

Physik an Beschleunigern

Eine kleine Einführung für Nicht-Physiker

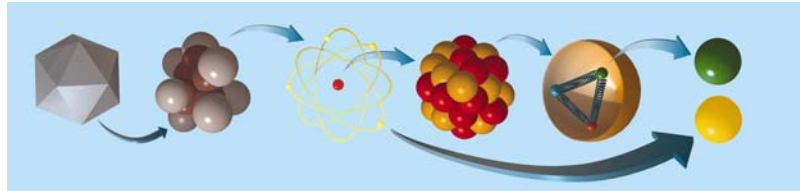
Sabine Riemann, Gruppe LC

Inhalt

- Was wollen wir messen?
 - Größenordnungen
- Wie können wir messen?
 - Streuexperimente
 - Teilchenbeschleuniger
- Was haben wir (=Teilchenphysiker) bisher gelernt?

Bitte sofort fragen, wenn etwas unverständlich ist

Größenverhältnisse



Kristall	Molekül	Atom	Atomkern	Proton Neutron	Quark Elektron
$<10^{-2}\text{m}$	10^{-9}m	10^{-10}m	10^{-14}m	10^{-15}m	$<10^{-18}\text{m}$

Unser Ziel:
Fundamentales Verständnis der Naturgesetze
Aber wie????

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

3

Wie kann man kleinste Teilchen „sehen“?

Was heisst überhaupt „sehen“ ?

- Sehen = Abbilden



Wichtig ist das **„Auflösungsvermögen“** :
Fähigkeit, Strukturen einer
bestimmten Größe zu erkennen

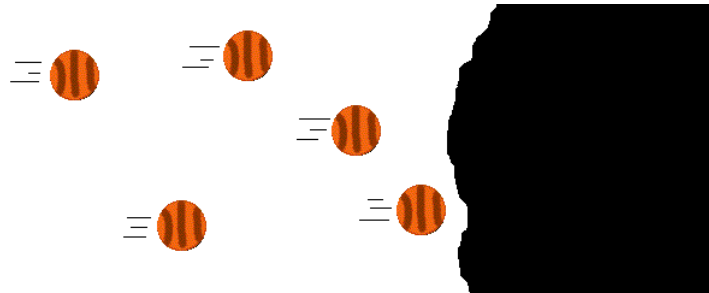
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

4

Unbekanntes Objekt in einer Höhle...

Projektil: Basketball



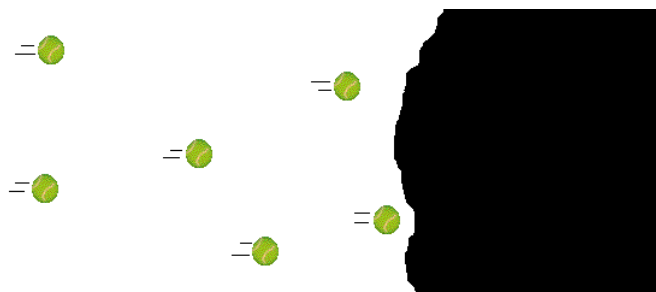
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

5

Unbekanntes Objekt in einer Höhle..

Projektil: Tennisbälle



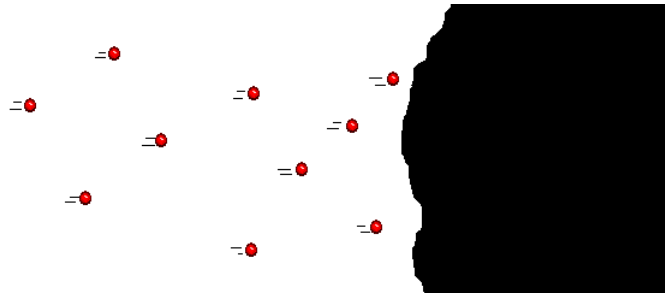
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

