- bzw. Gegenladungen. Ebenso wie zwei Teilchen mit einer elektrischen Ladung und der Gegenladung zusammen die Ladung Null besitzen, ergeben zwei Quarks mit einer starken Ladung und der entsprechenden Gegenladung zusammen die Ladung Null. Zusätzlich ergeben drei Quarks mit den drei starken Ladungen zusammen ebenfalls die Ladung Null. Diese Dreier-Symmetrie kann anschaulich durch die additive Mischung von drei Grundfarben, rot, grün und blau, dargestellt werden, die zusammen neutrales „weiß“ ergeben. Deshalb hat es sich eingebürgert, die starken Ladungen, Symbol c , oder c_i , $i=1, 2, 3$, als rot, grün und blau zu bezeichnen, die Gegenladungen als antirot, antigrün und antiblau (nicht cyan, magenta und gelb). Die Farbladung c (von color) kann r, g, b oder die entsprechende Gegenladungen \bar{r}, \bar{g} und \bar{b} sein⁷. Zur Beschreibung dieser Symmetrie werden in der Mathematik Gruppen mit gleicher Symmetrieeigenschaft $SU(3)$ verwendet, für die es mehrere verschiedene Darstellungen gibt, z.B. eignen sich Spinoren in der Darstellung mit Dreier-Matrizen dafür.

Die Quarks haben den Spin $1/2$ wie die Elektronen. Zur Darstellung der leichteren Mesonen benötigt man zwei Quarks einer Farbladung und der Farb-Gegenladung. Folglich haben sie den Spin 0 oder 1. Zur Darstellung der Protonen und der Neutronen benötigt man drei Quarks aller drei Farbladungen, damit die Gesamtfarbladung Null ist. Damit ergibt sich, dass Quarks auch eine elektrische Ladung haben müssen. Dazu braucht man zwei verschiedene Quarks, mit u-Quark und d-Quark bezeichnet, mit je einer der drei Farbladungen.

⁷ Antiquarks werden durch einen oberen Querstrich gekennzeichnet. Der steht hier nicht zur Verfügung, deshalb wird der obere Querstrich hier nachgestellt. Bei den Farbindices wird der Querstrich gelegentlich weggelassen, da generell Antiquarks Anti-Farben haben. Bei den Gluonen wird der Farbindex nicht tiefgestellt, um die Antifarbladung durch einen nach- und hochgestellten Querstrich kennzeichnen zu können.

Eine einfache Überlegung führt zu dem Schluss, dass eine Sorte die elektrische Ladung von $2/3$ der Elementarladung e (u-Quark) haben muss, die andere (d-Quark) von $-1/3 e$. Ein Proton besteht folglich aus zwei u- und einem d-Quark, ein Neutron aus einem u- und zwei d-Quarks, und natürlich den Wechselwirkungsteilchen, den Gluonen. Die Antiquarks u^- und d^- haben neben der Anti-Farbladung die elektrische Ladung mit umgekehrten Vorzeichen. Die Gluonen haben eine Farb- und eine Anti-Farbladung, keine elektrische Ladung. Es gibt somit neun verschiedene Gluonen, von denen acht voneinander unabhängig sind, da wegen der Bedingung, dass drei verschiedene Farben zusammen Null („weiß“) ergeben, ein Gluon von den anderen abhängig ist. Die neun Gluonen sind:

Grg^- , Grb^- , Ggb^- , Ggr^- , Gbr^- , Gbg^- und Grr^- , Ggg^- , Gbb^- ,
 die die Anti-Gluonen enthalten und beispielsweise Gbb^- durch Grr^- und Ggg^- ausgedrückt werden kann, formal geschrieben

$$Gbb^- = (Grr^- + Ggg^-)/\sqrt{2}.$$

Die Gluonen sind in den Farbindizes symmetrisch, es ist z.B. $Grg^- = Gg_r^-$, usw. Diese Teilchen, zusammen mit einem dritten, dem s-Quark, wurden von den Amerikanern *Murray Gell-Mann* (15. 9. 1929) und *Georg Zweig* (1937) etwa im Jahre 1964 eingeführt. Durch einige ungewohnte Annahmen, z. B. die der gebrochenen elektrischen Ladungen, stießen diese Vorstellungen anfangs auf Skepsis. So bekam *Georg Zweig* eine in Aussicht gestellte Stelle nicht, da er nun als „Scharlatan“ verrufen war. Die auf diesen drei Quarks entwickelte SU(3)-Symmetrie wurde unabhängig voneinander ebenfalls durch *Gell-Mann* und dem Israeli *Yuval Ne'eman* (1925 – 2006) im Jahre 1960 postuliert. Erst 1974 wurde die SU(3)-Symmetrie der Farbladung, die eine andere als die vorgenannte ist, eingeführt und zur Theorie der Quantenchromodynamik (QCD) unter wesentlicher Mitarbeit von *Harald Fritzsch* (10. 2. 1943) entwickelt.

Ein Quark als elementares Spin-1/2-Teilchen wird analog dem Elektron als Doppeltorus dargestellt (siehe auch • 33 Erweiterter Spin). Der endliche Rauminhalt enthält die Farbladung, der eine bestimmte Energie zugeordnet werden kann. Die Energie setzt sich aus vier Anteilen zusammen, den beiden der Schwingung der Farb- und der elektrischen Ladung und der beiden zugehörigen Felder. Die Schwingung der Ladungen bedingt die Felder. Der Spin der Protonen und der Neutronen setzt sich aus dem der Quarks und dem der Gluonen zusammen und beträgt $1/2$. Es gibt auch Teilchen mit gleicher Zusammensetzung, aber Spin $3/2$, die eine wesentlich größere Ruheenergie haben. Da die Gluonen ganzzahligen Spin besitzen, hat dieser keinen Einfluss auf den Charakter als Spin-1/2-Teilchen (Fermionen) des Quark-Konglomerates, ist jedoch durch deren Fluktuation und kleiner Anzahl nur durch aufwändige Rechnungen beizukommen. Konglomerate mit Spin $1/2$ sind offensichtlich keine Toroide, sondern eher Rotationsellipsoide nahe der Gestalt einer Kugel.

Im Gegensatz zu den virtuellen Photonen des elektrischen Feldes ist die Annahme notwendig, dass die Gluonen und ihre Ladungen c reell sind. Das hat erhebliche Konsequenzen. Unabhängig davon gelten für die Quarks und die Gluonen die Beziehungen für elementare Quantenobjekte

$$\begin{aligned} \mathbf{E} \otimes \Delta \mathbf{t} &= \hbar, & * \\ \mathbf{p} \otimes \Delta \mathbf{x} &= \hbar, & ** \\ \hat{s} * \mathcal{G} &= \hbar. & *** \end{aligned}$$

Da die Gluonen Feld und auf Grund ihrer Ladungen selbst Ursache von Farb-Feldern sind, wird der Feldbegriff bezüglich der Farbladung ad absurdum geführt. Der grundlegende Begriff der Wechselwirkung hingegen bleibt erhalten. Es sind Zustände reiner Gluonenkonglomerate, also ohne die sie ursprünglich erzeugenden Quarks, denkbar (siehe weiter unten).

Eine Farbladung ist insofern beobachtbar, da sie einem ständigen Austausch mit der Wirkung \hbar unterliegen muss und folglich zumindest indirekt nachweisbar ist, indem Konglomerate von Quarks und Gluonen existieren müssen, die in der Summe die Farbladung Null haben. Z. B. die bekannten Protonen, Neutronen usw.

Da der Eigenschaft Farbladung eine Energie zugeschrieben werden muss, müssen reelle Gluonen (mit unterschiedlicher Farb- und Antifarbladung, also $\text{Gr}g^-$, $\text{Gr}b^-$, $\text{G}gb^-$, $\text{G}gr^-$, $\text{G}br^-$, $\text{G}bg^-$) eine Ruhenergie haben und demzufolge in dynamischen Systemen eine Ruhmasse (das steht im Gegensatz zur Theorie der QCD, dort schreibt man ihnen die Ruhmasse Null zu mit der Folge, dass die Ausbreitung der Wechselwirkung mit der Grenzgeschwindigkeit c erfolgt). Da Energie und Impuls der Gluonen endlich bleiben müssen, ist ihre Geschwindigkeit kleiner als c . Damit ist der Raum, in dem sie sich bewegen können begrenzt, im Gegensatz zum Raum der elektromagnetischen Wechselwirkung. Wird ein Konglomerat durch Stöße „aufgeheizt“, seine Energie und entsprechend seine Masse vergrößert, nimmt es einen größeren Raum ein, bis es in Teilräume und somit in mehrere Konglomerate zerfällt.

Wieviele Raumdimensionen sind zur Beschreibung der Quarks, der Gluonen und der Protonen/ Neutronen notwendig? Analog dem Vorgehen bei der elektrischen Ladung wird jeder Farbladung und ihrer Gegenladung ein dreidimensionaler Raum zugeschrieben. Hat man in einem Teilchen – z. B. Proton oder Neutron – drei Quarks mit drei verschiedenen Farbladungen, muss der Raum neun Dimensionen für drei Farbladungen, abzüglich mindestens einer Dimension, maximal dreier Dimensionen – wegen der Abhängigkeit der Ladungen – haben. Hier werden für die insgesamt neutralen Farbladungen (spekulativ) sieben Dimensionen gewählt. Die Spins der Quarks sind einander ausgerichtet und die jeweilige Dimension der Spinachsen fallen auf eine Dimension zusammen, mit anderen Worten, die Räume der drei Quarks überschneiden sich in einer Dimension. Das ergibt für drei insgesamt farbneutrale Quarks $2 \cdot 3 + 1$ Dimensionen. Die elektrische Ladung der Quarks ist wie beim Elektron in drei Dimensionen vorhanden. Ihre gemein-

same Achse fällt, nach vorläufiger Annahme, mit der gemeinsamen Spinachse der Quarks zusammen, überschneidet sich demzufolge mit ihnen in einer Dimension. Zwei Dimensionen der elektrischen Ladung befinden sich somit außerhalb des Farbraumes. Insgesamt existiert also ein farbneutrales Drei-Quark-System in $2 \cdot 3 + 3 = 9$ Raumdimensionen. Farb- und elektrische Ladung eines Quarks müssen sich in (mindestens) einer Dimension überschneiden, ansonsten wäre es nicht ein Teilchen. Der dreidimensionale Beobachterraum enthält die drei Dimensionen der elektrischen Ladungen und mit ihrer Achse zusammenfallend die gemeinsame Spinachse der Quarks. Die jeweils beiden anderen Dimensionen der Quarks sind quasi außerhalb des Beobachterraumes. Das Proton/Neutron ist mit den neun Dimensionen sozusagen eine „Verdickung“ des Beobachterraumes.

Die Gluonen mit zwei verschiedenen Farbladungen, z.B. r und g^- , werden als zwei Toroide in $2 \times 2 + 1 = 5$ Dimensionen dargestellt, wobei die beiden Achsen in einer Dimension eingebettet sind. Die beiden Ladungen sind reell, da sie nicht (vollständig) in einem gemeinsamen Raum liegen (man könnte sie als partiell virtuell bezeichnen, da sie eine Raumdimension gemeinsam haben). Die Gluonen mit einer Farbladung (und Gegenladung), z.B. r und r^- , existieren in einem Raum mit drei Dimensionen, könnten demzufolge ähnlich wie Photonen „gebaut“ sein, in einem geteilten Torus mit Torsion 1. Die Ladungen wären dann virtuell, die Ruhenergie Null und das Gluon G_{rr^-} würde sich mit der Grenzgeschwindigkeit bewegen und könnte einem Konglomerat entweichen. Dies ist vermutlich eine nicht richtige Beschreibung, so dass vorerst von einer reellen Farbladung ausgegangen wird, wobei Ladung und Gegenladung räumlich getrennt sein müssen.

Durch das Gluonenfeld werden die Farbladungen zwischen den drei Quarks ständig (mit der „Ladungsfrequenz“) ausgetauscht. Dieser Ladungsaustausch, gemeinsam mit der Verletzung der Symmetrie der Raumrichtung in unmittelbarer Nähe des Konglomerates (Proton, Neutron), stellt die Kernkraft dar, die den Atomkern zusammenhält.

Die vorangehende Darstellung von Quark–Gluon–Teilchen war erst einmal des besseren Verständnisses wegen als stationäres System dargelegt, was so nicht möglich ist. Da die Wechselwirkungsteilchen reell sind, werden zwischen ihnen und den Quarks ständig Impulse übertragen. Das hält nicht nur die Quarks in Bewegung, sondern kippt die Spinachse aus ihrer Richtung, wobei der so verminderte Beitrag des Spins quasi in Bahndrehimpulse der beiden Stosspartner umgewandelt wird. Das geschieht in sieben Raumdimensionen, wenn die elektromagnetische Wechselwirkung außer Betracht gelassen wird. Beobachtet und gemessen wird selbstverständlich im Beobachterraum, d.h. man misst die entsprechenden Projektionen der Drehimpulse.

Da die Geschwindigkeiten der Gluonen sehr hoch sind, entstehen bei Stößen kurzzeitig weitere Teilchen und Antiteilchen wie Quarks und Anti-

quarks, nicht nur u- und d-, auch s-Quarks, sondern auch ständig neue Gluonen und „Antigluonen“, die alle neben ihrem Spin einen Bahndrehimpuls besitzen. Die Erhaltung des Drehimpulses (Spin plus Bahn), erhält den Spin des Konglomerates, z.B. des Protons oder Neutrons.

Die Ausdehnung l_Q der Quarks in Spinrichtung wird, wie beim Elektron, mit $l_Q = \kappa \cdot c \cdot \Delta t$ zu $l_Q = \kappa \cdot \hbar \cdot c / E_{Qw}$ bestimmt. Möglicherweise ist dies die Länge des sog. Strings im Rahmen der Stringtheorie.

Konglomerate aus einem Quark und einem Antiquark mit der Gesamtfarbladung Null, z.B. $u_r + d_r^-$, die Mesonen, haben nach analogem Vorgehen fünf Raumdimensionen, und Spin = 0 oder 1.

In den Quarkkonglomeraten spielen neben den Gluonen fluktuative Quark-Antiquark-Paare uu^- und dd^- eine Rolle. Quark und Antiquark tragen Farbladung und zugehörige Antifarbladung.

Bei der Urzeugung von Quarks sind unmittelbar zwei Photonen γ notwendig. Es wird davon ausgegangen, dass die Photonen zwar virtuelle elektrische Ladung enthalten, jedoch keine virtuelle Farbladung. Das Photon besitzt lediglich das Pandynato (beinhaltet die Möglichkeit), Farbladungen zu erzeugen. Da Ladungserhaltung bei der Erzeugung reeller Teilchen vorausgesetzt wird, muss die Summe ihrer Ladungen Null ergeben. Die Erzeugung eines Quark-Antiquark-Paares kann nicht ausgeschlossen werden, ist jedoch, wie sich später zeigt, nur als Fluktuation oder innerhalb eines Quarkkonglomerates, z. B. eines Protons, möglich (dazu muss nur ein Photon „aufgespalten“ werden). Man betrachte die Aufspaltung zweier Photonen, mit hier willkürlich geschriebener Verteilung der Farbladungen r, g und b:

$$2\gamma \Rightarrow (d_r + d_r^- + u_g + u_g^-) + (d_b + d_b^- + u_r + u_r^-),$$

die in verschiedener Weise Konglomerate bilden können:

- $2\gamma \Rightarrow (d_r + d_b + u_g) + (d_b + d_b^- + u_g^-) + (u_r + u_r^-) \rightarrow$
 $n + n^- + (u_r + u_r^-), \quad \#$
- $2\gamma \Rightarrow (d_r + u_b + u_g) + (d_r^- + u_b^- + u_g^-) + (d_r + d_r^-) \rightarrow$
 $p + p^- + (d_r + d_r^-), \quad \#\#$

und außerdem:

- $2\gamma \Rightarrow (d_r + d_b + u_g + s_r + u_r^-) + (d_r^- + d_b^- + u_g^-) \rightarrow$
 Pentaquark + n^- , $\#\#\#$
- $2\gamma \Rightarrow 2 \cdot (u_r + d_r^-) + 2 \cdot (u_r^- + d_r) + (u_g + u_g^-) + (d_b + d_b^-) \rightarrow$
 $2 \cdot \pi^+ + 2 \cdot \pi^- + 2 \cdot \pi^0. \quad \#\#\#\#$

In einem Pentaquark muss ein u-Quark (oder Anti-u-Quark) durch ein s-Quark (oder Anti-s-Quark) ersetzt sein, ansonsten würde das Konglomerat lediglich ein durch u_r, u_r^- „aufgeheiztes“ Neutron darstellen. Anstatt der π -Mesonen, Spin 0, können auch ρ -Mesonen, Spin 1, entstehen. Die elektrisch neutralen Mesonen sind jedoch keine reinen Konglomerate aus $(u_r + u_r^-)$ oder $(d_r + d_r^-)$, sondern daraus je rund zur Hälfte gemischt. Darauf wird hier nicht weiter eingegangen, da es nur um eine prinzipielle Einsicht geht (hier-

zu gibt es mannigfaltige populärwissenschaftliche Literatur, z. B. von *Harald Fritzsch* „Quarks“).

Wo im Beobachterraum befindet sich die elektrische Ladung der Protonen und der Neutronen? Streuexperimente zeigen eine konzentrierte Verteilung auch in den Größen $2/3$ und $-1/3$, so dass sie einzelnen Quarks zugeordnet werden muss. Offensichtlich ist sie im dreidimensionalen Unter-Raum vorhanden (s. oben). Aus den Streuexperimenten kann auch abgeleitet werden, dass die Masse von Proton und Neutron von den drei Quarks einerseits und Gluonen und daraus gebildeten fluktuativen Quark-Antiquark-Paaren, die auch reell sein können, andererseits herrührt (aus der Summe ihrer Ruh-, Bewegungs- und Bindungsenergie).

Zur Ergänzung muss noch erwähnt werden, dass die $3er$ Symmetrie der drei Quarks u , d und s im Laufe der Entwicklung auf noch drei weitere Quarks, c , b und das superschwere t -Quark, erweitert wurden.

Anmerkung I (Neutronenstern, Dunkle Materie/Masse)

In den Neutronensternen dürfte in der Zentralregion bei genügend hoher Temperatur und Druck ein Quark-Gluonen-Plasma vorhanden sein. Da dieses Plasma elektrische Ladungen enthält, hat dieser Stern elektrische Eigenschaften. Er strahlt Neutrinos, Antineutrinos und Photonen ab, ist also sichtbar.

Unter bestimmten Verhältnissen können sich reine Gluonenkonglomerate bilden, die stabil sind und als freie Teilchen existieren können. Besonders stabile Kandidaten dafür könnten z.B.

(Grb^-, Ggr^-, Gbg^-) und (Grg^-, Ggb^-, Gbr^-)

sein. Man könnte sie als Gluonite bezeichnen. Aufgrund der realen Farbladung besitzen sie ebenso wie die Gluonen selbst eine Ruhenergie, nach allgemeinem Sprachgebrauch eine Masse, ihr Spin ist 1 (oder auch 3). Demnach kann ein Gluonite-Gas bei genügend großer Masse eine gravitativ stabile Konfiguration bilden, die nicht kollabiert (solange eine Massengrenze nicht überschritten wird). Da keine elektrischen Ladungen vorhanden sind, unterliegen sie keiner Wechselwirkung mit Photonen, die eine Obergrenze der Energie nicht erreichen. Der Gluonite-Stern oder die Gluonite-Galaxie ist also „unsichtbar“. Aufgrund der weiter unten dargelegten Vorstellung über Neutrinos müssten Wechselwirkungen mit ihnen möglich und damit, neben der gravitativen Wirkung, nachweisbar sein.

Entstehen könnte Gluonitegas in heißen Sternen hoher Dichte, näherungsweise berechenbar als Gasdruck analog einer „Dampfdruckkurve“ über ein Quark-Gluonen-Plasma (infolge • 32 muss eine Modifikation erfolgen, Gluonite sind sichtbar!).

Eventuell reicht die Energie des neuen Large Hadron Collider (LHC), um Gluonite zu erzeugen.

• 31 Neutrino

Das Neutrino, Symbol ν , ist ein Teilchen ohne elektrische und ohne Farbladung. Nach dem Verständnis der oben dargelegten Grundbegriffe hat das Neutrino keine Ladung (formal wird ihm in der Quantentheorie die sogenannte „schwache“ Ladung zugeschrieben). Es wurde von *Wolfgang Pauli* (1900 - 1958) postuliert und später auch nachgewiesen, um Energie und Spin beim Zerfall des Neutrons verstehen zu können:

$$n: (d_r + d_b + u_g) \rightarrow p: (d_r + u_b + u_g) + \pi^-: (d_b + u_{\bar{b}}),$$

wobei nach kurzer Lebensdauer das π^- -Meson in ein Elektron, Spin 1/2, und eine Antineutrino, Spin -1/2, zerfällt:

$$\pi^-: (d_b + u_{\bar{b}}) \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e.$$

(In der Natur zerfällt ein elektrisch geladenes π meist zuerst in ein μ -Meson + μ -Antineutrino, dann das μ -Meson in ein Elektron/Positron + μ -Neutrino + e-Antineutrino).

Damit erweist sich das Neutrino und sein Antiteilchen, die sich nur durch die Richtung des Spins unterscheiden – und deshalb nach hiesiger Vorstellung identisch sind – als wahrhaft exotisches Teilchen (siehe jedoch • 32). Ohne Ladung, weder reeller noch virtueller, besitzt es keine durch sie hervorgerufene Energie. Wegen $|s| = 1/2$ wird für den Raum das Modell eines Doppeltorus verwendet. Die Schwingung eines leeren Raumes ist der einzige Beitrag zur Energie. Folglich ist die Ruhenergie im Einbettungsraum unendlich klein. Um dennoch genügend Energie zu besitzen, muss die Geschwindigkeit (im Ruhesystem des ursprünglichen Neutrons) nahe der Lichtgeschwindigkeit sein. Das Neutrino vermittelt offenbar den Zusammenhang der elektromagnetischen Wechselwirkung mit der der Farbladungen, wobei letztere mit der elektromagnetischen verbunden ist. Aus dem Zerfall eines π -Mesons in ein Elektron und ein Antineutrino kann man erkennen, dass die Neutrinos eine interessante geometrische Bedeutung haben. Das π -Meson existiert in fünf Dimensionen, das Elektron in drei Dimensionen. Offensichtlich trägt das Neutrino die nun „überzähligen“ zwei Dimensionen des „leeren“ Farbraumes (des anfangs vorhandenen Mesons). Es ist plausibel davon auszugehen, dass diese beiden Dimensionen sich nicht mit dem Beobachterraum überschneiden, sozusagen außerhalb des dreidimensionalen Beobachterraumes liegen. Eine Dimension, die der Bewegungsrichtung, liegt im Beobachterraum. Dies insgesamt ist der tiefere Grund für seine extrem schwache Wechselwirkung [im folgenden Abschnitt wird dies stark modifiziert].

Texte zu den Abbildungen

1. Das Photon

Bild 1a: Darstellung eines Photons als Toroid mit der Torsion 1. Die virtuellen elektrischen Ladungen +1 und -1 in dessen Raum sind rot bzw. blau markiert. Der Impuls liegt in Richtung der Achse.

Bild 1b: Im Raum des Beobachters erscheint das Photon als verschwommenes Objekt.

Bild 2: Zur besseren Erkennbarkeit sind die virtuellen elektrischen Ladungen als zwei getrennte, sich einmal umschlingende Tori dargestellt.

Bild 3: Darstellung der Schwingung des Photons (durch getrennte Tori). Die Ladungen sind je nach Schwingungsphase unterschiedlich verteilt.

Bild 4: In einem elektrischen Feld wird das Photon „langgezogen“, außerdem ist hier der Schwingungszustand bei weit getrennten Ladungen dargestellt, wie bei Bild 3 rechts, was durch die Torsion weniger gut zu erkennen ist.

2. Fermionen

Bild 5: Durch einen Torus wird ein Möbiussches Band gelegt, um die Torsion von $1/2$ zu veranschaulichen (unterstützt durch Einfärbungen). Mit einem Schnitt entlang des Möbiusschen Bandes und Umformung des Raumes von halbkreisförmigen in kreisförmigen Querschnitt erhält man das Modell eines Elektrons, wie in den Bildern 6 und 7 dargestellt.

Bild 6a: Modell eines Elektrons. Der Torus hat die Torsion -1 und ist zu einer Doppelschleife geformt. Man muss zweimal um die Achse herumfahren, um wieder an die Ausgangsstelle zu gelangen, genauer gesagt an die Stelle mit gleicher Phase des inneren Drehwinkels des Torus (hier Linksdrehung). Die Spiralität ist deshalb $-1/2$.

Bild 6b: Analog wie beim Photon erscheint das Elektron im Beobachterraum als verschwommenes Objekt mit kaum erkennbarer Struktur.

Bild 7: Oben ist das Elektron wie in Bild 6a dargestellt, nur mit anderem Verhältnis der beiden Radien und mit mehrstreifiger Einfärbung. Die Streifen geben die Torsion des zweischleifigen Torus an. Der Drehwinkel ist links (negativer Drehsinn), die Schleife ist ebenfalls links gelegt, um die Halbtori zusammenlegen zu können. Darunter, in der Mitte, ist der am Koordinatensprung gespiegelte doppelschleifige Torus dargestellt, der sich vom Modell ganz unten mit invertierter Spiralität nicht unterscheidet. Die Streifen haben in beiden Fällen nun positiven Drehsinn, die Spiralität ist $+1/2$.

Bild 8: Die drei Farbladungen eines Neutrinos (neueres Modell) rot grün und blau, in den dreidimensionalen Raum des Beobachters projiziert. Sie haben jedoch nur eine Dimension im Beobachterraum, die Hauptachse. Die jeweils beiden anderen dargestellten Dimensionen liegen außerhalb des Beobachterraumes in sechs Dimensionen (in der Abbildung zur Übersichtlichkeit in Richtung der Achse gestreckt).

