



17

**Die Quark-Antiquark-Verbindungen  
Die "Mesonen"**

Planar: 120 MeV/c<sup>2</sup>      Rho: 540 MeV/c<sup>2</sup>  
 Axiale Zustände:      Radiale Zustände:

770	940
980	980
1040	1040
1260	1260
1450	1450
1680	1680
1880	1880
1990	1990

18

**Das unglückliche Antiquark!**

**Ein Anti-Unding!**

19

**Die drei glücklichen Antiquarks**

**Anti-Proton,  
Anti-Neutron,  
Anti-Delta**

20

**Das glückliche  
Quark-Antiquark-Paar!**

**Die "Mesonen"**

21

**Quarkverbindungen  
mit  
ganzzahliger  
elektrischer Ladung**

**Gleichzeitig im Quarkmodell  
die Definition der Begriffe:**

**Baryon, Antibaryon,  
Meson und Hadron**

22

**Die stabilen Teilchen**

**Die gespiegelte Welt!**

Es könnte sie geben...  
Beispiel:  
**Positronenwolken im All!**

23

Schön wär's,  
wenn's hier zu Ende wär'...  
aber es gibt noch

**mehr  
Urteilchen!**

Seltsame,  
charmante,  
schöne,  
und auch noch top!

Und einen kurzlebigen Zoo!

Gleiche Regeln!  
Gleiches Kochrezept!

24

In zahlreichen Experimenten  
wurde in den letzten 60 Jahren  
bewiesen, daß es außer der  
bis jetzt vorgestellten Gruppe von  
**acht Urteilchen**  
noch zwei weitere,  
sehr ähnliche Gruppen gibt.  
Man nennt die drei Gruppen

**Generationen**

von Urteilchen.

Für die Existenz der  
höheren Generationen  
kennen wir keinen Grund.

Es handelt sich aber um  
schwerere und instabile Teilchen,  
die schnell in Teilchen der  
ersten Generation zerfallen.

25

**Die drei Generationen von Urteilchen**

**QUARKS      LEPTONEN**

Teilchen der 1. Generation:

u-Quark	d-Quark	Elektron	Neutrino-e
Anti-u-Quark	Anti-d-Quark	Positron	Antineutrino-e

Teilchen der 2. Generation:

c-Quark	s-Quark	Myon	Neutrino-μ
Anti-c-Quark	Anti-s-Quark	Antimyon	Antineutrino-μ

Teilchen der 3. Generation:

t-Quark	b-Quark	Top	Neutrino-τ
Anti-t-Quark	Anti-b-Quark	Antitop	Antineutrino-τ

26

**Die Massen der Urteilchen**  
laut "Review of Particle Data", 2000

Urteilchen	Masse
u-Quark	1 bis 5 MeV
d-Quark	3 bis 9 MeV
s-Quark	45 bis 170 MeV
c-Quark	1,15 bis 1,35 GeV
b-Quark	4,0 bis 4,4 GeV
t-Quark	169 bis 179 GeV
Elektron	0,5109989 MeV
Neutrino-e	< 3 eV
Myon	105,65836 MeV
Neutrino-My	< 190 keV
Tau	1777,0 MeV
Neutrino-Tau	< 18,2 MeV

27

**Generation:**

1.	2.	3.	Ladung
e <sup>-</sup>	μ <sup>-</sup>	τ <sup>-</sup>	+1/3
u	c	t	+2/3
d	s	b	+1/3
ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	0
ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>	0
d	s	b	-1/3
u	c	t	-2/3
e <sup>-</sup>	μ <sup>-</sup>	τ <sup>-</sup>	-1

28

**Nochmals:  
Mögliche Quarkverbindungen mit  
ganzzahliger elektrischer Ladung,  
gemischt, aus den drei Generationen:**

**Fast alle gibt es wirklich!**

29

Den Quarks werden ladungsartige  
Quantenzahlen zugeordnet,  
die "Aroma" oder "Geschmack" heißen:

Charme (charm):  
C = -1 für das Anti-c-Quark,  
C = +1 für das c-Quark

Seltsamkeit (strangeness):  
S = -1 für das s-Quark  
S = +1 für das Anti-s-Quark

Schönheit (beauty):  
B = -1 für das Anti-b-Quark,  
B = +1 für das b-Quark

Top (top):  
T = -1 für das t-Quark  
T = +1 für das Anti-t-Quark

Die Aromazahlen  
bleiben nicht immer "erhalten".

