

Elementarteilchen – auf Grundlage der „Grundbegriffe der Physik“ Vortrag

Karl-Otto Eschrich

Potsdam, 11. April 2011

Vorbemerkung

Seit den ersten Versionen der „Grundbegriffe der Physik“ haben sich die Vorstellungen über die Elementarteilchen zu einer abgeschlossenen und widerspruchsfreien Theorie entwickelt. Diese Theorie basiert auf fünf Hauptsätzen, also fünf grundlegenden Annahmen bzw. Hypothesen. Die anderen Aussagen sind aus ihnen abgeleitet. Die Theorie ist neben einigen Erklärungen zu Beobachtungen (z.B. den hochenergetischen sowohl Gamma-Blitzen als auch Neutrinos und den Überschuss von Positronen im Kosmos) in „Grundlagen der Physik der Elementarteilchen“ niedergelegt. Deshalb erfolgte eine Überarbeitung des Vortrages. Potsdam, 11. Februar 2019

Dieser Vortrag hat die Absicht, interessierten Nicht-Physikern ein Verständnis zur Physik der Elementarteilchen zu bringen. Was sind Elementarteilchen, welche Eigenschaften haben sie, wie kann man sie sich als geometrisches Objekt vorstellen?

Jeder Zeitgenosse hat von Elementarteilchen gehört; die Elektroniker werkeln mit Elektronen, unsere sichtbare Welt besteht aus Atomen und durch Elektronen verursachte Verbindungen und Konglomerate; also chemische Verbindungen und verschiedenste Stoffe, ob Festkörper, Flüssigkeit oder als Gas. Und jeder weiss, dass die Atomkerne aus Protonen und Neutronen bestehen, und diese aus elementareren Teilchen, den Quarks zusammengesetzt sind. Es gibt also zusammengesetzte Elementarteilchen, also Konglomerate, und einfache, nicht zusammengesetzte – elementare, zu denen die Elektronen gehören. Das sind Denk-Modelle, die einen Versuch darstellen, die beobachteten Erscheinungen zu erklären, und gegebenenfalls korrigiert oder durch gänzlich neue Vorstellungen ersetzt werden müssen.

Welches wichtige Elementarteilchen, das im Alltag ebenfalls eine wichtige Rolle spielt, fehlt in der obigen Aufzählung? Das sind die Photonen, sozusagen die Teilchen des Lichtes, ohne deren kontinuierlichen Zustrom von der Sonne unser Leben nicht möglich wäre. Photonen sind natürlich materiell, also Materie, aber nicht stofflich, wie die anderen erwähnten Teilchen. Hier soll die Betrachtung auf diese Teilchen, Photonen und Elektronen, den Quarks und ihren Konglomeraten, den Protonen und Neutronen, gerichtet sein, ergänzt um die zwar sehr häufig vorkommenden, aber bisher wenig anschaulichen Neutrinos und dem Coloron, der Vereinigung eines Neutrinos mit dem Antineutrino.

Etwas zu den Grundbegriffen, Wirkung und Beobachtbarkeit

Bevor wir uns diesen Elementarteilchen zuwenden einige Bemerkungen zu den Grundbegriffen der Physik. Die Elementarteilchen sind die grundlegenden Bausteine der Natur. Ihre Wechselwirkung miteinander zu beschreiben ist deshalb die erste Aufgabe der Physik. Und die Wirkung der „oberste“ Begriff der physikalischen Größen wie Energie, Impuls u.a. (die Wirkung ist – physikalisch – definiert als das Produkt aus Energie und Zeit, genauer gesagt das Integral der Energie über die Zeit).

Die wichtigste Voraussetzung der Physik ist, dass eine Wechselwirkung überhaupt beobachtbar ist. Aus dem Begriff der Beobachtbarkeit von Wechselwirkungen können einige Schlüsse gezogen werden. Die wechselwirkenden Teilchen müssen sich in Raum und Zeit unterscheiden; Raum und Zeit müssen folglich erst einmal existieren. Ferner muss die Geschwindigkeit der Ausbreitung der Wechselwirkung endlich sein, d.h. ihre Geschwindigkeit eine obere Grenze haben. Diese obere Grenze wird mit der (Vakuum)-Lichtgeschwindigkeit c identifiziert. Ausserdem kann die Grösse der Wech-

selwirkung nicht beliebig klein sein (sonst wäre sie nicht beobachtbar). Das Mass der Wechselwirkung hat also eine untere Grenze, die mit dem Planckschen Wirkungsquantum h oder $\hbar=h/2\pi$ identifiziert wird.