Die Abbildung kann ebenso zur Veranschaulichung eines d-Quarks dienen (neueres Modell), wenn man eine Farbe der elektrischen $\frac{1}{3}$ -Ladung zuordnet, die sich im Gegensatz zu den anderen im Beobachterraum befindet.

3. Bosonen der starken Wechselwirkung

Bild 9a: Ein Gluon mit den Farben rot und antirot. Jede Farbe, beispielsweise rot und antigrün, besitzt zwei Dimensionen außerhalb des Beobachterraumes. Die Achse des Gluons liegt im Beobachterraum, ebenso die nach dem neueren Modell im Gluon vorhandene virtuelle elektrisch positive und negative Ladung (wird hier nicht dargestellt).

Bild 9b: Modell wie in Bild 9a, zur besseren Anschauung entlang der Achse gestreckt (analog Bild 8).

4. Weitere Varianten der Spiralität

Bild 10a: Ein Torus mit Torsion 1 und Dreifachschleife. Das Modell hat somit Drittelspiralität, hier von $-\frac{1}{3}$.

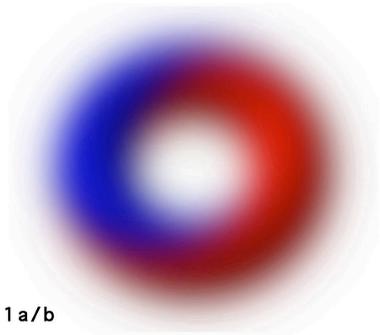
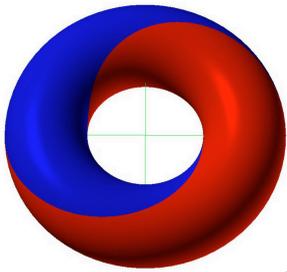
Bild 10b: Ein Torus mit Torsion 1 und Dreifachschleife wie in Bild 10a, jedoch in Achsenrichtung gestreckt.

Bild 11: Ein Torus mit Torsion 2 und Zweifachschleife. Die Spiralität ist erweitert zu $\frac{2}{2}$, mit dem gleichen Transformationsverhalten wie die Spiralität 1. Die Einfärbung zeigt an, dass virtuell eine Ladung plus Antiladung möglich ist, entsprechend dem Modell eines mit $N=2$ erweiterten Photons.

Bild 12a: Darstellung einer Einfachschleife mit separierten Ladungsräumen, zur besseren Anschauung, und Torsion 2, d.h. Spiralität 2.

Bild 12b: Wie in 12a die Darstellung einer Einfachschleife mit separierten Ladungsräumen, jedoch Torsion 3, d.h. Spiralität 3.

Die Grafiken wurden mit Hilfe von Graphing Calculator erstellt.



Bilder 1a/b

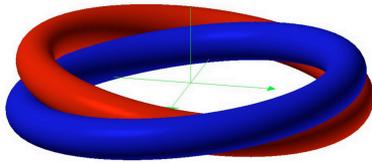


Bild 2

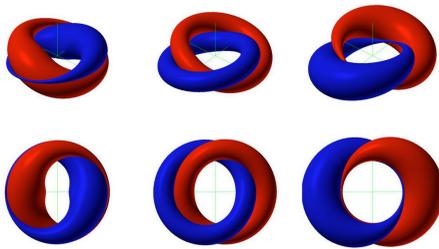


Bild 3

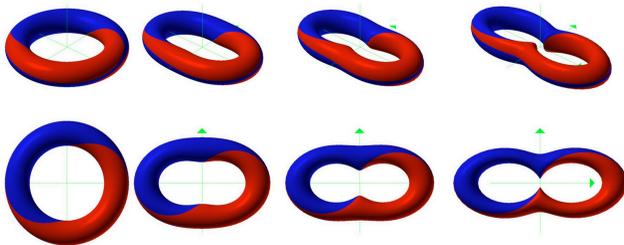


Bild 4

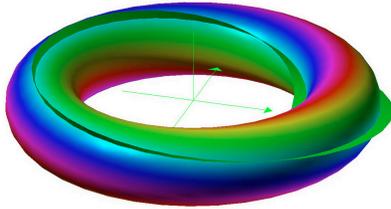
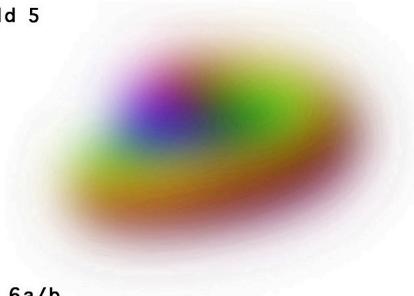
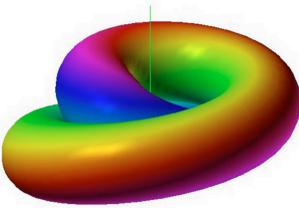


Bild 5



Bilder 6a/b

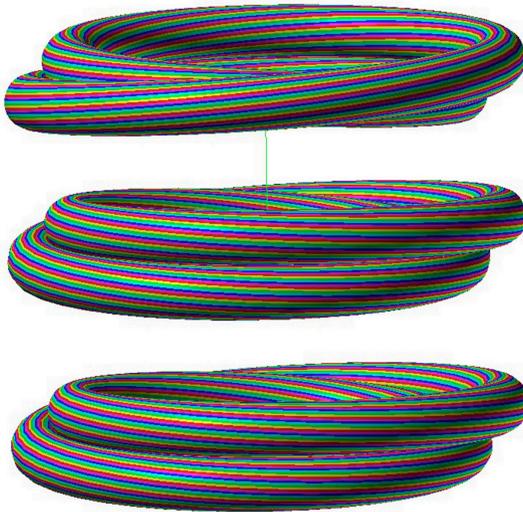


Bild 7

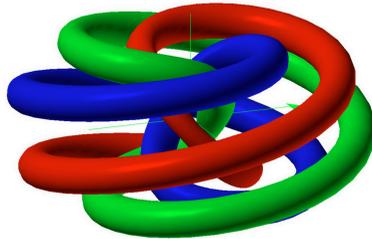
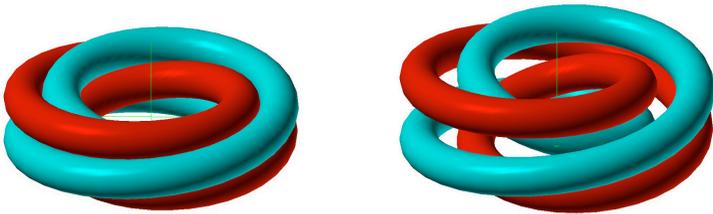
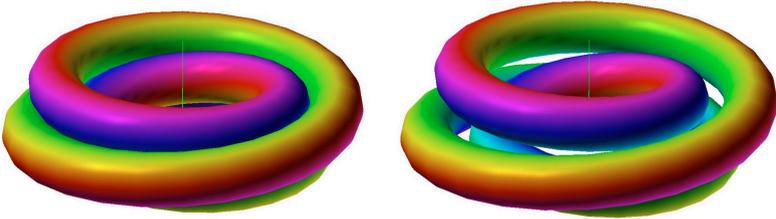


Bild 8



Bilder 9a/b



Bilder 10a/b

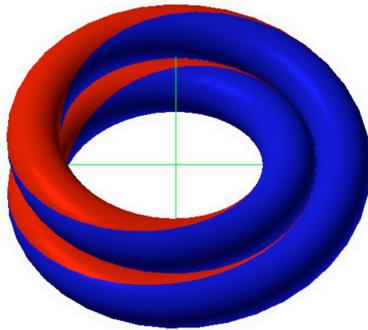
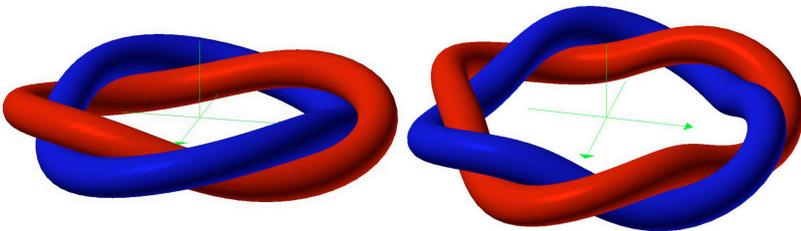


Bild 11



Bilder 12a/b

• 32 Gemeinsame Grundlage der Wechselwirkungen

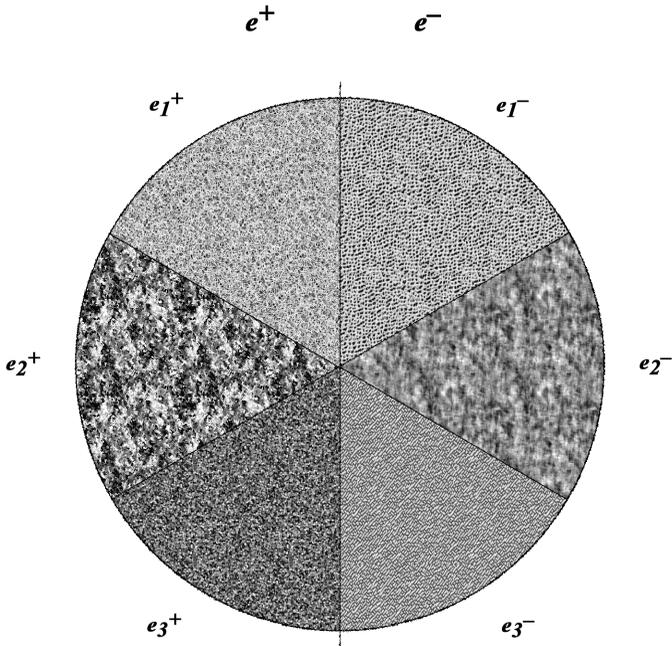


Abb.: Querschnitt des Photonentorus für 1- und 3-Symmetrie

In der Abbildung ist der Torus eines Photons an einer Stelle (Torsionswinkel $\alpha = 0$) im Querschnitt schematisch dargestellt. Zum einfacheren Verständnis hier ohne Unschärfe. Die Torsion ist $\mathcal{T}=1$ (hier nicht erkennbar), bei einer Schleife, $\mathcal{S}=1$.

32.1 Grundlagen

Die Ladung des Photons wird als Eigenschaft e bezeichnet, da sie nicht spezifiziert ist, im linken Halbkreis die Eigenschaft e^+ selbst, im rechten Halbkreis die Anti-Eigenschaft e^- . Da die Eigenschaften e^+ und e^- im Photon keiner Wechselwirkung unterliegen, erscheinen sie virtuell (im Raum eines jeden Teilchens unterliegen die Eigenschaften/Ladungen keiner Wechselwirkung; siehe Anhang I).

Das Photon soll sich im dreidimensionalen Beobachterraum mit den Dimensionen D_0, D_1, D_2 befinden (damit wird die Eigenschaft e zur elektri-

schen Ladung e). Ohne Beschränkung der Allgemeinheit wird die Torus-Hauptachse, die die Spinachse bildet, in D_0 gelegt. Werden die virtuellen Ladungen e^+ und e^- im Beobachterraum getrennt (wozu eine weitere Raumdimension benötigt wird), wird daraus ein Positron-Elektron-Paar, das somit einer Wechselwirkung mit 1-Symmetrie unterliegt.

Weshalb werden die beiden Tori jeweils zweischleifig und somit zu Spin $\frac{1}{2}$ -Teilchen? Der Photonentorus wird als vollständiger (einheitlicher) Raum aufgefasst. Durch die Trennung der Ladungen e^+ und e^- wird dieser Raum in zwei Halb-Räume getrennt. Man kann die These aufstellen: Zu einem einfachen, nicht zusammengesetzten Teilchen gehört ein vollständiger Raum (in Form eines vollständigen Torus). Dies wird bei einem einschleifigen Halbtorus dadurch erreicht, dass er zu einem doppelschleifigen Torus zusammengelegt ist, wie in Bild 5, S. 40, dargestellt. Dazu ist ebenfalls ein vierdimensionaler Raum notwendig, damit sich die Torsion nicht ändert (in einem dreidimensionalen Raum ändert die Verdrehung der Schleife zu einer 8 nicht die Torsion, jedoch das Umklappen zur Doppelschleife um ± 1 , je nach Klapp-Richtung).

Werden Eigenschaft und Anti-Eigenschaft in je drei gleiche Teile geteilt, kann man die 3-Symmetrie konstruieren. Den zwar komplizierteren, aber bekannteren Fall bilden die u- und die d-Quarks mit einer der drei Farbladungen r, g, b (oder c_i , $i=1, 2, 3$; $i=0$ wird für die elektrische Ladung benutzt, mit $c_0 = \frac{1}{3}e^+$) der starken Wechselwirkung und den elektrischen Ladungen $2c_0 = \frac{2}{3}e^+$ bzw. $c_0 = \frac{1}{3}e^-$, und ihre Antiteilchen mit den jeweiligen Gegenladungen \bar{r} , \bar{g} , \bar{b} und $2c_0^- = \frac{2}{3}e^-$, bzw. $c_0 = \frac{1}{3}e^+$. Was definiert die Art der Ladungen e und r, g, b? Dies wird allein durch den Raum definiert. Jede eigenständige Eigenschaft hat ihren eigenen 3-dimensionalen Raum (hier die elektrische und die drei Farbladungen). Die Räume der verschiedenen Ladungen eines Teilchens schneiden sich in einer Dimension, sagen wir D_0 , in der die Haupt-Torusachse jeder Eigenschaft liegt. Die beiden restlichen Dimensionen bilden eine Fläche; durch F_e mit den Dimensionen D_1, D_2 wird die elektrische Ladung e^\pm wie beim Positron/Elektron, den Quarks und anderen Teilchen bezeichnet, die Farbladungen beispielsweise mit der Fläche F_r und den Dimensionen D_3, D_4 bei der Farb-Ladung r^\pm , usw. F_g mit D_5, D_6 , für g^\pm , und F_b mit D_7, D_8 für b^\pm . Die verschiedenen Ladungsflächen stehen senkrecht aufeinander.

Ebenso wie die beiden Ladungen e^+ und e^- „außerhalb“ eines (einfachen oder zusammengesetzten) Teilchens zusammen die Ladung 0 ergeben, ergeben eine Farbladung und die Gegenladung außerhalb zusammen 0, also $r^+ + \bar{r}$ ergibt 0, usw. Alle drei Farbladungen zusammen müssen ebenfalls außerhalb eine neutrale Farbladung ergeben, formal geschrieben

$$r^+ + g^+ + b^+ = 0 \quad \text{und} \quad \bar{r} + \bar{g} + \bar{b} = 0.$$

Man erkennt dabei, dass die „Summe“ zweier Farbladungen eine – andere – Ladung ergeben, beispielsweise r^+ und \bar{r} gemäß

$$r^+ = g^- + b^- \quad \text{und} \quad \bar{r} = g^+ + b^+,$$

d.h. zwei Farbladungen ergeben zusammen die Anti-Komplementär-Farbladung (c_i ist die Komplementärladung zu c_j und c_k , $i \neq j \neq k$). Innerhalb eines zusammengesetzten Teilchens, wie dem Neutron und dem Proton, verschwinden Ladung und Gegenladung keinesfalls – wie seit Mitte des 20. Jahrhunderts im Falle der elektrischen Ladung bekannt ist.

Deshalb ist deutlich zu machen, dass man Teilchen, einfache und zusammengesetzte, durch ihre Eigenschaften e und deren Spezifizierung in Ladungen, durch Angabe der Raumdimensionen, darstellen kann. Sowohl Ladungen als auch Teilchen kann man vereinigen, jedoch nicht addieren oder subtrahieren; ein $+$ -Zeichen steht dann für eine Zusammensetzung oder eine Vereinigung, ein $--$ -Zeichen ergibt keinen Sinn; man kann Ladungen oder gar Teilchen nicht voneinander „abziehen“; Teilchen alleine können sich lediglich in andere Teilchen aufspalten oder zerfallen. Die Darstellung eines Teilchens durch seine Ladungen ist eindeutig, wenn noch die Angaben zur Raumstruktur, z.B. Torsion \mathcal{T} und Schleifenanzahl \mathcal{S} , welche den Spin bestimmen, hinzugefügt werden. So werden aus den Eigenschaften e^+ und e^- im Beobachterraum (D_0, D_1, D_2) die elektrischen Ladungen e^+ und e^- , jede in einem Halbraum. Bei einem Photon grenzen beide Halbräume aneinander und bilden somit einen vollständigen Raum. Es gibt – im stationär gedachten Zustand – keine Wechselwirkung mit Ladungen außerhalb dieses Raumes – die Ladungen sind außerhalb virtuell. Es ist niemals $e^+ + e^- = 0$, die Ladungen verschwinden nicht, aber im Raum außerhalb der Ladungen ist keine Ladung zu beobachten, für ihn gilt $\{e^+, e^-\} = 0$ (ausgenommen bei Brechung der Symmetrie, im „Nahfeld“). Hat der Raum der Ladungen $e^+ + e^-$ die Torsion ± 1 bei einer Schleife, bildet also einen einfach vollständigen Raum, handelt es sich bei dem Teilchen um ein Photon γ mit Spin $\pm \hbar$ (siehe auch • 33 Erweiterter Spin). Man kann das Photon folgendermaßen darstellen: $\gamma(e^+, e^-)$ [andererseits kann $(e^+ + e^-)$ ein zusammengesetztes Teilchen bilden, das Positronium, für das ebenfalls $\{e^+ + e^-\} = 0$ gilt], wobei die Ladung $\{\gamma\} = \{e^+, e^-\} = 0$ ist. Leider gibt es, historisch gewachsen, Mehrdeutigkeiten. Das Elektron, mit dem Symbol e , wird zuweilen zur Unterscheidung von seinem Antiteilchen Positron, Symbol e^+ , auch als e^- symbolisiert, so dass e^- : e^- ist und $\{e^-\} = e^-$ gilt, neben e^+ : e^+ und $\{e^+\} = e^+$. Das sind scheinbare Trivialitäten, die aber bei Nichtbeachtung zu Missverständnissen führen können. Für die „schwereren“ μ - und τ -Leptonen, Teilchen der 2. und 3. Familie, gilt ebenfalls μ^\pm : e^\pm und $\{\mu^\pm\} = e^\pm$, neben τ^\pm : e^\pm und $\{\tau^\pm\} = e^\pm$, jedoch mit anderen geometrischen Eigenschaften (siehe • 33 Erweiterter Spin). Bei einem Teilchen T mit Ladungen der 3-Symmetrie, c_i , gilt

$$T(c_1, c_2, c_3): c_1 + c_2 + c_3 \neq 0, \text{ aber } \{T\} = \{c_1 + c_2 + c_3\} = 0.$$

Die Teilchen $T(c_1, c_2, c_3)$ und ebenso sein Anti-Teilchen $T^-(c_1, c_2, c_3)$ besitzen ein abgeschlossenes (Farb-)Ladungssystem; ein Teilchen mit allen Farb- und Anti-Farbladungen $D(c_1, c_2, c_3, c_1, c_2, c_3)$ besitzt ein vollständiges Farbsystem (das Photon ist das Teilchen mit vollständiger Eigenschaft). Mit der gängigen Farb-Bezeichnung $\{c_1\} = r$, $\{c_2\} = g$, $\{c_3\} = b$

(wobei die Reihenfolge willkürlich ist), ist demzufolge

$$\{c_1+c_2+c_3\} = \{c_1\}+\{c_2\}+\{c_3\} = r+g+b = 0, \text{ aber auch} \\ \{c_1+c_2\} = +\{c_3\}, \text{ oder } r+g = b^-, \text{ usw.}$$

Wäre $\{c_1+c_2+c_3\} \neq 0$, so gäbe es eine vierte Farbladung, im Widerspruch zur gewünschten Ladungssymmetrie.

Ein quasi elektrisch abgeschlossenes wird durch $3c_0^\pm$ gebildet, ein vollständiges Ladungssystem durch $3c_0^++3c_0^-$.

Nach tieferen mathematischen Zusammenhängen scheint eine 7-Symmetrie möglich zu sein. Dies ergäbe eine weitere Gruppe von (einfachen) Teilchen, was – erst einmal – nicht auszuschließen ist, und würde, bei einer Überschneidung, 14 weitere Raumdimensionen erfordern. Man hätte Teilchen in insgesamt 23 Dimensionen.

32.2 Wechselwirkungsteilchen (Bosonen)

32.2.1 Ungeladene Bosonen

Tabelle der ungeladenen Bosonen bei einer 1- + 3-Symmetrie

	Sym- bol	Elektr. Ladung	Farbladung	Mögliche Dar- stellung	N	Dimensionen
1.	γ	$3(c_0, c_0^-)$	0	(e^+, e^-)	1	3, (D_0, F_e)
2.	$\delta_{(i)}$	$2(c_0, c_0^-)$	c_i, c_i^-	(u_i, u_i^-)	3	5, (D_0, F_e, F_i)
3.	$\varepsilon_{(k)}$	$1(c_0, c_0^-)$	c_i, c_j, c_i^-, c_j^-	(d_k, d_k^-)	3	7, (D_0, F_e, F_i, F_j)
4.	ζ	0	$c_i, c_j, c_k, c_i^-, c_j^-, c_k^-$	(v, v^-)	1	7, (D_0, F_i, F_j, F_k)

Mit $i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k$. N ist die Anzahl der unterschiedlichen Teilchen. Insgesamt gibt es also acht verschiedene ungeladene Bosonen.

Die Teilung der virtuellen Eigenschaften e^+ bzw. e^- eines Photons γ ergibt zwangsläufig bei einer 1-Symmetrie plus einer 3-Symmetrie weitere Teilchen, neuartige Bosonen. Neben ungeladenen Bosonen gibt es hierbei auch geladene. Bei den ungeladenen sind demzufolge die „inneren“ Ladungen symmetrisch in Ladung und Anti-Ladung, somit virtuell (zur Ruhenergie s.u.). Mit ihrer Energie ist ihre Schwingung über $E = h \cdot \nu$ verbunden, die eine Brechung der Symmetrie bewirkt und somit die Wechselwirkung mit „geladenen“ Teilchen ermöglicht. Außerdem sind Teilchen und Antiteilchen bis auf eine Phasenverschiebung des Torsionswinkels und somit einem Drehwinkel von 180° bzw. π (wegen Spin =1) identisch (allgemeiner: um den Winkel $\pi/|T|$, Torsion $T = \pm 1, \pm 2, \dots$, das entspricht einer Phasenverschiebung um diesen Winkel; ist eine Phasenverschiebung irrelevant, sind Teilchen und Antiteilchen nicht unterscheidbar, also gleich).

Das geometrische Modell der weiteren Bosonen ist ein Torus wie beim Photon, allerdings befindet er sich in weiteren Dimensionen, fünf oder sieben, gemäß der Ladungsflächen. Es gibt hier neben γ drei weitere Typen bezüglich der elektrischen Ladung, die in alphabetischer Folge als δ , ε und ζ bezeichnet werden:

Für das Zeta-Boson ζ bietet sich wegen des Inhaltes der vollständigen Farbladungen und sonst keiner anderen Ladungen die Bezeichnung „Coloron“ an. Es ist das Teilchen der reinen Farb-Wechselwirkung. Es könnte mit dem Pomeron identisch sein (s. z.B. Im Herzen der Materie, Der Elektron-Proton-Beschleuniger HERA und die „wee“-Partonen, Allen Caldwell und Günter Grindhammer, in: Physik Journal 6 (2007) Nr. 11).

Die sechs Teilchen $\delta_{(i)}$ und $\varepsilon_{(i)}$ mit – intern – elektrischer und farblicher Ladungen (deshalb die Klammern) können aus dem nur elektrische Ladungen enthaltenden Photon γ und dem keine elektrischen aber alle drei Farbladungen enthaltenden Zeta-Boson ζ „gemischt“ werden:

$$2\gamma + \zeta = \delta_{(1)}(2c_0, 2c^{-}_0, c_1, c^{-}_1) + \delta_{(2)}(2c_0, 2c^{-}_0, c_2, c^{-}_2) + \delta_{(3)}(2c_0, 2c^{-}_0, c_3, c^{-}_3)$$

und

$$\gamma + 2\zeta = \varepsilon_{(3)}(c_0, c^{-}_0, c_1, c_2, c^{-}_1, c^{-}_2) + \varepsilon_{(2)}(c_0, c^{-}_0, c_1, c_3, c^{-}_1, c^{-}_3) + \varepsilon_{(1)}(c_0, c^{-}_0, c_2, c_3, c^{-}_2, c^{-}_3).$$

Die Kombination der beiden gemischte Ladungen enthaltenden Bosonen $\delta_{(i)}$ und $\varepsilon_{(i)}$ ist

$$\gamma + \zeta = \delta_{(i)} + \varepsilon_{(i)} : (3c_0, 3c^{-}_0; c_1, c_2, c_3, c^{-}_1, c^{-}_2, c^{-}_3), \text{ für jedes } i.$$

Dafür gibt es auch die Darstellung $(e^+, v^-) + (e^-, v^+)$, ein elektrisch geladenes Boson und sein Antiteilchen. Formal ist auch $(e^+, v^+) + (e^-, v^-)$ als zwei einfache Teilchen möglich, wobei jeweils zwei gleiche Eigenschaften e^+ bzw. e^- , allerdings in verschiedenen Dimensionen, vereint wären.

Alle Bosonen mit der (effektiven) Gesamtladung 0, die also in Ladung und Anti-Ladung symmetrisch aufgebaut sind, unterscheiden sich von ihren Anti-Teilchen um die Drehung ihres Torus um den Winkel π/T (Torsion $T = \pm 1, \pm 2, \dots$), das entspricht einer Phasenverschiebung um diesen Winkel.

