



# Theoretische Einführung in das Standardmodell der Elementarteilchen

Vorlesung im WS 2008/09

Oliver Bär

# Organisatorisches

- Tausch der VL - Ueb Zeiten:  
Vorlesung → **Montags**, 9:00 c.t.      NEW 15 2'101  
Uebung     → **Freitags**, 9:00 c.t.      NEW 15 3'101
- Erste Uebung: Freitag, 24.10.

# Organisatorisches

## Leistungsnachweis **Masterstudenten**

- Modulabschlussprüfung:  
**Klausur am Freitag, 13.02.2009**
- Zulassungsvoraussetzung Klausur:  
Mindestens 50% der Punkte auf **ausgewählte\***  
abgegebene Übungsaufgaben

\* ca. 2 Übungsaufgaben / 14 Tage

# Organisatorisches

## Leistungsnachweis **Diplomstudenten**

- Unbenoteter Schein:  
Mindestens 50% der Punkte auf **ausgewählte**  
abgegebene Übungsaufgaben
- Benoteter Schein: Bestandene Klausur

# Organisatorisches

## Ausgabe Uebungszettel

- Montags, vor der Vorlesung
- Auf der Webseite

<http://www.physik.hu-berlin.de/com/teachingandseminars/ws2008stdmodell/>

User ID: smod08

Password: smod08

# Organisatorisches

Musterlösungen zu den Übungsaufgaben

- Einsehbar in

NEW 15 I'110 (Hr. Rath bzw. Hr. Furchner)

nach den Übungen

# Organisatorisches

Extravorlesungen anstelle der Uebung:

- 14. 11. oder 21. 11. 2008 “Liegruppen und -algebren”
- ?? 01. 2009
- ?? 02. 2009

Genaue Termine werden rechtzeitig bekannt gegeben

# Literatur

- Vorlesung orientiert sich an
  1. An Introduction to the Standard Model of Particle Physics  
W. N. Cottingham and D.A. Greenwood
  2. Quarks and Leptons  
F. Halzen and A. D. Martin
  3. Eichtheorien  
D. Ebert
- Weitere Literatur → Literaturliste





# Organisatorisches

Fragen dazu?

# I. I Einführung

Zwei sehr alte Fragen:

- Aus was besteht die Welt ?
- Was hält die Welt zusammen ?

# Antwort um 500 B.C.

Alles besteht aus  
4 fundamentalen Elementen



Empedokles von Akragas  
484 - 424 B.C.