Der Begriff des Punktes, der „unscharfe“ Raum

Befassen wir uns zuerst mit dem „einfachen“ und stofflichen Teilchen, dem Elektron. Wie stellt sich etwa ein Techniker ein Elektron vor? Ich denke, als kleine Kugel oder gar als punktförmig. Was aber ist ein Punkt? In der Geometrie gibt es zwei wesentliche Definitionen, einmal als geometrisches Objekt mit der Dimension Null, oder die ältere Variante, als geometrisches Objekt mit der Ausdehnung Null, in ein, zwei, drei oder beliebig – aber endlich vielen – Dimensionen. In der Physik kann man einem Punkt sogar gewisse Eigenschaften verleihen, etwa eine Masse oder eine elektrische Ladung zu tragen.

Wie kam es wohl in der Antike bei den Geometern zur Vorstellung des Punktes? Letztlich wohl durch die Annahme, einen festen Körper – in Gedanken – beliebig klein machen zu können; als Körper mit der Ausdehnung Null. Auf den Begriff des Punktes baut sich die gesamte antike Geometrie auf, schließlich die reellen Zahlen und später die durch Newton und Leibnitz begründete, in der Physik so wichtige, Differentialrechnung. Seit der Einführung der Atome als reale Objekte in der Physik, in der Chemie übrigens früher, ist offensichtlich, dass man einen Festkörper nicht beliebig klein machen kann. Der Punkt ist demzufolge ein transzendentes Objekt (Immanuel Kant stellte übrigens fest, dass transzendente Begriffe zwar keine Entsprechung zur Realität haben, aber zum Erkenntnisgewinn äußerst wichtig sein können).

Ein Elementarteilchen kann demzufolge prinzipiell niemals punktförmig sein. Und da Linie und Fläche aus Punktkontinua aufgebaut sind, also auch nicht etwa als scharf umrandete Kugel. Elementarteilchen sind prinzipiell unscharfe Objekte. Die einfachen Teilchen, wie das Elektron und das Photon, sind als freie Teilchen sogar von unbestimmter Ausdehnung. Was sollte da ihre Größe festlegen? Erst gebundene Teilchen haben eine, wenn auch unscharfe, Begrenzung. Man kann jedoch zum besseren Sprachgebrauch künstlich eine bestimmte scharfe Grenze festlegen. Leider gibt es noch die aus den Anfangsjahren der Quantenmechanik stammende Vorstellung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit, die offensichtlich auf der Vorstellung kleinster kugelförmiger Objekte fußt. Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts weiß man, dass es sich um die Wahrscheinlichkeit handelt, das Teilchen in einem gewissen Raumbereich zu messen (Lew Landau, Richard Feynman u.a.).

Eigenschaften des Elektrons, Spin des Elektrons und des Photons

Was für Eigenschaften besitzt ein Elektron? Es hat eine elektrische Ladung und eine Ruhmasse (genauer gesagt eine Ruhenergie, der Begriff der Masse ist nur in der Newtonschen Physik notwendig, in der Einsteinschen Physik betrachtet man die Energie, die wiederum Bestandteil des Energie-Impuls-Tensors ist). Außerdem hat es einen Spin, dessen Betrag $\frac{1}{2}$ (in Einheiten des Wirkungsquantums \hbar) ist. Was bedeutet der Spin? Das Photon hat den Spin 1; wenn man es einmal um seine Spinachse dreht ist man, wie gewohnt, wieder in der Ausgangsstellung. Ein Elektron hingegen muss man zweimal drehen, um in die ursprüngliche Lage zu gelangen. Dreht man es einmal um 360° , hat die Spinachse ihre Richtung umgekehrt!

Geometrisches Modell des Spins 1 und $\frac{1}{2}$

Was für ein geometrisches Objekt mit diesen Eigenschaften gibt es? Kehren wir zuerst zum Photon zurück. Dreht man eine Kugel (natürlich mit Unschärfe), um eine Achse, so führt jede beliebige Drehung, noch dazu um jede beliebige Achse, die Kugel in sich zurück. Eine Kugel scheidet demzufolge aus, auch eine „abgeplattete Kugel“, ein Ellipsoid. Ein Torus kommt der Sache schon näher. Hat er zusätzlich eine innere Drehung – eine Torsion – von 360° , sind die verlangten Eigenschaften erfüllt! Die Achse des Torus ist die Hauptachse. Der Kreis um sie herum ist die Drehachse der Torsion, die

die Spiralität ergibt. Die Spiralität ist eine invariante Grösse eines Teilchens. Der Spin ist die Spiralität in Richtung des Spins. Beim Elektron muss man das Modell erweitern. Man muss das Photon entlang der inneren Drehachse aufschneiden. Die beiden nun vorhandenen Halbtori muss man trennen, wozu man allerdings eine vierte Raumdimension braucht, um sie nicht zerreißen zu müssen. Eine Analogie hierzu eine Dimension niedriger ist die: Auf einer Ebene liegen zwei Kreisinge ineinander. Wie bekommt man den inneren Kreisring aus dem äußeren heraus? Das geht nur in einer zusätzlichen dritten Dimension, indem man den einen Ring über den anderen hinweg hebt und wieder auf der Fläche ablegt. Man muss sich damit abfinden, dass die Physik vier – und noch mehr – Raumdimensionen benötigt!

