

1

Das **minimale Quarkmodell:**

Materie aus Quarks und Elektronen

Was jeder darüber wissen sollte!

2

Die Materie, die uns umgibt besteht im wesentlichen aus drei Arten von **Urteilchen:**

u-Quarks, d-Quarks
und
Elektronen

Diese **Urbausteine** sind so klein, daß man ihren Durchmesser noch **nie** bestimmen konnte!

3

FAQs:

Woher stammt der Name „Quark“?
In einem Interview mit Scientific American hat Gell-Mann (der ja die Quarks vorgeschlagen hat) 1992 klar gestellt, daß er zuerst den Namen „jaurol“ gewählt hatte, der sich auf „Jork“ in einem Gedicht reimien sollte. Erst später hat er aus dem schwer verständlichen Satz: „Three quarks for Muster mark!“, in dem experimentellen Roman „Finnegans Wake“ von James Joyce, das Wort „Quark“ ausgesprochen. Zweig hatte wie zur gleichen Zeit dagegen „Asser“ genannt.

Was bedeutet „u“ und „d“?
u steht für „up“ (nach oben) und d für „down“ (nach unten), wobei die beiden möglichen Stellungen des schon von Heisenberg für Proton und Neutron eingeführten Isospinprinzips (Wert = 1/2) gemeint sind, was rein formal für „Komponenten“ des Eigenwertes (oder Spins) 1/2 entspricht. Wir können u und d als Quanzenzahlen betrachten, durch die sich diese beiden Quarks unterscheiden.

Und woher kommt „Elektron“?
Die Bez. „Elektron“ wurde 1891 von dem brit. Physiker George Johnstone Stoney (1828-1911) für die Elementarladung vorgeschlagen und stammt von dem griechischen Wort für „Bernstein“, mit dem erste Experimente mit Elektrizität in der Antike durchgeführt wurden.

4

Zu den **Größen:**

Wasserstoffatomkern = 1 (Proton)

Durchmesser etwa 1,8 „Femtometer“ (fm, früher „Fermi“ genannt)
1 fm = 1 m / 1 000 000 000 000 000

also, in „Protoneneinheiten“:

Mensch: 1 000 000 000 000 000
Molekül: > 20 000
Atom: 10 000 bis 20 000
Atomkern: 1 bis 5

Quarks: < 1/1000
Elektron: < 1/1000

5

Quarks und Elektronen werden durch drei **Urkräfte** zusammengehalten:

die elektromagnetische Kraft
zwischen elektrisch geladenen Teilchen

die starke Kraft
zwischen den Quarks

und

die Gravitationskraft
zwischen Teilchen mit Energie (Masse)

6

Also, mit nur **drei Urteilchen** und nur **drei Urkräften** werden wir den Aufbau der Materie, die uns umgibt im wesentlichen verstehen können.

Wir brauchen aber einige Vorkenntnisse aus der Elektrizitätslehre, die uns als **„Kochrezepte“** (auch für später) dienen werden.

7

Das Elektron, laut Helmholtz das „Atom“ der Elektrizität

1897 entdeckt
J. J. Thomson

Fernseher:
Leuchtröhre
Elektronenstrahl
Vakuüm
Hochspannung
Steuerung
Gitter
Bildschirm

Die Energieeinheiten (zur Erinnerung!):
Kiloelektronenvolt 1 keV = 1000 eV
Megaelektronenvolt 1 MeV = 1000 keV
Gigaelektronenvolt 1 GeV = 1000 MeV
Teraelektronenvolt 1 TeV = 1000 GeV
Petaelektronenvolt 1 PeV = 1000 TeV
Exaelektronenvolt 1 EeV = 1000 PeV.

8

Das Millikan-Experiment

1911...

Martin Perl Nobelpreis 1995

Neue Millikan Experimente in Stanford

9

Millikan-Perl Experiment bei SLAC, 1999-2001

Messgenauigkeit: 1/50 der Elektronenladung
Bis 8. Jan. 2001: 46,1 x 10¹⁹ Tropfen
Nur ganze Vielfache von e beobachtet!

Aus: www.slac.stanford.edu/exp/imps/FCS

10

Wichtigste Ergebnisse für die folgenden Betrachtungen:

1. Aus der klassischen Physik

Die Gesamtladung eines abgeschlossenen Systems bleibt immer genau erhalten.