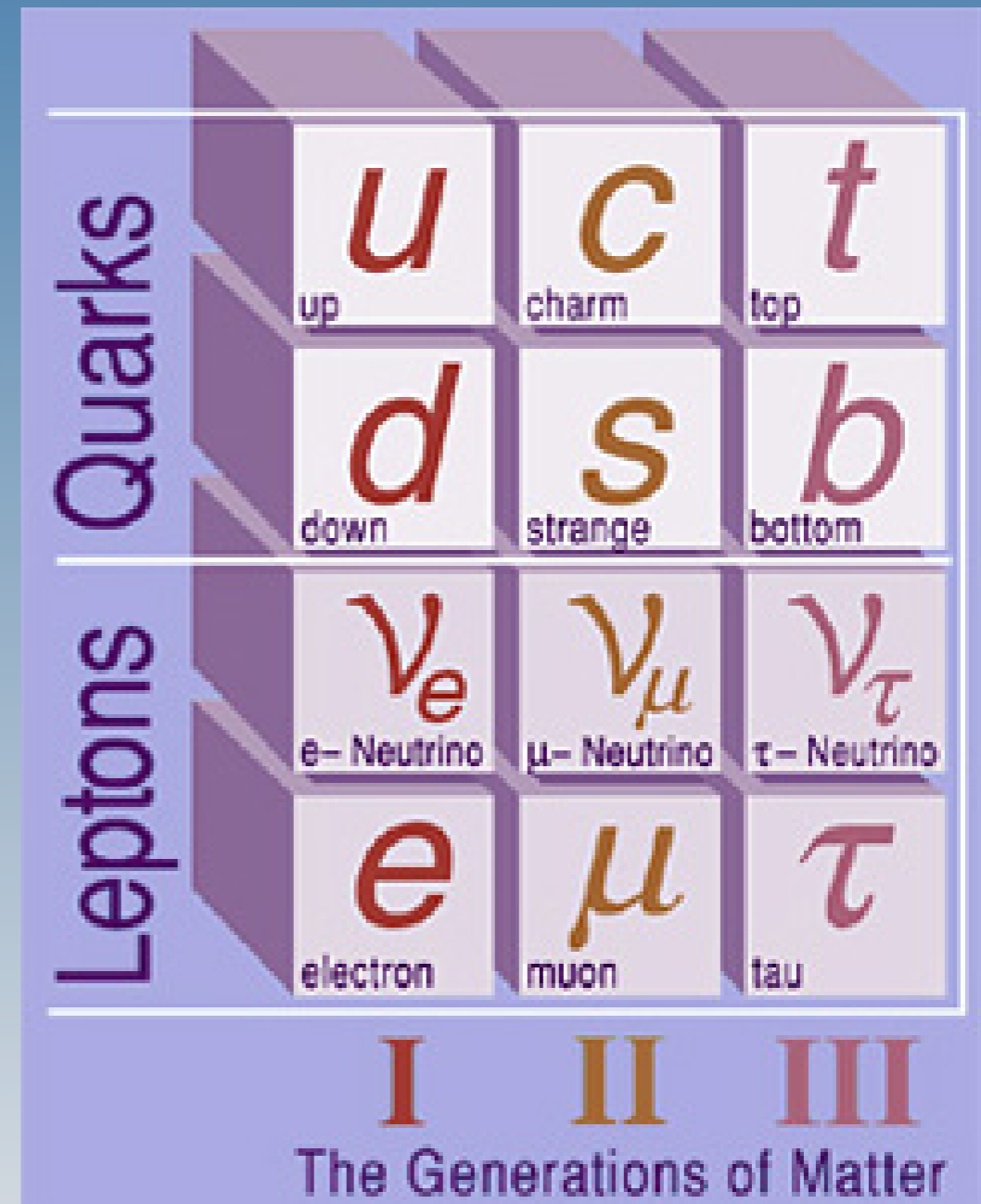
- Falsch
- Sehr einfaches Modell

# Jahr 2008: Das Standardmodell

Alles besteht aus  
**Quarks** and **Leptonen**

Bisher beobachtet

- 6 Quarks
- 6 Leptonen



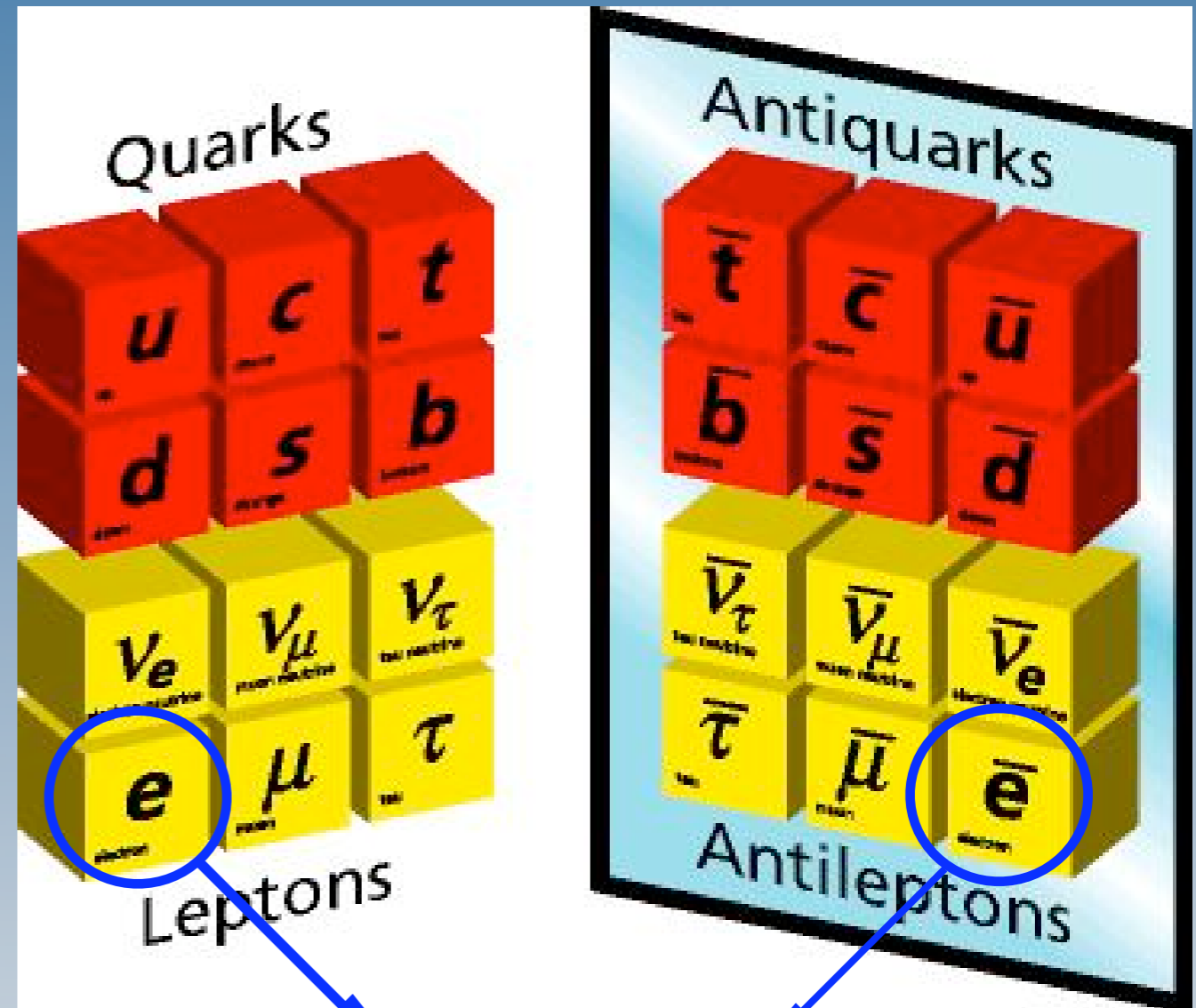