6

Unbekanntes Objekt in einer Höhle

Projektile: Murmeln

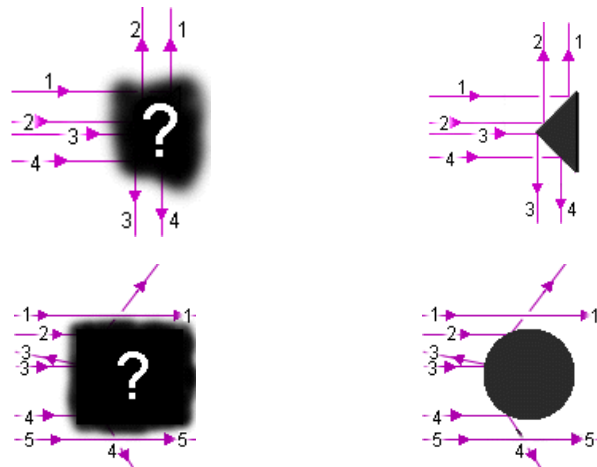


12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

7

Wirkungsquerschnitt



12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

8

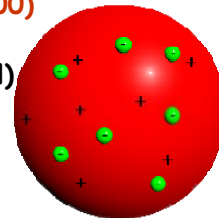
Streu-Experimente

Um kleinste Strukturen aufzulösen, braucht man noch kleinere, punktförmige Teilchen

Plumpudding-Modell
(um 1900)

Beispiel **Atom-Modell:**

- 1896: Entdeckung der Radioaktivität (Becquerel)
 - 1897: Entdeckung der Elektronen (Thomson)
- Aber: Wie ist das Atom aufgebaut?????



Rutherford'scher Streuversuch:

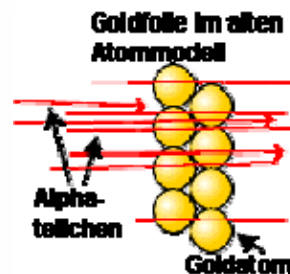
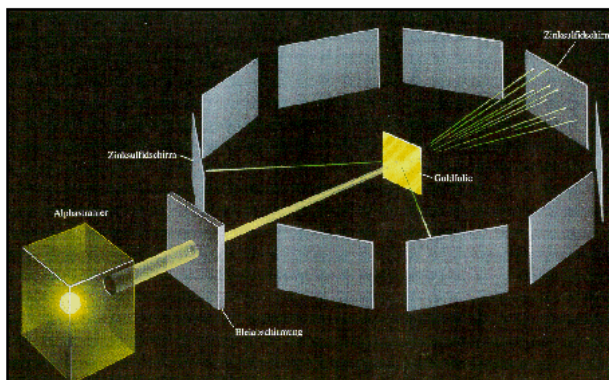
α -Teilchen (siehe Nebelkammer im Foyer!!) auf Goldfolie
schiessen \rightarrow Struktur im Atom ??

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

9

Rutherford'sches Streuexperiment (1911)

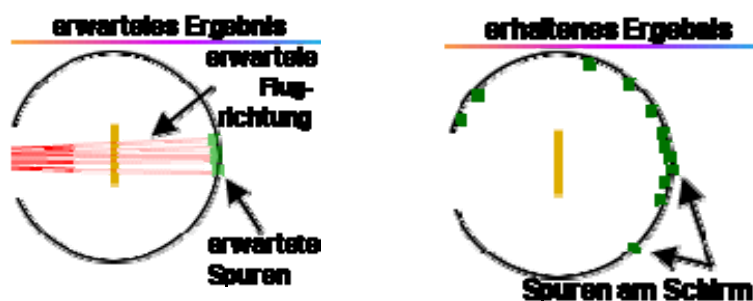


12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

10

Ergebnis des Experimentes



- Das Atom hat einen kleinen, festen Kern
- Atomdurchmesser: 100.000 fm
Harter Kern: 5 fm (1fm = 10^{-15}m)
(Kern : Atom) wie (Kirsche : Fußballfeld)

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

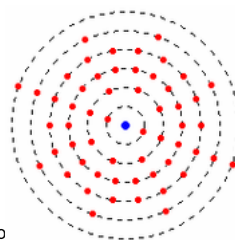
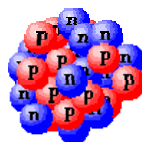
11

Die Struktur des Atoms

1919 Rutherford: Heliumkerne auf Stickstoff
 → Beobachtung einzelner Protonen

1932 Chadwick: Heliumkerne auf Beryllium
 → Beobachtung einzelner Neutronen

- Kleiner Atomkern aus Protonen und Neutronen
- Riesige Elektronenhülle



12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenp

12

Mikroskope der Teilchenphysik

Information über kleinste Strukturen:

- **Wurfgeschöß (Projektile)**
 - Elektronen, Positronen
 - Protonen, Antiprotonen
 - Photonen
 - **Zielobjekt**
 - Elektronen, Positronen
 - Protonen
 - Photonen
 - **Nachweis (Detektor)=Auge des Experimentes**
- Beschleuniger**

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

13

Teilchenbeschleunigung

- **Energie:**
1 ElektronVolt = 1eV
- 1 KiloElektronVolt = 1 keV = 1000 eV
- 1 MegaElektronVolt = 1 MeV = 10^6 eV
- 1 GigaElektronVolt = 1 GeV = 10^9 eV
- 1 GeV: „viel“ für ein Teilchen, aber makroskopisch winzig:
könnte Taschenlampe (1,6 Watt) für ganze 0,000.000.0001 Sekunden zum Leuchten bringen

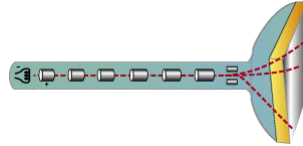
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

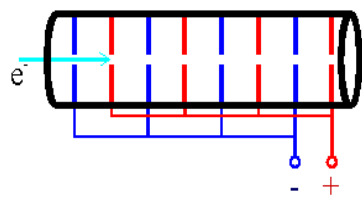
14

Teilchenbeschleuniger. Das Prinzip

Bekannte Version:
Fernseher



- Funktionsprinzip:
Simulation



12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

15

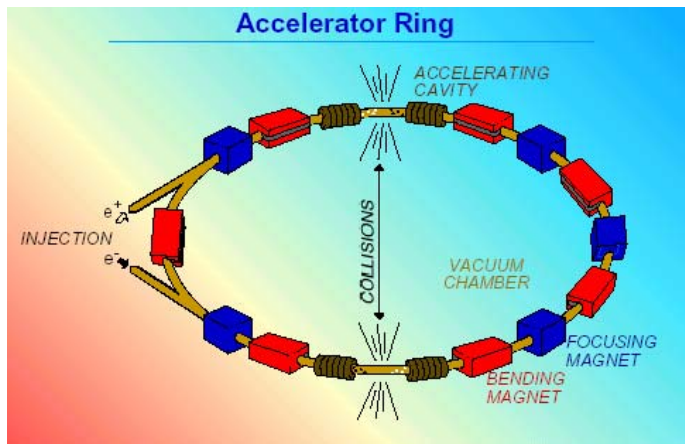
Kavität (ILC, FLASH)



12.2.08 S. Riemann

16

Im Kreis herum oder gerade aus???



LEP
(e^+e^-)

LHC
(p p)

HERA
(e p)

12.2.08 S. Riemann

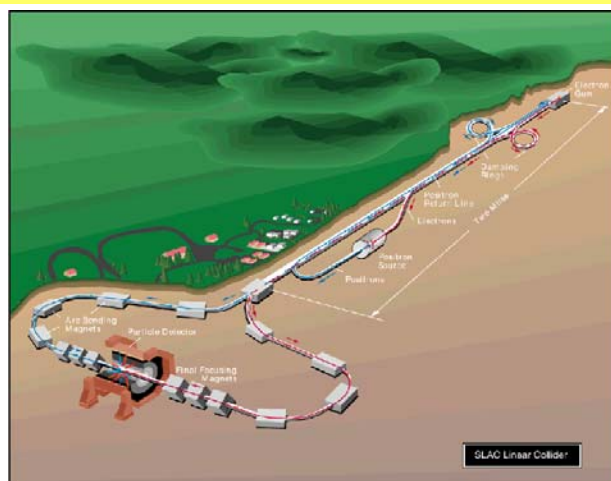
Technisches Seminar: Teilchenphysik

17

Im Kreis herum oder gerade aus???

SLAC
(Stanford
Linear
Accelerator)
Kalifornien
(e^+e^-)

E ~ 92 GeV

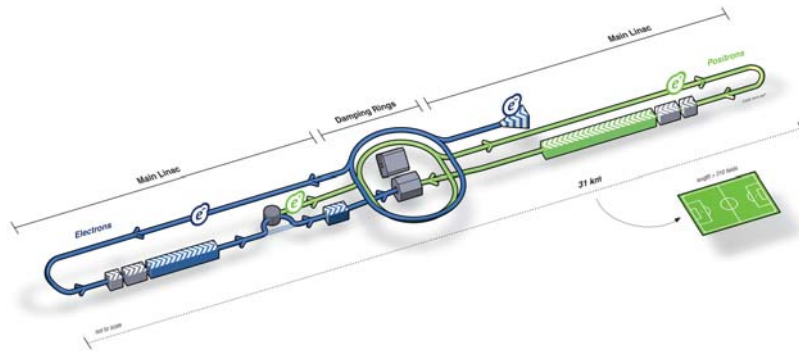


12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

18

Im Kreis herum oder gerade aus???