Beide Halbtori des „aufgeschnittenen“ Photons werden jeweils zu einer 8 verdreht und zu einem doppelschleifigen Torus zusammengelegt. Aber Achtung, das Zusammenlegen im dreidimensionalen Raum ändert die Torsion um ± 1 , je nachdem in welcher Richtung die 8 zusammengelegt wird. Das darf nicht sein! Man braucht dabei wieder die vierte Raumdimension, um die innere Torsion nicht zu ändern. Nun muss man zweimal um das geometrische Objekt herumfahren, um die ausgängliche Torsion zu erreichen. Dreht man nur eine Runde, beträgt die Torsion 180° , ist der ursprünglichen entgegengesetzt. Genau dies entspricht dem Spin des Elektrons.

Die Berührungsfläche in der Schleife ist das bekannte Möbiusband. Zur übersichtlicheren Darstellung kann man die Grenzfläche, das Band, bis zu einer Kreislinie verschmälern; es entstehen zwei jeweils einmal umeinander verdrehte Doppeltori, mit unveränderter Torsion 1, jeder Doppel-Torus hat die Spiralität von $1/2$. Die Spiralität ist eine invariante Grösse eines Teilchens. Der Spin ist die Spiralität in Richtung des Impulses $\cdot \hbar$. Der Impuls ist parallel oder antiparallel zur Spiralität

Übrigens sind solche geometrischen Objekte Gegenstand der aktuellen mathematischen Forschung.

Mathematische Zusammenhänge: n-Sphäre, Torus, Parallelisierbarkeit, Quaternionen

Die Mathematiker haben herausgefunden, dass vermutlich nur solche Flächen als Oberflächen von Elementarteilchen möglich sind, die parallelisierbar sind. Parallelisierbar bedeutet anschaulich: Die Fläche bekommt ein Fell übergezogen, und man kann es flach so kämmen, dass es an keiner Stelle singuläre Punkte gibt, als keine Wirbel oder abstehende Haare vorhanden sind. Das ist bei einer üblichen Kugel im dreidimensionalen Raum – also einer zweidimensionalen Fläche – nicht möglich, jedoch bei einem Torus, mit oder ohne Torsion. Sphären sind nur im zwei-, vier- und im acht-dimensionalen Raum parallelisierbar, also ein- (der übliche Kreis), drei- und sieben-dimensionale Kugeln. Übrigens gibt es einen Weg aus der nicht parallelisierbaren zweidimensionalen Kugel(fläche) eine parallelisierbare Fläche zu erzeugen: Die beiden singulären Punkte werden zusammengeführt und herausgeschnitten; es entsteht ein Torus!

Die parallelisierbaren Sphären zeigen eine auffällige Gemeinsamkeit mit den Hyperkomplexen Zahlen. Die einfachen Komplexen Zahlen mit der imaginäre Einheit i , mit $i^2 = -1$, mit der eindimensionalen Sphäre, also dem Kreis, der zusammen mit den reellen Zahlen die Ebene darstellt, in der der Kreis liegt. Die Quaternionen, mit drei komplexen Einheiten, entsprechen der dreidimensionalen Sphäre, die in einem 4-dimensionalen kartesischen Raum dargestellt werden kann. Als höchste parallelisierbare Sphäre ist die siebendimensionale, im achtdimensionalen kartesischen Raum, entsprechend den Oktionen mit 7 komplexen Einheiten. Damit enden die Gemeinsamkeiten, denn im Gegensatz zu den parallelisierbaren Hypersphären kann die Reihe der Hyperkomplexen Zahlen fortgesetzt werden (als nächstes $2 \cdot 7 + 1 = 15$ komplexe Einheiten, usw.). Bei den komplexen Zahlen geht die Ordnungsrelation verloren, bei den Quaternionen die Kommutativität, $ab \neq ba$, und zuletzt bei den Oktionen die Assoziativität, $(ab)c \neq a(bc)$.

Verallgemeinerung des Spin-Modells: T/S

Dieses Spin-Modell kann man erweitern. Nimmt man einen Torus mit Torsion 2, also $2 \times 360^\circ$ Drehung, und legt ihn – in vier Raumdimensionen – zu einer Doppelschleife zusammen, erhält man das Modell eines Photons mit dem erweiterten Spin $2/2$, das bei Drehungen sich wie ein normales Photon mit Spin 1 verhält. Spaltet man einen solchen Torus, erhält man zwei vierschleifige Tori mit dem erweiterten Spin von $2/4$. Das wären Teilchen mit der gleichen Ladungsmenge wie die Elektronen, aber wesentlich größerer Ruhenergie. Es ist naheliegend sie mit den Myonen zu identifizieren, einem Teilchen der 2. Familie. Analog kann man sich ein Modell der Tauonen mit erweitertem Spin $4/8$ (oder $3/6$?) vorstellen, einem Teilchen der 3. Familie, welches eine noch viel größere Ruhenergie als das Myon hat.

