



Quarks & Co „Die Welt der Quarks & Co“



Autoren:

Uli Grünewald
Elmar Sommer
Heinz Greuling

Redaktion:

Daniele Jörg

Anfang des 20. Jahrhunderts war die Welt noch überschaubar. Das gesamte Universum, sagten die Physiker, sei letztlich aus nur drei Teilchen aufgebaut: aus Elektronen, Protonen und Neutronen. Das Geheimnis der Materie schien entschlüsselt – bis 1963 der Physiker Murray Gell-Mann behauptete, es gebe da noch andere, noch kleinere Teilchen. Er nannte sie „Quarks“ – wie ein seltsames, schemenhaftes Wesen aus James Joyces Roman „Finnegans Wake“. Diesen Namen tragen sie nicht zu Unrecht, denn bis heute ist es schwierig, die unsichtbaren Teilchen sichtbar zu machen und zu erforschen.

Quarks & Co versucht das fast Unmögliche: einfach und anschaulich das Mysterium der Elementarteilchen zu erklären:

Was genau sind denn eigentlich Quarks? Und wie viele Arten davon gibt es?

Wie funktioniert ein Teilchenbeschleuniger?

Und warum kommt ein Quark niemals allein?

Was sind Neutrinos und warum nennt man sie Geisterteilchen?

Lesen Sie zudem, wie die Quarks unserer Sendung den Namen gaben!

Quarks & Co - Die Geburt einer Idee



Wenn man die Elementarteilchen sichtbar machen könnte, könnte man nichts mehr sehen

Oft werden wir gefragt, warum unsere Sendung Quarks & Co heißt und was genau diese „Quarks“ denn eigentlich sind. Nein, für den Namen stand weder die Milchspeise Pate, noch ein Frosch mit rollendem „rrr“, sondern die kleinsten Bausteine unserer Welt: die Quarks. Aber nicht die allein – auch alle anderen Elementarteilchen: die Elektronen, die Myonen, die Neutrinos etc.: Quarks & Co eben! Die sind nämlich überall. Ein Großteil hat sich zu der bekannten Materie zusammengefunden, aber es gibt auch Teilchen, die alleine unterwegs sind. Die sind allerdings so klein, dass man sie nicht sehen kann. Wir haben sie im Studio daher mit einem Trick sichtbar gemacht.

Da die Quarks und Co die gesamte Materie aufbauen – letztlich auch uns, das Fernsehen, den PC-Monitor, auf den Sie gerade schauen usw.- entstand die Idee, die Sendereihe nach ihnen zu benennen. Das war 1993. Ja, richtig gelesen – vor zehn Jahren. An dieser Stelle ein großes Dankeschön an unsere vielen treuen Zuschauer und Internetnutzer.

Ganz verschweigen kann man natürlich nicht, dass der Moderator und Redakteur der ersten Stunde, Ranga Yogeshwar, vor seiner Fernsehkarriere Experimentalphysiker war und selbst so manchem Quark hinterhergejagt ist. Außerdem standen die 1980er und 1990er Jahre im Zeichen der Elementarteilchen. Zum Beispieler wurde das schwerste Quark-Teilchen, das top-Quark, erst 1995 nachgewiesen. Seitdem sind die drei Quarks-Familien komplett und die Physiker glauben, die Welt ein wenig besser verstanden zu haben.

Die Spuren der Elementarteilchen



So beginnt jede Folge von Quarks & Co

So viel zum Namen - aber das ist noch nicht alles. Wer genau hinschaut, sieht, dass in all unseren grafischen Elementen, das sind z. B. der Vorspann, die Ankündigung der Themen, der Studioaushang etc. Teilchenspuren zu finden sind. Wir haben uns dabei von den Bildern inspirieren lassen, die Physiker in so genannten Blaskammern aufgenommen haben. Da die Elementarteilchen zu klein sind, um sie mit bloßem Auge oder selbst mit einem leistungsstarken Mikroskop zu sehen, beobachtet man lediglich die Spuren, die sie auf ihrem Weg durch spezielle Detektoren hinterlassen. Einer dieser Detektoren ist die Blaskammer.

Die Blaskammer



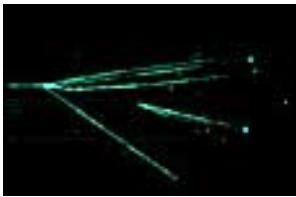
Wenn Teilchen durch eine Blaskammer fliegen, hinterlassen sie charakteristische Spuren

Die Idee einer Blaskammer lässt sich am besten so veranschaulichen: Ein Skifahrer fährt einen schneebedeckten Hang herunter und löst entlang seines Weges viele kleine Lawinen aus. Aus großer Entfernung kann man die Person zwar nicht mehr erkennen, ihre Spur ist jedoch anhand der Lawinenabgänge leicht zu verfolgen.

Und wie funktioniert eine solche Blaskammer? Man erhitzt in der Kammer eine Flüssigkeit fast bis zur Siedetemperatur und reduziert anschließend innerhalb weniger Millionstel Sekunden den Druck. Eigentlich ist damit die Siedetemperatur überschritten und die Flüssigkeit müsste anfangen zu kochen. Weil der Prozess aber



so schnell abgelaufen ist, bleibt zunächst alles beim Alten. Die Flüssigkeitsmoleküle versetzt das allerdings in einen sehr instabilen Zustand – ähnlich dem Zustand der Schneekristalle am Berghang. Wenn jetzt ein geladenes Teilchen – sozusagen der Skifahrer – durch die Kammer fliegt, stößt es mit den Atomen in der Kammer zusammen. Im Umfeld dieser Kollisionen beginnt die Flüssigkeit dann zu siedeln: Die Lawine ist ausgelöst und es entstehen winzige Dampfbläschen. Diese folgen dem Weg des Teilchens, so dass für einen kurzen Augenblick seine Spur sichtbar wird.