Ist eine Phasenverschiebung irrelevant, sind Teilchen und Antiteilchen nicht unterscheidbar, also gleich.

Die Ruhenergie der Bosonen γ und ζ verschwindet, da sie vollständige Ladungssysteme beinhalten. Deshalb bewegen sie sich mit einer Grenzgeschwindigkeit. Das Photon liegt mit seiner minimalen Anzahl von drei Raum-Dimensionen vollständig im Beobachterraum und ist daher darin das grundlegende Boson. Seine Geschwindigkeit c erscheint deshalb universell, z.B. als Grenzgeschwindigkeit der Mechanik (und somit auch der Gravitation). Das Coloron mit seinen sieben Raum-Dimensionen ist wesentlich komplexer und besitzt hingegen nur eine Dimension im Beobachterraum. Das Photon γ und das Coloron ζ vermitteln unterschiedliche Wechselwirkungen zwischen den entsprechenden Fermionen (Positron/Elektron bzw. Neutrino/Antineutrino, s.u.), stellen grundverschiedene Felder dar, und ihre

Räume können sich maximal in einer Dimension schneiden. Es ist deshalb vorstellbar, dass die Geschwindigkeit der Coloronen sich von der der Photonen unterscheidet, und zwar wegen der geringeren „Verwurzelung“ im Beobachterraum größer ist. Dann ist auch die Grenzgeschwindigkeit der Neutrinos c_{Coloron} größer als die des Photons $c=c_{\text{Photon}}$. Die „gemischten“ Bosonen $\delta_{(i)}$, $\epsilon_{(k)}$ haben zwar keine effektive Ladung, aber auch keine vollständigen Ladungssysteme, weshalb sie eine Ruhenergie, wenn auch verschwindend klein, besitzen. Sie bewegen sich nahezu mit der Grenzgeschwindigkeit c_{Photon} .

Grundlegend sind die Grenzgeschwindigkeiten dadurch definiert, dass der raum-zeitliche Abstand der Wechselwirkungsteilchen verschwindet: $|\Delta x, c\Delta t| = 0$, bei einer geeigneten Mittelung über die Unschärfen. Die Messungen erfolgen allerdings wegen der viel höher erreichbaren Genauigkeit auf anderer Grundlage.

32.2.2 Geladene Bosonen

Tabelle der geladenen Bosonen bei einer 1- + 3-Symmetrie

	Symbol	Elektr. Ladung	Farbladung	Effektive Ladung	Mögliche Darstellung	N	Dim
5.	B^{000}_{00i}	$3c_0, 2c^-_0$	c^-_i	c_0, c^-_i	(e^+, u^-_i)	3	5
6.	B^{000}_{0ji}	$3c_0, c^-_0$	c^-_i, c^-_j	$2c_0, c^-_i, c^-_j \rightarrow 2c_0, c_k$	(e^+, d_k)	3	7
7.	B^{000}_{123}	$3c_0$	c^-_1, c^-_2, c^-_3	$3c_0 = e^+$	(e^+, ν^-)	1	9
8.	B^{00i}_{00j}	$2c_0, 2c^-_0$	c_i, c^-_j	c_i, c^-_j	(u_i, u^-_j)	6	7
9.	B^{00i}_{0jk}	$2c_0, c^-_0$	c_i, c^-_j, c^-_k	$c_0, 2c_i$	(u_i, d_i)	3	9
10.	B^{00i}_{0ij}	$2c_0, c^-_0$	c_i, c^-_i, c^-_j	$c_0, c_i, c_k \rightarrow c_0, c^-_j$	(u_i, d_k)	6	7
11.	B^{00i}_{123}	$2c_0$	c_i, c^-_1, c^-_2, c^-_3	$2c_0, c_i$	(u_i, ν^-)	3	9
12.	B^{0ij}_{0jk}	c_0, c^-_0	c_i, c_j, c^-_j, c^-_k	c_i, c^-_k	(d_i, d^-_k)	6	9
13.	B^{0ij}_{123}	c_0	$c_i, c_j, c^-_1, c^-_2, c^-_3$	c_0, c^-_k	(d^-_k, ν^-)	3	9

Bei den geladenen Bosonen müssen sich die beiden Halbräume mit e^+ bzw. e^- in unterschiedlichen Dimensionen (d.h. Ladungsflächen) befinden. Dazu werden die Symbole B^{ijk}_{lmn} , mit $i, j, k, l, m, n = 0, 1, 2, 3$ (plus Einschränkungen) eingeführt. In allen Indizes besteht Symmetrie. Für $i, j, k, l = 1, 2, 3$ muss $i \neq j \neq k$ sein, d.h. Teilchen mit doppelter Farbladung werden ausgeschlossen.

Die oberen Indizes stehen für die e_i^+ , die unteren für die e_i^- Eigenschaften. So gilt für Boson und Anti-Boson $(B^{ijk}_{lmn})^- \equiv B^{-ijk}_{lmn} = B^{lmn}_{ijk}$. Infolge der effektiven Ladungen ist die Ruhenergie ungleich Null, mindestens in der Größenordnung des Elektrons, abhängig von der Anzahl der Raum-Dimensionen.

Die ungeladenen Bosonen haben damit die Bezeichnungen

$$\gamma = B^{000}_{000}, \delta_{(i)} = B^{00i}_{00i}, \epsilon_{(k)} = B^{0ij}_{0ij} \text{ und } \zeta = B^{123}_{123}$$

und die u- und d-Quarks (mit reduzierten Indices bei B)

$$u_i = B^{00i}, \bar{d}_i = B^{0jk}$$

$$u_i^- = B^{00i}, \bar{d}_i = B^{0jk},$$

– bei den d-Quarks eine Invertierung, wie beim Elektron, orientiert an der Zusammensetzung der – unserer – stofflichen Materie.

Im Einzelnen gibt es die in der Tabelle oben aufgeführten Bosonen, plus deren Antiteilchen.

Die meisten dieser Bosonen, nämlich alle mit Dritteladungen c_0 , sind extrem kurzlebig – kürzer als eine Schwingungsdauer, quasi virtuell. Bestenfalls als längerlebig bleiben lediglich 7. B^{000}_{123} , ($N=1$, plus Antiteilchen $N=1$), 8. B^{00i}_{00j} , ($N=3$, plus Antiteilchen), und 12. B^{0ij}_{0jk} , ($N=3$, plus Antiteilchen), die deshalb eine besondere Rolle spielen (siehe unten).

Bei allen dieser Teilchen ist durch „Mischung“ eine ganze Reihe von Darstellungen, letztlich deren Umwandlungen, möglich. Z.B. für 12. B^{0ij}_{0jk} :

$$B^{013}_{012} + B^{012}_{023} + B^{023}_{013}: (e^+, e^-) + 2(c_1, c_2, c_3, c^{-1}, c^{-2}, c^{-3}): (\gamma + 2\zeta),$$

ebenso für deren Antiteilchen:

$$B^{012}_{013} + B^{023}_{012} + B^{013}_{023}: (e^+, e^-) + 2(c_1, c_2, c_3, c^{-1}, c^{-2}, c^{-3}): (\gamma + 2\zeta).$$

In diesem Fall, wie bei allen Teilchen in 9 Dimensionen, sind bei Umwandlungen eine weitere, also 10 Dimensionen, zur Spaltung des Torus notwendig (oder mehr?). Die Erörterung der dabei bestehenden Voraussetzungen würde den Rahmen der „Grundbegriffe“ überschreiten.

Schließlich sei noch die bereits oben angegebene Mischung ungeladener Bosonen in dieser Schreibweise angeführt (betreffend 9.):

$$\delta_{(i)} + \epsilon_{(i)} \Rightarrow B^{00i}_{0jk} + B^{-00i}_{0jk} \Rightarrow B^{000,ijk} + B^{-000,ijk} \Rightarrow \gamma + \zeta,$$

wobei die sechs Indizes oben oder unten bedeuten, dass die Eigenschaften $2e^+$ bzw. $2e^-$ sind, d.h. es wären ausgesprochen kurzlebige, absonderliche Teilchen in doppelten Halbräumen mit den möglichen Darstellungen $B^{000,123}: (e^+, \nu^+)$ bzw. $B^{-000,123}: (e^-, \nu^-)$; (der Pfeil „ \Rightarrow “ bedeutet „Umwandlung“; man denke auch an • 36 [neu]).

Man erkennt, dass alle hier aufgeführten Bosonen durch farbneutrale Mischungen aus dem Photon γ und dem Coloron ζ dargestellt werden können.

Dabei wird deutlich, dass durch die Aufspaltung geladener Bosonen keine anderen Leptonen entstehen können als bei der Aufspaltung der ungeladenen Bosonen. Letztlich gilt: Alle Bosonen der elektrischen und der Farb-Wechselwirkungen können durch Umwandlung von Photonen γ und Coloronen ζ entstehen, und damit alle anderen elementaren und zusammengesetzten Teilchen. Es ist hierbei ungeklärt, ob und, wenn ja, wie bei hocheenergetischen Prozessen sich diese beiden fundamentalen Teilchen γ & ζ ineinander umwandeln können. Davon wird hier ausgegangen, zumal Experimente dies nahelegen (z.B. der mögliche Zerfall eines Positroniums in ν^+ und ν^- ; aber auch, wenn Positronen und Elektronen mit genügend hoher Energie aufeinander treffen, entstehen Mesonen (zusammengesetzte Teilchen), die die Ladungsstruktur $B^{000,123}$ und $B_{000,123}$ besitzen, also die beiden ρ^\pm -Mesonen, s.u.). Im geometrischen Modell bedeutet eine solche Umwandlung die Drehung der Toroide in andere Ladungsflächen – unter Beibehaltung der Hauptachse, d.h. auch des Impulses und des Spins. Dabei ist unklar, ob dies spontan oder – vermutlich – nur bei Stößen (siehe • 34 [neu]) mit anderen Photonen bzw. Coloronen möglich ist. Die Umwandlung $\gamma \Rightarrow \zeta$ macht sicherlich die Einbettung in einem 9-dimensionalen Raum erforderlich, im Beobachterraum hingegen kann $\zeta \Rightarrow \gamma$ wegen der einfacheren Raumstruktur vermutlich spontan erfolgen.

Sind Photonen und – sicherlich – Coloronen die „Urteilchen“ bei der Entstehung des Kosmos, so folgt daraus dessen Ladungsneutralität.

Bei höheren Energien der Prozesse treten nicht nur Teilchen der 1. Familie/Generation, sondern auch die 2., 3., eventuell noch höhere, auf. Dann wären Umwandlungen unter Teilchen verschiedener Generationen möglich, beispielsweise $e^- + \nu_\mu \Leftrightarrow \mu^- + \nu_e$ (s. • 34 [neu]), bei elektrischer Ladung, und $d_i + b_i^- \Leftrightarrow d_i^- + b_i$, bei Farbladungen und einem „schwereren“ b_i -Quark.

Die Problematik der geladenen Bosonen, der sich in unterschiedlichen Ladungsflächen befindlichen Halbräume, kann auch anders dargestellt werden. Nämlich dadurch, dass es Teilchen gibt, die Konglomerate sind aus zwei Spin- $1/2$ -Teilchen, also aus Leptonen. Schließlich stellen solche Konglomerate mit inneren elektrischen- und Farbladungen (ohne effektiver Farbladung) Mesonen dar; in zwei Zuständen, mit parallelem oder antiparallelem Spin.

32.3 Die „gespaltenen“ ungeladenen Bosonen – die Fermionen

Zwischendurch sollen die Fermionen eingeführt werden, die in der obigen Tabelle in der Spalte „Mögliche Darstellung“ aufgeführt sind. Die Bosonen werden derart „gespalten“, dass die drei Eigenschaften e^+_i oder e^-_i , $i=1,2,3$, sind; die beiden „Spaltprodukte“ entstehen also jeweils aus einem Halbraum e^+ bzw. e^- . Neben den bereits eingeführten Elektronen/Positronen können aus e^+ die sog. u-Quarks entstehen, mit der Darstellung

$$u_i : (2c_0, c_i), \text{ mit } \{u_i\} : \frac{2}{3}e^+ + \{c_i\}$$

in fünf Dimensionen oder die d-Quarks

$d_i^- : (c^+, c_j^+, c_k^+)$, mit $\{d_i^-\} = \{c^+, c_j^+, c_k^+\} = \frac{1}{3}e^+ + \{c_i^-\}$, $i \neq j \neq k$,
in sieben Dimensionen. Entsprechend können aus e^- die Quarks u^- oder d^-
entstehen. Die Darstellung für die d-Quarks steht im Gegensatz zur derzeit
üblichen der Quantenchromodynamik (die mit der hier üblichen Bezeich-
nung $d_i : (c^-, c_i)$ wäre), gemäß der effektiven Farb-Ladung von d_i . Entspre-
chend einer höheren Anzahl der Raumdimensionen ist die Ruhenergie der
Quarks größer:

Positron & Elektron $\approx 0,51$ MeV, $u \approx 2,4$ MeV, $d \approx 4,8$ MeV.

Letztendlich kann das Coloron in ein Neutrino plus ein Antineutrino auf-
spalten. Die Darstellungen sind

$v : (c_1, c_2, c_3)$ und $v^- : (c^-_1, c^-_2, c^-_3)$, mit $\{v^\pm\} = 0$.

Die Neutrinos v^\pm haben abgeschlossene Farb-Ladungssysteme. Das Neu-
trino/Antineutrino hat ebenso wie das Coloron sieben Dimensionen, und
ebenfalls nur eine Dimension im Beobachterraum. Von der Anzahl der Di-
mensionen her gesehen müsste die Ruhenergie etwa so groß sein wie die des
d-Quarks. Da es keine effektive Ladung besitzt und „innerhalb“ seiner
Raum-Zeit keine Wechselwirkung existiert, hat es eine verschwindend ge-
ringe Ruhenergie. Man könnte sagen: Die Ruhenergie eines Neutrinos geht
gegen Null, ist aber nicht Null. Sie ist nach bisherigen Messungen kleiner
als 2 eV. Dies führt zu einer entsprechend kleinen Schwingungsfrequenz (im
Ruhsystem), also einer extrem großen Schwingungsdauer und zu einem
seltenen Ladungsaustausch mit den Coloronen, klassisch gesprochen zu
einem extrem schwachen Feld der (abgeschlossenen) Farbladungen. Die
geringe Wechselwirkung mit Quarks ist – im Gegensatz zu dem in • 31 Neu-
trino dargestellten – alleine auf die Farbneutralität zurückzuführen.

Neutrino und Antineutrino können eine schwache Bindung, das heißt ext-
rem kurzzeitig, eingehen, ein Neutrinium bilden. Die Energie der Neutrinos
kann sehr groß sein, obwohl deren Ruhenergie verschwindend klein ist.

Diese Darstellung der Neutrinos ist gegenüber der der derzeitigen Chrom-
odynamik geradezu „verrückt“. Dort beinhalten die Neutrinos keine Far-
bladungen, da die effektive Farbladung Null ist; deren Wechselwirkung wird
dort durch „massive“ Eichbosonen beschrieben, den Z^0 - und W^\pm -Bosonen.

32.4 Stärke der Wechselwirkungen

Als Grundlage zur Bestimmung der Lebenszeit freier Teilchen kann aus
der grundlegenden Beziehung $E \otimes t = h$ die Formel $E_0 \Delta T = h$ abgeleitet
werden (s.o.), hier ohne Unschärfen geschrieben (die in der Experimental-
physik zur Bestimmung der Ruhenergie zusammengesetzter Teilchen heran-
gezogen wird, da man die Lebensdauer gut messen kann). Für freie Teilchen
mit nahezu verschwindender Ruhenergie ist demzufolge die Lebensdauer
unbegrenzt – bis es nicht mehr frei ist, d.h. eine Wechselwirkung erfolgt.
Für ein einfaches Teilchen mit Ruhenergie ist die Lebensdauer begrenzt,
solange es frei ist, d.h. keiner Wechselwirkung unterliegt. Beim Elektron ist
 $v_0 \approx 0,1236 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}$, also etwa $\Delta T_e \approx 8,1 \cdot 10^{-21} \text{ s}$. Ein stabiles Elektron

kann demzufolge im strengen Sinne nicht frei sein, die Wechselwirkung mit seinem Feld ist zwingend notwendig. Kann es mit seinem Antiteilchen in Wechselwirkung treten, zerfällt es in dieser Zeit (die Lebensdauer des Positroniums ist wegen des Bindungszustandes, verknüpft u.a. mit einem Bahndrehimpuls, wesentlich länger – rund zehn Größenordnungen). Wie bereits im Abschnitt • 29 über das Elektron beschrieben, muss es in dieser Zeit ein (virtuelles) Photon absorbieren und emittieren. Analog müssen andere Teilchen in ihrer (Lebens)-Zeit ΔT ein Feldteilchen aufnehmen und wieder aussenden. Diese Zeit ist umso kürzer, je größer die Ruhenergie ist, umso stärker ist also die Wechselwirkung (für Teilchen einer Familie).

Die Stärke der Wechselwirkung der ungeladenen Bosonen ist in den Eigenschaften, d.h in den elektrischen- und den Farbladungen, bei gleicher Anzahl der Raumdimensionen in etwa gleich.

Die Wahrscheinlichkeit der Umwandlung (farb)ungeladener in (farb)geladene Bosonen ist viel größer als die umgekehrte Reaktion. Denn die Stärke der Wechselwirkung der geladenen Bosonen untereinander ist auf Grund ihrer wesentlich größeren Ruhenergie viel größer.

Das bedeutet aber auch, dass in Quark-Konglomeraten die Wechselwirkung hauptsächlich durch geladene Bosonen erfolgt (wobei jedoch auch farbneutrale Gluonen entstehen, siehe • 32.6). Da andererseits die Lebensdauer dieser Bosonen begrenzt und ihre Geschwindigkeit endlich (unter c) ist, ist die „Reichweite“ der Wechselwirkung begrenzt. Ein Quark-Konglomerat besitzt eine – eng – begrenzte räumliche Ausdehnung, insbesondere im Beobachterraum (abhängig von der Anzahl der Quarks).

Ein anderes Problem der Farb-Wechselwirkung ist die Eigenschaft $r+g+b=0$, dass alle drei Ladungen zusammen sich „aufheben“, sie sozusagen „gekoppelt“ sind. Infolge ihrer engen „Nähe“ nehmen sie einen Raum mit minimaler Anzahl an Dimensionen ein, die drei Ladungsflächen plus eine gemeinsame dritte Dimension, welche die Orientierung der Spins bzw. der Torushauptachsen gibt. Als „Zusatzdimensionen“ zum Beobachterraum ergeben so die Farbladungen zusammen keine weitere „neue“ Ladung.

Summa summarum ergibt sich daraus, dass die Wechselwirkung, klassisch gesprochen die Kraft, zwischen Farbladung c_i und der zugehörigen Antiladung $c_{\bar{i}}$ wesentlich schwächer ist als zwischen c_i und c_j+c_k (s.u.). Dies hat grundlegende Bedeutung bei der Entstehung der Asymmetrie der Welt (s. • 37).

In einem Einbettungs-Raum mit je drei Dimensionen für jede Ladung ohne Überschneidung gilt für deren Vereinigung $\{c_1+c_2+c_3\} = \{c_1\}+\{c_2\}+\{c_3\} = r+g+b \neq 0$. Zusammen mit der (geteilten oder ungeteilten) elektrischen Ladung $\{e\} = e$ wäre dafür ein Raum mit zwölf Dimensionen erforderlich.

32.5 Zuordnung der Bosonen zu den Gluonen

Hier gibt es gegenüber der gebräuchlichen Darstellung eher formale Abweichungen, außerdem wird hier wegen einer übersichtlicheren Schreibweise für die Gluonen das Symbol G , und nicht wie üblich g verwendet, was die Vergleichbarkeit nicht weiter erschwert (man verwendet g in Anlehnung an γ). Es ist dann

$$G_{ii}-(u,u^-) \equiv \delta_{(i)}, \text{ und } G_{ii}-(d,d^-) \equiv \varepsilon_{(i)}.$$

Jedes dieser drei Gluonen ist sein Antiteilchen. In der Chromodynamik verwendet man eine „Mischung“ dieser beiden Formen, was mathematisch äquivalent ist und eher den Interpretationen der Messvorgänge entspricht.

Für die farbgeladenen, aber elektrisch neutralen Gluonen gibt es nur die Bosonen Nr. 8 und Nr. 12, und somit

$$G_{ij}^-(u_i, u_j^-) \equiv B^{00i_{0jk}} \text{ und } G_{ij}^-(d_i, d_j^-) \equiv B^{0ik_{0jk}}$$

(siehe Darstellung der d_i, d_j^- !). Die Vertauschung der Indices dieser jeweils drei Gluonen ergeben die Antiteilchen. Wegen einer Abhängigkeit, s.o., gibt es nicht neun, sondern acht unabhängige Bosonen.

Da W-Bosonen keine zusammengesetzten Teilchen sind, kämen nur die Bosonen Nr. 7 in Betracht. Das ist jedoch falsch, wie der Zerfall der W-Bosonen zeigt. Sie können nur die oben angegebenen exotischen Teilchen sein, die aus einer Mischung von

$$\delta_{(i)} + \varepsilon_{(i)} \Rightarrow B^{00i_{0jk}} + B^{-00i_{0jk}} \Rightarrow B^{000,123} + B^{-000,123} = W^+ + W^-$$

entstehen. Nur diese extrem kurzlebigen Teilchen können die beobachteten Zerfälle

$$W^+ \Rightarrow e^+ + \nu^+ \text{ und } W^- \Rightarrow e^- + \bar{\nu}^-$$

haben. Für die in der Tabelle aufgeführten Bosonen werden modifizierte W-Bosonen eingeführt, die hier mit Π bezeichnet werden:

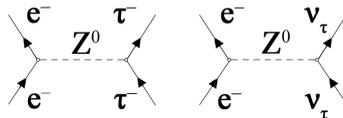
$$\Pi^+ \equiv B^{000_{123}} \text{ und } \Pi^- \equiv B^{123_{000}},$$

die die Zerfälle

$$\Pi^+ \Rightarrow e^+ + \nu^- \text{ und } \Pi^- \Rightarrow e^- + \bar{\nu}^+$$

zeigen müssten. Solche Bosonen sind jedoch (vermutlich) noch nicht beobachtet worden.

Das elektrisch neutrale Boson Z^0 wird aus den Wechselwirkungen der sog.



neutralen Ströme abgeleitet. Links auf der Abbildung wird die Streuung eines Elektrons mit einem Tauon dargestellt (das Tauon ist der „überschwere“ Bruder des Elektrons, s. u.). Rechts auf der Abbildung ist die Streuung eines Elektrons mit einem (Tau)-Neutrino dargestellt.

Die zuletzt genannten Wechselwirkungen vermittelt der W- und Z-Bosonen werden hier anders interpretiert, (siehe • 34 [neu]).

32.6 Wechselwirkung der Quarks mit Bosonen (Gluonen)

Wie bereits im Abschnitt • 29 über Elektronen näher beschrieben, ist die endliche Zeit Δt eines Teilchens die tiefere Ursache der Wechselwirkung mit den Bosonen, der eigentliche Grund der Existenz der Felder geladener Teilchen. Pro Zeitintervall $\Delta t \approx \hbar/E$ wird ein Feldquant emittiert und eines absorbiert. Bei einem Wechsel der Farbladung ist – ungeachtet der Richtung der Spins des Quarks und des Gluons – bei einem u-Quark

$$u_i + G_{ji}^-(u_j, u_i^-) : c_i + c_i^- + c_j + 2c_0 + (2c_0 + 2c_0^-) \leftrightarrow u_j + G_{ii}^-(u_i, u_i^-)$$

und bei einem d-Quark,

$$d_i + G_{ji}^-(d_j, d_i^-) : (c_j^- + c_k^-) + (c_i^- + c_k^- + c_j + c_k) + c_0^- + (c_0 + c_0^-) \leftrightarrow d_j + G_{ii}^-(d_i, d_i^-),$$

wobei beide Richtungen der Reaktion möglich sind, wie der Doppelpfeil „ \leftrightarrow “ markiert (hier kann $i = j$ sein, quasi die elementare Wechselwirkung). Außerdem gibt es die Wechselwirkung der elektrischen Ladung (hier mit c_0^\pm markiert).

Einzelne Gluonen können die Wechselwirkung zwischen u- und d-Quarks alleine nicht bringen, es gibt jedoch die Reaktionen.:

$$d_i + G_{ii}^-(u, u^-) \Rightarrow e^- + (c_1^-, c_2^-, c_3^-) + 2c_0 + c_i \Rightarrow e^- + v^- + u_i,$$

$$d_i^- + G_{ii}^-(u, u^-) \Rightarrow e^+ + (c_1, c_2, c_3) + 2c_0^- + c_i^- \Rightarrow e^+ + v + u_i^-,$$

$$u_i + G_{ii}^-(d, d^-) \Rightarrow e^+ + (c_1, c_2, c_3) + c_0^- + (c_j^-, c_k^-) \Rightarrow e^+ + v + d_i,$$

$$u_i^- + G_{ii}^-(d, d^-) \Rightarrow e^- + (c_1^-, c_2^-, c_3^-) + c_0^+ + (c_j, c_k) \Rightarrow e^- + v^- + d_i^-.$$

Auch die gemischtfarbigen Gluonen haben solche Reaktionen, z.B.:

$$d_i + G_{ji}^-(u, u^-) \Rightarrow e^- + (c_1^-, c_2^-, c_3^-) + \frac{2}{3}e^+ + c_j \Rightarrow e^- + v^- + u_j,$$

$$d_i^- + G_{ji}^-(u, u^-) \Rightarrow e^+ + (c_1, c_2, c_3) + 2c_0^- + c_j^- \Rightarrow e^+ + v + u_j^-,$$

$$u_i + G_{ji}^-(d, d^-) \Rightarrow e^+ + (c_1, c_2, c_3) + c_0^- + (c_i^-, c_k^-) \Rightarrow e^+ + v + d_j,$$

$$u_i^- + G_{ji}^-(d, d^-) \Rightarrow e^- + (c_1^-, c_2^-, c_3^-) + c_0^+ + (c_i, c_k) \Rightarrow e^- + v^- + d_j^-.$$

Einzelne Gluonen können d- in u-Quarks und umgekehrt verwandeln, jedoch nur unter zusätzlicher Bildung eines Positrons/Elektrons und eines Neutrinos/Antineutrinos.