30

Zur geschichtlichen Entwicklung:  
Jetzt können wir einfach zeigen,  
wie Gell-Mann und Zweig  
aufgrund der 1964 bekannten  
Teilchen und ihrer Eigenschaften  
ein Schema mit den drei Quarks

**u, d und s**  
als Grundbausteine  
entwickelt haben.

Danach noch einige Bemerkungen  
zu den Experimenten, die zum

**Durchbruch der Quarktheorie**  
geführt haben und zur Entdeckung der  
weiteren **Urbausteine**.

31

Zum ersten Vorschlag  
der Existenz der Quarks

1964

Das Omega war damals nicht bekannt!

32

Das **Omega-Minus**  
wurde Ende  
**1964**  
auf älteren  
Bildern einer  
Blasenkammer  
entdeckt!

Das war die  
erste  
"Bestätigung"  
der Quark-  
Theorie,  
wurde aber  
nicht sehr ernst  
genommen.

33

**Entdeckung des J/psi-Teilchens: Brookhaven-MIT-Experiment**

28,5 GeV-Protonen auf Beizium

Spektrrometer

etwa 30 m

1974

2,7 3,0 3,1 3,4  
Ruhemasse des Paares in GeV

100

Ergebnisse

Der Name "psi" wurdener der Richter-Gruppe ausgewählt, wegen der Ähnlichkeit einiger Ergebnisse mit dem griechischen Buchstaben psi. Der Name "J" wurde von der Ting-Gruppe gewählt, wegen der Ähnlichkeit mit dem chinesischen Buchstaben für "Ting".

Reiter

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

34

**Entdeckung des J/psi-Teilchens: SLAC-Elektron-Positron-Collider**

Speicherring

Detektor

1974

3,0 3,1 MeV 3,2

Der Name "psi" wurdener der Richter-Gruppe ausgewählt, wegen der Ähnlichkeit einiger Ergebnisse mit dem griechischen Buchstaben psi. Der Name "J" wurde von der Ting-Gruppe gewählt, wegen der Ähnlichkeit mit dem chinesischen Buchstaben für "Ting".

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

35

Die angeregten Zustände des J/psi-Teilchens (Charmoniums), beobachtet an mehreren Elektron-Positron-Speicherringen

Zum Vergleich: Die angeregten Zustände des "Positroniums" ("Elektron-Positron-Verbindung"). Sie ähneln schon auch die angeregten Zustände des Wasserstoffatoms aus.

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

36

Zusammenfassung:

**1964:** Einführung der Quarks Gell-Mann und Zweig

**1968:** Entdeckung der Partonen SLAC/MIT-Experiment

**Nov. 1974:** Entdeckung des J/psi Experimente bei SPEAR & MIT

**Dez. 1974...** Die angeregten Zustände des J/psi-Teilchens als 2-Körpersystem SPEAR, DESY-DORIS usw

**Das J/psi muß also aus ZWEI Teilchen bestehen: das c-Quark und sein Antiteilchen.**

Erst da fiel der Groschen und die Quarks wurden von praktisch allen Physikern als "Realität" anerkannt!

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

37

Auf ähnliche Art wurde 1978 das

**Ypsilon-Teilchen**

entdeckt und identifiziert als

**Verbindung des b-Quarks mit seinem Antiquark.**

Die Experimente wurden am Fermilab und bei DESY durchgeführt.

1995 bis 1997 wurden auch

**t-Quarks und seine Antiquarks als Paare**

am TEVATRON erzeugt.

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

38

**Die geladenen Leptonen**  
Das Elektron (1897) und die "schwereren Elektronen": das Myon und das Tau

Das Myon wurde in der Höhenstrahlung von Lattes, Occhialini, und Powell 1948 entdeckt

Elektron Myon

Das Tau-Lepton SLAC, 1975

Elektron Tau Myon

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

39

Auch die Neutrinos wurden schon durch ihre (sehr seltenen) Wechselwirkungen **direkt nachgewiesen:**

**Das Neutrino-e**  
Reines und Cowan an einem Kernreaktor (1957)

**Das Neutrino-My**  
Lederman, Schwartz und Steinberger am AGS, Brookhaven (1962)

**Das Neutrino-Tau**  
mit dem DONUT-Experiment am Tevatron (2000)

Die etwa 300 bis heute insgesamt beobachteten Teilchen kann man **alle** in ein einfaches Schema einordnen.

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18

40

© Photo Research 2011 | Lizenziert durch ARD | 4/18