„Im Dschungel der Teilchen“ jetzt auch auf Ihrem PC!

Teilchen im Netz

Übrigens hält Quarks & Co einen exklusiven Bildschirmschoner aus der Welt der Elementarteilchen für Sie bereit: „Im Dschungel der Teilchen“ können Sie kostenlos herunterladen.

Ulrich Grünewald
Daniele Jörg

Der Teilchenbeschleuniger

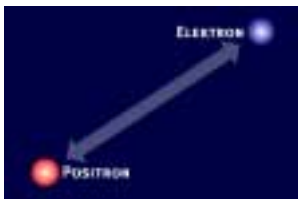


Ein Teilchenbeschleuniger ist für die Physiker das, was für die Biologen ein Mikroskop ist. Man kann mit seiner Hilfe winzige Strukturen untersuchen und sich zum Beispiel auf die Suche nach neuen Elementarteilchen begeben. Dabei gilt, je stärker man die Teilchen beschleunigt, umso mehr kann man über die Welt des allerkleinsten erfahren.

Innerhalb des Rings werden die Teilchen mit der Hilfe von verschiedenen elektrischen und magnetischen Feldern beschleunigt, um die Kurve gezwungen und fokussiert. Sobald die eingestellte Energie erreicht ist, kann die Kollision ausgelöst werden.

Die Ereignisse während der Kollisionen werden im Detektor aufgezeichnet. Die Teilchen sind dabei jedoch so klein und so schnell, dass man sie nicht direkt beobachten kann, sondern lediglich ihre Spuren.

Bei einem **Beschuss von Elektronen auf Positronen** – den Antiteilchen der Elektronen – kommt es bei unterschiedlichen Beschleunigungen zu folgenden Reaktionen:



1. Energie Stufe 1 ($< 200 \text{ MeV}^*$)

Elektron und Positron stoßen wie zwei Billardkugeln zusammen und fliegen unter einem bestimmten Winkel auseinander. Weil das Positron das Antiteilchen des Elektrons ist, kann es auch passieren, dass sich die beiden Teilchen vernichten und ihre Masse in Form von Lichtenergie, sprich zwei Photonen, abstrahlen.



2. Energie Stufe 2 ($> 210 \text{ MeV}^*$)

Elektron und Positron vernichten sich, aus der Energie entsteht ein Paar aus Myon und Anti-Myon. Das Myon ist der schwerere Bruder des Elektrons. Allerdings sind sie nicht stabil. Kurz nachdem sie den Detektor verlassen haben zerfallen sie in ein Elektron und zwei Neutrinos.



3. Energie Stufe 3 ($> 1 \text{ GeV}^*$)

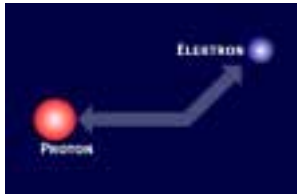
Elektron und Positron vernichten sich, aus der Energie entsteht ein Paar aus Ko-Mesonen. Diese kurzlebigen Teilchen bestehen aus einem strange-Quark und einem down-Quark und sind für den Detektor nicht sichtbar. Allerdings zerfallen die Ko-Mesonen typischerweise nach nur einigen 10cm. Das entstehende Paar aus Pionen (Mesonen zusammengesetzt aus einem Down- und einem Up-Quark) kann dann wieder nachgewiesen werden.



4. Energie Stufe 4 ($> \sim 20 \text{ GeV}^*$)

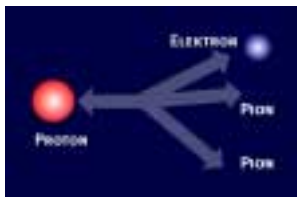
Elektron und Positron vernichten sich, es entsteht zunächst ein Quark-Antiquark-Paar (aus Up, Down, Strange, Charm oder Bottom) das in zwei entgegengesetzt Richtung auseinander fliegt. Quarks haben jedoch die Eigenschaft, dass sie nicht einzeln als freie Teilchen existieren. Daher bauen sowohl das Quarks als auch das Antiquark Energie ab in dem sie weitere Quark-Antiquark-Paare erzeugen. Auf diese Weise bildet sich ein ganzes Bündel aus so genannten Hadronen (Teilchen die auf Quarks aufgebaut sind). Diese Jets sind typisch für hohe Energien und sie gelten als Nachweis für die Existenz der Quarks.

Bei einem **Beschuss von Elektronen auf Protonen** kommt es bei unterschiedlichen Beschleunigungen zu folgenden Reaktionen:



1. Energie Stufe 1 (< 200 MeV*)

Elektron und Proton stoßen wie zwei Billardkugeln zusammen, genauer gesagt wie zwei sehr ungleiche Kugeln. Denn das Proton ist etwa 2000mal schwerer als das Elektron. Es wird daher kaum abgelenkt und fliegt (fast) geradeaus weiter. Nur das Elektron wird aus der Bahn geworfen.



