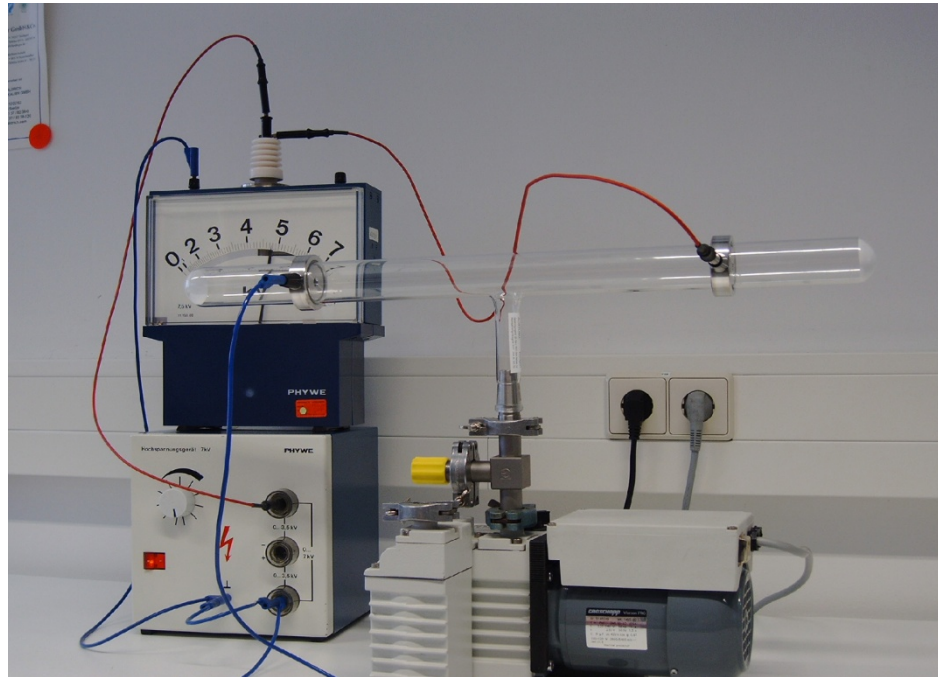


Auf der Suche nach den "elementaren" Bausteinen der Welt

1. Die Entdeckung des Elektrons
2. Die Entdeckung des Positrons
3. Quantenfeldtheorie
4. Richard Feynman – Leben und Persönlichkeit
5. Die Entdeckung der Quarks und das Standard-Modell
6. Enrico Fermi – Leben und Persönlichkeit