ILC (International Linear Collider) $E \sim 500-1000 \text{ GeV}$
(e^+e^-)

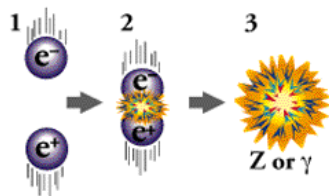
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

19

Teilchen-Kollisionen

Teilchen wechselwirken bei hoher Energie
($E = mc^2$)



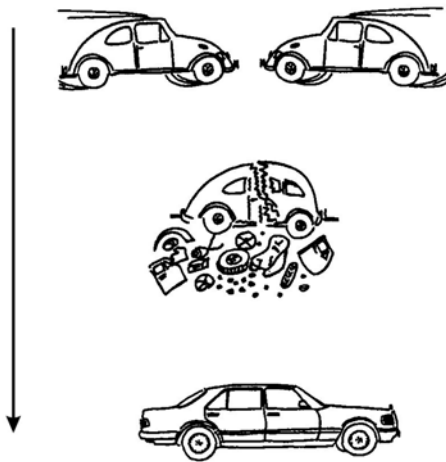
neue Teilchen
entstehen
... und zerfallen

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

20

'Hinkender' Vergleich...



Cartoon: Claus Grupen

12.2.08 S. Riemann

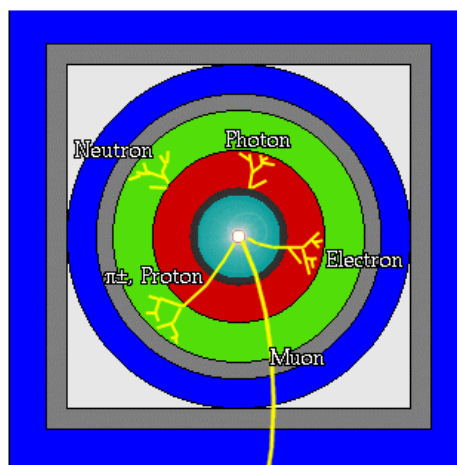
Technisches Seminar: Teilchenphysik

21

Detektor = 'Augen' des Experimentes

Detektor-Querschnitt mit Teilchenspuren

- Strahlrohr (Zentrum)
- Spurkammer
- Magnetspule
- el. magn. Kalorimeter
- Hadron. Kalorimeter
- magnetisiertes Eisen
- Muonkammer