2. Energie Stufe 2 (> 210 MeV*)

Elektron und Proton stoßen wie zwei Billardkugeln zusammen. Die Energie ist so groß, dass zusätzliche Teilchen entstehen, zum Beispiel ein Paar aus Pionen. Das Elektron und das Proton werden zusätzlich abgelenkt, bleiben aber intakt.



3. Energie Stufe 3 (> 1 GeV*)

Elektron und Proton prallen so heftig aufeinander, dass die Energie ausreicht um aus dem Proton ein Quark herauszuschlagen. Dieses Quark kann jedoch nicht als ein zernes freies Teilchen existieren. Aus einem Teil seiner kinetischen Energie werden daher zusätzliche Quark-Antiquark-Paare erzeugt. Es bildet sich ein so genannter Jet. Der Rest des Protons zerplatzt ebenfalls und die zugehörigen Teilchen fliegen in Vorwärtsrichtung weiter. Das Elektron bleibt erhalten wird jedoch abgelenkt.

* Die Energie wird in „eV“ sprich Elektronenvolt gemessen. Ein Elektronenvolt ist die Energie, die ein Elektron besitzt, wenn es zwischen zwei Metallplatten beschleunigt wird, zwischen denen eine Spannung von 1 Volt angelegt ist. Entsprechend der von Einstein entdeckten Äquivalenz von Masse und Energie, werden in der Elementarteilchenphysik auch die Massen in Elektronenvolt angegeben. Ein Elektron hat eine Masse von 500.000 eV, ein Proton ist fast 1 Milliarde eV schwer.

Die Geschichte des Unteilbaren

„Aus was besteht das eigentlich und wie funktioniert es genau?“, fragten wir uns, als wir mit sieben Jahren unser Spielzeugauto in seine 56 Einzelteile zerlegten. Genau diese beiden Fragen beherrschen die Wissenschaft von Beginn an. „Aus was besteht denn eigentlich unsere Materie?“, fragten sich im Laufe der Jahrtausende viele Wissenschaftler, um dem Geheimnis allen Seins auf die Spur zu kommen.

Die Idee des Atomos



Rund 450 vor Christus entwirft der griechische Philosoph Leukipp das Konzept der Atome

Einer der Ersten war der griechische Philosoph Leukipp. Er erkannte rund 450 Jahre vor Christus, dass es eine Grenze des Teilbaren geben musste:

Wenn er einen Apfel in immer kleinere Stücke teilte und es keine Grenze gebe, so würden die Teile irgendwann unendlich klein. Sie beständen aus Nichts. Wenn er dann wieder den umgekehrten Weg gehen wollte, d. h. einen Apfel zusammensetzen wollte, so müssten diese Teilchen aus Nichts plötzlich ein erstes winziges Stück Apfel ergeben. Das ergab für Leukipp keinen Sinn. Seine Lösung für dieses Problem war eine Grenze des Teilbaren: Es musste kleinste Teilchen geben, die sich nicht weiter teilen ließen.

Leukipp gab diesen kleinsten Teilchen den griechischen Namen „atomos“, das Unteilbare.

Aber das Prinzip der Atome setzte sich nicht direkt durch. Rund fünfzig Jahre später entwickelte der Philosoph Aristoteles eine andere Vorstellung: Unsere Welt sei aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft zusammengesetzt, behauptete er und hatte mit dieser Theorie in der Antike großen Erfolg.

Die Wiederentdeckung der Atome



John Dalton schließt aus seinen chemischen Analysen auf die Atome

Erst 1803 entdeckte der englische Chemiker John Dalton die Atome neu. Er hatte beobachtet, dass sich chemische Reaktionen immer nur in bestimmten Mengenverhältnissen abspielen. Daraufhin formulierte er das „Gesetz der konstanten Proportionen“. Danach bestehen die Elemente aus kleinsten unteilbaren Einheiten mit einem unterschiedlichen Gewicht. Aus unterschiedlichen Verbindungen dieser Atome baut sich die Materie auf.

Das Unteilbare wird teilbar



Ernest Rutherford entdeckt 1911 den Atomkern

Rund hundert Jahre später war es mit der Unteilbarkeit der Atome schon wieder vorbei. 1901 entdeckte Joseph John Thomson das Elektron als Teil des Atoms und schon zehn Jahre später stellte der Brite Ernest Rutherford fest: „Das Atom besteht hauptsächlich aus Nichts. Seine Masse ist auf einen Kern konzentriert der 10.000-mal kleiner ist als das Atom. Um diesen Atomkern kreisen in großen Bogen die Elektronen.“



Der Atomkern zusammengesetzt aus Protonen und Neutronen

Mit dem Elektron schien man tatsächlich einen der Grundbausteine der Materie gefunden zu haben. Der Atomkern aber entpuppte sich bald als ebenfalls zusammengesetztes Teilchen: 1932 wies der britische Physiker James Chadwick die Existenz des Neutrons nach und bestätigte damit, dass Atomkerne aus Protonen und Neutronen aufgebaut sind. Ihre Anzahl bestimmt, um welches Element es sich handelt. Der einfachste Kern, der des Wasserstoffatoms, besteht lediglich aus einem einzigen Proton. Im Uran-Atomkern tummeln sich dagegen mehr als 200 Protonen und Neutronen.

Die Quarks als Grenze des Unteilbaren?