Es gibt jedoch die Doppel-Reaktionen

$$u_i + d_j + G_{ji}^-(u_j, u_i^-) + G_{ij}^-(d_i, d_j^-) \Leftrightarrow$$

$$u_j + d_i + G_{ii}^-(u_i, u_i^-) + G_{jj}^-(d_j, d_j^-),$$

und

$$u_i + d_j^- + G_{ji}^-(u_j, u_i^-) + G_{ij}^-(d_i, d_j^-) \Leftrightarrow$$

$$u_j + d_i^- + G_{ii}^-(u_i, u_i^-) + G_{jj}^-(d_j, d_j^-),$$

sowie deren ladungskonjugierte Relationen. Diese Reaktionen sind in Quarkkonglomeraten bedeutsam; sie beschreiben die Wechselwirkung zwischen u- und d-Quarks – sie vertauschen ihre Farbladungen. Die Spins der Quarks ändern sich hierbei nicht.

Ist der Raum eines Photons innerhalb des Raumes eines Quarks, gleichbedeutend damit, dass die Energie des Photons hoch genug ist, so kann sich offensichtlich dessen dreidimensionaler Raum in die höheren Dimensionen des Quarks „aufweiten“. Das bedeutet nichts anderes als eine Umwandlung des Photons γ in ein Boson $\delta_{(i)}$ oder $\varepsilon_{(k)}$, d.h. in ein Gluon $G_{ii}(u,u^-)$ bzw. $G_{ii}(d,d^-)$. Auf diese Weise kann nach hiesigem Verständnis ein Photon mit einem Quark in Wechselwirkung treten. Das Photon seinerseits kann auch als sogenannte Bremsstrahlung eines in ein Quark eingedringenen Positrons/Elektrons entstehen. Das Elektron selbst kann sich innerhalb eines Quarks nicht in ein weiteres Quark „aufweiten“, da seine komplexere Raumstruktur mit zwei Torusschleifen dies nicht ermöglicht; außerdem würden so eine oder zwei singuläre Farbladungen entstehen.

32.7 Wechselwirkung der Leptonen mit Bosonen

Als typische Leptonen werden hier lediglich die Elektronen und die zugehörigen Neutrinos angeführt. Die elementaren Wechselwirkungen sind, wie bereits angeführt, $e^\pm + \gamma \rightarrow e^\pm + \gamma$ und $\nu^\pm + \zeta \rightarrow \nu^\pm + \zeta$. Ebenso wird die Compton-Streuung dargestellt, bei welcher durch einen „Stoß“ (klassisch betrachtet) Energie und Impuls vom Photon auf das Elektron/Positron – oder umgekehrt beim inversen Comptoneffekt – übertragen wird. Wie im Abschnitt • 29 Elektron/Positron erläutert, werden außerdem Photonen emittiert (sog. Bremsstrahlung), wenn die kinetische Energie des Teilchens abnimmt, oder absorbiert, wenn sie zunimmt. Entsprechend können sich bei gebundenen Elektronen die Bindungsenergien ändern. Diese Energien werden durch die Energie von Photonen $[\gamma]$, $[2\gamma]$ usw. ausgedrückt

$$e^\pm + [\gamma] \rightarrow e^\pm + \gamma \text{ (z.B. Bremsstrahlung) oder } e^\pm + \gamma \rightarrow e^\pm + [\gamma].$$

Analoges gilt bei den Neutrinos

$$\nu^\pm + [\zeta] \rightarrow \nu^\pm + \zeta \text{ (z.B. Bremsstrahlung) oder } \nu^\pm + \zeta \rightarrow \nu^\pm + [\zeta],$$

wobei die Wirkung der Coloronen ζ eventuell auch von Photonen γ übernommen werden kann. Bei den Quarks u_i und d_i sind die zugehörigen Wechselwirkungsteilchen natürlich die Gluonen $G_{ii}^-(u,u^-)$ bzw. $G_{ii}^-(d,d^-)$. Letztlich kann sich die kinetische Energie und der Impuls bei Stößen mit anderen Teilchen ändern.

Die elektrisch geladenen Bosonen Π^\pm vermitteln eine Wechselwirkung – und Umwandlung – zwischen beiden Leptonen

$$e^\pm + \Pi^\mp \rightleftharpoons \nu^\pm + \gamma, \quad \nu^\pm + \Pi^\pm \rightleftharpoons e^\pm + \zeta \rightarrow e^\pm + \gamma.$$

Die „Paarvernichtung“ von Elektron und Positron im gebundenen Zustand, ist im Falle paralleler Spins (einem Ortho-Positronium, mit $t_m \approx 1,386 \cdot 10^{-7}s$ aus dem Grundzustand) im hiesigen Modell einfach

$$e^+ + e^- + [2\gamma] \Rightarrow 3\gamma,$$

wobei die beiden zusätzlichen Photonen wegen Impuls-, Drehimpuls- und Ladungserhaltung notwendig sind. Die umgekehrte Reaktion ist auch mit einem Photon möglich, wenn ein anderes Teilchen, etwa ein Proton oder ein Neutron, zur Impuls- und Energieerhaltung durch einen Stoß mit wechsel-

wirkt

$$\gamma + (p/n) \Rightarrow e^+ + e^- + (p/n).$$

Im Falle antiparalleler Spins (einem Para-Positronium, mit $t_m \approx 1,244 \cdot 10^{-10}$ s aus dem Grundzustand) ist

$$e^+ + e^- + [\gamma] \Rightarrow 2\gamma, \text{ plus h\"ohere Ordnungen mit } 4\gamma \text{ u.a.}$$

Beim Positronium wird au\sserdem Bahndrehimpuls in Spin umgewandelt.

Nach hiesigem Modell w\are noch mit den Π -Bosonen, mit beispielhafter Wahl der Spins,

$$e^+\uparrow + \Pi^-\uparrow + e^-\downarrow + \Pi^+\downarrow \Leftrightarrow \nu^+\uparrow + \nu^-\downarrow + \gamma\uparrow + \gamma\downarrow$$

m\"oglich.

Es k\"onnen sich auch ungebundene Elektronen und Positronen bei einem „Sto\ss“ in ein Photon bzw. Photonen umwandeln. Prinzipiell gilt jedoch: Beide Teilchen e^+ & e^- m\"ussen gleiche Torsion bzw. Spiralit\"at haben.

32.8 Farbneutrale Konglomerate aus zwei Quarks – die Mesonen

Tabelle der Mesonen

Teilchen	Ladungen	m_0 [MeV/ c^2]	t_m [s]	Zerfall in	Spin
$\pi^+(u,d^-)$	$3c_0; c_1, c_2, c_3$	139,57	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ + \nu_\mu$	0
$\pi^-(u^-,d)$	$3c_0^-; c_1^-, c_2^-, c_3^-$	139,57	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^- + \nu_{\mu^-}$	0
$\pi^0_{uu^-(u_i\uparrow, u_i^-\downarrow)}$	$2c_0\uparrow, 2c_0^-\downarrow; c_i\uparrow, c_i^-\downarrow$?	0
$\pi^0_{dd^-(d_i\downarrow, d_i^-\uparrow)}$	$c_0\uparrow, c_0^-\downarrow; c_j\uparrow, c_j^-\downarrow, c_k\uparrow, c_k^-\downarrow$?	0
$\pi^0 = [\pi^0_{uu^+} + \pi^0_{dd^-}]^\ddagger$	$3c_0\uparrow, 3c_0^-\downarrow; (c_1, c_2, c_3)\uparrow, (c_1^-, c_2^-, c_3^-)\downarrow$	134,97	$8,4 \cdot 10^{-17}$	$\gamma\uparrow + \gamma\downarrow$ & $e^+ + e^- + \gamma$	0
$\rho^+(u,d^-)$ od. $\rho^-(u^-,d)$	wie π^+ bzw. π^-	770	$4,5 \cdot 10^{-24}$		1
ρ_0	wie π^0	775	$4,5 \cdot 10^{-24}$		1

‡ Ein sonst \u00fcblicher Normierungsfaktor ist hier weggelassen

Der Vollst\"andigkeit halber wird auf die Mesonen hingewiesen. Sie sind „farbneutral“, k\"onnen eine effektive elektrische Ladung besitzen und haben einen Gesamtspin 0 oder 1, je nach Orientierung der Spins der Konstituenten (s. Tabelle).

Zur abgeschlossenen Farbneutralit\"at (c_1, c_2, c_3) oder (c_1^-, c_2^-, c_3^-) bildet sich eine Mischung der beiden Arten $\pi^0(u_i\uparrow, u_i^-\downarrow)$ und $\pi^0(d_i\downarrow, d_i^-\uparrow)$, die sogar zu

einer vollständigen Farbladung führt und somit wesentlich schneller als π^\pm zerfällt; π^\pm u.a in Neutrinos und π^0 sogar zu Photonen/Coloronen \Rightarrow Photonen. Alle Mesonen benötigen somit neun Raumdimensionen. Auf Grund der abgeschlossenen – nicht notwendig vollständigen – Farbladung können sie den Raum eines Protons/Neutrons verlassen und so zur Wechselwirkung zwischen diesen beitragen – als sogenannte Kernkräfte.

In einem Meson existieren natürlich Wechselwirkungen der Quarks. Was für ein Teilchen kann z.B. aus einem π^0_{uu} -Meson in Wechselwirkung mit einem G_{dd} -Gluon entstehen? Es könnte

$$\pi^0_{uu}-(u_i\uparrow, u_i\downarrow) + G_{ii}-(d_i, d_i) \Leftrightarrow \pi^0_{dd}-(d_i\uparrow, d_i\downarrow) + G_{ii}-(u_i, u_i)$$

sein. Die u- und die d-Formen von π^0 können sich bei Wechselwirkung mit Gluonen ineinander umwandeln. Dies rechtfertigt, π^0 als Überlagerung beider Formen anzusehen.

Die geladenen Pionen können paarweise aus Gluonen entstehen, beispielsweise

$$G_{ij}-(u_i, u_j) + G_{ji}-(d_i, d_j) \Leftrightarrow \pi^+(u_i, d_i) + \pi^-(d_j, u_j)$$

und die geladenen Pionen die Mischform

$$\pi^+(u_i, d_i) + \pi^-(d_j, u_j) \rightarrow \pi^0$$

bilden.

Pionen können einzeln unter Beteiligung eines Quarks entstehen:

$$G_{ii}-(u_i, u_i) + d_i \Leftrightarrow \pi^-(d_i, u_i) + u_i,$$

$$G_{ii}-(d_i, d_i) + u_i \Leftrightarrow \pi^+(u_i, d_i) + d_i.$$

Durch Ladungskonjugation erhält man zwei weitere Beziehungen. Neben der Umwandlung der Quarks wird auch deren Spin und Spiralität umgekehrt. Diese Reaktionen sind in den Atomkernen grundlegend, sie stellen die weiterreichenden Kernkräfte dar.

Es ist noch zu bemerken, dass die Pionen die gleiche Ladungsstruktur wie die schweren (Pseudo-)Bosonen W^\pm, Z^0 haben, z.B. $B^{000,123}$ und $B_{000,123}$, für W^+ bzw. W^- . Der Unterschied besteht in ihrem Spin.

32.9 Farbneutrale Konglomerate aus drei Quarks – die Baryonen

Es gibt Baryonen mit Spin 1/2 und mit 3/2, je nach Ausrichtung der Spins der drei Konstituentenquarks; ein Spin antiparallel – infolge der Wechselwirkung der Quarks wird das Quark mit antiparallelem Spin ständig gewechselt – oder alle Spins parallel, wobei letzteres einer größeren Ruhenergie entspricht. Es werden hier nur die Fälle mit den beiden Quarks u und d der ersten Familie betrachtet. Die drei Quarks müssen sich in ihrer (effektiven) Farbladung unterscheiden.

In der Tabelle unten sind die vier möglichen Dreierkombinationen der beiden Quarks angegeben, ebenso einige Eigenschaften speziell für Spin 1/2-Teilchen. Die Spin-3/2-Teilchen werden als Δ -Baryon bezeichnet, kurz Δ^{++} (uuu), Δ^+ (uud), Δ^0 (udd) und Δ^- (ddd). Zu all diesen Baryonen gibt es noch

die Anti-Baryonen mit inversen Ladungen. Wie üblich bedeutet hier der obere Index +,- oder 0 die elektrische Ladung (in Einheiten von e^+).

Alle vier Δ -Baryonen haben etwa die gleiche Ruhmasse von $1232 \text{ MeV}/c^2$ ($\approx 1,223 m_{p0}$) und die sehr kurze Lebensdauer von etwa $5,58 \cdot 10^{-24} \text{ s}$. Die verhältnismäßig hohe Energie der Anregung von $\approx 0,223 m_{p0}$ Massenäquivalent wird in Form von π -Mesonen abgegeben. Die Zerfälle werden folgendermaßen angegeben: $\Delta^{++} \Rightarrow p^{++}\pi^+$, $\Delta^+ \Rightarrow n^+\pi^+$ oder $p^{++}\pi^0$, $\Delta^0 \Rightarrow \pi^0+n$ oder $p^+\pi^-$, $\Delta^- \Rightarrow n^+\pi^-$, wobei die π -Mesonen weiter zerfallen. Nach hiesiger Vorstellung fehlt auf der linken Seite der Beziehungen jeweils ein Gluon, so dass

$$\begin{aligned}\Delta^{++} + G(d,d^-) &\Rightarrow p^{++}\pi^+, \\ \Delta^+ + G(d,d^-) &\Rightarrow n^0\pi^+ \text{ oder } p^{++}\pi^0, \\ \Delta^0 + G(u,u^-) &\Rightarrow \pi^0+n^0 \text{ oder } p^{++}\pi^-, \\ \Delta^- + G(u,u^-) &\Rightarrow n^+\pi^-, \end{aligned}$$

sein muss. Ohne Wechselwirkungsteilchen G würden p^{++} und Δ^{++} in $2e^+v^+$ (hauptsächlich μ^+ anstatt e^+) zerfallen müssen, z^- und Δ^- in e^-+2v^- (hauptsächlich μ^- anstatt e^-), was die Erhaltung der Baryonen-Zahl verletzen würde. Offensichtlich folgen aus dem Zerfall oder der Paarvernichtung von Teilchen nur in Wechselwirkung mit den zugehörigen Bosonen die bekannten Teilchenzahl-Erhaltungssätze.

Das z^- und das p^{++} sind bisher nicht beobachtet worden, möglicherweise weil die Energie bei den Stoßprozessen

$$n^0\uparrow + n^0\uparrow \Rightarrow p^+\downarrow + \Delta^-\uparrow\uparrow\uparrow, \quad p^+\uparrow + p^+\uparrow \Rightarrow n^0\downarrow + \Delta^{++}\uparrow\uparrow\uparrow$$

so hoch ist, dass stets die $\Delta^-\uparrow\uparrow\uparrow$ und $\Delta^{++}\uparrow\uparrow\uparrow$ entstehen (ein \uparrow gibt Spin $1/2$ an, \downarrow Spin $-1/2$).

Aus der Struktur der Ladungen der für die stoffliche Welt so wichtigen Elementarteilchen p^+ und n^0 können einige wesentlichen Eigenschaften abgelesen werden. Beispielhaft ist eine momentane Verteilung des Spins für $p^+\uparrow$ und $n^0\downarrow$ angegeben (der Ladungsindex ist nachfolgend weggelassen):

$$\begin{aligned}p(u_1\uparrow, u_2\uparrow, d_3\downarrow) &: 4c_0^+\uparrow + c_0^-\downarrow + (c_1^+\uparrow + c_1^-\downarrow) + (c_2^+\uparrow + c_2^-\downarrow), \\ n(d_1\downarrow, d_2\downarrow, u_3\uparrow) &: 2c_0^-\downarrow + 2c_0^+\uparrow + (c_1^-\downarrow + c_2^-\downarrow + c_3^-\downarrow) + (c_3^+\uparrow + c_3^-\downarrow). \end{aligned}$$

Beim Proton treten (statisch) lediglich zwei Farbladungen und ihre Anti-Ladungen auf. Es ist somit, gemeinsam mit seinem angeregten Zustand Δ^+ , das einzige Quarkkonglomerat welches in sieben Dimensionen existiert, alle anderen Baryonen existieren in neun Dimensionen. Damit stellt es den Grundzustand aller Baryonen dar. Die Struktur sowohl seiner elektrischen als auch seiner Farbladungen (die nicht abgeschlossen sind) und der gegensätzlichen Ausrichtung der Spins erlaubt keinen Zerfall in endlicher Zeit. Nur unter Zufuhr von Energie und vor allem Ladungen in Form eines $G(d_i, d_i^-)$ -Gluons ist eine Umwandlung in ein anderes Baryon möglich

$$p^{++} + G(d_i, d_i^-) \Rightarrow n + e^+ + v^+.$$

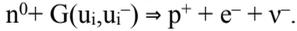
Das Neutron hingegen hat ein abgeschlossenes System an Farbladungen – momentan alle mit parallelem Spin – und ein singuläres Farb-Antifarbladungs-Paar.

Tabelle Baryonen Spin $\frac{1}{2}$

	Sym bol	Quarks	Elektr. Ladung	Farbladung	Mögliche Darst.	R_n	T_m	Ruh-Energie / $c^2 = m_0$
1.	p^{++} nicht beob.	(u_i, u_j, u_k)	$6c_0$	c_1, c_2, c_3	$(2e^+, v^+)$	9	?	937 (geschätzt)
2.	p^+	(u_i, u_j, d_k)	$4c_0, c^-_0$	$c_i, c^-_i, c_j, c^-_j,$		7	$> 10^{33}$ a	938,272 046
3.	n^0	(d_i, d_j, u_k)	$2c_0, 2c^-_0$	$(c_1, c_2, c_3), c_k, c^-_k$		9	$881,5 \pm 1,5$ s	939,565 379
4.	z^- nicht beob.	(d_i, d_j, d_k)	$3c^-_0$	$2(c^-_1, c^-_2, c^-_3)$	$(e^-, 2v^-)$	9	?	941 (geschätzt)

$i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k$

Die Stärke der Bindung des abgeschlossenen Farbsystems zur Bildung eines anderen Teilchens, hier eines Antineutrinos, überwiegt alle anderen Bindungen – der Zerfall des Neutrons in ein Antineutrino und anderen Teilchen ist ihm sozusagen „ins Gesicht geschrieben“



Das erforderliche Gluon ist infolge der Wechselwirkung der Quarks im Neutron stets enthalten. Der Nachweis zur Notwendigkeit eines Gluons bei diesen Umwandlungen kann durch Messung der Energie der Teilchen erfolgen, aber auch durch Messung der Spins der Teilchen, die auf der rechten Seite der Relationen auftreten. Sind deren Spins parallel, zusammen 3/2, muss ein Boson/Gluon beteiligt sein (es ist klar, den Spin der Neutrinos zu messen ist sehr schwierig). Tritt der Fall auf, dass die Summe der Energien von Proton und Elektron größer als die des Neutrons ist, müsste ohne Gluon die Energie des Neutrinos negativ sein. Dies kann man ausschließen, da sicherlich aus Teilchen mit positiver keine mit negativer Ruhenergie werden können.

Die Anzahl der Eigenschaften e ist bei beiden Teilchen n/p gleich 9/3.

Ein Blick auf die Darstellung der Ladungen von Proton $p^+\uparrow$ und Neutron $n^0\downarrow$, insbesondere bei antiparallelem Spin, offenbart eine wesentliche Eigenschaft. Es scheint die „fehlende“ und somit symmetriebrechende Farb-Antifarbladung beim Proton die Ursache der stärkeren Farbwechselwirkung zu einem Neutron gegenüber einem weiteren Proton zu sein. „Fehlende“ und „überschüssige“ Farbladungen des Protons und des Neutrons ergänzen sich – bei deren richtiger Farb-Paarung – zu einem vollständigem Farbsystem (in Analogie zur chemischen Bindungskraft eines „fehlenden“ und eines „überschüssigen“ Elektrons bei zwei Atomen), welches zudem die Instabilität des derart gebundenen Neutrons aufhebt. Die Bindungen zwischen $c_1^{\pm\uparrow} + c_2^{\pm\uparrow} + c_3^{\pm\uparrow}$ sind wesentlich stärker als die zwischen Farb- und Antifarbladung $c_i^{\pm\uparrow} + c_i^{\mp\uparrow}$ (siehe • 32.4).

Die elektrischen Ladungen c_0^{\pm} ergeben stets ein abgeschlossenes System. Summarisch sind die Ladungen $\{p^+\uparrow + n^0\downarrow\} = \{2e^+\uparrow + e^-\downarrow + \bar{\nu}^+\uparrow + 2\nu^-\downarrow\}$. Weshalb diese Reaktion nicht möglich ist, wird in dem nachfolgendem Heft „Grundlagen der Physik der Elementarteilchen“ erklärt (wahrsch. 2016).

Neben den Möglichkeiten des Zerfalles von Neutronen und der Stabilisierung durch Protonen fällt beim Betrachten der Struktur der Farbladungen des Neutrons auf, dass wegen der in ihnen enthaltenen singulären Farbladungen ($c_1^{\uparrow} + c_1^{\downarrow}$) ein relativ stabiles Dreierkonglomerat von Neutronen existieren müsste. Ausführlich notiert ist beispielsweise

$$n\uparrow: (u_1\downarrow + d_2\uparrow + d_3\uparrow) + n\uparrow: (u_2\downarrow + d_1\uparrow + d_3\uparrow) + n\uparrow: (u_3\downarrow + d_2\uparrow + d_1\uparrow), \text{ mit:} \\ 4*(c_1^-\uparrow + c_2^-\uparrow + c_3^-\uparrow) + (c_1\downarrow + c_2\downarrow + c_3\downarrow) + 2e^+\downarrow + 2e^-\uparrow$$

eine Struktur ausgesprochen hoher Symmetrie der Farb- und elektrischen Ladungen. Nur die Verteilung der Spins ist nicht symmetrisch. Mit weiteren drei Neutronen, deren Spin umgekehrt ist, ist die Symmetrie für Neutronen

maximal. Einen höheren Grad an Symmetrie der Farbladungen bringen drei Protonen

$$p\uparrow: (d_1\downarrow+u_2\uparrow+u_3\uparrow) + p\uparrow: (d_2\downarrow+u_1\uparrow+u_3\uparrow) + p\uparrow: (d_3\downarrow+u_2\uparrow+u_1\uparrow), \text{ mit:} \\ 2*(c_1\uparrow+c_2\uparrow+c_3\uparrow) + 2*(c_1\downarrow+c_2\downarrow+c_3\downarrow) + 4e^+\uparrow + e^-\downarrow,$$

deren Spin-Asymmetrie durch einen weiteren Protonen-Dreiersatz mit umgekehrtem Spin beseitigt werden kann. Aus diesem Grund sind Atomkerne mit $3k(p^+n^0)$, $k = 1, 2, 3, 4$ Nukleonen stabil, davon Kohlenstoff, $k = 2$, im Kosmos besonders häufig.

In größeren Konglomeraten aus p^+ und n^0 können wegen dessen Dynamik die Protonen eine größere Anzahl Neutronen stabilisieren; etwa 1,5 mal so viele (Tritium ist mit Faktor 2 quasi eine Ausnahme, T_m über 12 Jahre).

Das stabile Dreier- oder Sechser-Konglomerat von Neutronen ermöglicht die Existenz von Neutronen-Sternen, jedenfalls deren äußeren Schicht.

Das stabile Quark-Konglomerat Proton zeigt bei Streuexperimenten mit Elektronen/Positronen interessante Effekte (siehe z.B.: Im Herzen der Materie, Der Elektron-Proton-Beschleuniger HERA und die „wee“-Partonen, Allen Caldwell und Günter Grindhammer, in: Physik Journal 6 (2007) Nr. 11). Gelangt z.B. ein Elektron in ein Proton, entsteht ein Photon (z.B. durch Bremsstrahlung infolge der elektrischen Ladung der Quarks). Ist der Raum $\Delta_{\mathbf{x}}$ des Photons (beachte: das Wellenpaket, also die Kohärenzlänge, ist wesentlich größer! – und hier unwesentlich) innerhalb des 7-dimensionalen Raumes des statischen Protons, kann es sich ähnlich wie in einem Quark (s. 32.6), in diese höheren Dimensionen „aufweiten“; es kann sich in ein Boson $\delta_{(i)}$ mit einer Farbladung (und Gegenladung) oder bei geringfügig höherer Energie in ein Boson $\varepsilon_{(k)}$ mit zwei Farbladungen (und deren Gegenladungen) umwandeln. Das Boson $\varepsilon_{(k)}$ passt zu dem entsprechenden $d_{(k)}$ -Quark, es existiert ja in denselben Dimensionen und kann deshalb mit ihm in Wechselwirkung treten. Das $\delta_{(i)}$ -Boson besitzt eine der Farbladungen der beiden u-Quarks und kann dies deshalb mit einem der u-Quarks. Die Spiralität der Teilchen muss dabei übereinstimmen. Alle diese Bosonen bilden bei genügend hoher Energie weitere Bosonen-Antibosonen, Quarks-Antiquarks, die das Proton als Konglomerate in sogenannte Jets verlassen können.