Gasentladung in Luft

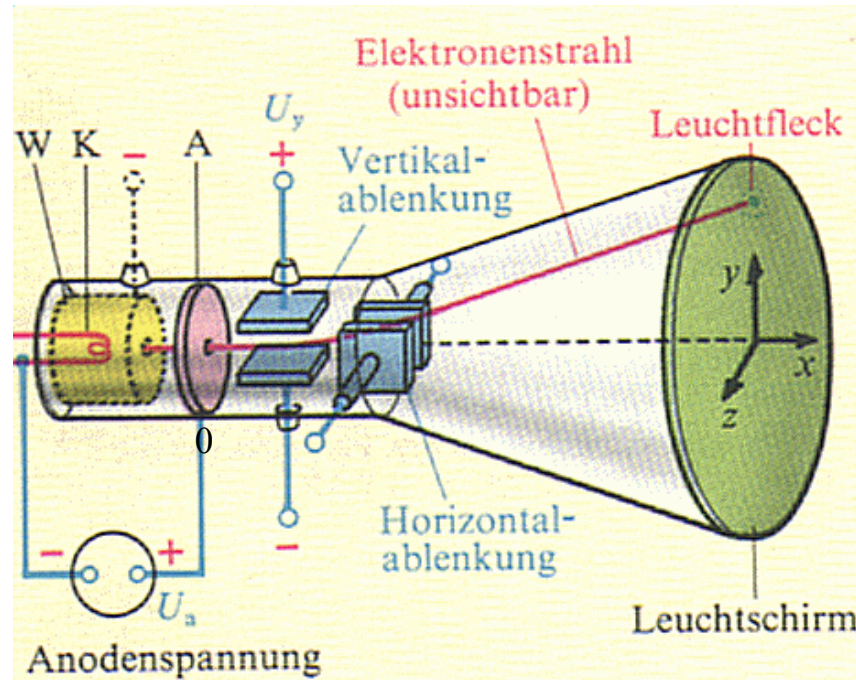


Hochspannung: ca. 5 - 6 kV

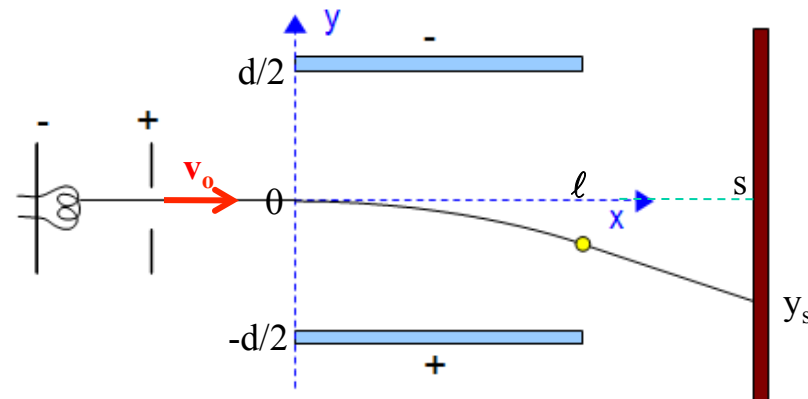
zur Vakuumpumpe

Fluoreszenzschirm

Ablenkung von Elektronen in elektrischen Feldern



Prinzip einer Fernschröhre

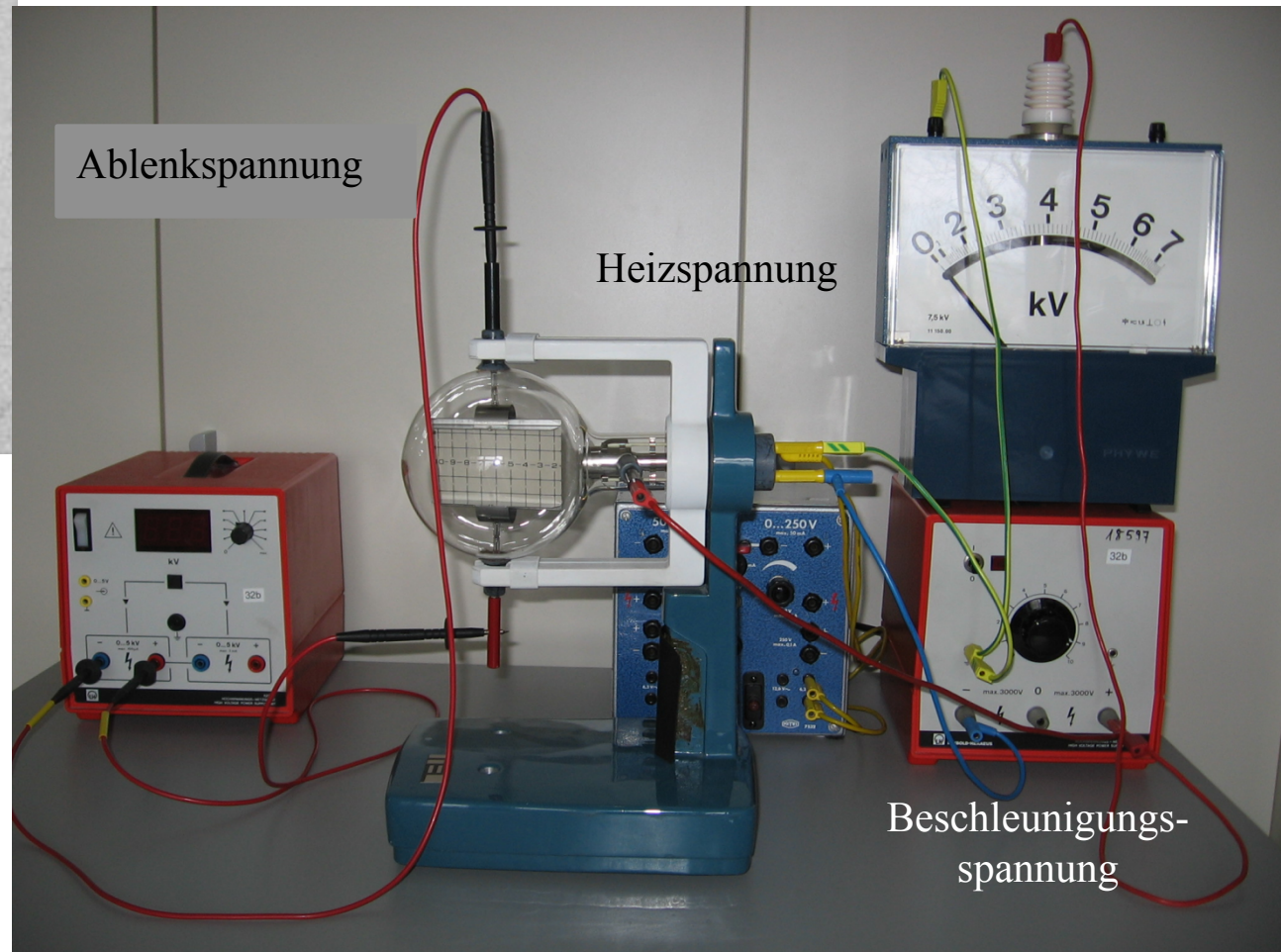