Zwei up-Quarks und ein down-Quark – zusammen bilden sie ein Proton

In den 1960iger Jahren wurden eine Reihe weiterer Teilchen entdeckt: Pionen, Lambdas, Delta-Resonanzen, Xi-Hyperonen usw. Sie waren alle „Geschwister“ des Protons und des Neutrons. Eine ziemlich unübersichtliche Angelegenheit. Um wieder Ordnung herzustellen, fasste der amerikanische Physiker Murray Gell-Mann 1963 ähnliche Teilchen in Gruppen oder Familien zusammen und entwickelte die Vorstellung von den Quarks. Aus jeweils drei solcher Quarks oder aus einer Kombination von einem Quark und einem Antiquark lassen sich dann wieder alle bekannten schweren Teilchen aufbauen.

Zur Zeit gelten die Quarks tatsächlich als unteilbar und gehören zu den Grundbausteinen der Materie. Allerdings stehen die Teilchenphysiker immer noch vor einigen unverstandenen Phänomenen. Vielleicht werden sie auch die Quarks zerlegen müssen, um eine Antwort darauf zu finden.

Ulrich Grünewald

Die zwölf Elementarteilchen



Leonardos Abendmahl – für Quarks & Co von einem Straßenmaler auf der Kölner Domplatte nachgemalt

Die gesamte sichtbare Materie ist aus zwölf Elementarbausteinen aufgebaut. Weil die Theorie der Elementarteilchen nicht einfach zu erklären ist, hatten wir die Idee, sie in einem Bild zu veranschaulichen. Die Zahl „zwölf“ sollte dabei der Vergleichspunkt sein: Wir dachten an die zwölf Monate, zwölf Stunden und an die zwölf Apostel, für die wir uns schließlich entschieden.

Die zwölf Elementarteilchen wurden nach dem italienischen Physiker Enrico Fermi benannt und heißen deswegen Fermionen. Sie sind in zwei Sechsergruppen aufgeteilt:

- sechs Leichtgewichte: die Leptonen (von dem griechischen Wort für „das Leichte“ = lepton)
- sechs Schwergewichte: die Quarks (ein Kunstwort nach einem Wesen aus James Joyces Roman „Finnegans Wake“)

Beide Sechsergruppen wiederum bestehen aus je drei Zweierpärchen:

- drei Leptonen (Elektron, Myon und Tauon) und ihre drei zugehörigen Neutrino-pärchen
- drei Quarkspärchen: up und down, charm und strange, top und bottom

Dazu hat jedes Fermion noch ein ihm zugehöriges Antiteilchen, sein absolutes „Spiegelbild“.

Auch die zwölf Apostel werden oft in Paaren dargestellt. So gibt es drei Namensvetter:

- zweimal Simon: Simon Petrus und Simon der Zelot
- zweimal Judas: Judas Iskariot, und Judas Thaddäus
- zweimal Jakobus - der Jüngere und der Ältere.



Leonardos da Vincis Gemälde Abendmahl im Refektorium von Santa Maria delle Grazie

Dazu gibt es Brüder, wie etwa Petrus und Andreas, Johannes und Jakobus der Jüngere, und Freundespaare, wie Philippus und Nathanael.

In Leonardos da Vincis Gemälde Abendmahl im Refektorium von Santa Maria delle Grazie sitzen sechs Jünger links und sechs rechts von Jesus - dazu ist jede Gruppe noch einmal in Dreiergruppen arrangiert.

In unserer Analogie sitzen (von uns aus gesehen) links die Leptonen, rechts die Quarks.

Kleiner Steckbrief der zwölf Fermionen

Die sechs Leptonen

Das Elektron



Judas, Petrus und Johannes (von links nach rechts) in Leonardos Abendmahl stehen sinnbildlich für drei der Leptonen: Elektron-Neutrino, Elektron und Myon

ist sicher das bekannteste Elementarteilchen. Seine Lebensdauer ist unendlich. Es ist zwar ein quantenmechanisches Objekt, kommt aber dem am nächsten, was man in der Umgangssprache unter einem Teilchen versteht. Es ist kugelförmig und trägt eine negative Elementarladung. Seine Masse ist sehr klein: Man braucht über 1.000.000.000.000.000.000.000.000 Elektronen, um auf ein einziges Kilogramm Masse zu kommen.

Das Myon (oder My-Lepton)

ist rund 207-mal schwerer als das Elektron. Es lebt nur knapp 2 Mikro (= Millionstel) Sekunden. Entdeckt wurde es 1937 von den amerikanischen Physikern Carl David Anderson und Seth Henry Neddermeyer. Das Myon findet sich in der so genannten Höhenstrahlung.

Das Tauon (oder Tau-Lepton)

ist rund 3484-mal schwerer als das Elektron und seine Lebensdauer ist noch einmal um ein vielfaches kürzer als die des Myons. Es wurde von einer Forschergruppe entdeckt unter der Leitung des amerikanischen Physikers Martin Lewis Perl am SPEAR in Stanford.

Alle diese drei Leptonen haben ihre zugehörigen Neutrinos

- das Elektron-Neutrino
- das Myon-Neutrino
- das Tauon-Neutrino

Sie sind nahezu masselos und wechselwirken fast gar nicht mit Materie.

Die Quarks

Ein Quark kommt niemals allein; es geht immer Bindungen ein: Zu zweit heißen sie „Mesonen“, zu dritt nennt man sie „Baryonen“. Verbindungen mehrerer Quarks bezeichnet man allgemein als Hadronen.