Die Konglomerate sind – ebenso wie die Komponenten – dynamische Systeme. So existiert in einem Proton im ständigen Wechsel auch die dritte Farbladung der Quarks und der Bosonen. Wäre dies nicht so, müsste das Proton eine deutlich geringere Ruhenergie als das Neutron haben – grob 7/9 davon. Über einen längeren Zeitraum als die Zeit t_q eines Quarks gemittelt, hat das Proton rechnerisch knapp neun Raumdimensionen. Ist die Zeit t_γ des Photons deutlich größer als die des Quarks, befindet es sich quasi in einem 9-dimensionalen Raum. Deshalb kann es sich in alle drei möglichen $\delta_{(i)}$ - und $\varepsilon_{(k)}$ -Bosonen umwandeln, die mit den zugehörigen Quarks, wiederum bei gleicher Spiralität, in Wechselwirkung treten können. Das Photon kann sich aber auch in ein Coloron ζ umwandeln. Bei gleicher Wahrscheinlichkeit aller Bosonen mit Farbladung c_i wäre das ein Anteil von 1/7, welches keiner

Wechselwirkung mit den Bestandteilen des Protons unterliegt. Denn es kann nur mit Neutrinos/Antineutrinos wechselwirken, und das extrem schwach, wird also in den Detektoren (bei HERA) nicht registriert. Es könnte mit dem in der oben zitierten Arbeit erwähnten Pomeron identisch sein. Es taucht die Frage auf, ob und unter welchen Bedingungen, und nach welcher Zeit (oder Weg) sich ein Coloron in ein Photon umwandeln kann. Andere Reaktionen, z.B. der Zerfall der π^0 -Mesonen, legt eine solche Umwandlung nahe.

Wenn man analoge Experimente mit Neutronen anstatt Protonen realisieren könnte, würden sogar im statisch gedachten Neutron Coloronen entstehen. Das hätte zur Folge, auch mit sehr kleiner Zeit t_γ des Photons, d.h. mit höchstenergetischen, Coloronen erzeugen zu können.

32.10 Dunkle Materie (Masse)

Letztendlich erlaubt die hier dargelegte „Gemeinsame Grundlage der Wechselwirkungen“ das Verständnis der sogenannten Dunklen Materie. In einem höherdimensionalen Raum (mehr als drei Dimensionen) bringt die Dunkle Materie auf Grund ihrer Energie ihren Beitrag zum Energie-Impuls-Tensor und so zur Dynamik aller Materie. Es gibt jedoch keine Wechselwirkung mit elektrischer- und Farb-Ladung im Beobachterraum. Die im Beobachterraum solcherart wechselwirkende Materie hat eines gemeinsam: Die Torus-Hauptachsen liegen in ihm. Ist der Raum aller Ladungen jedoch (hier beispielsweise) 9-dimensional, können die Hauptachsen von Teilchen in den weiteren Dimensionen außerhalb des Beobachterraumes liegen.

Man kann den Raum der „dunklen“ Elektronen e^- in $R^{3'}$ in den Dimensionen D_0', D_1', D_2' mit den Dimensionen D_l, D_m, D_n , mit $3 \leq l, m, n \leq 8, l \neq m \neq n$, in Verbindung bringen

$$D_{\alpha'} = d_{\alpha\beta'} * D_{\beta}, \quad 0 \leq \alpha \leq 2, \quad 3 \leq \beta \leq 8, \quad (\text{Summe über } \beta).$$

Diese Elektronen besitzen keine Dimension im Beobachterraum. Man sieht, dass es noch zwei weitere Arten „dunkler“ Elektronen $e^{-''}$ und $e^{-'''}$ gibt, die eine bzw. zwei Dimensionen im Beobachterraum besitzen

$$\text{für } e^{-''}, \quad \alpha = 2, \quad \text{ist abweichend von oben } 0 \leq \beta \leq 2, \quad \text{und}$$

$$\text{für } e^{-'''}, \quad \alpha = 1 \text{ und } 2, \quad \text{ist abweichend } 0 \leq \beta \leq 2.$$

Wie groß ist der Anteil beispielsweise von Elektronen im Beobachterraum im Vergleich zu den Elektronen im gesamten 9-dimensionalen Raum? Im Beobachterraum gibt es für die Hauptachse drei (unabhängige) Möglichkeiten; für die Ladungsfläche jeweils nur eine (die übrigen beiden Dimensionen). In den weiteren sechs Dimensionen gibt es für die Lage der Hauptachse sechs (unabhängige) Möglichkeiten für jede der Formen e^- , $e^{-''}$ und $e^{-'''}$. Dabei werden die verschiedenen möglichen Dimensionen der Ladungsflächen als eine Form der Elektronen angesehen. Das ergibt $3*6=18$ Möglichkeiten „dunkler“ Elektronen. Von den somit insgesamt 21 Möglichkeiten liegen $1/7$ ($\approx 14,3\%$) im Beobachterraum.

Würde die Lage der Ladungsflächen eine Rolle spielen, gäbe es für jede der sechs Richtungen der Hauptachse D_0' bei e^- $5*4/2$ in den

Dimensionen D_3 bis D_8 , bei e^{--} 5 in D_3 bis D_8 mal 3 in D_0 bis D_2 und bei e^{---} keine in D_3 bis D_8 , aber $3 \cdot 2/2$ in D_0 bis D_2 . Das wären für die „dunklen“ Elektronen $6 \cdot (10+15+3) = 168$ verschiedene Möglichkeiten und somit der Anteil der gewöhnlichen Elektronen $3 / (168+3) = 1/57 \approx 1,75\%$.

Analog sind $1/7$ drei Farbladungen „sichtbar“. Der reale Anteil der wechselwirkenden Materie im Beobachterraum könnte etwas höher liegen, da die zusätzlichen sechs Dimensionen nicht „gleichberechtigt“ mit den Dimensionen des Beobachterraumes sind.

Möglicherweise kann bei hochenergetischen Prozessen, die in neun und mehr gleichberechtigten Raumdimensionen ablaufen, Materie von einem Teilbereich in den anderen wechseln. Schließlich sind bei zwölf (gleichberechtigten) Raumdimensionen die verschiedenen Arten der Ladungen nicht unterscheidbar. Sie bilden eine einheitliche Form, die dann nicht mehr Ladung genannt werden sollte, sondern allgemeiner wie im Photon „Eigenschaft“ (s. auch Anhang II).

Welche außer der bereits bekannten Eigenschaft der Gravitation hat die Dunkle Materie noch? Da die Hauptachsen ihrer – einfachen – Teilchen die Richtung ihrer Impulse haben, bewegen sie sich nicht im Beobachterraum. „Dunkle Photonen“, „Farblose Coloronen“ und die „dunklen“ Leptonen, sind in abgeschlossenen Gebieten Dunkler Materie gefangen.

Sehr spekulativ und daher besonders reizvoll könnte sein – jedenfalls spricht vorerst nichts dagegen –, dass es Lebewesen aus Dunkler Materie gibt. Elektrisch und mit Photonen können wir mit ihnen leider nicht kommunizieren. Sie könnten wie „Geister“ ungesehen neben uns stehen. Lediglich ein äußerst empfindliches Gravimeter könnte sie „erahnen“.

32.11 Erweiterung mit Ladungen höherer Symmetrie

Analog dem Modell der 3-Symmetrie ist eine Erweiterung der Symmetrien und damit weiterer Ladungen denkbar. Aus mathematischen Gründen wäre eine Teilung in sieben Teile zu untersuchen angebracht. Es gäbe dann sieben Ladungen, die zusammen die Ladung Null ergeben, und sieben Antiladungen. Die Pendants zu den Quarks hätten dann $1/7 e^\pm$, bis $6/7 e^\pm$ elektrische Ladung. Ihre Ruhenergie wäre wesentlich größer. Zu den bereits bestehenden neun Dimensionen der 1- und 3-Symmetrie kämen 14 weitere hinzu (sieben Flächen).

Ein Kosmos mit solchen Teilchen hätte einen entsprechend höheren Anteil an Dunkler Materie, die Anzahl der sichtbaren Teilchen wäre bei gleichberechtigten Dimensionen $1/21$, rund 4,67%; die der (Ruh-)Energie geringer.

32.12 Eine Bemerkung zum Quantenzustand eines Teilchens

Abschließend muss erwähnt werden, dass hier „reine“ Zustände, also freie Teilchen betrachtet wurden. Wie aus der Quantenmechanik bekannt, kann sich ein Teilchen in allen möglichen Zuständen befinden. Es gibt zwei Auf-

fassungen: Erst durch eine Wechselwirkung (einem von einer Reihe möglicher Prozesse) wird ein bestimmter Zustand hervorgerufen oder jedes Teilchen befindet sich in einem bestimmten Zustand, allerdings mit Unschärfen, und nur das Teilchen unterliegt einer bestimmten Wechselwirkung, das sich in dem dazu erforderlichen Zustand befindet (das weicht von der Vorstellung „zusammenbrechender“ Wellenfunktionen ab).

• 33 Erweiterter Spin/Spiralität

Ein erweiterter Spin ist vorhanden, wenn \mathcal{Z} und \mathcal{T} in $\mathcal{G} = \mathcal{Z}/\mathcal{T}$ einen Teiler N haben, sozusagen gekürzt werden kann. \mathcal{T} ist die Torsion des Torus, wobei die Werte $(0), \pm 1, \pm 2, \pm 3$ usw. angenommen werden können, und \mathcal{Z} die Anzahl der Schleifen des Torus, mit den möglichen Werten $1, 2, 3$ usw. Bild 11 zeigt einen Torus mit $\mathcal{T} = -2, \mathcal{Z} = 2$, sozusagen ein erweitertes Photon. Das bedeutet, dass ein Teilchen mit der Spiralität \mathfrak{s} (mit der Einheit \hbar) invariant gegenüber einer Drehung φ_0 , mit $\varphi_0 = 2\pi/\mathfrak{s} = 2\pi\mathcal{Z}/\mathcal{T}$ ist, d. h. der Phasenwinkel α_0 der Torsion kehrt bei einer Drehung des Torus genau um φ_0 zum gleichen Winkel α_0 zurück. Das heißt aber auch, dass sich bei einem Teilchen der Betrag der Spiralität nicht ändert, da diese Symmetrie für jeden Winkel α_0 gilt.

Teilchen mit verschiedenem Wert von N , $N=1, 2, 3, \dots$, haben unterschiedliche Ruh-Energie, auch wenn die anderen elementaren Eigenschaften, z.B. die Ladung, gleich sind. Die Energie ist umso größer, je größer N ist, also \mathcal{Z} und \mathcal{T} es sind. Dies rührt daher, dass die Energie der Teilchen durch den Raum, der schwingt und die Ladungen enthält, bestimmt ist. Teilchen mit größerem \mathcal{Z} haben komplexere Geometrie, und mit größerer Torsion stärkere „Spannungen“. Ob die beträchtlichen Unterschiede der Ruheenergie bestimmter Teilchen damit erklärt werden kann, ist nicht sicher, scheint jedoch eine nahe liegende Möglichkeit. Auf dieser Grundlage kann man die Einteilung der Elementarteilchen entsprechend ihres Erweiterungsfaktors N und dadurch größeren Ruheenergie in Familien (manchmal auch Generationen genannt) identifizieren. So wird aus einem Elektron ($\mathcal{T}=1, \mathcal{Z}=2$) aus der 1. Familie ein Myon ($\mathcal{T}=2, \mathcal{Z}=4$) aus der 2. Familie, und ein Tauon ($\mathcal{T}=4, \mathcal{Z}=8$) aus der 3. Familie. Dies gilt in dieser Form für „einfache“ Elementarteilchen, nicht für Konglomerate wie Neutron und Proton.

Im Zusammenhang mit dem Wert von \mathcal{Z} und dem Rang einer Familie scheint die Anzahl der Dimensionen eines Teilchens zu stehen. Beginnend mit drei Dimensionen und $N = 1$ erweitert sich die Anzahl der Dimensionen möglicherweise auf 2^{N+1} . Dies könnte ebenfalls ein Grund für die Zunahme der Ruheenergie bei gleicher Ladung sein. Außerdem scheint die Trennung der virtuellen elektrischen Ladungen eines „erweiterten“ Photons mit $\mathcal{T} = \mathcal{Z} = 2$ mehr als vier Dimensionen zu erfordern (und erzeugt Myo-

nen). Nach dieser Vorstellung ist leicht zu verstehen, dass Konglomerate aus Quarks unterschiedlicher Generation, und somit in Räumen unterschiedlicher Dimensionen, schwerer zerfallen als solche aus einheitlicher Generation. So ist die mittlere Lebensdauer von $K^-(u^-,s)$ rund zwanzig mal länger als die von $\pi^-(u^-,d)$. u und d sind Quarks der 1. Generation, s ein Quark 2. Generation.

Es taucht die Frage auf, ob sich Teilchen mit erweitertem Spin in Teilchen mit weniger (oder nicht erweitertem) Spin umwandeln können. Für elektrisch geladene Teilchen – siehe den Zerfall von Myonen in Elektronen oder den Zerfall von Tauonen in Myonen oder Elektronen – ist dies durch Beobachtung beantwortet. Ebenso die Umwandlung von Neutrinos unterschiedlicher Familie. Bei einem Tauon ist die (Ruh-)Energie so hoch, dass anstatt eines Elektrons oder Myons und dem zugehörigen Antineutrino ein Quarkkonglomerat ($d_i u_i^-$) entstehen kann. Solcherart Wechselwirkungen (es sind nicht einfache Zerfälle) ohne die oben angegebenen Bosonen B^{ijk}_{lmn} werden im nächsten Abschnitt • 34 [neu] behandelt.

Bei den Bosonen γ , $\delta_{(i)}$, $\varepsilon_{(i)}$ und ζ mit ihren virtuellen Ladungen ist es einfach sich den erweiterten Spin vorzustellen, insbesondere beim Photon mit nur einer Eigenschaft und einer Antieigenschaft. Man stelle sich einen dünnen, weiten Torus vor. An einer Stelle beginnt man ihn aufzuwickeln und zwar so, dass bei jeder Windung der Torus einmal verdreht wird; so ähnlich wie man ein Stromanschlusskabel eines elektrischen Gerätes (mit zwei Leitungen, sinnbildlich für e^+ und e^-) aufwickelt. Wird es bei jeder Windung einmal verdreht, gelangt man am Ende bzw. bei der Anfangsstelle ohne weitere Verdrehung an. Man hat dann ein mit der Anzahl der zusätzlichen Schleifen erweitertes Photon oder eine Spule mit Doppeldraht und N Windungen (kleine Übung: wäre bei einem Stromdurchfluss das Magnetfeld der Spule proportional N , wie bei einer gewöhnlichen Spule?). Problemlos lassen sich die Schleifen/Windungen wieder auflösen. Man erkennt, die erweiterten Photonen sind dem einfachen Photon äquivalent und können sich ohne jede andere Änderung ineinander umwandeln (analog die anderen Bosonen), selbst ihre Energie ist unabhängig von N . Bei einer Wechselwirkung mit einem Lepton passt sich N offensichtlich an. Nur so ist es möglich, dass z.B. Photonen mit den verschiedenen Familien $e^+_{I,II,III}$ wechselwirken können, sich letztlich die elektrischen Felder der Elektronen, Müonen und Tauonen nicht voneinander unterscheiden.

Unproblematisch ist die Darstellung von Teilchen nicht nur mit $T=1$, sondern auch für $T=2$, $T=3$ usw. in den Fällen $Z=1$ oder $Z=2$. Formal wären Teilchen nicht nur mit diesen Werten, sondern auch mit $Z=3$, $Z=4$ usw. denkbar, also mit $\hat{s} = \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}$ usw. Dies hat andere Symmetrien der Ladungen zur Folge. Z.B. bei $\hat{s} = \frac{1}{3}$ wären Teilchen möglich, die mit einer $SU(3)$ -Gruppe zu beschreiben wären. Im Abschnitt • 35 wird ein Beispiel mit $\hat{s} = \frac{1}{3}$ betrachtet.

• 34 Wechselwirkung von Leptonen mit Leptonen ohne Bosonen

Bisher wurden Wechselwirkungen durch Bosonen betrachtet. Dazu sind Überschneidungen der Räume der Teilchen notwendig (hier sind stets einfache Teilchen gemeint, keine zusammengesetzten). Z.B. überschneiden sich Teilchen mit ihren Bosonen, aber auch Teilchen der gleichen Art und Teilchen mit ihren Antiteilchen. Hierfür am bekanntesten sind die Wechselwirkung von Elektron/Positron mit einem Photon, Elektron mit Elektron, Elektron mit Positron und Positron mit Positron. Dabei spielen in der Regel mehrere Prozesse eine Rolle, die jeweils in Feynman-Graphen/Diagrammen charakterisiert werden können. Dies wird im weiten Feld der Quantenelektrodynamik (QED) behandelt (siehe Landafschitz, Bd. IV Relativistische Quantentheorie).

Bei verschiedenen Leptonen (Teilchen der I., der II. und III. Familie) kann die Wechselwirkung durch einen einzigen Prozess beschrieben, und so mit nur einem Feynman-Graphen dargestellt werden.

In solchen Fällen kann man davon ausgehen, dass die Räume der Teilchen sich nicht in all ihren räumlichen Dimensionen überschneiden. Diese, für den jeweiligen Prozess „freien“ Dimensionen, nehmen nicht an der Wechselwirkung teil.

Man sollte in diesen Fällen davon ausgehen, dass man diese Wechselwirkungen als elastische, aber auch als plastische Stöße im klassischen mechanischen Sinne – mit einer Besonderheit, s.u. – behandeln kann, dass die Teilchen wie Körper anzusehen sind, nicht kugelförmig, da sie eine ausgezeichnete Richtung besitzen.

Nach dem Modell des Myons μ^\pm , als Teilchen mit erweitertem Spin, kann es mittels Photonen mit Elektronen/Positronen e^\mp wechselwirken, aber nicht annihilieren. Es sollten aber „klassische“ Stöße möglich sein. Wesentlich ist hierbei die räumlich-zeitliche Unschärfe. Da die Teilchen auch in den wechselwirkenden Raumdimensionen eine Unschärfe besitzen, sind Ausdehnung und Dauer des Stoßes endliche Größen, ebenfalls mit Unschärfe. In der derzeit gängigen Theorie wird dieser Raum als Wechselwirkungsteilchen mit einer (mittleren) Lebensdauer und einer Ruhenergie interpretiert, als W- oder Z-Bosonen. Es handelt sich hierbei nach hiesigen Grundlagen nicht um reale Teilchen, bestenfalls können sie als Hilfsgrößen dienen, (siehe • 32.5).

Als weiterer Fall gilt die Wechselwirkung von Elektronen $e^\pm \equiv e_{I^\pm}$, Myonen $\mu^\pm \equiv e_{II^\pm}$ und Tauonen $\tau^\pm \equiv e_{III^\pm}$, mit Neutrinos $\nu_e^\pm \equiv \nu_{I^\pm}$, $\nu_\mu^\pm \equiv \nu_{II^\pm}$ und $\nu_\tau^\pm \equiv \nu_{III^\pm}$. Zur Wechselwirkung könnten die hypothetischen Bosonen $\Pi^+ \equiv B^{000}_{123}$ und $\Pi^- \equiv B^{123}_{000}$ (auch die höherer Familien) beitragen, hauptsächlich dürfte sie durch „klassische“ Stöße erfolgen.

Als erstes Beispiel wird der Zerfall eines Myons betrachtet. Da dessen Struktur des Raumes nicht verschwinden kann, muss es mit einem anderen Teilchen die Eigenschaft/Ladung tauschen. Dies geschieht am einfachsten

mit einem Elektron-Neutrino, welches eventuell aus der Aufspaltung eines Colorons entstanden ist. Dazu gibt es vorläufig zwei Schemata:

$$\begin{pmatrix} e_{II}^- \\ \zeta_I \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ v_I^+ \\ v_I^- \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ v_I^- \\ v_I^+ \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} v_{II}^- \\ e_I^- \\ v_I^+ \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ \zeta_I \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ v_I^+ \\ v_I^- \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ v_I^+ \\ v_I^- \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} v_{II}^+ \\ e_I^- \\ v_I^- \end{pmatrix}$$

Der Unterschied besteht darin, ob der Austausch mit dem Neutrino oder dem Antineutrino erfolgt; ihm liegen zwei verschiedenartige Stoßprozess zugrunde. Im ersten Fall bewirkt der Stoß des Elektron-Anti-Neutrinos auf das negativ geladene Myon die Verschiebung der elektrischen Ladung aus der Ladungsfläche F_0 in die Farb-Ladungsflächen F_1, F_2 und F_3 im gleichen Halbraum. Gleichzeitig „prallen“ die Anti-Farb-Ladungen des Neutrinos in die Fläche F_0 der elektrischen Ladung, ebenfalls im gleichen Halbraum. Durch den Stoß werden die Eigenschaften/Ladungen der beiden Halbräume gegenseitig umgewandelt. Wesentlich ist dabei, dass beide Teilchen gemeinsame Komponenten des Impulses haben. In diesem Fall (links) gibt es keine Verschiebung der Eigenschaften/Ladungen in den anderen (anti) Halbraum.

Im zweiten Schema, rechts, wird der beobachtete Zerfall der Myonen in ein Elektron, plus Anti-Elektron-Neutrino plus Myon-Neutrino dargestellt. Hier müssen beim Stoß neben den Ladungsflächen auch die Halbräume der Eigenschaften/Ladungen gewechselt werden. Dass links beim Myon e_{II}^- ein Coloron vorhanden sein muss, ist nach den bereits behandelten Grundsätzen klar (das Coloron kann sich möglicherweise aus einem Photon gebildet haben).

Als zweites Beispiel wird eine in der Astronomie beobachtete – jedenfalls so interpretierte – Umwandlung von Elektron-Neutrinos ν_e aus der Sonne in Neutrinos höherer Familie betrachtet (sog. Neutrinooszillation, siehe z.B. Wikipedia). Man kann sich hierbei auf einen Stoß-Prozess Beschränken, z.B.:

$$\begin{pmatrix} \nu_I^+ \\ e_{III}^- \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} e_I^- \\ \nu_{III}^+ \end{pmatrix}$$

Er kann auch in die umgekehrte Richtung verlaufen. Die so entstandenen Neutrinos ν_{III}^+ können sich durch entsprechende Stöße wieder in ν_I^+ oder in ν_{II}^+ umwandeln; zur Beschreibung braucht man nur die unteren Indices (der Familien) zu ersetzen. Für die Antineutrinos werden im gesamten Schema die oberen Indices getauscht.

Lässt man im Schema für den Zerfall eines Myons die unbeteiligten Neutrinos weg, erhält man die gleiche Struktur des Schemas wie bei der Neutrinooszillation. Es handelt sich stets um gleichartige, plastische Stöße.

Die Beobachtung lehrt uns: Die (Halb-)Räume der beiden stoßenden Leptonen verschiedener Generation sind verschieden, die der Eigenschaft und die der Anti-Eigenschaft.

Es gibt auch Stöße, die ohne Wechsel von Eigenschaft und Anti-Eigenschaft erfolgen, nämlich wenn die Ausgangsteilchen entweder nur aus e^+ oder e^- bestehen. Das ist z.B. der Fall, wenn π^\pm -Mesonen beteiligt sind:

$$\pi^+(u, d^-) = \begin{pmatrix} u \\ d^- \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} c_i, c_0, c_0 \\ c_0, c_j, c_k \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} c_0, c_0, c_0 \\ c_i, c_j, c_k \end{pmatrix} ; \begin{pmatrix} e_{I,II}^+ \\ \nu_{I,II}^+ \end{pmatrix}$$

Durch einen plastischen Stoß der beiden (zweischleifigen) Tori des u- und des d⁻-Quarks werden deren Ladungsflächen c_i bzw. c_0 vertauscht. Dabei entstehen abgeschlossene elektrische und abgeschlossene Farbladungen. Entsprechend der Energie des Pions entstehen Leptonen höherer Familie (hauptsächlich II., aber nicht III.). Zu beachten ist, dass hier nicht nur die Spins, sondern auch die Spiralityten der beiden Quarks und die der beiden Leptonen jeweils entgegengesetzt sind.

Zum Nachweis der Müon-Neutrinos kann folgende Reaktionsfolge dienen (die prinzipiell in der bereits oben aufgeführten enthalten ist), wobei ein Photon benötigt wird:

$$\begin{pmatrix} \nu_{II}^+ \\ \gamma \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \nu_{II}^+ \\ e_I^- \\ e_I^+ \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ \nu_I^+ \\ e_I^+ \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ d^- \\ u^+ \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} e_{II}^- \\ \pi^+ \end{pmatrix}$$

Bei genügend hoher Energie erfolgt die weitere Reaktion aus dem Neutrino und dem Positron zu einem d⁻- und u-Quark, letztlich zu einem – in einer Blaskammer nachweisbaren – Pion π^+ .

Damit scheint klar, dass „Umsortieren“ der Eigenschaften bei zusammengesetzten Teilchen, z.B. beim Zerfall des Neutrons (siehe • 32.9), wird durch Stöße der enthaltenen Leptonen herbeigeführt.

Mit den hier beispielhaft vorgestellten Reaktionen lassen sich bei entsprechender Umformung alle „elektroschwachen“ Wechselwirkungen darstellen.

Was ist der wesentliche Unterschied zwischen den Prozessen, die entweder durch Z- oder durch W-Bosonen beschrieben werden? Ein Blick auf die Feynman-Diagramme von Z-Prozessen (siehe Abb. in • 32.5) und W-Prozessen, z.B. auf das Schema der Neutrinooszillation oben, zeigt: im ersten

Fall handelt es sich um elastische Stöße, bei denen die Teilchen selbst nicht umgewandelt werden, im zweiten Fall um einen plastischen Stoß mit einer Umwandlung der Teilchen. Damit ist klar, weshalb die Pseudobosonen Z und W eine Ruhenergie besitzen, denn bei Stößen ist neben den Impulsen die Energie eine wesentliche Größe (siehe Landafschitz I, Kap. IV und II, Kap. II). Der Übergang von einem elastischen zu einem plastischen Stoß erfordert eine Mindestenergie, die sich in dieser Ruhenergie widerspiegelt.