Noch unberührt von den Mathematikern ist die Aufspaltung eines Torus und die beschriebene Bildung zweier doppelschleifiger Tori.

Aufspaltung des Photons, Ladungen des Photons

Kehren wir zur Aufspaltung eines normalen Photons zurück. Die beiden entstehenden Teilchen sind ein Elektron mit der Elementarladung e^- und sein Antiteilchen, das Positron, mit der Elementarladung e^+ . Wo kommen die Ladungen her? Man muss den Standpunkt einnehmen: Prinzipiell können keine Ladungen entstehen oder verschwinden. Demzufolge sind sie im Photon bereits vorhanden, und zwar in einem halben Torus die eine positive, im anderen die andere negative Ladung. Die Grenzfläche zwischen ihnen liegt um die Haupt-Torus bzw. Spinachse herum, teilt sozusagen den Querschnitt des Torus in zwei Halbkreise – und windet sich bei einem Umlauf einmal. Da die Ladungen hier dicht beieinander liegen, sind sie außerhalb „neutralisiert“. Nicht nur: Das Photon – sowie alle einfachen Elementarteilchen – besitzen ihren eigenen Raum (und eigene Zeit). Die darin enthaltenen Ladungen wechselwirken nicht miteinander. Generell gilt: Innerhalb eines einfachen Elementarteilchens – in dessen Raum-Zeit – gibt es keine Wechselwirkung der Ladung(en). Von außerhalb des Teilchens erscheint es als einheitliches, demzufolge strukturloses, Objekt. Nur dessen effektive Ladung(en), aufgrund der notwendigen Wechselwirkung, und der Spin sind ausserhalb beobachtbar.

Dynamische Modelle, Schwingungsfrequenz

Bisher wurde ein statisches Modell betrachtet. Aber jedes Teilchen unterliegt einer Schwingung. Im Modell kann man sich vorstellen, dass hierbei die enthaltenen Ladungen hin und her schwingen, je nach Vorzeichen in die andere Richtung. Diese wechselnde Verteilung der Ladungen ist das Abbild des elektrischen Feldes eines Photons als elektromagnetischer Welle; die Verschiebung der Ladung die des entsprechenden magnetischen Feldes. Die Schwingungsfrequenz ν ergibt sich aus der von Max Planck eingeführten Beziehung $E = h \cdot \nu$ ($=\hbar \cdot \omega$).

Feld des Elektrons, Feinstrukturkonstante

Diese Formel gilt für jedes einfache Elementarteilchen, also auch dem Elektron. Aus dessen Ruhenergie, also seiner kleinstmöglichen Energie, ergibt sich eine Frequenz von $\nu \approx 1,24 \cdot 10^{20} \text{ s}^{-1}$, das ergibt eine Schwingungsdauer $0,81 \cdot 10^{-20} \text{ s}$. Während einer Schwingungsdauer muss ein freies Positron/Elektron ein (virtuelles, unsichtbares) Photon absorbieren und eines emittieren. Diese Photonen sind – in der klassischen Elektrodynamik– das elektrische Feld der Ladung. Die Energie des Positrons/Elektrons ist die Summe aus der des „nackten“ Teilchens und der des Feldes. Der Anteil der Feldenergie an der Gesamtenergie ist $\alpha_{el} \approx 1/137$ – das ist die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante.

[Pause]

Die Farbladung und deren Eigenschaften

Die starken Kräfte werden durch die sogenannten Farbladungen hervorgerufen (was nichts mit den optischen Farben zu tun hat).

Es handelt sich um drei-symmetrische Ladungen. Aus der Mathematik folgt, dass alle drei Ladungen zusammen außerhalb neutral sind. Schematisch geschrieben, wenn die Ladungen mit c_i bezeichnet werden, $i=1, 2, 3$, kann man

$$\{c_1 + c_2 + c_3\} = \{c_1\} + \{c_2\} + \{c_3\} = 0, \quad (1)$$

schreiben. Die geschweiften Klammern stehen, weil die Ladungen selbst nicht verschwinden, aber ihre Summe. $\{ \}$ meint also den effektiven Wert der Ladung ausserhalb des Teilchens. Man kann Ladungen nur zusammenfügen, nicht voneinander subtrahieren! Die zu c_i gehörende Gegenladung wird mit c_i^- bezeichnet. Die Summe beider Ladungen ist nicht Null, also $c_i + c_i^- \neq 0$; aber der Wert der

effektiven Ladungen ist

$$\{c_i + c_i^-\} = \{c_i\} + \{c_i^-\} = 0. \quad (2)$$

Will man hier – bei den Werten der Ladung – die üblichen Rechenregeln anwenden, also neben der Addition die Subtraktion zulassen, muss man

$$-\{c_i\} \equiv +\{c_i^-\}, \quad (3)$$

festlegen. Dann kann man aus der ersten Beziehung z.B.