# Antiteilchen

Jedes Elementarteilchen hat ein Antiteilchen mit

- gleicher Masse
- entgegengesetzten Ladungen

Beispiel

Elektron - Positron



Elektrische Ladung = -1      +1

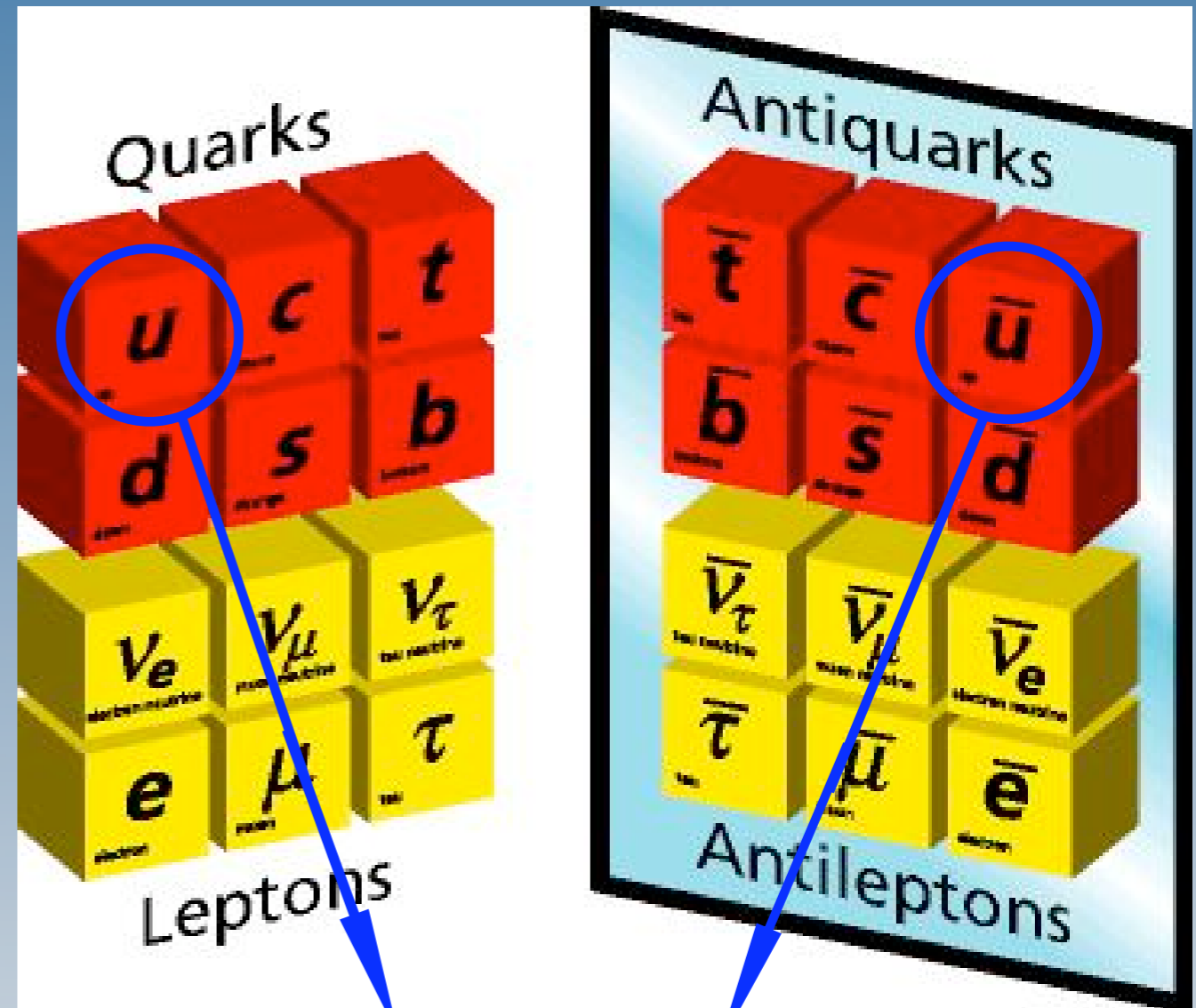
# Antiteilchen

Jedes Elementarteilchen hat ein Antiteilchen mit

- gleicher Masse
- entgegengesetzten Ladungen

Beispiel

Quark - Antiquark



Elektrische Ladung =  $+2/3$                        $-2/3$

Farbladung =  $r, g, b$                        $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$