Es gibt keine Erzeugung oder Vernichtung einzelner Ladungen!

2. Aus dem Millikan Experiment

Nur ganzzahlige Vielfache der Ladung des Elektrons erscheinen FREI in der Natur.

Positiv, negativ oder neutral.

Dies sind unsere **„Kochrezepte“!**

12

Die **elektrische Ladung** des Wasserstoffatomkerns (Proton) wurde als

Elementarladung +1 definiert.

Das Elektron hat Ladung -1.

Sie wurden sehr genau gemessen. Auf 20 Dezimalstellen gleicher Wert! Grundlage unserer Technik!

Und nun kommt der Hammer!

13

Mit sehr genauen Experimenten wurde die **elektrische Ladung** der Quarks bestimmt.

Ergebnis:

das u-Quark hat Ladung +2/3
und
das d-Quark hat Ladung -1/3.

Allerdings:

Solche Ladungen wurden FREI in der Natur noch nie beobachtet!

14

Ein einzelnes Quark wurde also frei in der Natur noch nie beobachtet! Und wenn es existieren würde, dann wäre es sehr unglücklich

Es sucht nach Partnern, um endlich ganzzahlige Ladung zu bekommen! Ganz anders die glücklichen Elektronen!

15

Quarks treten also offensichtlich in der Natur nur **in Verbindungen** auf, die dann allerdings ganzzahlige elektrische Ladung haben müssen!

Wir werden schnell herausfinden, welche Möglichkeiten es da überhaupt gibt.

Kochrezept:

Man suche nach Quarkverbindungen mit ganzzahliger Ladung!

16

1. Versuch:

Zweierverbindungen aus u- und d-Quarks

u +2/3
d -1/3

u + u -> 2/3 + 2/3 = 4/3
u + d => 2/3 - 1/3 = 1/3
d + d => -1/3 - 1/3 = -2/3

Aus zwei solchen Quarks kann keine ganze Ladung entstehen!

17


2. Versuch:
Dreierverbindungen
aus u- und d-Quarks

u	d
+2/3	-1/3

$u + u + u \Rightarrow +2/3 + 2/3 + 2/3 = +2$
 $d + d + d \Rightarrow -1/3 - 1/3 - 1/3 = -1$
 $u + u + d \Rightarrow +2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$
 $u + d + d \Rightarrow +2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$

Diese Verbindungen gibt es tatsächlich:
Oben zwei "Delta-Teilchen" (instabil),
unten das Proton (+1)
und das Neutron (0)


18



Drei Quarks sind zusammen glücklich!


19

$2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$



Proton

$2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$



Neutron


20

Wie werden die Quarks zusammengehalten?
Zwischen den Quarks wirken die stärksten Kräfte, die je in der Natur beobachtet wurden. Man kann sie mit Gummi- oder Stahlbändern vergleichen.

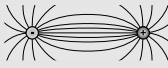
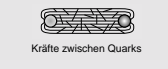


21

Die Klassischen „Kraftlinien“



Elektrische Kräfte

Kräfte zwischen Quarks

22



Die Entstehung der „**Kernkräfte**“
Sie halten Protonen und Neutronen im Atomkern zusammen.
Sie wirkt nur wenn Protonen und Neutronen sehr nahe aneinanderkommen!



Ein Resteffekt der Quarkkräfte!

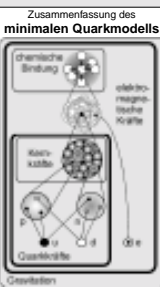
23

Elektronen schwirren um den Atomkern und verbinden Atome zu Molekülen

24

Zusammenfassung des **minimalen Quarkmodells**



25

Schlussbemerkung:

Bei dieser **Minimaldarstellung** der Struktur der Materie fehlt einiges, z.B.:

- Etwas 90% der Materie im Universum ist unsichtbar (die sog. "dunkle Materie").
- Es gibt milliardendal mehr sog. "Neutrinos" im Universum als alle Quarks und Elektronen zusammen, von denen wir aber nichts spüren!
- Es gibt einige Hundert sehr kurzlebige Teilchen (der Zoo), die wir nicht beschrieben haben.

Aber die **Minimaldarstellung** ist wohl das Minimum, das man einem zukünftigen Arzt oder Anwalt heute mitgeben sollte!