$$\{c_1 + c_2\} = \{c_1\} + \{c_2\} = \{c_3^-\}, \quad (4)$$

ableiten; allgemein

$$\begin{aligned} \{c_i + c_j\} &= \{c_i\} + \{c_j\} = \{c_k^-\}, & \text{aber auch} \\ \{c_i^+ + c_j^-\} &= \{c_i^-\} + \{c_j^-\} = \{c_k^+\}, & \text{mit } i, j, k = 1, 2, 3; i \neq j \neq k. \end{aligned} \quad (5)$$

Da der Wert aller drei Ladungen zusammen Null ergibt, hat man eine Analogie zur additiven Farbmischung. Werden drei Abschnitte des weissen Farbspektrums, beispielsweise Rot, Grün und Blau zusammengefügt, nimmt das menschliche Bewusstsein wieder das neutrale Weiss wahr, welches hier für den Wert „Null“ steht. Infolge dieser – formalen – Analogie spricht man von den drei Farbladungen *rot*, *grün* und *blau*, beispielsweise mit

$$r = \{c_1\}, g = \{c_2\}, b = \{c_3\}, \quad \text{folglich} \quad r + g + b = 0. \quad (6)$$

(Die Gegenladungen bezeichnet man als Antifarben, nicht beispielsweise als Cyan für Antirrot, Magenta für Antigrün und Gelb für Antiblau). Für die elektrische Drittelladung wird $c_0 = \frac{1}{3}e^+$, bzw. $c_0^- = \frac{1}{3}e^-$ verwendet. Die Ladung des Elektrons ist $\{e^-\} = 3\{c_0^-\}$.

Wie die elektrische Ladung benötigt jede Farbladung einen dreidimensionalen Raum als „Behälter“. Sind diese drei Dimensionen alle ausserhalb unseres dreidimensionalen Raumes, den ich den „Beobachterraum nenne, dann könnten diese Teilchen mit uns nicht in Wechselwirkung treten; ausgenommen die Gravitation, die lediglich durch die Krümmung der Raum-Zeit zustande kommt. Der Raum jeder Farb-Ladung muss sich also mit unserem dreidimensionalen Beobachterraum in (mindestens) einer Dimensionen schneiden. Wenn sich diese Dimensionen der drei Farbladungen untereinander nicht schneiden sollen, dürfte es auch nur drei voneinander unabhängige (verschiedene) Farbräume geben. Fallen zwei dieser Dimensionen zusammen, sind auch die zugehörigen Farbladungen verkoppelt.

Man braucht somit sechs zusätzlichen Raumdimensionen, da je Farbladung eine Dimension im Beobachterraum liegt. Deshalb ist eine Verkopplung der Farb- mit der elektrischen Ladung möglich. Die zwei Dimensionen im Zusatzraum je Farbladung ergeben Farbflächen. Die drei Dimensionen des Beobachterraumes zusammen mit den sechs Farbraumdimensionen ergeben zusammen den neundimensionalen physikalischen Raum.

Ist dies reine Spinnerei? Wenn jemand eine andere und einfachere Lösung zur Darstellung der Eigenschaften der Farbladungen zusammen mit der elektrischen Ladung findet, mag es so sein. Solange es diese nicht gibt, kommt dieser Darstellung eine gewisse Berechtigung zu. Bei allgemeiner Gewöhnung an ihr bekommt sie sogar einen Wahrheitsgehalt, bis eine optimalere und vor allem abstraktere Vorstellung aus einer Spinnerei entwickelt wurde.

Quarks und Gluonen

Ladungen mit ihren Eigenschaften treten materialisiert auf. Heutzutage angesehen als Quanten, in Form von Teilchen und Wellen.

Ein einfaches Teilchen hat die Wirkung in der Grösse eines Elementarquants h , wie das Photon $\gamma(e^+, e^-)$ und das Elektron $e^-(e^-)$, mit $\{\gamma(e^+, e^-)\} = 0$ und $\{e^-(e^-)\} = e^- = 3c_0^-$.