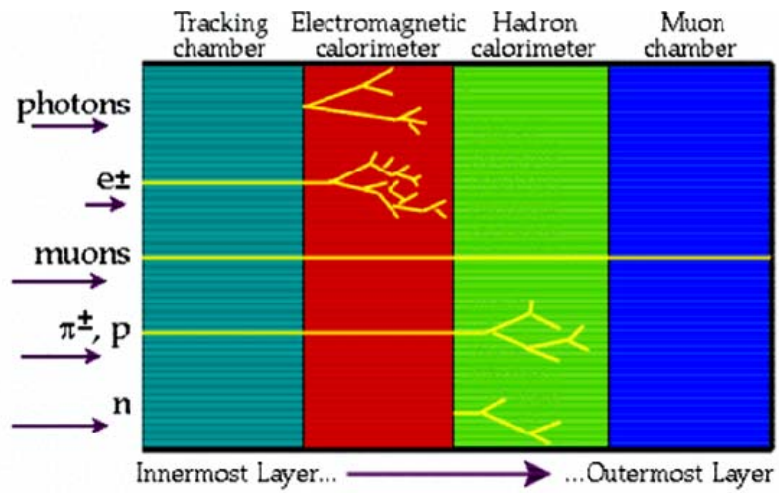


12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

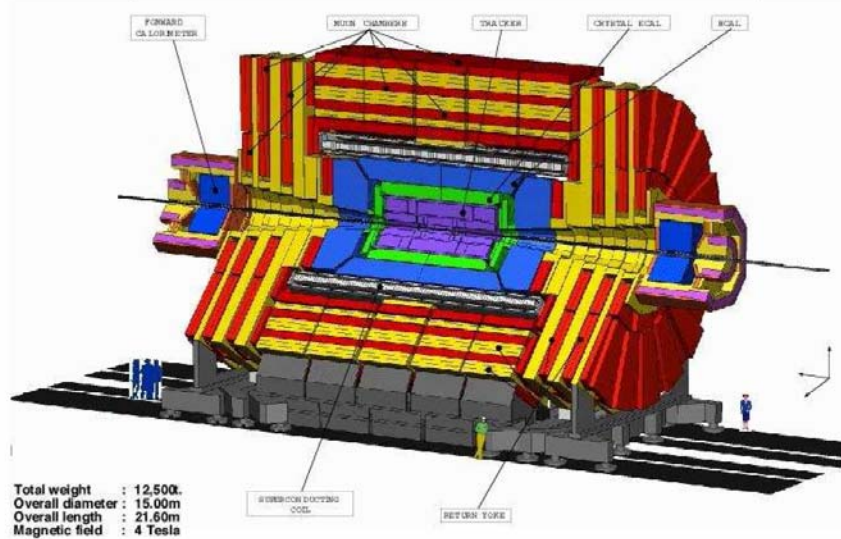
22

Detektor = 'Augen' des Experimentes



!3

CMS Detector



Sven-Diät Moch

LHC - der neue Beschleuniger am CERN - p.10

Wichtige Beschleuniger

HERA (bis 2007)

- Elektron \leftrightarrow Proton
- Positron \leftrightarrow Proton

Tevatron

- Proton \leftrightarrow Antiproton

LHC (Large Hadron Collider) \rightarrow S. Moch's Talk

- Proton \leftrightarrow Proton

LEP (Large Electron-Positron Collider, bis 2000)

- Elektron \leftrightarrow Positron

ILC (International Linear Collider, Zukunft)

- Elektron \leftrightarrow Positron

12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

25

Elementarteilchen bei HERA

- Schiessen Elektronen (extrem klein) auf Protonen und Neutronen

\rightarrow Protonen und Neutronen nicht elementar, sondern ‚zusammengesetzt‘ aus Quarks