• 35 Subteilchen

In den Abschnitten 29 und 32.3 über die Entstehung von Elektronen und Positronen aus Photonen ist die Trennung der Eigenschaften e^+ und e^- beschrieben. Wenn man an Quarks denkt, die nach Abschnitt 32 aus Drittelung der Eigenschaften e^+ und e^- bestehen, kann man Subelektronen/Subpositronen konstruieren, deren Ladungen $c_0^\pm = \frac{1}{3}e^\pm$ sind und deren Spin jeweils $\frac{1}{6}\hbar$ ist. Auf Grund der komplexeren Struktur als Sechsfachschleifen hätten sie eine um Größenordnungen größere Ruhenergie als Elektronen/Positronen. Bei der „Paarerzeugung“ aus einem Photon würden jeweils drei Subelektronen und drei Subpositronen entstehen. In höheren Dimensionen (Farbflächen) und der Spinachse im Beobachterraum hätte man Teilchen mit singulärer Farbladungen, ebenfalls mit $\frac{1}{6}\hbar$ Spin.

Die implizierten Wechselwirkungs- oder Feldteilchen würden aus einem gedrittelten Photon bestehen, also einem Drittelraum bzw. Dritteltorus, das dreischleifig einen Spin von $\frac{1}{3}\hbar$ besitzt mit getrennter Ladung und Gegenladung $\frac{1}{3}e^-$ und $\frac{1}{3}e^+$, die beide zusammen mit der Torsion 1 den kompletten Raum des Wechselwirkungsteilchens, den vollen Torus, ergeben. Es stellt sich die Frage, ob dieses Subphoton ebenfalls die Ruhenergie Null besitzt.

Die elektrischen Ladungen sind bei diesen Subteilchen den Farbladungen gleichberechtigt; es besteht vollständige Symmetrie. Entsprechend den Gluonen kann man neben den Subgluonen mit einer Farb- und einer Antifarbladung Gluonen mit gemischten Farbladungen, aber auch gemischte Gluonen mit einer Farb- und einer elektrischen Ladung konstruieren, alle mit $\frac{1}{3}\hbar$ -Spin. Diese Spezifizierung gilt für Fälle, bei denen die Torusachse im Beobachterraum liegt, anderenfalls handelt es sich für im Beobachterraum nicht wechselwirkende, sogenannte „dunkle“ Materie.

• 36 Higgs oder Nicht-Higgs

Das Higgs-Feld soll gemäß des gegenwärtigen Standardmodells der Teilchenphysik die Ruhenergie gewisser Bosonen (Z^0 & W^\pm) „erzeugen“. In der einfachen Theorie hat dieses Feld Teilchen, die sogenannten Higgs-Bosonen, deren Ruhenergie nicht vorherbestimmt werden kann. Die Interpretation von Experimenten legen einen Wert von 125,3 GeV bzw. 126 GeV nahe (2012/13, siehe z.B. Wikipedia dt./engl.). Nach der Theorie sollte der Spin 0 sein, gemäß den Experimenten 0 oder 2. Es besitzt weder eine elektrische noch eine Farbladung und zerfällt hauptsächlich in zwei Photonen oder vier Leptonen (z.B. zwei Elektronen plus zwei Positronen), deren Spin jedoch noch nicht bestimmt wurde. Erzeugt wurden die Higgs-Teilchen durch den Stoß zweier hochenergetischer Protonen. Die Ausbeute ist sehr gering: ein Higgs auf 10 Milliarden Kollisionen bei 7 TeV Beschleuniger-Energie.

Da das Higgs-Teilchen vermutlich nicht nur aus abgeschlossenen, sondern aus vollständigen Ladungssystemen besteht, hat es nach hiesigen Grundlagen keine Ruhenergie; ebenso dürfte es als ein einfaches Teilchen nicht den Spin, genauer die Spiralität, von Null haben. Da es häufig in zwei Photonen zerfällt, müsste es einen Spin von zwei haben, also bei einer Schleife, $\mathcal{Z}=1$, die Torsion zwei, $\mathcal{T}=2$. Ein Toroid mit den Eigenschaften/Ladungen e^+ und e^- , analog dem des Photons, könnte jedoch nicht in zwei Photonen „aufspalten“. Da es sich offenbar bei dem registrierten Higgs-Boson um ein neuartiges Teilchen handelt, wird das bis hier benutzte Torus-Modell für derartige Teilchen mit einer Eigenschaft und einer Antieigenschaft erweitert. Hier wird ein Vierfaser-Torus eingeführt, mit doppelten Eigenschaften, $2e^+$ und $2e^-$. Er hat die Torsion $\mathcal{T}=1$ und eine Schleife $\mathcal{Z}=1$. Bei einer Drehung ϕ um die Hauptachse erhält man folgende Schnitt-Bilder:

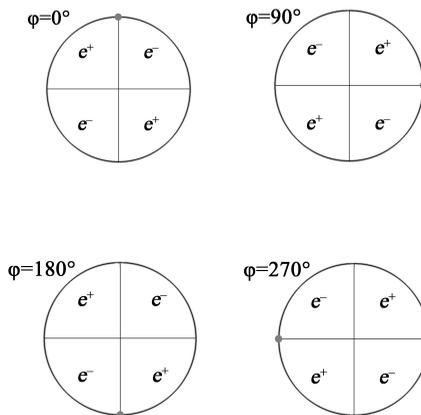


Abb.: Doppel-Photon (Schema & Querschnitt)

Man erkennt, dass eine Drehung um 180° den gleichen Schnitt ergibt; eine um 90° die Vertauschung von Eigenschaft und Antieigenschaft. Dieser Vierfaser-Torus mit der Torsion $\mathcal{T}=1$ erscheint effektiv wie ein Torus mit der Torsion $\mathcal{T}=2$; man kann den Torus nicht von einem um $\pm 180^\circ$ um die Hauptachse gedrehten unterscheiden, der um $\pm 90^\circ$ gedrehte Torus erscheint als Modell für das Anti-Teilchen. Das (einfache) Teilchen enthält die gegenüber einem Photon doppelte Menge an Eigenschaften/Ladungen, gerade so, als wäre es aus zwei Photonen zusammengesetzt. Deshalb hat es die doppelte Wirkung, nämlich $2\hbar$.

Dies muss sich in den Grundrelationen widerspiegeln:

$$\mathbf{E} \otimes \mathbf{t} = \pm 2\hbar, \quad *+$$

$$\mathbf{p} \otimes \mathbf{x} = \pm 2\hbar, \quad **+$$

$$\hat{s} * \mathcal{G} = \pm 2\hbar \text{ oder } \hat{s} = \pm 2\mathcal{T}/\mathcal{Z} * \hbar \quad ***'+$$

Für $\mathcal{T} = \mathcal{Z} = 1$ ist hierbei die Spiralität ± 2 und folglich der Spin ebenfalls ± 2 oder ∓ 2 .

Der Zerfall dieses „Doppel-Photons“ (doppelte Ladungen enthaltendem) in zwei Photonen ist einfach darzustellen. Entlang einer der beiden „Trennlinien“ spaltet es auf. Da beide Tori verschlungen sind, ist zu ihrer Trennung eine weitere Raumdimension erforderlich. Dies ist gegeben, wenn sie in einem höherdimensionalen Raum eingebettet sind. Nach dem Schema

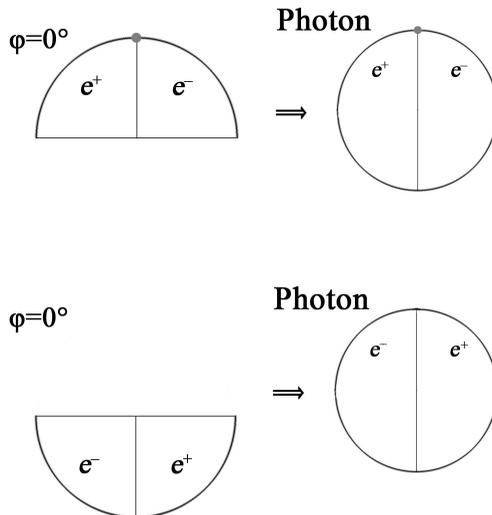


Abb.: Spaltung des Doppelphotons (Schema & Querschnitt)

sind hier – im Gegensatz zur Aufspaltung eines Photons in ein Elektron-Positron-Paar – zwei vollständige Räume entstanden. Deshalb bleibt es bei einer Schleife. Beide so entstandenen Photonen haben die gleiche Spiralität, sind jedoch gegeneinander um 180° phasenverschoben, mit scheinbar vertauschten Eigenschaften e^\pm , wie Teilchen und Antiteilchen. Solche hochenergetischen Photonen (γ -Strahlen) spalten in einem höherdimensionalen Raum in Elektron-Positron-Paare auf.

Diese neuartigen Teilchen wurde bisher durch hochenergetische Protonen erzeugt. Wenn es aus dem Pandynato als reelles Teilchen entstanden ist, müssen zwei von ihnen als um 90° gegeneinander gedrehte Teilchen und Anti-Teilchen entstanden sein. Ebenso könnte es sich dabei um zwei um 90° phasenverschobene Doppel-Coloronen handeln. Eines oder beide Doppel-Coloronen können sich in jeweils ein Poppel-Photon umwandeln. Die Coloronen ihrerseits können in ein Neutrino-Antineutrino-Paar aufspalten. Offenbar ist eine definierte Energie zur Entstehung solcher Doppel-Bosonen erforderlich.

Bei grundlegenden Prozessen ist keine Richtung festgelegt. Die Wahrscheinlichkeit der Gegenrichtung hängt von der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens der erforderlichen Teilchen ab, ihrer Spiralität und dem Spin. Diese sind sicherlich in der Kosmologie bisher nicht beachtete Prozesse (Man denke an den bisher nicht verstandenen Überschuss hochenergetischer Elektronen/Positronen im Kosmos).

• 37 Asymmetrie der Welt

Unter Asymmetrie der Welt ist hier gemeint, dass die Welt im Wesentlichen offenbar aus „Teilchen“ und nicht aus Teilchen und ihren Antiteilchen besteht. Unter Welt ist der uns direkt und indirekt der Beobachtung zugängliche Teil des Kosmos zu verstehen.

Diese Asymmetrie ist schwer zu verstehen, wenn man davon ausgeht, dass gewisse Erhaltungssätze gelten und somit bei der Urzeugung reeller Teilchen ebenso die ihnen zugeordneten Antiteilchen entstehen. Eine symmetrische Welt mit uns als Lebewesen könnte es vermutlich nicht geben. Deshalb ist es interessant und wichtig, für unser Verständnis eine Erklärung für die Asymmetrie zu finden, die nach heutigem Stand der Naturerkenntnis spekulativ ist. Dabei sind mehrere Mechanismen erforderlich:

1. Die Trennung der bei der Urzeugung aus Fluktuationen entstehenden Quark-Antiquark-Paare.
2. Die Bildung von Quark-Bosonen- und von Antiquark-Bosonen-Konglomeraten, und
3. deren räumliche Trennung.
4. Die Zuordnung der Elektronen und der Positronen zu den beiden Konglomeraten und letztlich
5. das „Verschwinden“ der „Antimaterie“.

Der Ausgangspunkt ist ein Kosmos mit sehr hoher Dichte von Photonen und Coloronen. Durch die Photon-Coloron-Wechselwirkung entstehen Gluonen, erst farbneutrale, dann farbgeladene, und daraus Quark-Antiquark-Paare mit insgesamt neutraler Farbmischung und letztlich aus den Photonen Elektron-Positron-Paare. All diese Paare streben auf Grund ihrer Impulse auseinander.

Zu 1. muss man fordern, dass die Bindung zwischen drei Quarks verschiedener Farbe zur neutralen Farbladung „weiß“ stärker ist als die Bindung von Quarks an ihre Antiquarks. Diese Forderung wird erfüllt, wie in • 32 und im Anhang I gezeigt ist. Deshalb können sich 2. bevorzugt getrennte Quark-Bosonen- und Antiquark-Bosonen-Konglomerate bilden. Damit einher geht, 4., die Zuordnung der Elektronen und der Positronen zu den beiden Quark-Bosonen-Konglomeraten. Dies scheint einfacher verständlich, da – zumindest fluktuativ – bereits Quarkkonglomerate mit elektrischer Ladung existieren, und es werden je nach ihrer Ladung von ihnen die Elektronen oder Positronen „angezogen“ oder „abgestoßen“. Dabei stellt sich die Anzahl der Elektronen und Positronen entsprechend der Anzahl der elektrisch geladenen Quarkkonglomerate ein; überschüssige Elektronen und Positronen annihilieren. Die zufällige räumliche Trennung, 3., dieser Quark-Boson -Elektron-Konglomerate von dem entsprechenden Anti-Konglomerat scheint nur in der frühesten Phase ihrer Entstehung zu erfolgen, wenn die Anzahl der enthaltenen Teilchen klein ist. Denn wäre ein gleichmäßig verteiltes „Gemisch“ solcher Konglomerate und „Antikonglomerate“ mit großer Anzahl an Teilchen vorhanden, könnte es sich trotz Expansion und „Abkühlung“ nicht entmischen, da dies dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik widersprechen würde.

Man kann davon ausgehen, dass in der Anfangsphase der Evolution räumlich getrennt zufällig zwei Bereiche mit einerseits einer kleinen Anzahl Quarks und Elektronen, andererseits mit ebenso vielen Antiquarks und Positronen existieren, mit noch genügend hoher Wahrscheinlichkeit. Das heißt auch, dass sich auf Grund des bei der Urzeugung erhaltenen Impulses Materie und „Antimaterie“ voneinander entfernen. Was bewegt nun neu entstehende Quarks dazu, sich hauptsächlich in die Richtung zu bewegen, dass sich beide Anhäufungen vergrößern und nicht durch Annihilation verkleinern? Die Ursache ist die gleiche wie bei der Bildung von Konglomeraten, dass die Farbkraft zur Bildung von „weiß“ stärker ist als zur Antifarbe. Zwischen beiden geordneten Anhäufungen gibt es einen Zwischenraum, der die Quarks und Elektronen von den Antiquarks und Positronen trennt. Dieser anfängliche Zwischenraum hat eine gewisse „Dicke“, entsprechend der Reichweite der Farbkräfte (und im „gedachten“ metrischen Einbettungsraum zusätzlich eine Unschärfe). Obwohl die Farbladungen beider Anhäufungen neutral sind, existieren an der Trennfläche auf Grund der räumlichen Symmetrieverletzung Farbkräfte, ähnlich der Farbkräfte an der „Oberfläche“ von Nukleonen, die zu ihrer Bindung in Atomkernen beitragen. Dieser

Prozess dauert so lange an, wie die Dichte der Photonen, Coloronen und Gluonen zur Paarerzeugung von Quarks ausreicht (siehe auch Anhang II). Dann entfernen sich beide Bereiche weiter voneinander. Die *Einsteinsche* Gravitationstheorie erklärt die Dynamik zwischen ihnen und hat Einfluss auf deren globale Expansion, die kleiner ist als ihre Trift. Die Folge ist eine „Einschnürung“ des Raumes zwischen beiden Bereichen und schließlich eine Trennung der Raum-Zeit (sogenannte „Hosenwelt“, die Wheeler (9. 7. 1911) um 1965 untersuchte). Zwei Welten sind entstanden, die sich in ihrer Zusammensetzung aus der „Innenansicht“ nicht unterscheiden. Die andere Welt ist die Antiwelt.

Dazu gibt es eine kleine Geschichte:

Es standen Wahlen an und eine der beiden großen Parteien verkündete die Abschaffung des größten Übels, der Antiteilchen. Denn kaum dass etwas geschaffen war, wurde es durch die überall vorhandenen Antiteilchen vernichtet.

Die andere große Partei konnte nicht mehr das Gegenteil verkünden, denn in ihren kurz vor der Auslieferung stehenden Heften des Wahlprogramms stand das gleiche Ziel. Draußen in der brutalen Wirtschaft war das gewöhnliche Volk irritiert und wählte mehr als sonst die kleineren Parteien, die Jux-Partei, die Partei zur Verhinderung der Forschung und der Anwendung ihrer Ergebnisse und die lila Partei, die das Blaue vom Himmel herunter zu holen verspricht. So blieb nach der Wahl nichts weiter übrig als eine Koalition der beiden großen Parteien. Nun war endlich jemand vom Fach in der Regierung, der wusste, wie man die Antiteilchen spurlos verschwinden lassen konnte.

Und was denken Sie, wie es gemacht wurde? Ganz einfach: Mit einem großen, alles erschütternden Ruck wurden die unliebsamen Teilchen alle in außerhalb des Raumes liegende Dimensionen gekippt. Ob eine, zwei oder gar drei zusätzliche Dimensionen notwendig waren, bleibt das Geheimnis der Politiker.

Diese Geschichte fiel mir im Wartezimmer eines Arztes ein, als ich meine Brille vergessen hatte und keine Zeitschrift lesen konnte. Ich erzählte sie dann dem Arzt, der so herzlich und laut darüber lachen musste, dass ich davon aufwachte und sie sogleich aufschreiben konnte. [14. August 2005, Wahlkampf zur Bundestagswahl mit den beiden aussichtsreichsten Kanzlerkandidaten Gerhard Schröder (Jurist) und Angela Merkel (Physikerin)]

Anhang I Interpretation der Teilchenrelationen

Die grundlegenden Beziehungen aller Fluktuationen, Wechselwirkungen und Teilchen, s.u.a. Abschnitt 17, sind

$$\begin{aligned} \mathbf{E} \otimes \mathbf{t} &= \pm \hbar, & * \\ \mathbf{p} \otimes \mathbf{x} &= \pm \hbar, & ** \\ \mathbf{s} \otimes \mathbf{G} &= \pm \hbar. & *** \end{aligned}$$

Die Größen \mathbf{t} und \mathbf{x} stehen für eine nichtmetrische Zeit und einen nichtmetrischen Raum an sich. In Bezug auf ein Teilchen, ob mit oder ohne Ruheenergie, ist \mathbf{t} dessen Zeit(-Raum) und \mathbf{x} dessen Raum. Ihnen kann ein „Inhalt“ zugeordnete werden, ein Volumen $V_n(\mathbf{x})$ und $V_1(\mathbf{t})$. Bei einfachen freien Teilchen ist $V_n(\mathbf{x})$ im Allgemeinen unbegrenzt.

\mathbf{E} und \mathbf{p} stehen für die nichtmetrische Energie und den nichtmetrischen Impuls; Zeit und Energie sind eindimensional, Raum und Impuls mehrdimensional; \mathbf{x} ist in Impulsrichtung begrenzt (**), senkrecht dazu unbestimmt. \mathbf{s} in (***) ist der Spinvektor. \mathbf{G} ist ein Vektor, in dem bestimmte Eigenschaften der Geometrie des Teilchen-Raumes \mathbf{x} eingehen.

Die Richtung \mathbf{n}_s des Spinvektors ist definiert durch $\mathbf{s} \hat{=} \hat{s} \mathbf{n}_s$. \hat{s} ist die Spirali-tät des Teilchens, für die sich andererseits $\hat{s} = \mathbf{n}_s \otimes \mathbf{s}$ ergibt, da $\mathbf{n}_s \otimes \mathbf{n}_s = 1$ gilt. Der Spin ist in seiner Richtung „unscharf“, dessen Betrag hingegen metrisch. Letztlich muss \mathbf{n}_s aus

$$\mathbf{n}_s \otimes (\mathbf{s} \otimes \mathbf{s}) = (\mathbf{n}_s \otimes \mathbf{s}) \otimes \mathbf{s}$$

bestimmt werden; die Ausdrücke in den Klammern sind Vektor-Skalarprodukte, die zudem metrisch sind. Demzufolge ist $|\mathbf{s}| = \hat{s}$.⁸

Der Geometrie-Vektor \mathbf{G} ist ebenfalls parallel zum Spin, so dass $\mathbf{G} = \mathcal{G} \mathbf{n}_s$ gesetzt werden kann. Die Größe \mathcal{G} (\mathcal{G} für Geometrie) wird aus einem geometrischen Modell des Spins abgeleitet, und zwar aus einem Torus mit der Torsion \mathcal{T} und der Anzahl seiner Schleifen \mathcal{Z} , um die Hauptachse, die parallel zu \mathbf{n}_s ist. \mathcal{T} kann die Werte $\pm 1, \pm 2, \dots$ annehmen, \mathcal{Z} die Werte $1, 2, \dots$. Es gilt $\mathcal{G} = \mathcal{Z}/\mathcal{T}$ (zu $\mathcal{T}=0$ s.u.); \mathcal{G} ist der maßgebliche Wert, der die Spirali-tät bestimmt (engl. helicity); man beachte den Unterschied zu chirality, s. z.B. engl. Wikipedia). Wird \mathbf{G} in die Beziehung (***) eingesetzt, erhält man für \hat{s} :

⁸ Wenn zwei nichtmetrische Vektoren \mathbf{A} und \mathbf{B} parallel sein sollen, muss einerseits $\mathbf{A} \otimes (\mathbf{B} \otimes \mathbf{B}) = (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}) \otimes \mathbf{B}$ oder gleichberechtigt $\mathbf{A} \otimes (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}) = (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}) \otimes \mathbf{B}$ gelten. Beide Relationen führen auf $(\mathbf{A} \otimes \mathbf{A}) \otimes (\mathbf{B} \otimes \mathbf{B}) = (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}) \otimes (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B})$, kurz $\mathbf{A}^2 \otimes \mathbf{B}^2 = (\mathbf{A} \otimes \mathbf{B})^2$, eine mit \geq bekannte Ungleichung, wobei das =-Zeichen für parallele Vektoren gilt. Die Ausdrücke mit den Klammern sind Skalare, i.A. nichtmetrisch. Ist speziell ein Vektor, z.B. \mathbf{B} , ein nichtmetrischer Einheitsvektor, so soll im metrischen Einbet-raum $\mathbf{B}^2 = |\mathbf{B}|^2 \equiv B^2 = 1$ gelten, mit $\mathbf{B} \Rightarrow \mathbf{B} + \delta \mathbf{B}$.

$$\hat{s} \doteq \mathbf{s} \otimes \boldsymbol{\eta} = \pm \mathcal{T} \mathcal{Z} \mathbf{h}. \quad ***'$$

Die Spiralität ist invariant gegenüber Drehungen um die Hauptachse. \hat{s} steht in fester Beziehung zur Torsion und ist im Gegensatz zum Spin eine Erhaltungsgröße (s. Landafschitz, Bd. IV, dort mit λ bezeichnet).

Der Spin ist keine Erhaltungsgröße, nur die Vereinigung mit dem Bahndrehimpuls \mathbf{L} , der gesamte Drehimpuls $\mathbf{J} = \mathbf{L} + \mathbf{s}$ bleibt (unter bestimmten Voraussetzungen) erhalten. Da für den Raum eines Teilchens die Richtung des Impulses ausgezeichnet ist, wird die Projektion des Drehimpulses auf die Richtung des Impulses $\boldsymbol{\eta}_p$ betrachtet (auf die Kennzeichnung als nichtmetrische Größe wird hier verzichtet); sie ergibt ebenfalls die Spiralität $\hat{s} = \mathbf{J} \otimes \boldsymbol{\eta}_p$. \hat{s} ist außerdem invariant bei Lorentz-Transformation (siehe Landafschitz, Bd. IV). Da \mathbf{h} ebenfalls eine Erhaltungsgröße und lorentzinvariant ist, trifft dies auch auf \mathcal{G} und \mathcal{Z} und \mathcal{T} zu, wie nicht anders zu erwarten ist.

\hat{s} wird hier als die eigentliche physikalische Größe betrachtet, im Gegensatz zur gängigen Quantentheorie, in der der Spin zur Beschreibung der Wechselwirkung in gebundenen Systemen (z.B. dem Wasserstoffatom) die wichtigere Rolle innehat. Die Spiralität hat ebenso wie der Spin bei Projektion auf eine beliebige, vorgegebene Richtung/Achse $2\hat{s}+1$ Eigenwerte.⁹ Der Spin \mathbf{s} hängt vom Bezugssystem ab, je nach Richtung $\boldsymbol{\eta}_p$ des Impulses. Bei den hier behandelten Reaktionen, wie z.B. in • 32 betrachtet, wird die Richtung des Spins außer Acht gelassen.

Analog zum Spin-Einheitsvektor $\boldsymbol{\eta}_s$ wird der Impuls-Einheitsvektor $\boldsymbol{\eta}_p$ definiert durch

$$\boldsymbol{\eta}_p \otimes (\mathbf{p} \otimes \mathbf{p}) = (\boldsymbol{\eta}_p \otimes \mathbf{p}) \otimes \mathbf{p}.$$

Die Vektor-Skalarprodukte in den Klammern sind hier nichtmetrische Größen, ebenso das Skalarprodukt des „Einheitsvektors“ $\boldsymbol{\eta}_p \otimes \boldsymbol{\eta}_p \neq 1$.

Da der Spin in Richtung des Impulses definiert ist, sind $\boldsymbol{\eta}_s$ und $\boldsymbol{\eta}_p$ parallel und es gilt:

$$\boldsymbol{\eta}_p = (\boldsymbol{\eta}_p \otimes \boldsymbol{\eta}_s) \otimes \boldsymbol{\eta}_s.$$

Die Projektion $\mathbf{z} = \boldsymbol{\kappa}_\eta = \boldsymbol{\kappa} \otimes \boldsymbol{\eta}_p$ des Raumes $\boldsymbol{\kappa}$ auf die Impulsrichtung $\boldsymbol{\eta}_p$ ist die Hauptachse \mathbf{z} . Damit wird aus **

$$\mathbf{p} \otimes \mathbf{z} = \pm \mathbf{h}. \quad ***'$$

Damit ist klar, dass alle drei der grundlegenden Beziehungen invariant gegenüber Drehungen um die Hauptachse sind.