Die Quarks hingegen wurden eingeführt um eine Vielzahl von zusammengesetzten Elementarteilchen zu verstehen, zu erklären. Sie sind u.a. die Konstituenten des für uns so wichtigen Protons und des Neutrons. Was sind die Ladungen der Quarks? Es gibt (in der 1. Familie) zwei Arten, das u-

Quark mit $u_i(2c_0, c_i)$, und $\{u_i\} = \frac{2}{3}\{e^+\} + \{c_i\}$ und dem d-Quark mit $d_i^-(c_0^+, c_j^+, c_k^+)$, mit $\{d_i^-\} = \{c_0^+, c_j^+, c_k^+\} = \frac{1}{3}\{e^+\} + \{c_i^-\}$ und $\{d_i^+\} = \{c_0^-, c_j^-, c_k^-\} = \frac{1}{3}\{e^-\} + \{c_i^+\}$ (deshalb wird in der Standard-Theorie $d_i^+ = \frac{1}{3}e^- + c_i^+$ angenommen!). Es gibt aber noch – was für eine Überraschung – ein Teilchen ohne elektrische Ladung, dafür mit allen drei Farbladungen $v(c_1, c_2, c_3)$, mit $\{v(c_1, c_2, c_3)\} = 0$ und ein Teilchen mit den Antiladungen, und $v^-(c_1^-, c_2^-, c_3^-)$, mit $\{v^-(c_1^-, c_2^-, c_3^-)\} = 0$. Aus dem Zerfall zusammengesetzter Teilchen, wie dem Neutron, kann man diese Teilchen den Neutrinos zuordnen (siehe unten)! Diese Teilchen gibt es in der Standard-Theorie nicht, die Natur der Neutrinos v ist unbekannt.

Der Raum des Elektrons, $e(3c_0^-)$, hat drei Dimensionen, der des u-Quarks, $u_i(2c_0, c_i)$, fünf und der des d-Quarks, $d_k(c_0^-, c_i^-, c_j^-)$, sieben. Diese unterschiedlich komplexen geometrischen Strukturen widerspiegeln sich in verschiedener Ruhenergie: $e^\pm \approx 0,5$ MeV, $u \approx 1,5 - 3,3$ MeV, $d \approx 3,5 - 6,0$ MeV.

Wie den Positronen/Elektronen als Wechselwirkungsteilchen die Photonen zugehören, besitzen die u- und d-Quarks die Gluonen

$$\delta_{(i)}(u_i, u_i^-) \equiv G_{ii}-(u_i, u_i^-) \equiv B^{00i}_{00i} \leftrightarrow u_i + u_i^- : (2c_0, 2c_0^-, c_i, c_i^-), \quad (7)$$

$$\varepsilon_{(i)}(d_i, d_i^-) \equiv G_{ii}-(d_i, d_i^-) \equiv B^{0jk}_{0jk} \leftrightarrow d_i + d_i^- : (c_0, c_0^-, c_j, c_j^-, c_k, c_k^-) \quad (8)$$

als Bosonen. Ebenso gehören zu den Neutrinos die Coloronen

$$\zeta(v^+, v^-) \equiv B^{123}_{123} : (c_1, c_2, c_3, c_1^-, c_2^-, c_3^-) \leftrightarrow v^+ + v^-, \quad (9)$$

als Wechselwirkungsteilchen.

Schliesslich ergibt die kurzzeitige Verbindung eines Photons mit einem Coloron über eine gemeinsame Dimension das α -Quasi-Boson mit paralleler Spiralität, also dem Spin 0. Es enthält alle Elektrischen und Farbladungen samt den Antiladungen, als einziges Teilchen im gesamten physikalischen neundimensionalen Raum, $\alpha \equiv \gamma + \zeta : (3c_0, 3c_0^-, c_1, c_2, c_3, c_1^-, c_2^-, c_3^-)$. Es kann in verschiedener Weise in alle bekannten Elementarteilchen (der 1. Familie) zerfallen, wie das Higgs-Boson.

	Symbol	Elektrische Ladung	Farbladung	Mögliche Darstellung	N	Raum-Dimensionen
1.	γ	$3(c_0, c_0^-)$	$0, 0$	(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	$0, 0$	$c_1, c_2, c_3, c_1^-, c_2^-, c_3^-$	(v, v^-)	1	7 (D_0, F_r, F_g, F_b)

Tabelle der Wechselwirkungsteilchen, der Bosonen

Die Gluonen besitzen keine vollständigen Ladungen wie das Photon und das Coloron. Obwohl ihre effektive Ladung Null ist, müssen sie deshalb eine Ruhenergie besitzen, in der Grössenordnung ihrer Konstituenten und darüber wegen ihrer Schwingungsenergie. Dies erklärt eine Reihe ihrer Eigenschaften, z.B. ihre endliche Lebenszeit und somit auch ihre endliche Weglänge. In der gängigen Theorie wird ihnen – ohne „Zwang“ – in Analogie zu den Photonen die Ruhenergie Null zugeschrieben.

In dem uns umgebenden Beobachterraum existieren die elektrischen Ladungen in einem zweischleifigen Torus in drei Dimensionen (s.o.). Die Quarks mit der Wirkung \hbar und der Spiralität $\frac{1}{2}$ müssen ebenso wie das Elektron die geometrische Gestalt eines zweischleifigen Torus der Torsion 1 haben. Allerdings liegt dieser Torus beim u-Quark im Beobachterraum und in zwei Dimensionen (einer Farbfläche) im Zusatzraum, beim d-Quark im Beobachterraum und in zwei Farbflächen.