- **Beweis der Quarkhypothese:**

- 1970: Stanford, Kalifornien;
- 1989-2007: DESY, Hamburg

Proton



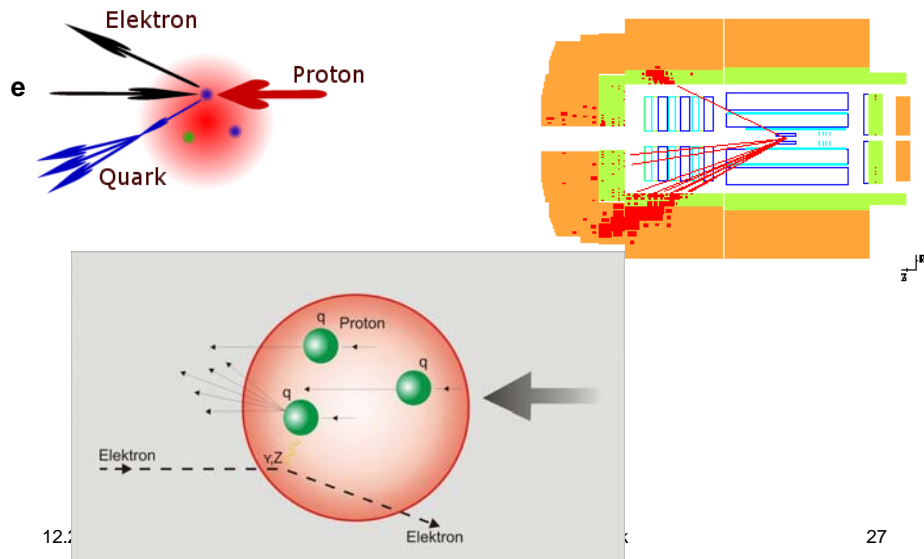
Neutron



1 fm

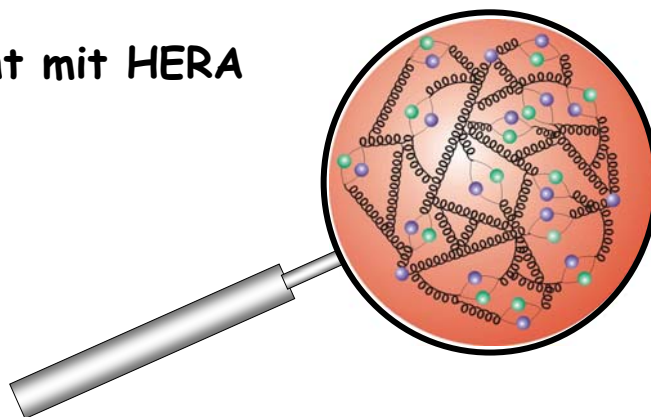
12.2.08 S. Riemann

Teilchenmikroskop HERA (H1 und ZEUS) e auf Protonen: Modernes Rutherford-Experiment



Unser Bild des Protons (Neutrons)

Erforscht mit HERA



12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

28

Wie wechselwirken Teilchen?

Wechselwirkung = Kraftwirkung zwischen Teilchen

Kennen **4 fundamentale** Wechselwirkungen

 - Gravitation (Schwerkraft)
- Elektromagnetismus

und

- Schwache Wechselwirkung
- Starke Wechselwirkung

Nur wichtig in Wechselwirkungen elementarer Teilchen

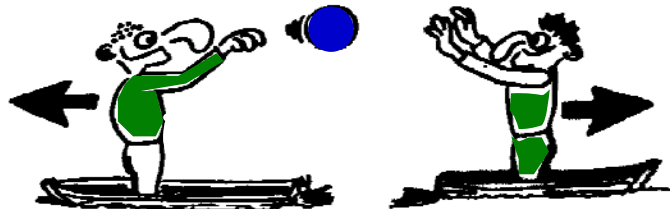
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

29

Prinzip von Kraftwirkungen

- Zu jeder **Wechselwirkung** gehört eine **Ladung**
- Nur Teilchen mit entsprechender **Ladung** spüren Wechselwirkung
- Wechselwirkung erfolgt über Austausch von **Botenteilchen**



abstossend

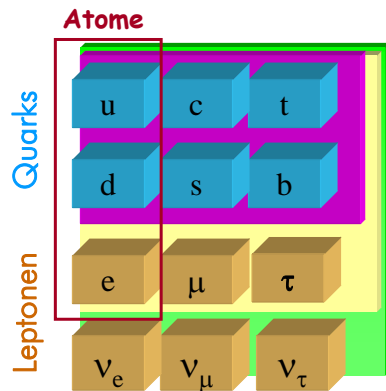
oder

anziehend

30

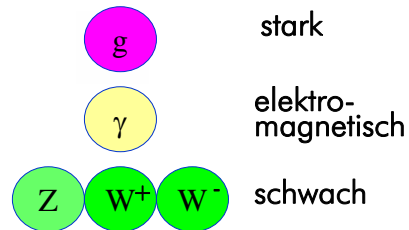
Periodensystem der Teilchen

Materieteilchen



+ Anti-Teilchen

Kraftteilchen



Seminar: Teilchenphysik

31

Wollen Sie einen Nobelpreis??

- Dann erklären Sie bitte, warum das Top-Quark so schwer ist, etwa 175 mal so schwer wie das Wasserstoffatom!!!
- Warum haben die Elementarteilchen unterschiedliche Massen?
- Warum ist das Proton stabil ?
-
- Und woher kommen die Teilchenmassen überhaupt?

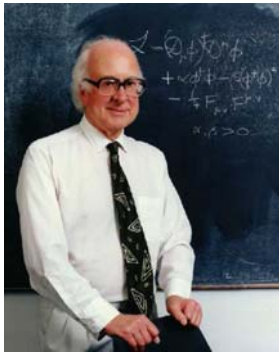


12.2.08 S. Riemann

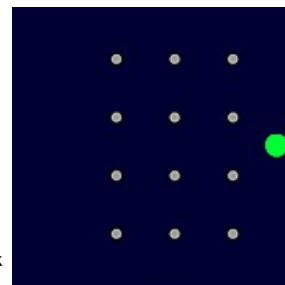
Technisches Seminar: Teilchenphysik

32

Die Idee: Higgs-Mechanismus



Peter Higgs:
 Masse entsteht in der Wechselwirkung mit einem skalaren Feld (Higgs-Feld)