Der Apostel Thomas in Leonardos Abendmahl: Der nach oben zeigende Finger steht sinnbildlich für das up-Quark

up- und down-Quark

Die Masse des up-Quarks ist etwa sechsmal größer als die des Elektrons, die des down-Quarks etwa 14-mal größer. Das down-Quark ist Teil sowohl des Protons wie auch des Neutrons. Durch Beta-Zerfall wird es in ein up-Quark umgewandelt.



Der Apostel Matthäus in Leonardos Abendmahl: Die nach unten zeigende Hand steht sinnbildlich für das down-Quark

charm-Quark

Das charm-Quark wurde in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts entdeckt. Verbindungen mit charm-Quarks sind relativ langlebig, denn charm-Quarks können nur über die schwache Wechselwirkung in strange-Quarks zerfallen.

strange-Quark

Schon früh - in den 1950er Jahren - wurde das strange-Quark entdeckt. Seltsam fanden die Wissenschaftler dieses Elementarteilchen und nannten es deshalb auch „strange“ – seltsam. Das strange-Quark gehört zur gleichen Teilchenfamilie wie das Myon.

bottom-Quark

Die Teilchenphysiker entdeckten das bottom-Quark in den siebziger Jahren kurz nach dem charm-Quark und dem Tauon. Es hat eine große Masse und eine – für ein Elementarteilchen – lange Lebensdauer.

top-Quark

Lange vor seiner Entdeckung, war die Existenz des top-Quarks schon angenommen worden. Trotzdem ist es das zuletzt nachgewiesene Quark: Erst 1995 wurde es aufgespürt. Das top-Quark ist das schwerste Elementarteilchen: Seine Masse entspricht beinahe der eines Gold-Kerns.

Heinz Greuling

Die Quarks-Familie

Die Welt der Quarks ist bunt, vielfältig und wird leicht unübersichtlich: Sechs verschiedene Quarks gibt es (up- und down-Quark, top- und bottom-Quark, strange- und charm-Quark). Jedes Quark hat seine Entsprechung in einem Anti-Quark (Anti-up- und Anti-down-Quark, Anti-top- und Anti-bottom-Quark, Anti-strange- und Anti-charm-Quark). Dazu kommt, dass ein Quark niemals alleine anzutreffen ist: Es geht immer Bindungen ein. Welche Eigenschaften die einzelnen Quarks haben und welche Bindungen sie eingehen, erklären wir Ihnen in einem Märchen:

Es lebten einmal drei Quarks-Familien in einer Welt, die so klein war, dass man sie mit bloßem Auge gar nicht sehen konnte ...

up- und down-Quark



up-Quark und down-Quark

Die leichtesten unter ihnen waren das aufgeweckte up-Quark und das etwas niedergeschlagene down-Quark. Das up-Quark hatte immer eine Gitarre dabei und spielte fröhliche Akkorde. Das down-Quark hatte eine kleine Trommel und schlug unmotiviert darauf herum. Diese beiden waren im ganzen Land bekannt.

strange- und charm-Quark



strange-Quark

Ihre nächsten Verwandten waren das etwas skurrile strange-Quark und das liebenswürdige charm-Quark. Das strange-Quark hatte eine Ziehharmonika, auf der es schräge Töne spielte. Das charm-Quark sah man immer mit einem Saxophon. Es spielte kleine Balladen. Diesen beiden begegnete man nur selten und wenn, dann benahmen sie sich meist ziemlich unverbindlich.

top- und bottom-Quark



bottom-Quark und top-Quark

Am schwersten in den drei Familien waren das fette bottom-Quark und das bindungs-scheue top-Quark. Das bottom-Quark versuchte zu singen, was ihm jedoch nie gelang. Das top-Quark nervte jeden mit seinem schrägen Trompetengequietsche. So war es auch nicht verwunderlich, dass kaum jemand die beiden je gesehen hat.

Die Neutron-Band



„Neutron-Band“

Schon früh hatte sich das up-Quark mit zwei down-Quarks aus der Nachbarschaft zu einem Trio zusammengetan. Gemeinsam spielte sie unter dem Namen „Neutron“ eine Art Rockmusik. Zwei Trommeln und eine Gitarre – das klang so gut, dass sie bald im ganzen Land bekannt wurden.

Die Lambda-Band



„Lambda-Band“ trennt sich

Eines Tages aber war das eine down-Quark so niedergeschlagen, dass es nicht mehr mit den anderen zusammen spielen wollte. So zerfiel das „Neutron“-Trio. Doch zu zweit wollten die beiden Quarks nicht bleiben. So gründeten sie ein neues Trio, zusammen mit einem charm-Quark. Eine Trommel, eine Gitarre und ein Saxophon - das ging nicht gut. Kaum hatten sie sich auf den Namen „Lambda“ geeinigt, da war es auch schon wieder vorbei mit der Gemeinsamkeit. Sie waren wohl doch zu verschieden.

Das Omega-Trio



„Omega-Trio“ sagt Konzerte ab

„Vielleicht muss ich es machen wie das Omega-Trio“, dachte das up-Quark. Das „Omega-Trio“ bestand aus drei strange-Quarks. Das war ganz schön schrill. Und das up-Quark war hoch motiviert: „Drei gleiche Quarks - die müssen sich doch prima verstehen.“ Aber noch ehe es sich mit diesem Gedanken so richtig anfreunden konnte, sagte das „Omega-Trio“ alle Auftritte ab. „Drei sind wahrscheinlich einer zuviel“, sagte sich das up-Quark.