Protonen und Neutronen

Wir wollen die Protonen und die Neutronen betrachten. Da das Proton die elektrische Ladung e^+ trägt, müssen die Quarks ebenfalls eine elektrische Ladung tragen. Die Neutronen sind nach außen elektrisch neutral. Daraus kann man einfach ableiten, dass es, abgesehen von der Farbladung, (mindestens) zwei Arten von Quarks geben muss. Eine mit $\frac{2}{3}e^+$, ($2c_0$), und eine mit $\frac{1}{3}e^-$, (c_0^-), die u_i -Quarks (up) und die d_j -Quarks (down). Damit kann man Protonen p^+ und Neutronen n so darstellen: p^+ : (u_i, u_j, d_k), n : (u_i, d_j, d_k), Farbindices mit $i \neq j \neq k$. (10)

Darstellung der Protonen und Neutronen durch ihre Ladungen

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts weiß man aus Streuexperimenten mit Elektronen, dass es innerhalb der Protonen und der Neutronen sowohl positive als auch negative elektrische Ladungen gibt, was hier eine einfache Erklärung findet. Mit der Darstellung der Ladungen der Quarks erhält man z.B.:

$$p: (u_i, u_j, d_k) : (c_i^+ + c_i^-) + (c_j^+ + c_j^-) + (4c_0 + c_0^-), \quad (11)$$

$$n: (u_i, d_j, d_k) : (c_i^+ + c_i^-) + (c_1^- + c_2^- + c_3^-) + (2c_0 + 2c_0^-). \quad (12)$$

Was kann man bei dieser Darstellung erkennen, welchen Unterschied gibt es zwischen Proton und Neutron? Beide Teilchen bestehen in ihrer Grundstruktur aus neun Ladungseinheiten c_α , $\alpha=0,1,2,3$. Beide enthalten positive und negative elektrische Ladungen, das Proton besitzt lediglich zwei Farb- und Antifarbladungen, das Neutron jedoch alle drei. Demzufolge besitzt das Proton sieben Raumdimensionen, das Neutron aber neun. Das Proton ist also das einfachste Teilchen, welches aus einem Konglomerat von drei Quarks besteht. Und somit als solches dasjenige mit der kleinsten Ruhenergie (Masse) von 938,271998(38) MeV. Das Neutron mit seinen zwei weiteren Raumdimensionen müsste demzufolge eine wesentlich größere Ruhenergie haben, es sind jedoch nur 939,565330(38) MeV, das sind 1,29334 MeV oder 0,14% mehr. Hierfür gibt es zwei wesentliche Gründe. Die Teilchen sind nicht statisch, ihre Konstituenten wandeln sich ständig ineinander um, man könnte sagen ihre „Farben“ changieren. Und natürlich müssen Gluonen in den Protonen und Neutronen enthalten sein, sowie fluktuierend ihre Zerfallsteilchen, weitere Quarks und Antiquarks. Neben ihrer Ruhenergie haben die Gluonen eine große Bewegungsenergie, so dass die drei Konstituenten-Quarks den geringeren Anteil an der Ruhenergie der Nukleonen (Kernteilchen, d.h. Protonen & Neutronen) haben (< 5%). Je nach Anregungszustand der Nukleonen ist die Bewegungsenergie der Gluonen und Quarks unterschiedlich groß.

Die Reichweite der Gluonen bestimmt die Ausdehnung der Protonen und Neutronen.

Das Neutron enthält in der Ladungsstruktur ein Antineutrino. Seine Instabilität ist damit vorgezeichnet. Diese kann durch die Bildung eines Konglomerates mit einem Proton aufgehoben werden. So haben $p^+\uparrow$ & $n\downarrow$ die gleiche Ladungsstruktur wie $2e^+\uparrow\downarrow$ & $e^-\downarrow$ & $\nu^+\uparrow$ & $2\nu^-\downarrow\downarrow$, die zwar nicht abgeschlossen, aber vollständig ist. Mit anderen Worten, ein Proton kann ein Neutron stabilisieren, im Mittel sogar bis zu 1,4 Neutronen. Sind keine Protonen in „Reichweite“, können drei Neutronen ebenfalls ein stabiles Konglomerat bilden. Es besteht aus abgeschlossenen Ladungen, ebenso ein Konglomerat aus drei Protonen:

$$3n : 4\nu^- \& \nu^+ \& 2(e^+ + e^-), \quad 3p : 2(\nu^+, \nu^-) \& 4e^+ \& e^-. \quad (13), (14)$$

Hier sind die unsymmetrischen Spiralitäten der Ladungen nicht dargestellt. Die Konglomerate werden ausserdem bezüglich der Spiralität symmetrisch, wenn drei weitere Nukleonen mit entgegengesetzter Spiralität hinzugefügt werden. Das ist dann der Atomkern des Kohlenstoffs $^{12,01}\text{C}_6$, mit der weitaus größten Häufigkeit von 0,033% im Sonnensystem, abgesehen natürlich vom Wasserstoff mit 91% und Helium mit 8,9%.