rot grün blau

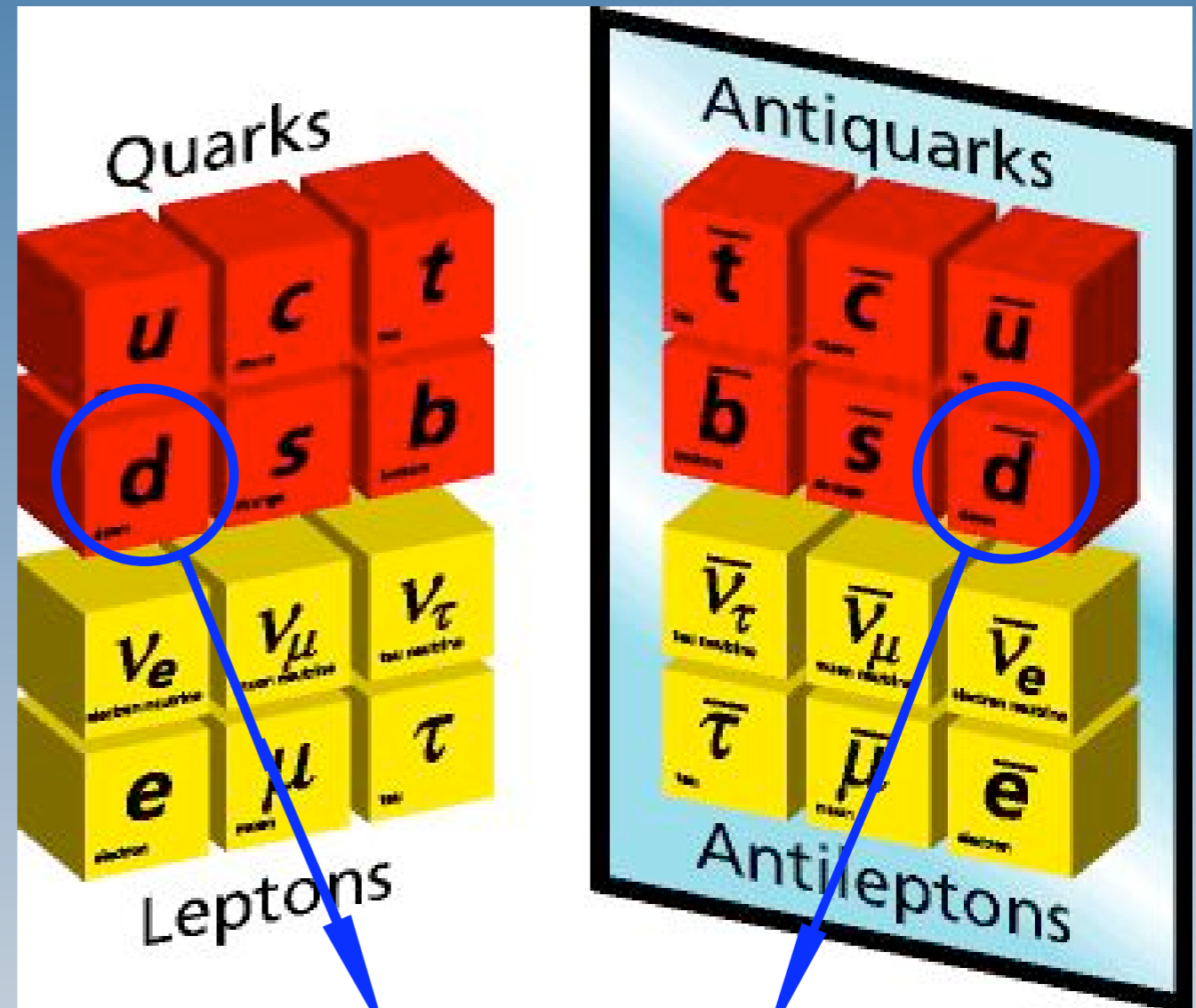
# Antiteilchen

Jedes Elementarteilchen hat ein Antiteilchen mit

- gleicher Masse
- entgegengesetzten Ladungen

Beispiel

Quark - Antiquark



Elektrische Ladung =  $-1/3$

$+1/3$

Farbladung =  $r, g, b$

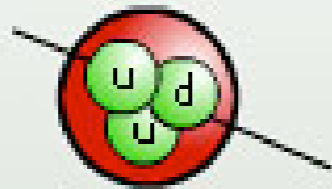
$\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$

# Hadronen bestehen aus Quarks

## Einige Beispiele

### the proton

up quark  
charge =  
 $+\frac{2}{3}$



down quark  
charge =  $-\frac{1}{3}$



$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} + \left(-\frac{1}{3}\right) = +1$$

### the neutron

up quark  
charge =  
 $+\frac{2}{3}$



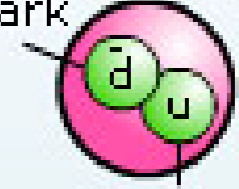
down quark  
charge =  $-\frac{1}{3}$



$$\frac{2}{3} + \left(-\frac{1}{3}\right) + \left(-\frac{1}{3}\right) = 0$$

### the pion

down anti quark  
charge =  
 $+\frac{1}{3}$



up quark  
charge =  $+\frac{2}{3}$



$$\frac{1}{3} + \frac{2}{3} = +1$$

Bisher wurden mehr als 200 Hadronen beobachtet!