\mathcal{G} bzw. die Zahlen \mathcal{Z} und \mathcal{T} können auf Grund des unterschiedlichen Charakters nicht mit den Größen in den Relationen * und ** unmittelbar verknüpft werden.

⁹ Der Beitrag der Spiralität/des Spins zum Drehimpuls L_s des Teilchens ergibt sich, wie in der Quantenmechanik bekannt, aus $L_s^2 = \hbar^2 * \hat{s}(1 + \hat{s})$.

\hbar ist das reduzierte Plancksche Wirkungsquantum $\hbar/2\pi$; die beiden möglichen Vorzeichen \pm gehören zu den beiden Erscheinungsformen Teilchen–Antiteilchen. Ein Vorzeichenwechsel vor \hbar wirkt sich auf den Raum \mathfrak{x} und die Zeit \mathfrak{t} oder die Energie \mathfrak{E} und den Impuls \mathfrak{p} aus, sie können sowohl positive als auch negative Werte annehmen. \mathfrak{E} ist eine Norm aus Eigenschaft/Ladung oder Antieigenschaft/Antiladung im Raum \mathfrak{x} des Teilchens, $\mathfrak{E} = |\mathfrak{e}^{\pm}|_{\mathfrak{x}}$, oder $\mathfrak{E} = -|\mathfrak{e}^{\pm}|_{\mathfrak{x}}$.

Das Symbol \otimes bedeutet eine Verknüpfung, wodurch andersartige mathematische Objekte entstehen, beispielsweise reelle Zahlen (oder auch Vektoren, Tensoren usw., weiteres s.u.; mit derartigen Operationen mögen sich Mathematiker befassen).

Der Impuls eines Teilchens kann konkretisiert werden, wenn sich das Teilchen in einem Raum R^n befindet, speziell dem Beobachterraum, einem R^3 . Der Raum des Teilchens wird in diesem Fall in einen in der Ausdehnung umfassenderen Raum R^n eingebettet, es gibt dann eine Überschneidung der Räume, die nicht vollständig sein muss. Beispielsweise kann es sein, dass nicht alle Dimensionen des Raumes \mathfrak{x} in R^n enthalten sind, jedoch zumindest die Dimension parallel zu \mathfrak{q} , (andererseits siehe Anmerkung I in • 30).

Aus den Relationen $*$, $**$, $***'$ können für beide Vorzeichen vor \hbar bei gleichen physikalischen Größen \mathfrak{E} , \mathfrak{p} und \hat{s} einerseits die Beziehungen $\mathfrak{t}^+ + \mathfrak{t}^- = 0$, $\mathfrak{x}^+ + \mathfrak{x}^- = 0$ und $T^+ + T^- = 0$ abgeleitet werden. Das bedeutet, dass ein negatives Vorzeichen den (oberen) Index umkehrt:

$$\mathfrak{t}^+ = -\mathfrak{t}^-, \mathfrak{x}^+ = -\mathfrak{x}^- \text{ und } T^+ = -T^-.$$

Andererseits erhält man (unter Voraussetzung der Gültigkeit der Operationen)

$$\begin{aligned} \mathfrak{E} \otimes (\mathfrak{t}^+ - \mathfrak{t}^-) / 2 &= +\hbar, & * \\ \mathfrak{p} \otimes (\mathfrak{x}^+ - \mathfrak{x}^-) / 2 &= +\hbar, & ** \\ \hat{s} &= +(T^+ - T^-) / 2 \mathcal{Z}^* \hbar, & ***' \end{aligned}$$

was nichts Neues bringt, aber zur Einführung der Halbdimension, des Halbraumes und der Halbtorsion führt,

$$\mathfrak{t}_{1/2} = \mathfrak{t}/2, \mathfrak{x}_{1/2} = \mathfrak{x}/2, T_{1/2} = T/2.$$

Den nichtmetrischen Größen \mathfrak{a} können metrische Größen a (oder als Vektor \mathbf{a}) zugeordnet werden, wenn in den nichtmetrischen Raum ein metrischer Raum \mathbb{R}^n eingebettet wird (mit gleicher Anzahl an Dimensionen); dem nichtmetrischen Raum wird quasi ein Gitternetz überlagert. Dadurch kann \mathfrak{a} eine metrische Größe a mit einer Unschärfe δa zugeordnet werden $\mathfrak{a} \Rightarrow a + \delta a$, wobei a und δa nicht nur unabhängig voneinander sind, sie haben sogar unterschiedlichen Charakter. Die metrische Größe a ist eine reelle Zahl, die Unschärfe δa hingegen überdeckt einen Zahlenbereich, ist ein Funktional

mit bestimmten Eigenschaften. Man kann sich vorstellen, dass a das Ergebnis einer Mittelung $\langle a + \delta a \rangle = a$, mit $\langle a \rangle = a$ und $\langle \delta a \rangle = 0$, ist.

Gelegentlich wird δa nicht explizit erwähnt und es werden \mathbf{a} und a (oder \mathbf{a} , usw.) synonym verwendet.

Letztlich kann durch Einführung eines Maßstabes oder Maßeinheit a_0 , die Maßzahl A , d.h. die Anzahl der Maßeinheiten, bestimmt werden: $A = a/a_0$, und ebenso $\delta A = \delta a/a_0$.

Die Verknüpfung $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b}$ führt i.A. zu einer Größe mit Unschärfe, z.B. $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b} \Rightarrow c + \delta c$ aus $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b} \Rightarrow (a + \delta a) \cdot (b + \delta b)$.

Gilt $\mathbf{a} \otimes \mathbf{b} = z \neq 0$ mit der reellen Zahl z (ohne Unschärfe), so gelten

$$a \cdot b = z \quad \text{und} \quad b \cdot \delta a + \delta a \cdot \delta b + a \cdot \delta b = 0.$$

Das Produkt der Unschärfen ist $\delta a \cdot \delta b = -(b \cdot \delta a + a \cdot \delta b) = -z \cdot (\delta a/a + \delta b/b)$. Mit $\alpha = \delta a/a$ und $\beta = \delta b/b$ ist dies $\alpha + \alpha \cdot \beta + \beta = 0$ und somit ist einerseits $\alpha = -\beta/(1+\beta)$, andererseits $\beta = -\alpha/(1+\alpha)$. Für $\alpha = -1$ und $\beta = -1$ werden diese Funktionen unendlich; diese Werte bilden die Trennstelle zweier getrennter Kurvenzweige. Physikalisch relevant ist jeweils einer der Zweige, beispielsweise

$$\begin{aligned} a + \delta a > 0 \quad \text{bei} \quad a > 0, \quad a + \delta a < 0 \quad \text{bei} \quad a < 0, \quad \text{und} \\ b + \delta b > 0 \quad \text{bei} \quad b > 0, \quad b + \delta b < 0 \quad \text{bei} \quad b < 0, \end{aligned} \quad (1)$$

d.h. eine Größe mitsamt Unschärfe hat in diesen Fällen das gleiche Vorzeichen wie die Größe selbst.

Das bedeutet beispielsweise für die obige Beziehung (*)

$$E \cdot \Delta t = \pm \hbar, \quad \text{und} \quad (2)$$

$$\delta E = -E \cdot [(\delta t/\Delta t)/(1 + \delta t/\Delta t)] \quad \text{mit} \quad 1 + \delta t/\Delta t > 0. \quad (3)$$

Für $\delta t/\Delta t \rightarrow 0$ ist $\delta E/E \rightarrow -\delta t/\Delta t$, und für $\delta t/\Delta t \rightarrow \infty$ ist $E + \delta E \equiv 0$. Analog erhält man Gleichungen für den Impuls und die Dimension des Raumes in Impulsrichtung.

Markant ist $\delta x/\Delta x \rightarrow \infty$ bei $|\mathbf{p} + \delta \mathbf{p}| \equiv 0$; ein nahezu ruhendes Teilchen ist über den gesamten Raum „verschmiert“, ein Teilchen mit der Energie $\equiv 0$ über die gesamte (positive) Zeit.

Da δx , Δx , δt , Δt Größen eines Einbettungsraumes sind, dessen Koordinaten sowohl positive als auch negative Werte annehmen können, können diese ebenfalls positive als auch negative Werte annehmen.

Aus der Beziehung $\hat{s} = \mathbf{s} \otimes \boldsymbol{\eta}$, ergibt sich $s^2 \equiv \mathbf{s} \otimes \mathbf{s} = \hat{s}^2$. Die Einbettung in einen metrischen Raum führt auf die Forderungen an die Funktionale der Unschärfen zu (die Indices an $\boldsymbol{\eta}$ sind im folgenden häufig weggelassen)

$$\delta \mathbf{s} \cdot \delta \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\eta} \cdot \delta \mathbf{s} + \mathbf{s} \cdot \delta \boldsymbol{\eta} = 0 \quad (4)$$

und

$$\delta \mathbf{s} \cdot \delta \mathbf{s} / 2 + \mathbf{s} \cdot \delta \mathbf{s} \equiv \delta \mathbf{s} \cdot (\mathbf{s} + \delta \mathbf{s} / 2) = 0, \quad (5)$$

d.h., die Unschärfe des Spins ist senkrecht zum um die Halbe Unschärfe ergänzten Spin (man beachte, dass * zwischen zwei Funktionalen eine Verknüpfung ist).

Impuls \mathbf{p} und Energie E bilden eine Einheit, den Vierer-Impuls $(\mathbf{p}, E/c)$, Unschärfen eingeschlossen. Es sollen die Länge $\Delta\mathbf{x}$ und der Zeitabschnitt Δt ebenfalls zu einer Einheit $(\Delta\mathbf{x}, c\Delta t)$ zusammengeführt werden, der Raum-Zeit des Teilchens (analog der Koordinaten eines Einbettungsraumes).

Das Quadrat des Viererimpulses ist eine Lorentzinvariante $p_i p^i = \mathbf{p}^2 - E^2/c^2 = \text{inv.}$ (Signatur: +,+,+,-). Die Invariante ergibt sich aus $\mathbf{p} = 0$, und hierfür $E = E_0$, zu $-E_0^2/c^2$ (siehe z.B. Landafschitz, Bd. II, §9). Das ergibt die bekannte Gleichung

$$E^2 = E_0^2 + \mathbf{p}^2 c^2, \quad (6)$$

(siehe auch Fussnote im Abschnitt 29 Elektron und Positron).

Das Skalarprodukt aus Viererimpuls und Raumzeit des Teilchens ist ebenfalls eine Lorentzinvariante, die offensichtlich die „innere“ Wirkung eines Teilchens ist

$$\Delta S = \mathbf{p} \Delta\mathbf{x} - E \Delta t = \hbar - \hbar = 0. \quad (7)$$

Die Raum-Zeit und der Viererimpuls eines einfachen Teilchens stehen senkrecht aufeinander. D.h. innerhalb eines einfachen Teilchens verschwindet die Wirkung; mit anderen Worten, gibt es keine Wechselwirkung.

Verknüpft man die beiden Gleichungen (6), (7), indem man den Impuls oder die Energie eliminiert, erhält man

$$E_0^2 = E^2 (1 - c^2 \Delta t^2 / \Delta x^2) = \mathbf{p}^2 c^2 (\Delta x^2 / c^2 \Delta t^2 - 1), \quad (8)$$

woraus wegen $E^2 \geq E_0^2 > 0$ folgt: $\Delta x > c\Delta t$ (für $E_0 = 0$ muss $\Delta x = c\Delta t$ sein, dabei ist E^2 beliebig). Das ist eine Bestätigung des Prinzips (siehe • 28 Photon, S. 17), dass die im Raum \mathbf{x} eines Teilchens enthaltene Eigenschaft/Ladung nicht mit sich selbst in Wechselwirkung stehen kann. Außerdem: die Ausdehnung in Impulsrichtung ist grösser als dort Ladungen eine Wechselwirkung in der „Lebenszeit“ Δt erreichen könnten. Bei einem Teilchen mit verschwindender Ruhenergie $E_0 = 0$, das sich, wie aus (4) folgt, mit der Geschwindigkeit c bewegt, ist in Impulsrichtung ohnehin keine Wechselwirkung möglich (und somit auch senkrecht dazu).

Zur Klarstellung muss erwähnt werden, dass die Wirkung eines Körpers durch das Integral der Lagrangefunktion über den (vierdimensionalen) Abstand seiner vierdimensionalen Bewegungsbahn definiert ist.

Der Raum des Photons, in dem es keine Wechselwirkung – mit sich – gibt und folglich keine Grenzgeschwindigkeit einer Wechselwirkung, haben die Beziehungen der relativistischen Physik, z.B. die der Lorentztransformation, keinen Sinn. Dies ermöglicht offenbar die Konstruktion eines geometrischen Modells des Photonen-Raumes, hier eines gewöhnlichen, einschleifigen Torus, allerdings mit einer Torsion von 1 (in Einheiten des Vollwinkels 360° bzw. 2π).

Eine Bemerkung zu Torsion $\mathcal{T}=0$. Da der Ring eines jeden Torus, speziell der Unschärfbereich $\delta\mathbf{x}$, bis an die Hauptachse $\boldsymbol{\eta}$ heranreicht, wird er im Falle ohne Torsion zu einer Kugel „verschmelzen“, d.h. die Topologie ändert sich. Der Kugel kann eine Schleife nicht zugeordnet werden; die Schleifenzahl wird $\mathcal{Z}=0$ gesetzt. Die Spiralität wäre dann unbestimmt und

das Plancksche Wirkungsquantum wäre ohne Bedeutung; man hätte den Bereich der Quantenphysik verlassen und es ginge offensichtlich um einen Körper der klassischen Mechanik. Man kann daraus die Schlussfolgerung ziehen: Es gibt keine einfachen Teilchen mit der Spiralität 0, letztlich mit Spin 0, oder keine einfachen Teilchen mit der Topologie einer Kugel (2-Sphäre). Die 2-Sphäre ist nicht parallelisierbar – das Feld der tangentialen Vektoren hätte singuläre Punkte. Die 1-Sphäre (ein Kreis), die 3- und die 7-Sphäre sind ebenso wie der Torus parallelisierbar. Wie andererseits bereits erwähnt, scheinen nur parallelisierbare Objekte als Modelle für einfache Teilchen möglich zu sein. Die hier gebrachten Modelle unterstützen diese Vermutung. Es gibt auch einen Zusammenhang zwischen parallelisierbaren Sphären und den komplexen und hyperkomplexen Zahlen (Quaternionen und Oktonionen).

In der Physik sind neben kontinuierlichen auch diskrete Transformationen von Objekten und der sie beschreibenden Gleichungen wichtig und interessant. Betrachtet werden die Raumspiegelung am Koordinaten-Nullpunkt, d.h. es wird $\mathbf{x}' \rightarrow -\mathbf{x}$ ersetzt; im \mathbb{R}^3 gleich bedeutend mit der Spiegelung einer (beliebigen, oft mit z bezeichneten) Achse und nachfolgender Drehung um diese Achse um 180° . Es ist die Paritätstransformation P. Die Spiegelung der Zeitachse $t' \rightarrow t$ ist die T-Transformation. Beide gemeinsam sind die PT-Transformation. Der Wechsel Teilchen-Antiteilchen ist erfahrungsgemäß mit einer Ladungskonjugation, d.h. dem Vorzeichenwechsel $q' \rightarrow -q$, verbunden und wird C-Transformation genannt. Nach bisheriger Erfahrung sind alle Gleichungen/Beziehungen, die Teilchen und Wechselwirkungen beschreiben, invariant gegenüber der CPT-Transformation.

Die Raumspiegelung führt beispielsweise zu ($\boldsymbol{\eta}$ steht hier für $\boldsymbol{\eta}_p$)

$$P: \Delta t' = \Delta t, \Delta \mathbf{x}' = -\Delta \mathbf{x}, E' = E, \mathbf{p}' = -\mathbf{p}, \boldsymbol{\eta}' = -\boldsymbol{\eta}, T' = -T, \mathbf{s}' = \mathbf{s}, \hat{s}' = -\hat{s};$$

die Zeitspiegelung zu

$$T: \Delta t' = -\Delta t, \Delta \mathbf{x}' = \Delta \mathbf{x}, E' = E, \mathbf{p}' = -\mathbf{p}, \boldsymbol{\eta}' = -\boldsymbol{\eta}, T' = T, \mathbf{s}' = \mathbf{s}, \hat{s}' = -\hat{s};$$

die kombinierte Spiegelung

$$PT: \Delta t' = -\Delta t, \Delta \mathbf{x}' = -\Delta \mathbf{x}, E' = E, \mathbf{p}' = \mathbf{p}, \boldsymbol{\eta}' = \boldsymbol{\eta}, T' = -T, \mathbf{s}' = \mathbf{s}, \hat{s}' = \hat{s};$$

die Ladungskonjugation

$$C: \Delta t' = \Delta t, \Delta \mathbf{x}' = \Delta \mathbf{x}, E' = E, \mathbf{p}' = \mathbf{p}, \boldsymbol{\eta}' = \boldsymbol{\eta}, T' = T, \mathbf{s}' = \mathbf{s}, \hat{s}' = \hat{s};$$

und alle drei Transformationen

$$CPT: \Delta t' = -\Delta t, \Delta \mathbf{x}' = -\Delta \mathbf{x}, E' = E, \mathbf{p}' = \mathbf{p}, \boldsymbol{\eta}' = \boldsymbol{\eta}, T' = -T, \mathbf{s}' = \mathbf{s}, \hat{s}' = \hat{s}.$$

Bemerkenswert ist die Invarianz der Spiralität \hat{s} gegenüber der PT-, der C- und folglich der CPT-Transformation; aber nicht einer P- oder T-Transformation allein.

Die grundlegenden Beziehungen * in einem Einbettungsraum sind gegenüber einer P-, einer CT- und folglich auch PCT-Transformation invariant

$$\begin{array}{ll} E^* \Delta t = \pm \hbar, & *' \\ \mathbf{p}^* \Delta \mathbf{x} = \pm \hbar, & **' \end{array}$$

$$\hat{s} = \mathbf{s} * \boldsymbol{\eta}_s = \pm \mathcal{T} / \mathcal{Z} * \hbar, \quad ***'$$

wobei die Unschärfen nicht „vergessen“ werden dürfen, die hier nicht aufgeschrieben sind.

Die zweifache Anwendung einer Transformation ergibt wieder den Ausgangszustand $P^2 = T^2 = C^2 = 1$. Daraus folgt, dass eine inverse Transformation gleich der Transformation ist: $P^{-1}=P$, $T^{-1}=T$ und $C^{-1}=C$. Daraus lassen sich andere Beziehungen ableiten; z.B. bei $PCT=1$ ist $C=PT$; der Übergang zu einem Antiteilchen ist mit einer Raum- und Zeitspiegelung verbunden.

Für das (einfache) Teilchen selbst, sozusagen sein „Inneres“, fehlen die Voraussetzungen der Relativitätstheorie(en); es gibt nur die Raum-Zeit des Teilchens selbst, das zwar die Einführung eines Koordinatensystems möglich macht – aber nur in einem Einbettungsraum –, aber keine Lorentztransformation. Das Teilchen bildet – es ist ein Quant – eine Einheit. Der Raum, in dem es sich befindet „endet“ an dessen Grenzen, die zudem unscharf sind. Deshalb muss es in der Relativitätstheorie als Raum-Punkt behandelt werden, weil innerhalb eines (einfachen) Teilchens keine Wechselwirkung definiert werden kann¹⁰. Beispielsweise kann bei einem Elektron dessen Ladung in Teilbereichen nicht miteinander wechselwirkend betrachtet werden. Das Elektron befindet sich quasi gleichzeitig und überall in seinem Raum, den man in der Schrödingerschen Wellenmechanik (*Erwin Schrödinger*, 1887 – 1961) als Messwahrscheinlichkeit (bei Einbettung in einen metrischen Raum) berechnen kann. Gibt es eine Messwahrscheinlichkeit jenseits eines Potentials, so kann es quasi gleichzeitig auf beiden Seiten beobachtet/gemessen werden; es „tunnelt“ instantan. Davon nicht berührt ist die Möglichkeit, dass sich die Raum-Zeit zweier Teilchen überschneiden können. Es ist sogar so, dass für eine Wechselwirkung beider Teilchen eine Überschneidung des Raumes und der Zeit Voraussetzung ist. Die Wechselwirkung ist um so wahrscheinlicher, je größer die Überschneidung ist.

Davon unberührt ist die Verteilung der Eigenschaft, der Ladung, in der Raum-Zeit des Teilchens nicht homogen, denn sie unterliegt Schwingungen. Diese schwingende Verteilung der Ladung und der Antiladung eines Photons ist der Grund, weshalb es in der klassischen Feldtheorie als elektromagnetische Welle erscheint.

¹⁰ Hier tritt das Hauptproblem der (einfachen) Quantenobjekte und der metrischen Relativitäts- und Gravitationstheorie zutage. Für einen Verbund von Teilchen, deren Räume sich nicht oder nur unwesentlich überschneiden, kann man sich vorstellen, dass z.B. eine metrische Grenzfläche nicht durch ein Teilchen „hindurch“ geht, sondern es „umgeht“ – wie die Grenzfläche von Luft und Flüssigkeit beim Schaum. Ein Teilchen befindet sich sozusagen nicht beiderseits einer solchen Grenzfläche. Damit wäre ein „Tunneln“ durch eine Grenzfläche nicht möglich.

Problematisch wird es, wenn ein großer Raumbereich ausgefüllt ist mit Teilchen, die sich wesentlich überschneiden. Kann in diesem Raum eine metrische Grenzfläche existieren? Wird sie an den Rand verschoben?

In der klassischen Physik und auch noch in der Quantenmechanik spielt der Begriff der *M e s s u n g* eine zentrale Rolle. Zu einer Messung sind eine ganze Reihe von Voraussetzungen notwendig. Neben der Einführung von Maßstäben muss ein Messprozess festgelegt und ein Messgerät konstruiert und gebaut werden. Bei der Festlegung von Maßstäben werden von alters her metrische Größen verwendet, freilich mit Genauigkeitsgrenzen versehen, d.h. man setzt metrische Räume voraus. So werden für Zeit und Länge die Maßstäbe t_0 und l_0 eingeführt, so dass $\Delta t = T \cdot t_0$ und $\Delta x = L \cdot l_0$ sind, mit den reellen (eigentlich immer nur rationalen) Maß-Zahlen T und L (z.B. $\Delta t = 5s$, $T=5$, s =Sekunde). Die Maßstäbe werden in einer positiven Raum-Zeit als positive Einheiten angesehen, in einer Negativen Raum-Zeit als negativ, die Maßzahlen können beide Vorzeichen haben.

Reelle Teilchen, die einer Wechselwirkung unterliegen, können über ihre Zeit Δt und ihrer Ausdehnung Δx_η hinaus existieren (was normalerweise der Fall ist). Dabei kann man Δt und Δx_η – mit begrenzter Periode – fortsetzen und außerdem die Kehrwerte Kreis-Frequenz ω bzw. Frequenz ν und die Wellenzahl \mathbf{k} einführen. Die Unschärfen eingeschlossen, ist $\omega + \delta\omega = 1/(\Delta t + \delta t)$ und $\mathbf{k} + \delta\mathbf{k} = 1/(\Delta \mathbf{x} + \delta \mathbf{x})$. Dabei wird $\omega = 1/\Delta t = 1/(T \cdot t_0)$ und $\mathbf{k} = 1/\Delta \mathbf{x}$ festgelegt (häufig wird der Maßstab weggelassen, d.h. $\omega = 1/T$ geschrieben, dafür die Einheit, hier $[s^{-1}]$, hinzugefügt). Die Unschärfe $\delta\omega$ beispielsweise ist dann

$$\delta\omega = -\omega \cdot [(\delta t/\Delta t)/(1 + \delta t/\Delta t)],$$

woraus sich (siehe oben $\delta E = -E \dots$)

$$\delta E = \pm \delta\omega \cdot \hbar$$

ergibt. Entsprechende Ausdrücke erhält man für $\delta \mathbf{p}$ und $\delta \mathbf{k}$.

Im Einbettungsraum erhält man für die oben angegebenen Beziehungen * und **

$$E + \delta E = \pm (\omega + \delta\omega) \cdot \hbar = \pm (\nu + \delta\nu) \cdot \hbar$$

bzw.

$$\mathbf{p} + \delta \mathbf{p} = \pm (\mathbf{k} + \delta \mathbf{k}) \cdot \hbar,$$

die sofort getrennt in metrische und in unscharfe Teile – wegen deren Unabhängigkeit – geschrieben werden können:

$$E = \pm \omega \cdot \hbar = \pm \nu \cdot \hbar, \quad \delta E = \pm \delta\omega \cdot \hbar = \pm \delta\nu \cdot \hbar,$$

$$\mathbf{p} = \pm \mathbf{k} \cdot \hbar, \quad \delta \mathbf{p} = \pm \delta \mathbf{k} \cdot \hbar.$$

Da die Unschärfen Funktionale sind, die einen Wertebereich überstreichen, besteht zu ihnen ein Zusammenhang mit der Verteilung der entsprechenden Größe $\Delta \mathbf{x}$, Δt , \mathbf{p} , E usw. Bei Wellen ist das die Amplitude der Frequenzen bzw. der Energien¹¹.