Mesonen

Zur Vollständigkeit ein kurzer Blick auf die Mesonen, die aus lediglich zwei Quarks aufgebaut sind. Sie besitzen zwar abgeschlossene Farbladungen – sind also „farblich“ neutral bzw. effektiv ungeladen, aber dennoch instabil.

Wegen der Abgeschlossenheit ihrer Farb-Ladungen (bei π^0 die Mischung beider Formen), können sie aus den Nukleonen austreten und so deren Bindung ermöglichen. Ihre „Reichweite“ ist größer als die der Gluonen und ermöglicht die Bildung großer Proton-Neutron-Konglomerate, den Atomkernen. Die Mesonen sind also der „Leim“ des Atomkerns. Dabei erscheinen die mittelgroßen (Eisen, Fe_{26}) bis übergrossen Atomkerne wie eine zähe Flüssigkeit.

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

Tabelle der Mesonen (der ersten Familie).

Wechselwirkung der Quarks mit Gluonen

Zum Abschluss des Vortrages muss ein kurzer Blick auf die Wechselwirkung eines Gluons mit einem Quark geworfen werden, um den Zerfall eines Neutrons zu verstehen. Es wird die folgende Reaktion beobachtet:

$$n(u_i, d_j, d_k) \rightarrow p(u_i, u_j, d_k) + e^- + \nu^- \quad (15)$$

Offensichtlich muss dabei ein d-Quark von n in ein u-Quark von p umgewandelt werden. Das ist jedoch nur möglich, wenn n bzw. d_j ein Gluon $G(u_j, u_j^-)$ hinzugefügt wird:

$$d_j + G(u_j, u_j^-) \Rightarrow u_j + 3c_0^- + (c_1^-, c_2^-, c_3^-) \equiv u_j + e^- + \nu_{e^-} \quad (16)$$

Im Gegensatz zur Standard-Theorie muss hier dem Neutron ein bestimmtes, langsames Gluon hinzugefügt werden, woraus die für Elementarteilchen lange mittlere Lebensdauer des Neutrons von 880,2 s folgen kann.

Subteilchen

Es gibt eine verwegene Vermutung. Wenn ein Quark–Gluon–Gemisch über eine bestimmte Dichte zusammengedrückt wird, spalten diese Teilchen in ihre einzelnen Ladungen auf. Die Subteilchen haben nur eine der vier Ladungen c_m , $m = 0, 1, 2, 3$, und die entsprechenden Antiladungen. Die zweischleifigen Toroide der Quarks sind nun gedrittelt und werden nochmals dreifach gefaltet, um wieder einen vollständigen Raum zu bilden. Insgesamt hat ein Subteilchen-Torus somit sechs Schleifen und die Spiralität von $1/6$. Damit haben die Subteilchen eine mehr komplexe Struktur und die Energie/Masse der einzelnen Subteilchen nimmt beträchtlich zu (etwa um den gleichen Faktor wie das Verhältnis des Tauons (3. Familie) zum Elektron, aufgeteilt auf drei Subteilchen. Dabei darf die Dichte

nicht über den Wert des der Ruhenergie/Ruhmasse entsprechenden Schwarzen Loches liegen, sonst kollabiert das Gemisch zu einem Schwarzen Loch. Die Subteilchen haben nur $\frac{1}{3}$ der Ladungen der gewöhnlichen Materie und nur $\frac{1}{3}\hbar$ der Wirkung, sie sind auch nicht beobachtbar und sind von gewöhnlicher Materie umschlossen.

Instantan entstehen nun aus den Subteilchen Photonen und Coloronen. Gelangen die Coloronen aus dem neundimensionalen physikalischen Raum in einen dreidimensionalen Beobachterraum, spalten sie in ein Neutrino und Antineutrino auf oder wandeln sich in Photonen um. So entstehen Teilchen maximaler Energie.

Dunkle Materie

Zum Schluss eine Frage. Was charakterisiert die sogenannte Dunkle Materie? Mit dem hier dargelegten Schlüssen aus den Grundbegriffen der Physik ist die Antwort offensichtlich.

Bei der Dunklen Materie ist die Spinachse der Teilchen nicht im Beobachterraum, sondern in den anderen Dimensionen (in denen für den Beobachter sich die Farbladungen befinden). Der Anteil der sichtbaren Materie ist bei Gleichverteilung $1/7 \approx 14,3\%$ der gesamten Materie, was gut mit den beobachteten Daten im Einklang steht.

[Ende des Vortrages]