# Was hält die Welt zusammen?

## Vier fundamentale Kräfte

- Gravitation
- Elektromagnetismus
- Schwache Wechselwirkung
- Starke Wechselwirkung

## Quantentheorie:

Kräfte werden durch **Austauschteilchen** vermittelt

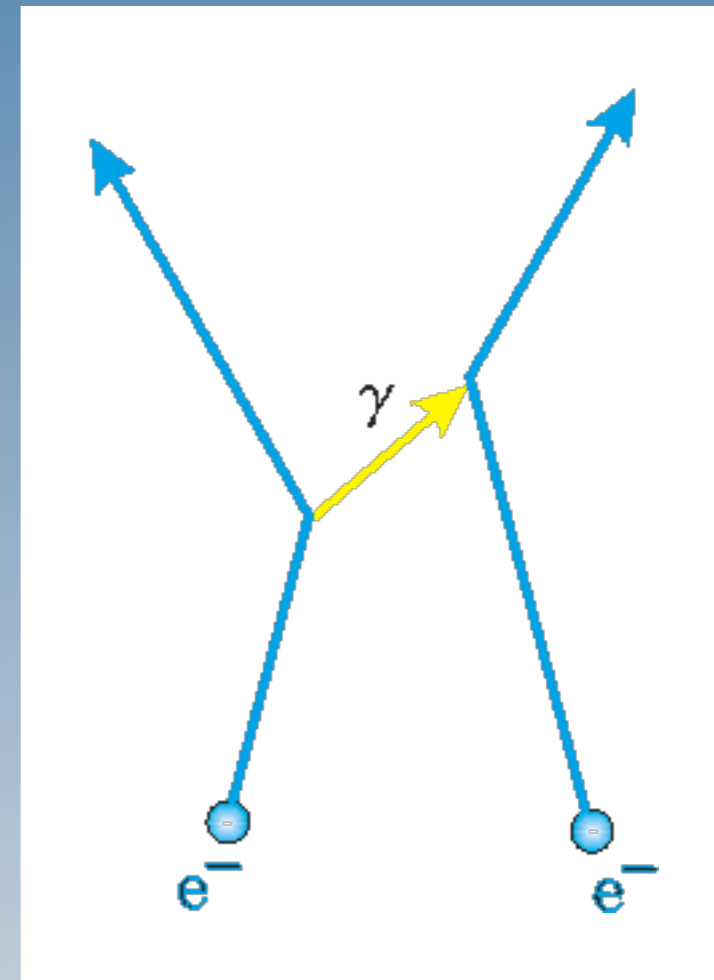
# Gravitation

- Koppelt an die Masse
- Wirkt zwischen allen Elementarteilchen
- Austauschteilchen: Graviton
- Quantentheorie: Unbekannt



# Elektromagnetismus

- Koppelt an die elektrische Ladung
- Austauschteilchen:  
Photon  $\gamma$
- Quantentheorie:  
Quantenelektrodynamik  
QED  
Feynman, Schwinger, Tomonaga  
Nobelpreis 1965



Feynman-Diagramm  
e-e Streuung

# Schwache Wechselwirkung

- Koppelt an “flavour”
- Austauscheteilchen :  
3 Vektorbosonen  $W^+ W^- Z^0$
- Quantentheorie:  
Quantenflavourdynamik  
QFD  
Glashow, Salam, Weinberg  
Nobelpreis 1979