Anti-Teilchen im Tal

Nun begab es sich, dass zu jener Zeit immer mehr Anti-Teilchen im Tal gesichtet wurden. Die Anti-Teilchen waren wie die Quarks sehr musikalisch. Und das up-Quark überlegte, ob das nicht die Lösung sei: Ein „Solo für Zwei“. Seine Mutter hatte ihn zwar immer vor diesen Anti-Teilchen gewarnt: „Die vernichten uns noch alle“, hatte sie gesagt. Aber wer nicht wagt, der nicht gewinnt. Es beschloss sehr vorsichtig zu sein und sich einen besonders trägen Partner zu wählen. So machte es sich auf die Suche nach einem Anti-top-Quark. Doch es war einfach keines zu finden. Schließlich fiel ihm ein, dass es auch noch nie von einer Verbindung mit einem top-Quark oder gar einem Anti-top-Quark gehört hatte.

Die B-plus-Meson-Band



„B-plus-Meson-Band“ löst sich auf

So begnügt sich das up-Quark mit dem etwas zugänglicheren Anti-bottom-Quark. Ihr „Solo für Zwei“ bekam den Namen „B-plus-Meson“. Doch das Zusammenspiel einer wohlgelaunten Gitarre mit einer schrägen Trompete war nicht zu ertragen. Es war nichts Halbes und nichts Ganzes und so trennten sich die beiden schnell wieder.

Das Proton-Trio



„Proton-Trio“ hat Erfolg

Eines Tages, als das up-Quark schon sehr frustriert war, traf es auf ein anderes up-Quark, das genauso deprimiert war. Sie taten sich zusammen und nahmen aus Erinnerung an die alten Zeiten noch ein down-Quark als rhythmische Begleitung dazu. Das „Proton-Trio“ war entstanden und hatte einen Riesenerfolg. Ja, sie stellten sogar die alten Erfolge des „Neutron-Trios“ in den Schatten.

Elmar Sommer



Die Higgs-Party oder Warum haben Teilchen Masse?

Vorgeschichte

Eine der Eigenschaften, in denen sich die Elementarteilchen unterscheiden, ist ihre Masse. Einige Teilchen haben überhaupt keine Masse wie z. B. das Photon, andere haben eine kleine Masse wie das Elektron und wieder andere haben eine sehr große Masse wie das schwerste Elementarteilchen, das top-Quark. Doch wie kommen die Teilchen überhaupt zu ihrer Masse? Diese Frage hat Professor Peter Higgs von der Universität Edinburgh bereits vor 30 Jahren versuchsweise beantwortet. Wir haben die Annahmen des Higgs-Mechanismus – zur Veranschaulichung – auf das Verhalten von Partygästen übertragen.

Vorbereitung

Sie beobachten die Party von einer Loge in der ersten Etage: So haben Sie einen guten Blick von oben auf die Gäste. Mindestens 40 Gäste sollten Sie einladen: Je mehr Gäste Sie haben, desto deutlicher wird der Mechanismus. Ein gutausgestattetes Büffet mit ausreichend alkoholischen Getränken sorgt für die lockere Atmosphäre zu solch einem Anlass. Dann laden Sie noch zwei „Prominente“ ein. Die sollten so populär sein, dass es den Partygästen nicht schwer fällt, die „Prominenten“ zu begrüßen und an sie heranzutreten, um ihnen die Hände zu schütteln oder auf die Schulter zu klopfen.

Erster Durchlauf



Die „Teilchen“ treffen sich nicht

Die beiden Prominenten überqueren den Partysaal, ohne sich zu treffen. Für Higgs bedeutet das: Wenn Teilchen (die Prominenten) keine Masse haben, bewegen sie sich mit Lichtgeschwindigkeit – so wie die Photonen. Laut Standardmodell haben alle Teilchen keine Masse. Wenn sich aber alle Teilchen mit Lichtgeschwindigkeit bewegten, hätten sie kaum eine Chance, sich zu treffen und zu Materie zusammenzuschließen.

Das Higgs-Feld



Das „Higgs-Feld“ reagiert auf die „Teilchen“

Die Partygäste verteilen sich so im Saal, dass jeder Partygast den selben Abstand zu seinen Nachbarn hat. Für Higgs bilden sie ein Feld. Eines, das Sie zunächst nicht bemerken. In dem Augenblick aber, wenn ein Teilchen (ein Prominenter) dazukommt, reagiert das Feld. Die Partygäste begrüßen den Prominenten, sie verlassen ihren Platz und versperren dem Prominenten den Weg. Für Higgs wird das Teilchen gebremst: Es bekommt Masse. Jetzt kann es sich nicht mehr mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Der zweite, bekanntere Prominente betritt die Partyfläche und noch mehr Partygäste blockieren seinen Weg. Für Higgs bedeutet das: Ein Teilchen, das das Feld stärker verändert, kommt langsamer voran und erhält somit eine größere Masse.

Der Vermittler



Ein „Photon“ vermittelt

Ein Kellner läuft von einem Prominenten zum anderen. Er kann ungehindert durch die Mensentrauben laufen und überbringt Botschaften zwischen den beiden Prominenten. Für Higgs ist der Kellner ein Teilchen, das das Feld nicht verändert: Es hat keine Masse und kann sich weiter mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Der Kellner ist also ein Photon, das zwischen geladenen Teilchen vermittelt.