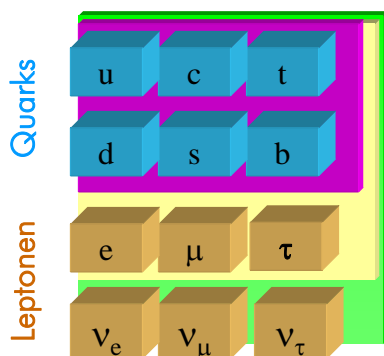


12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

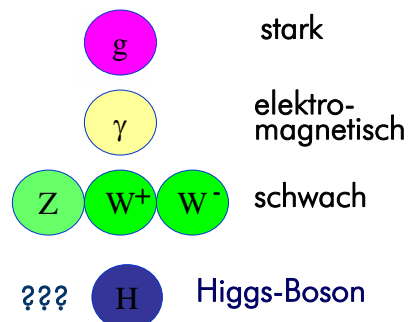
Periodensystem der Teilchen

Marieteilchen



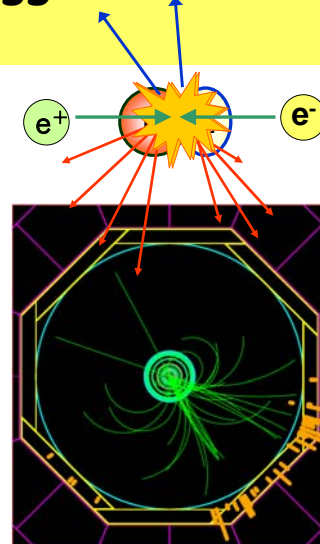
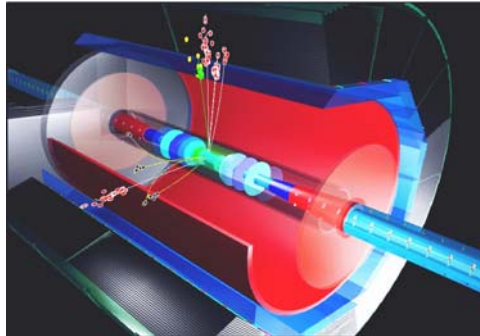
+ Anti-Teilchen

Kraftteilchen



Wie kann man das Higgs-Teilchen 'sehen'?

Man muss es erzeugen
z.B. am ILC



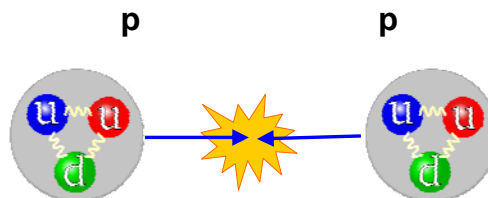
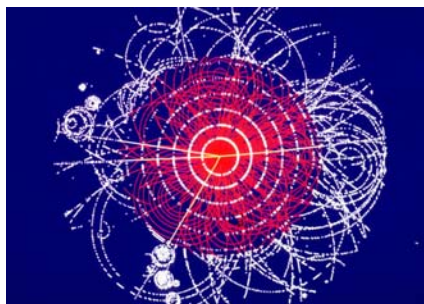
12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

35

Bald: Higgs-Suche am LHC

LHC (Large Hadron Collider)
Hadronen bestehen aus Quarks



12.2.08 S. Riemann

Technisches Seminar: Teilchenphysik

36

Rutherford, 1908
Entdeckung des Atomkerns
 α -Teilchen

Hofstadter, 1956
Ausdehnung des Protons
Elektronen

Friedman, Kendall, Taylor, 1962
Entdeckung der Quarks
Elektronen

Zahlreiche Experimente, seit 1975
HERA, seit 1992
Aufbau des Protons
Elektronen / Myonen / Neutrinos

HERA, seit 1992
Sind Quarks elementar?
Elektronen / Positronen

Beschleuniger mit Detektoren sind die Mikroskope der Teilchenphysiker

Einige unserer offenen Fragen:

- Gibt es das Higgs-Teilchen?
- Stimmt das Standardmodell?
- Sind die Elementarteilchen wirklich elementar?
- Wie passt die Gravitation in unser Teilchenbild?
- Woraus besteht dunkle Materie?
- Was ist die dunkle Energie?

...
: Teilchenphysik