Wirkung:  $\beta$  -decay



$\beta$  -Zerfall des Neutrons

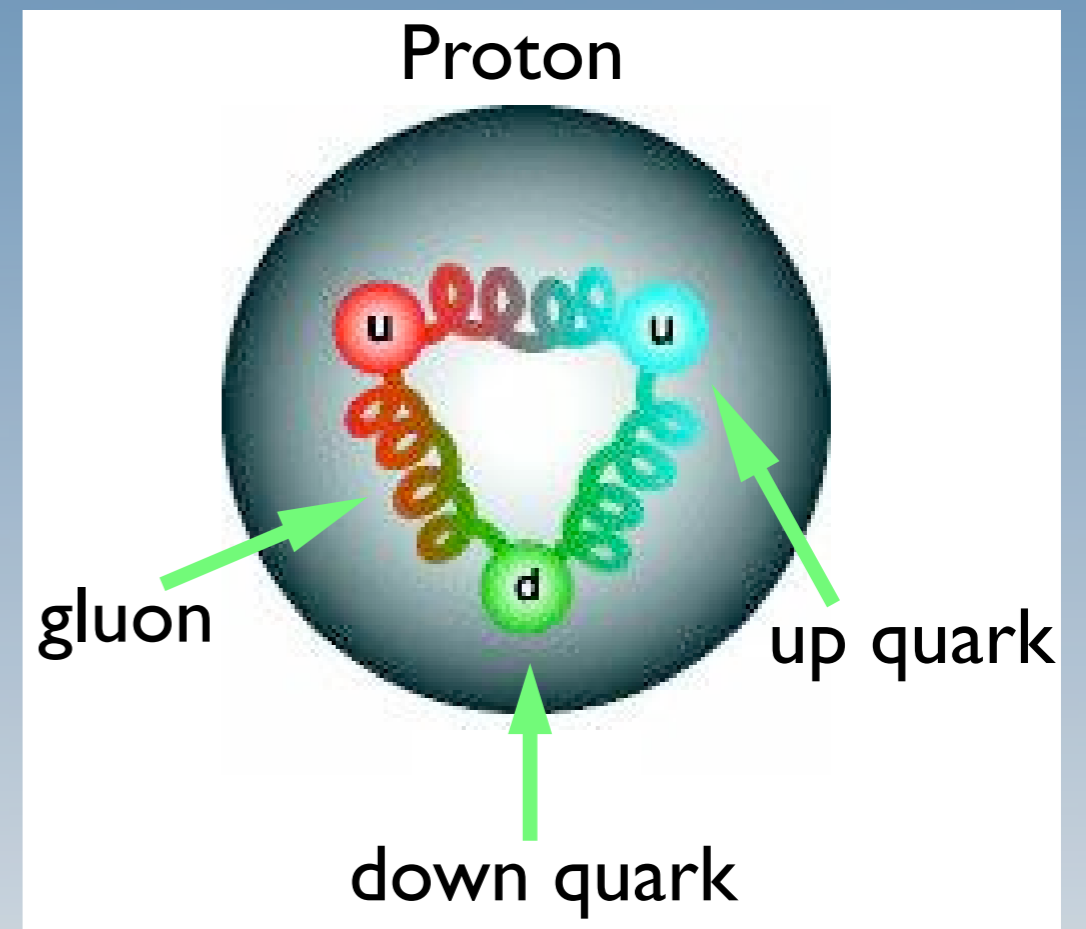
# Starke Wechselwirkung

- Koppelt an Farbladung
- Wirkt zwischen Quarks
- Austauscheteilchen  
Gluonen  $g$
- Quantentheorie  
Quantenchromodynamik  
QCD