Da \hbar als universelle Naturkonstante eindeutig vorgegeben ist, kann sie als positive Maßzahl angesehen werden. Das gemischte Vorzeichen \pm in den

¹¹ Bei Wellenfunktionen $\Psi = a(\mathbf{k}, \omega) \cdot \exp[i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{x} - \omega \cdot t)]$ etwa die zugehörige Dichtefunktion $\rho(\mathbf{k}, \omega)$.

grundlegenden Relationen oben deutet bereits an, dass die Größen auf der linken Seite der Relationen nicht eindeutig sind. Man muss einen positiven Raum $\mathfrak{x} > 0$ von einem negativen $\mathfrak{x} < 0$ unterscheiden, und in beiden gibt es eine positive und eine negative, der positiven entgegengesetzte, Richtung. Analog gibt es einen positiven und einen negativen Impuls. Es gibt keinen Hinderungsgrund neben einer positiven Zeit $\mathfrak{t} > 0$ eine negative Zeit $\mathfrak{t} < 0$ zuzulassen (wohlgemerkt, es handelt sich hier nicht um die Raum-Zeit, in welcher sich ein Teilchen bewegt, sondern um die Raum-Zeit eines Teilchens). Ebenso gibt es neben der positiven Energie $\mathfrak{E} > 0$ die negative Energie $\mathfrak{E} < 0$. In der Vergangenheit wurden Versuche unternommen, negative Energie von Teilchen auszuschließen, da dies nicht der menschlichen Erfahrung aus der Makrowelt entspricht, z.B. durch Einführung einer ominösen Vakuumenergie, oder, anders ausgedrückt, dem nach *Paul A. M. Dirac* (1902 – 1984) benannten Dirac-See, obwohl dies in der Theorie zu Problemen führt. Das Problem ist doch vielmehr und die Frage muss lauten: Weshalb wird in der Makrowelt (im Beobachterraum) keine negative Energie beobachtet? Zusammenhängend mit dem Problem, weshalb in der Natur (fast) nur eine Form der Teilchen beobachtet wird und nicht ebenso die Anti-Teilchen. Und: Weshalb laufen komplexe Prozesse in abgeschlossenen Systemen nur in einer Richtung der Zeit ab?

Wie oben allgemein dargelegt, ist bei $\mathfrak{E} > 0$ ebenso $E > 0$ und $E + \delta E > 0$, bei $\mathfrak{E} < 0$ ebenso $E < 0$ und $E + \delta E < 0$. Analoges gilt für den Impuls.

Der allgemeine Zusammenhang $E^2 = E_0^2 + p^2 \cdot c^2$ (4) ergibt gemäß einfacher Regeln der Mathematik zwei Lösungen bzw. Kurvenzweige $E(p)$, eine für

$$E \geq E_0 > 0 \text{ und die andere für } E \leq E_0 < 0.$$

Der Übergang eines Teilchens in einem Zustand mit $E > 0$ zu $E < 0$ oder umgekehrt ist also nicht möglich.

Ist für ein Teilchen mit $E_0 \neq 0$, beispielsweise einem Elektron, in einem Bezugssystem $p = 0$, so kann es in diesem Bezugssystem im Falle $E_0 > 0$ nur ein Photon mit positiver Energie absorbieren oder ein Photon mit negativer Energie emittieren, da stets $|E| \geq E_0$ gilt; im Falle $E_0 < 0$ ist es umgekehrt. Da es immer ein Bezugssystem mit $p = 0$ gibt, kann demzufolge ein freies Elektron kein Photon mit $E > 0$ emittieren (bei $E_{0\text{Elektron}} > 0$ und $E_{\text{Photon}} > 0$ und umgekehrt). Für den Prozess der Emission eines Photons ist noch (mindestens) ein weiteres Teilchen notwendig (halbklassisch auch das Feld eines Teilchens oder elektrischen Stromes \rightarrow Bremsstrahlung). Das kann auch ein Photon sein (was die Streuung eines Photons an einem Elektron bedeutet).

Betrachtet wird nun ein Prozess, an dem zwei Teilchen – man denke an Photonen – beteiligt sind. Für ein Teilchen sollen die obigen grundlegenden Relationen (*, **, ***) mit positiven Vorzeichen $+\hbar$, für das andere Teilchen

mit negativen Vorzeichen $-\hbar$, z.B.

$$\mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{t}_1 = +\hbar, \quad \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{t}_2 = -\hbar$$

gelten.

Wird Erhaltung der Energie gefordert, also $\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = 0$, folgt bei $\mathbf{E}_2 = -\mathbf{E}_1 < 0$, $\mathbf{t}_2 = \mathbf{t}_1 > 0$ und umgekehrt folgt bei $\mathbf{E}_1 < 0$, $\mathbf{t}_2 = \mathbf{t}_1 < 0$ für beliebiges \mathbf{t}_1 . Die Teilchen besitzen dieselbe Zeit.

Gelten für beide Teilchen gleiche Vorzeichen + vor \hbar , folgt bei Energieerhaltung im Falle $\mathbf{E}_2 = -\mathbf{E}_1 < 0$, $\mathbf{t}_2 = -\mathbf{t}_1 < 0$ und umgekehrt; für ein Teilchen sind Energie und Zeit positiv, für das andere negativ. Bei jeweils negativen Vorzeichen ist bei $\mathbf{E}_2 = -\mathbf{E}_1 < 0$, $\mathbf{t}_2 = -\mathbf{t}_1 > 0$ und umgekehrt. Die Teilchen besitzen entgegengesetzte Zeiten.

Wenn Erhaltung der Energie gefordert wird, wird man für (einfache) Teilchen die Erhaltung der Impulse fordern müssen. Im Falle gemischter Vorzeichen in den Grundrelationen besitzen sie denselben Raum, bei gleichem Vorzeichen besitzen sie „entgegengesetzte“ Räume.

Wenn an einem Prozess zwei Teilchen beteiligt sind und sie die gleiche Raum-Zeit besitzen, müssen bei Energie- und Impulserhaltung die Grundrelationen verschiedene Vorzeichen haben. Dies legt nahe, beide Teilchen als Antipoden zu betrachten, als Teilchen (mit $+\hbar$) und als Antiteilchen (mit $-\hbar$).

Wenn Teilchen nicht unbegrenzt ausgedehnt sind ($\mathbf{x}^* \eta \rightarrow \infty$, $\mathbf{t} \rightarrow \infty$) besitzen sie endlichen, nicht verschwindenden Impuls und endliche, nicht verschwindende Energie (Teilchen mit Ruhenergie besitzen also stets eine endliche Zeit, siehe • Elektron/Positron). Wegen dieses nicht verschwindenden Impulses müssen solche Teilchen in einem Raum existieren; ihre Raum-Zeit muss in einer übergeordneten Raum-Zeit enthalten sein.

Die einzigartige Eigenschaft des Photons, sich von seinem Antiteilchen lediglich durch eine Drehung zu unterscheiden, hat besondere Konsequenzen (siehe • 28 Photon).

Nach dem Torusmodell des Photons unterscheidet es sich vom Antiphoton durch eine Drehung um die Hauptachse um 180° . Da die Grundgleichungen $*$, $**$, $***$ oder $****$ gegen Drehungen um diese Achse invariant sind, gelten sie für jedes Vorzeichen von \hbar sowohl für das Photon als auch das Antiphoton. Jedes Vorzeichen von \hbar ist von vorne herein gleichberechtigt. Demzufolge gibt es zwei Sorten von Photonen, solche mit positiver und andere mit negativer Raum-Zeit und Torsion, oder (äquivalent) mit positiver und negativer Energie, entgegengesetztem Impuls und entgegengesetzter Spiralität.

Anhang II

Trägheit, Gravitationskonstante und Kosmologie

Im Rahmen der Newtonschen Physik wird die Frage nach der Ursache der Trägheit von Körpern gestellt. Wie kommt es, dass ein Körper einer Beschleunigung einen Widerstand entgegensetzt? Einer Beschleunigung gegenüber wem oder was? Die Antwort ist ein Kunstgriff: gegenüber einem Inertialsystem. Aber was bestimmt das Inertialsystem? Hierzu äußerte sich vermutlich zuerst *Ernst Mach* (18. 2. 1838 - 19. 2. 1916), mit der Überzeugung, dass sich die Bewegung eines Körpers auf alle Körper des Weltraumes bezieht, das Bezugssystem durch alle Körper bestimmt wird und alle Massen untereinander in Beziehung stehen.

Die Trägheit eines Körpers wird durch seine „träge“ Masse ausgedrückt. Zur Beschleunigung eines Körpers ist eine Kraft notwendig, die im gleichen Maße zunehmen muss wie einerseits die Beschleunigung selbst und andererseits seine trägen Masse (dem Trägheitswiderstand), also dem Produkt beider. Dieses Produkt wurde bereits von *Isaac Newton* (4. 1. 1643 – 31. 3. 1727) als Bewegungsgröße eingeführt und wird heutzutage als Impuls bezeichnet.

Neben der Trägheit gibt es in der Newtonschen Physik die wechselseitige Anziehung der Körper, die durch ihre „schweren“ Massen beschrieben wird. Die Kraft dieser Anziehung wächst proportional mit den schweren Massen der Körper, also ihrem Produkt und nimmt nach *Christiaan Huygens* (14. 4. 1629 – 8. 7. 1695) und *Newton* umgekehrt mit dem Quadrat ihres Abstandes ab.

Um beide Formen der Kräfte miteinander in Beziehung setzen zu können, müssen zunächst beide Formen der Masse in Beziehung gebracht werden. In der Newtonschen Mechanik und Gravitationstheorie (NMG) wurden sie gleichgesetzt, in der Einsteinschen Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) sind sie sogar identisch. In der NMG müssen die beiden Bestimmungsgrößen der Masse mit Maßstabsfaktoren versehen werden, wobei ein Faktor frei wählbar ist (der somit die Maßeinheit der Kraft festlegt). Man wählt ihn gleich der Zahl 1 im Trägheitsgesetz, womit man im Gravitationsgesetz die Newtonsche Gravitationskonstante, k , einführt. k hat dann die Maßstäbe Länge hoch drei, pro Masse, pro Zeit hoch zwei. Messungen ergeben [hier immer cgs-System] $k = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}\cdot\text{s}^2$. In der ART wird die gesamte Materie durch den Energie-Impuls-Tensor T_{ik} ausgedrückt und die Krümmung des Raumes durch deren Krümmungstensor R_{ijkl} , die in Form des Einstein-Tensors G_{ik} zu T_{ik} in Beziehung gesetzt wird. Wählt man als Kopplungskonstante beider Größen κ , ist die Einsteinsche Gleichung

$$G_{ik} = \kappa \cdot T_{ik} . \quad (1)$$

In Gl. (1) tritt überhaupt keine Masse auf; die Bewegung der Körper, die in T_{ik} enthalten ist, wird aus der Divergenz $T_{i,k;k} = 0$ bestimmt, wobei die

Krümmung der Raum-Zeit in die Ableitung (symbolisiert durch κ) eingeht, die wiederum mit dem Energie-Impuls-Tensor T_{ik} über (1) zusammenhängt.

Zur Anwendung der Einsteinschen Gleichung (1) muss κ bekannt sein. Wie in der Physik üblich, muss ein berechenbares Modell gefunden werden, aus dem durch die daraus abgeleitete mathematische Beziehung zu anderen Größen und deren Messung die gesuchte Größe – nach Eliminierung von Störgrößen – berechnet wird. Beispielsweise könnte man aus einem „Schwarzen“ Loch mit bestimmbarem Schwarzschildradius R_g und dessen Energie E die Kopplungskonstante κ vermöge $\kappa = 4\pi R_g/E$ (3) berechnen. Für E kann man die zugehörige Masse M (aus $E = Mc^2$) einsetzen. Unter Anwendung des Korrespondenzprinzips erhält man den Zusammenhang $\kappa = 8\pi k/c^4$ (4) mit der Newtonschen Gravitationskonstanten k .

In einem materie- und spannungsfreien Raum, also $T_{ik}=0$, ist ebenfalls $G_{ik}=0$. In diesem Fall bleibt κ und folglich die Newtonsche Gravitationskonstante k unbestimmt, was nicht anders zu erwarten gewesen ist.

Um bei Experimenten zur Bestimmung von κ nicht die Störung durch andere Massen (anstatt Energie hier die Anpassung an den allgemeinen Sprachgebrauch) eliminieren zu müssen, ist es angebracht, von vorne herein alle Massen einzubeziehen, das heißt den gesamten Kosmos. Das ist nur bei einem geschlossenen Kosmos möglich, der eine endliche Masse hat; beim offenen ist sie unendlich. Das bedeutet aber auch, dass die strenge Machsche Vermutung nur für geschlossene – endliche – kosmologische Modelle richtig sein kann. Für den Friedmann-Kosmos erhält man $\kappa = \pi/6 * L/E = \pi/6 * L/M_{ges}c^2$, wobei $L = \pi a_{max}/2$, die größte jemals existierende Ausdehnung des Kosmos ist, bei dem größten Krümmungsradius des Weltalls a_{max} (es ergibt sich $L=24 * R_g$!). Die sichtbare Welt und die in ihr enthaltene Masse ist für einen Beobachter, der ja nicht seit dem „Urknall“ existiert, jedoch kleiner; für ihn existiert ein Ereignishorizont, der von „heute“ bis zur Entstehungszeit des Kosmos zurückreicht. Ein Experimentator, genauer gesagt der messende Beobachter, kann die Massen nur in diesem Bereich bestimmen und dann über ein kosmologisches Modell für den gesamten Kosmos extrapolieren. Die beobachtbare Masse (ebenso für die Ruhenergie) ist $M_{beob} = M_{ges} * (\eta - \sin\eta * \cos\eta)/\pi$, mit dem Weltalter η von 0 bis π .

Bei einem offenen Weltmodell ist der Kosmos endlos ausgedehnt und die in ihm enthaltene Masse unbegrenzt. Ist dessen Geometrie hyperbolisch (Winkelsumme im Dreieck kleiner als 180°), gilt $\epsilon a^3 = 6a_0/\kappa$, mit der Energiedichte ϵ , $i * a$ dem Krümmungsradius (i ist die imaginäre Einheit) und einer willkürlichen Konstanten a_0 (hier eine Integrationskonstante, den Faktor 6 könnte man natürlich weglassen, er steht hier, um Übereinstimmung mit der unten angegebenen Literatur zu haben). Man sieht, dass die Kopplungskonstante κ wegen des unbestimmten Faktors a_0 nicht bestimmbar ist. Die Gravitationskonstante in einem hyperbolisch gekrümmten Raum kann nicht aus dem Raum bis zum Ereignishorizont und der darin enthaltenen Masse bestimmt werden. Deshalb ist ein solches Modell unrealistisch. Bei

parabolischer Geometrie ist der Raum „flach“, also nicht gekrümmt (Winkelsumme im Dreieck 180°), dehnt sich aber mit dem Skalenfaktor

$$b(\tau) = b_0 * (\tau/\tau_0)^{2/3}$$

aus; τ ist die Eigenzeit. Die Rechnungen ergeben $\kappa * \varepsilon = 4/3\tau^2$. Dies führt auf die gesuchte Beziehung

$$\kappa = 4/3 * L / M_{\text{beob}} c^2 = (4/3)^2 * \pi R_0^3 / (c\tau_0)^2 M_{\text{beob}} c^2$$

mit, $L = V / (c\tau)^2$, $V = 4/3 * \pi R^3$, $R = R_0 * (b/b_0) = R_0 * (\tau/\tau_0)^{2/3}$,
und $M_{\text{beob}} = \mu V$, der Massendichte $\mu = \varepsilon/c^2$, also $L = 4/3 * \pi R_0^3 / (c\tau_0)^2$.

L ist ausgedrückt durch kosmologische Größen: Der Abstand zum Ereignishorizont bei der Eigenzeit τ_0 und M_{beob} ist die in der entsprechenden Kugel enthaltene Masse. Nur in einem unendlichen, offenen, aber ebenen Kosmos und einem endlichen, abgeschlossenen Kosmos kann die gravitative Kopplungskonstante κ der Einsteinschen Feldgleichungen – ohne notwendige Korrektur störender Massen – bestimmt werden.

Im Rahmen dieses einfachen Friedmannschen kosmologischen Modells scheinen nur diese beiden Fälle realistisch zu sein. [Zu den Rechnungen siehe Landafschitz, Bd. II].

Es taucht die Frage auf, ob die Kopplungs-Konstante κ in der Frühphase des Kosmos nicht von der Zeit abhängt. Es ist zu vermuten, dass $\kappa \rightarrow 0$ für $\tau \rightarrow 0$ ist ($\tau \sim$ Weltalter). Dies wäre im Einklang mit dem Umstand, nach dem in der Frühphase des Kosmos es unmöglich ist, Punkte oder gar Abstände zwischen den ausgedehnten „Teilchen“ zu definieren, möglicherweise mit der Konsequenz der Unerreichbarkeit des (zurückgerechneten) Nullpunktes der Zeit. In der Anfangsphase wäre die Metrik des Raumes von der Materie entkoppelt, sie wäre sogar nicht existent.

Eigentlich ist diese Vermutung sogar zwingend. Geht man von der Urzeugung eines ersten Photonenpaares und weiterer in deren Raum-Zeit aus, die folgend die globale Raum-Zeit erzeugen, bleibt in endlicher Zeit die Energie des derart sich entwickelnden Kosmos endlich. Nur in einer unbegrenzten Zeit kann die Energie – und auch der Raum – unbegrenzt werden, bzw. sein. Nur die Extrapolation des endlichen Raumes von der Jetztzeit zurück zur Zeit des Ereignishorizontes ergibt einen endlichen Zeitabschnitt.

Dieses oder ein ähnliches Modell, welchem nach der Anfangsphase eines Licht- oder Photonenkosmos ein Quark-Gluonen-Kosmos folgt, mit der späteren Erzeugung von Elektronen (und anderer Leptonen), erfordert modifizierte kosmologische Weltmodelle, als sie derzeit gebräuchlich sind. Dies folgt aus der Mindestzahl an Raumdimensionen, die notwendig sind.

Besteht der gesamte Kosmos aus einem Photonengas, genügen drei Raumdimensionen. Sind hochenergetische Photonen zur Erzeugung einzelner Quark-Gluonen-Konglomerate vorhanden, so sind ihre sechs weiteren Raumdimensionen „ingerollt“, und der globale Raum besteht weiterhin aus drei Dimensionen. Ist die Anzahl dieser Konglomerate so weit gewachsen,

dass sie den gesamten Raum ausfüllen – sie miteinander verschränkt sind –, spätestens dann ist der Kosmos ein neundimensionales Raumgebilde, ergänzt durch die Zeitdimension. Einige Relationen sind in Räumen mit unterschiedlicher Anzahl an Dimensionen verschieden. So ist die Energiedichte – die in T_{ik} eingeht – Energie, dividiert durch das Volumen. Das Volumen eines Raumes mit dem Krümmungsradius a ist im dreidimensionalen Fall $V_3 = 2\pi^2 a^3$, das des neundimensionalen $V_9 = \pi^5 a^9 / 12$. Schwarzschildradius und Ereignishorizont hängen ebenfalls anders mit der gesamten (neundimensionalen) Masse zusammen, wie die (neundimensionale) Gravitationskonstante. Insbesondere die zeitliche Entwicklung verläuft bei gleicher Gesamtmasse unterschiedlich ab.

Fragmentiert das Quark-Gluonen-Konglomerat zu einzelnen kosmischen Objekten, die selbst noch neundimensional sein können, so geht der Kosmos in ein dreidimensionales Objekt über, wiederum mit anderem zeitlichen Verlauf und der Möglichkeit geschlossener Bewegungsbahnen. Interne Fragmentationen in den kosmischen Einzelobjekten führen zur Bildung der Baryonen, u.a. der Protonen und Neutronen, und schließlich gemeinsam mit Elektronen zur kondensierten Materie, die „von außen“ gesehen dreidimensional ist und letztlich den Beobachterraum bildet. Diese stoffliche Materie in ihren – klassisch – drei Aggregatzuständen ist für uns gemeine, mit Selbstbewusstsein ausgestattete Wesen die spürbare Materie.

Wenn es richtig ist, dass die Dunkle Materie sich in sechs zum Beobachterraum weiteren Dimensionen befindet, stellt sich die Frage, ob diese weiteren Dimensionen dem Beobachterraum aufgepfropft sind, ähnlich wie die „engerollten“ Dimensionen der Farbladungen der Quarks, nur im „kosmischen“ Maßstab, oder der gesamte Raum neundimensional ist. Dann wäre umgekehrt der Beobachterraum ein Unterraum. Dann mit anderer Dynamik, eventuell mit beschleunigter Ausdehnung ohne kosmologischem Glied λ in den nun zehndimensionalen Einsteinschen Gleichungen.

Ist andererseits der Kosmos endlich, hat ein endliches Volumen und eine endliche Masse, so ist seine Metrik mit der Metrik im Inneren eines Schwarzen Loches vergleichbar. Dieser Kosmos könnte in einem Hyperkosmos als Schwarzes Loch eingebettet sein. Im Hyperkosmos gäbe es neben der „gewöhnlichen“ Materie eine beliebige Anzahl Schwarzer Löcher, von denen einige wiederum einen Kosmos darstellen könnten. Dann kann durch Zustrom von Materie aus dem Hyperkosmos die Masse „unseres“ Kosmos zunehmen, mit der Konsequenz einer abnehmenden Kopplungskonstante. Eine Rechnung mit zunehmender Masse und variablem κ könnte zu dem Ergebnis kommen, dass dieser Kosmos sich bei genügend großem Massezustrom (während eines Zeitabschnittes) beschleunigt ausdehnt. Damit könnten eventuell die aus der Beobachtung berechnete Zunahme der Expansion erklärt werden, ohne Vorhandensein eines kosmologischen Terms in den Einsteinschen Gleichungen, d. h. ohne die Dunkle Energie.

Nachtrag

Nach einer ersten Überarbeitung des Heftes zur 2. Auflage holte ich mir eine Reihe von Drucken mit Vorträgen von Max Planck und begann zu lesen mit „DAS WELTBILD DER NEUEN PHYSIK“, von 1929, das ich bereits gegen Ende meines Studiums 1968/69/70 gelesen hatte. Auf einer leeren Seite hatte ich notiert: *Die Unschärferelation wird leider oft falsch dahingehend interpretiert, als ob die Einwirkung des Messgerätes (oder des Subjektes, des Ich) die Unschärfe bringt. Solche Unschärfen könnten oft, möglicherweise immer, durch eine Theorie eliminiert werden. Meine Meinung: Durch die Unschärferelation wird eine prinzipielle Unschärfe ausgedrückt. Diese rührt möglicherweise lediglich daher, dass nicht-klassische Objekte klassisch betrachtet werden, werden müssen. Dies hat mit der Messung selbst nichts zu tun, sondern ist theoretischer Art. – Denken wir daran, dass ein Elementarteilchen, z.B. ein γ -Quant ... ein klassisches Teilchen – nämlich das Messgerät – sein kann (z.B. beim Compton-Effekt). ... Wird es als nicht-klassisches Objekt behandelt, kommt bei seiner klassischen Betrachtung die Unschärferelation ins Spiel.* Das ist beinahe bereits das, was ich Jahrzehnte später bei der Niederschrift dieses Heftes ausdrückte.

Überwältigt haben mich Sätze von Max Planck, zu finden im Abschnitt IV, wie: „Man sieht: es geht hierbei um nichts weniger als um den Begriff des materiellen Punktes, den elementarsten Begriff der klassischen Mechanik. Die bisherige zentrale Bedeutung dieses Begriffes muss grundsätzlich geopfert werden; nur in besonderen Grenzfällen kann sie bestehen bleiben.“ und wenig weiter „Während der Konfigurationspunkt der klassischen Theorie im Laufe der Zeit eine ganz bestimmte Kurve beschreibt, erfüllt der Konfigurationspunkt der Materiewelle zu jeder Zeit den ganzen unendlichen Raum.“ und „Danach gleicht der Kreislauf eines Elektrons um den Atomkern ... vielmehr der Drehung eines allseitig symmetrischen Ringes in sich selbst, so dass der Ring als Ganzes stets die nämliche Lage im Raum einnimmt und es gar keinen physikalischen Sinn hat, von dem augenblicklichen Ort des Elektrons zu reden.“ Soviel zum Bild eines Elektrons. Über dessen Energie schreibt Planck u.a. „Denn dadurch, dass sie die Schwingungsperiode der Welle bezeichnet, ist selbstverständlich ihre ursprüngliche Bedeutung, die ihr durch das Erhaltungsprinzip gegeben wird, nicht verloren gegangen. Wenn aber das Energieprinzip auch für die Wellenmechanik gelten soll, so muss die Energie einer Materiewelle sich darstellen lassen nicht nur durch die Schwingungszahl, sondern auch durch ein über den ganzen Konfigurationsraum der Welle erstrecktes Integral.“

Das sind Sätze, die grundlegenden Überlegungen entsprungen sind und die ich mit Genugtuung gelesen habe, angesichts der von mancher Seite geäußerten Einwände gegenüber meinen diesbezüglichen Vorschlägen in „Grundbegriffe der Physik“.

Potsdam, 28. Dezember 2008

Biografisches

Am 16. Dezember 1945 wurde ich in Rauenstein/Thür. geboren. Bis zum 10. Schuljahr besuchte ich dort die Grundschule (Allgemeine polytechnische Oberschule), nachfolgend drei Jahre lang eine Betriebsberufsschule mit Abiturabschluss in der Kreisstadt Sonneberg. Anschließend konnte ich 1965 das lang ersehnte Studium der Physik an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena aufnehmen. Mein Berufsleben begann 1970 am Astrophysikalischen Observatorium in Potsdam und wurde mit Auflösung der Akademie der Wissenschaften der DDR im Dezember des Jahres 1991 beendet. Etwa im Jahre 2000 begann ich mich wieder mit Physik zu beschäftigen; dieses mal mit den Themen, die der Grund meines Studiums gewesen sind. Die Resultate aus dieser Zeit liegen in diesem Heft vor. Ich wünschte mir, dass einige der dargelegten Vorstellungen aner kennenswert sind.



20. Mai 2010 nahe Chan Beerotayim, Negev-Wüste, Israel
Foto Sarah Wolf[®]

Druck Mai 2013
12,50 €