Das Treffen



Die „Teilchen“ treffen sich

Durch die Vermittlung des Kellners gehen die beiden Prominenten mit ihren „Fans“ aufeinander zu. Sie treffen sich und tauschen sich aus. Beide Teilchen sind geladen und werden durch das Higgs-Feld – also die Partygäste – gebremst. So haben sie die Möglichkeit, eine Bindung einzugehen: Materie setzt sich zusammen.

Es geht auch ohne Teilchen



Das „Gerücht“

Der Higgs-Mechanismus funktioniert auch ohne Teilchen (die Prominenten). Ein Paar in der Ecke der Partyfläche unterhält sich. Andere Partygäste hören zu und verbreiten das „Gerücht“. Für Higgs reagiert das Feld auf sich selbst. Auf irgendeinen spontanen Impuls hin zieht sich das Feld zusammen und wandert durch den Raum. Das zusammengezogene Feld ist im Prinzip auch wieder eine Masse, die sich auch bewegen kann. Im Grunde genommen verhält sich das Ganze fast wie ein normales Teilchen.

Die Aussicht

Internationale Forscherteams suchen schon seit Jahren nach den Higgs-Bosons (die Partygäste). Wenn es den Teilchenphysikern gelingt, diese Teilchen zu finden, könnte das Professor Higgs den Physik-Nobelpreis bringen – dreißig Jahre nach seinen theoretischen Überlegungen. Professor Higgs meinte dazu: „Falls ich noch am Leben sein sollte, wenn ein Higgs-Boson gefunden wird, vielleicht im Jahr 2004, würde ich vielleicht gerne zur Pressekonferenz eingeladen werden.“

Elmar Sommer

Die Jagd nach den Geisterteilchen

Neutrinos wiegen fast nichts und besitzen keine Ladung. Darum ist es auch so schwer, sie nachzuweisen: Sie sind wahre Geisterteilchen.



Der deutsche Physiker Wolfgang Pauli (1900-1958)

Der deutsche Physiker Wolfgang Pauli führte das Neutrino 1930 in die Welt der Physik ein: als hypothetisches Teilchen. Bei der Untersuchung von Beta-Zerfalls-Prozessen beobachtete Pauli, dass die Summe von Energie und Impuls scheinbar nicht gleich blieb. Das widersprach den Energie- und Impulserhaltungssätzen. Um diesen Widerspruch zu lösen, führte er die Neutrinos ein. So ließen sich die Unstimmigkeiten beim Beta-Zerfall erklären.

„Heute habe ich etwas getan, was man in der theoretischen Physik nie tun darf. Ich habe etwas, was nicht verstanden ist, durch etwas erklärt, was man nicht beobachten kann!“

Er traute sich zunächst nicht, seine Vermutung zu publizieren. Am 4. Dezember 1930 fand in Tübingen eine Tagung statt. Pauli fuhr nicht dorthin: Ein Weihnachtsball in Zürich, wo er zu dieser Zeit Professor war, hielt ihn offenbar von der Tagungsreise ab. Allerdings schrieb Pauli seinen Freunden und Kollegen einen Brief, in dem er besagte Neutrino-Hypothese vorstellte. Seine Idee wurde begeistert aufgegriffen.

Den Namen „Neutrinos“ erhielten die Geisterteilchen erst 1933 von Enrico Fermi. Danach dauerte es noch weitere 23 Jahre, bis sie tatsächlich zum ersten Mal nachgewiesen wurden – von dem amerikanischen Physiker Fred Reines. Er telegraphierte im Juni 1956 an Wolfgang Pauli, um seine Entdeckung zu vermelden. Paulis Antwort hat ihn seltsamerweise nie erreicht. Zwei Jahre später starb Pauli im Alter von erst 58 Jahren.

Heinz Greuling

Von den Quarks zum Kosmos

„Im Anfang war das Wort [...] Alles ist durch es geworden, und ohne es ist nichts geworden.“ (Johannes 1,1-1,3)

Auf diese Weise erklärte der Evangelist Johannes den Ursprung unserer Welt. Moderne Wissenschaftler haben inzwischen eine andere Erklärung für den Beginn allen Seins: Am Anfang war der Urknall, sagen sie.

Die moderne Schöpfungsgeschichte der Astronomen ...

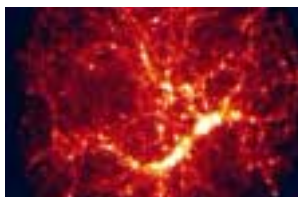


Der Urknall vor 15 Milliarden Jahren – so stellen sich die Astronomen den Anfang vor

Der Urknall – oder das Quantenvakuum – gilt als Vorform der Materie jenseits von Raum und Zeit. In diesem hochenergetischen Zustand war noch keine Materie auskristallisiert. Aus diesem Zustand entwickelte sich in sieben Stufen unsere Welt:

1. Zunächst gab es nur Lichtteilchen, die so genannten Photonen.
2. Aus ihnen gefroren die zwölf Elementarteilchen: sechs Leptonen und sechs Quarks.
3. Die Quarks fanden sich zusammen und bildeten die ersten Kernteilchen.
4. Als die Welt erst drei Minuten alt war, entstanden die ersten Atomkerne.
5. Der nächste Schritt brauchte etwas länger: 500.000 Jahre dauerte es, bis sich die Atomkerne mit Elektronen einhüllten und zu Atomen wurden. Dann begannen sich Gaswolken zu bilden.
6. Drei Milliarden Jahre später entstanden aus dem Gas Myriaden von Sternen – vereint in Galaxien und Milchstraßensystemen. Das gesamte Planetensystem entwickelte sich zu dieser Zeit - auch unsere Erde.
7. Heute – 15 Milliarden Jahre nach dem Urknall – verschmelzen immer mehr Galaxien zu riesigen Galaxiehaufen.