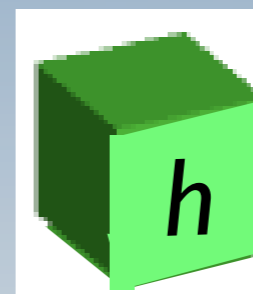
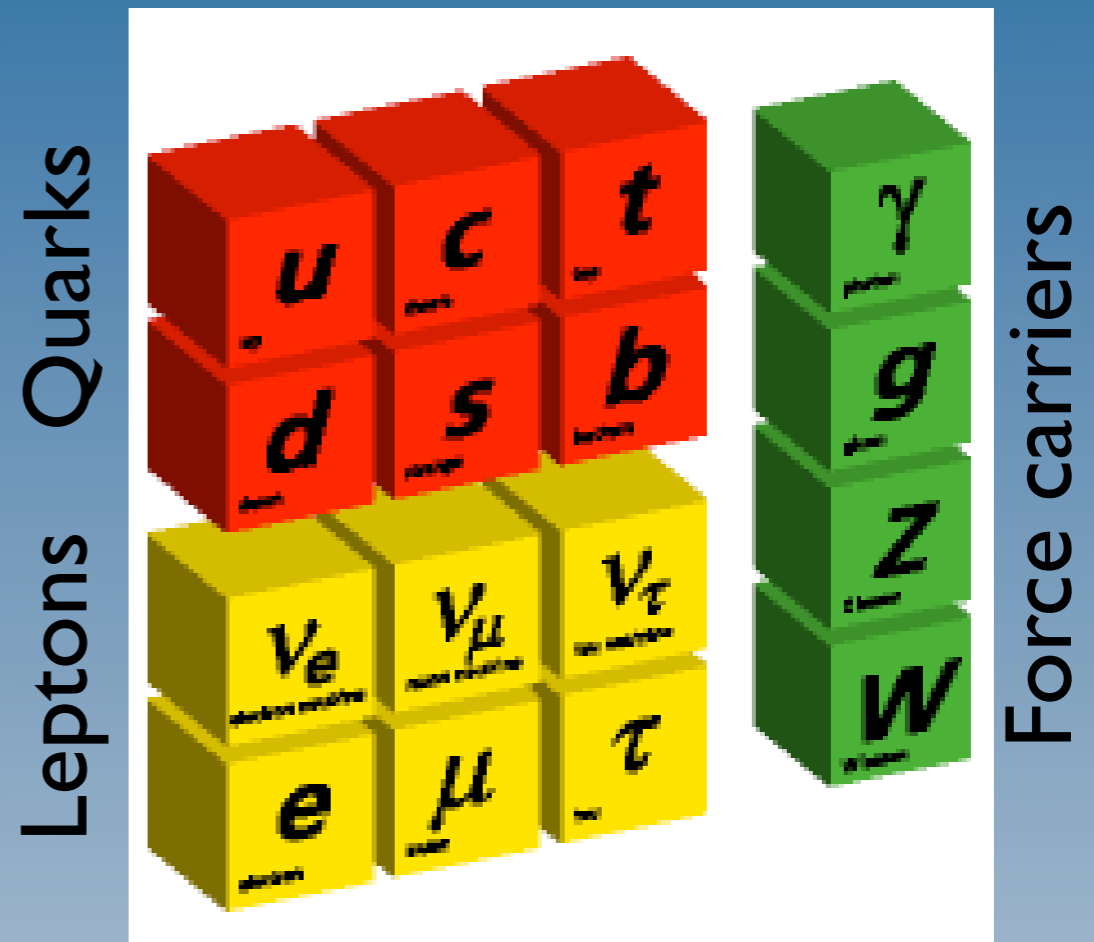


Gell-Mann  
Nobelpreis 1969

Starke Wechselwirkung  
bindet Quarks zusammen



- Materieteilchen:
  - Quarks
  - Leptonen
- Kräfte
  - Elektromagnetismus
  - Schwache Kraft
  - Starke Kraft
- Higgs-Teilchen



Noch nicht beobachtet !

# Standardmodell der Teilchenphysik

# Suche nach dem Higgs-Teilchen

Large Hadron Collider (LHC) am CERN, Schweiz

- Proton - Proton Kollisionen
- Energie bis zu 14 TeV
- Beginn: 10.09.2008
- Erste Resultate:  
~ 2010



# Mehr zum LHC

## Weltmaschine - Die Ausstellung



U-Bahnhof ``Bundestag''

15.10. - 16.11.2008



# Nobelpreis 2008

"for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics"



Y. Nambu

"for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature"



M. Kobayashi



T. Maskawa

➔ mehr dazu in den Vorlesungen im Jan/Feb 2009

# Ziele dieser Vorlesung

- Formulierung der Theorie des Standardmodells  
(Quanten) - Feldtheorie, Feynmanregeln
- Phänomenologie des Standardmodells
- Einfache quantitative Aussagen herleiten  
Wirkungsquerschnitte, Zerfallsraten berechnen etc.  
(I. Ordnung Störungstheorie )

# Was diese Vorlesung nicht ist !

- Einführung in die Quantenfeldtheorie
  - ⇒ Vorlesung aus Modul P23.1.2a (SS 2009)
- Einführung in die historische Entwicklung des Standardmodells und die Experimente, die zum Standardmodell führten
  - ⇒ Vorlesung aus Modul P23.1.1 (SS 2009)



# I. I Einführung

Fragen dazu?