... und die noch offenen Fragen



Jeder Punkt stellt eine Galaxie dar. Die Galaxien verschmelzen.

Das Rätsel um den Anfang allen Seins ist jedoch noch nicht vollständig gelöst. Mit den Rechnern simulieren Wissenschaftler den Urknall immer wieder aufs Neue. Auf diese Weise können sie zwar nachvollziehen, wie die Sterne, Gasnebel und Milchstraßensysteme entstanden sind. Das Verschmelzen der Galaxien allerdings können sie so nicht erklären. Um dieses Phänomen deuten zu können, muss eine andere, bis dato unbekannte Form der Materie angenommen werden, die fast zehnmal größer ist als alles bisher Bekannte.

Heinz Greuling

Lesetipps

„Der Klang der Superstrings“

Die Literatur zum Thema Elementarteilchenphysik ist vielfältig, aber nicht unbedingt spannend und leichtverständlich geschrieben.

Sehr lesenswert jedoch dieses schmale Büchlein in der dtv-Reihe Naturwissenschaftliche Einführungen.

Autor: Frank Grotelüschen
Titel: Der Klang der Superstrings
Verlagsangaben: dtv, ISBN: 3-423-33035
Sonstiges: Taschenbuch

„Luzifers Vermächtnis“

Wirklich erstaunlich und erfrischend – mit großer Kenntnis – geschrieben ist das Buch eines Physikprofessors, der für seine großen Verdienste um die Vermittlung physikalischer Sachverhalte mit der Kelvin-Medaille ausgezeichnet wurde:

Autor: Frank Close
Titel: Luzifers Vermächtnis
Verlagsangaben: C.H.Beck, ISBN: 3-406-48618-5
Sonstiges: gebunden

„Die wundersame Welt der Atomis“

Atome sind unsichtbare Kügelchen? Von wegen – der Physiker und Zeichner Peter Evers entführt mit seinen Cartoons in eine Welt der Atome die nur allzu menschlich erscheint. Allerdings haben seine Charaktere eben ihre ganz eigenen atomistischen Sorgen und Nöte. Physik auf eine ganz besondere Art.

Autor: Peter Evers
Titel: Die wundersame Welt der Atomis
Verlagsangaben: WILEY-VCH 2002, ISBN: 3-527-40359-0
Sonstiges: Preis ca. EUR 14,90
Taschenbuch, 470 Seiten

Linktipps

Zur Teilchenphysik

Kworkquark – Teilchenphysik für alle. Alles rund um das Thema Elementarteilchenphysik für den Laien aufbereitet.

<http://kworkquark.desy.de/wissenswelt/>

Grundlagen der Teilchenphysik. Ein Lernprogramm der Universität Erlangen. Sehr informativ.

http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/grundl_d_tph/titelseite.html

Das Teilchenabenteuer. Ein Rundgang durch die Welt der elementaren Teilchen.

<http://particleadventure.org/particleadventure/german/frameless/index.html>

Zur Geschichte des Unteilbaren

Ein Blick ins Atom. Eine Broschüre (als pdf-File) des Forschungszentrums Jülich.

<http://www.fz-juelich.de/oea/PM2002/2002-51-FijEinblickinsAtom.html>

Antike Atomlehre - Um die Begriffswelt der Vorsokratiker von H.-G. Gadamer. Hintergründe zu dem Gedankengebäude der griechischen Philosophen.

<http://www.gottwein.de/Grie/VSAtomLito1.htm>

<http://webserver.lemoyne.edu/faculty/giunta/dalton.html>

John Dalton – A new system of chemical philosophy (engl.)

Zu den Elementarteilchen

Wer die neuesten Werte zu den Elementarteilchen haben möchte, der sollte unter <http://pdg.lbl.gov> die aktuellen Werte in der Zeitschrift Physical Review D nachschauen.

Wolfgang Paulis Biografie (in Englisch), aber auch die Biografien anderer Physiker und Nobelpreisträger wie Enrico Fermi oder Fred Reines findet man im Nobel e-museum, www.nobel.se/physics/laureates/1945/pauli-bio.html.

Zu den Neutrinos

Das Sudbury-Neutrino-Observatory hat die homepage www.sno.phy.queensu.ca

Das Projekt AMANDA hat seine homepage bei <http://amanda.uci.edu/>

Das Projekt NEMO hat seine homepage bei www.lal.in2p3.fr/recherche/nemo/

Impressum:

Herausgegeben
vom Westdeutschen Rundfunk Köln

Verantwortlich
Quarks & Co,
Daniele Jörg

Redaktion
Daniele Jörg

Autoren
Uli Grünewald
Elmar Sommer
Heinz Greuling

Gestaltung
Designbureau Kremer & Mahler

Bildrechte
Alle: © WDR

Außer:
S.14, Wolfgang Pauli, dpa

© WDR 2003