Schema der Ablenkung

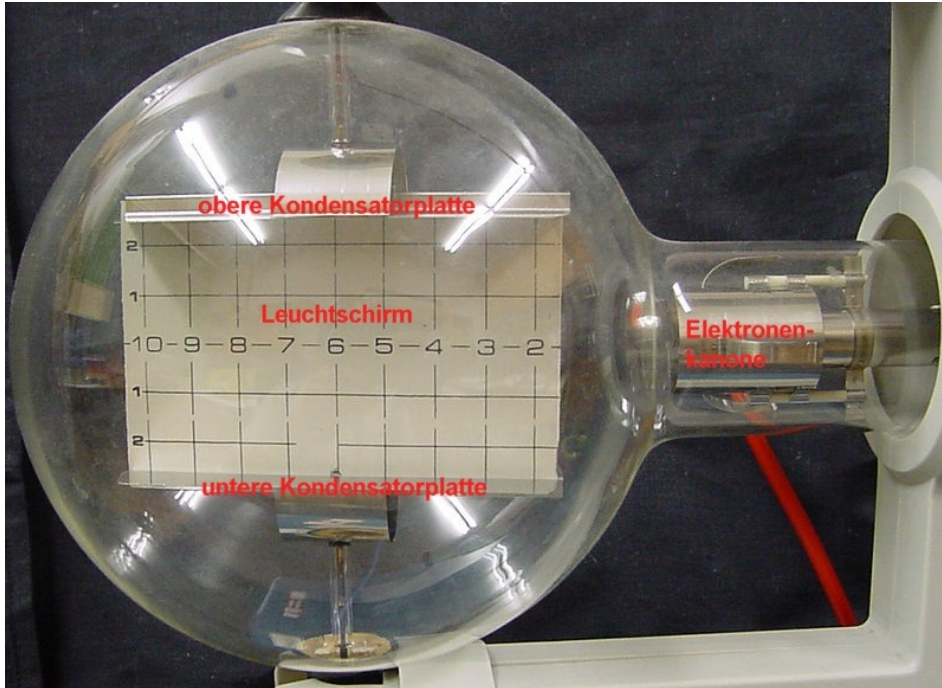
Elektronenstrahlröhre zur Bestimmung der spezifischen Ladung e/m



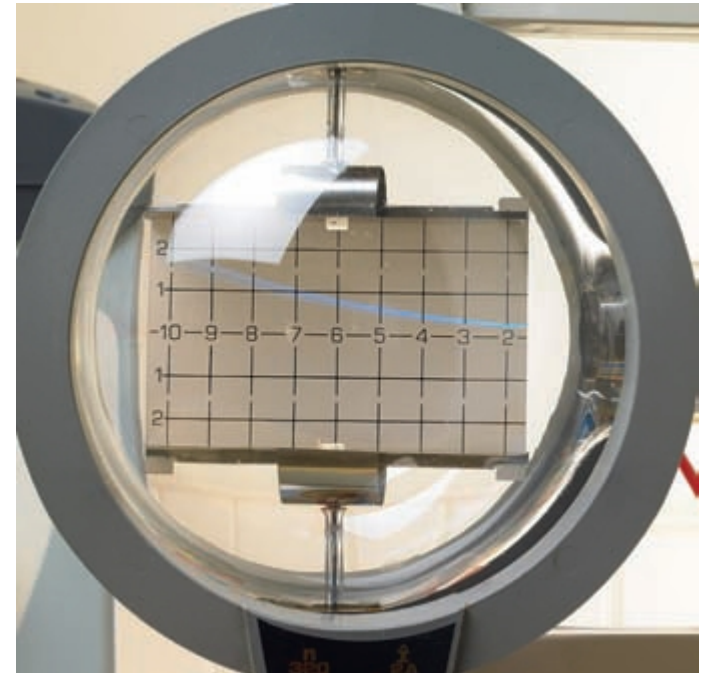
Joseph John Thomson
(1856 – 1940)



Leuchtschirm in der Elektronenstrahlröhre

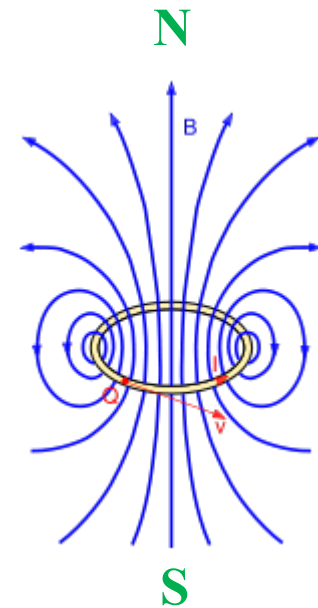
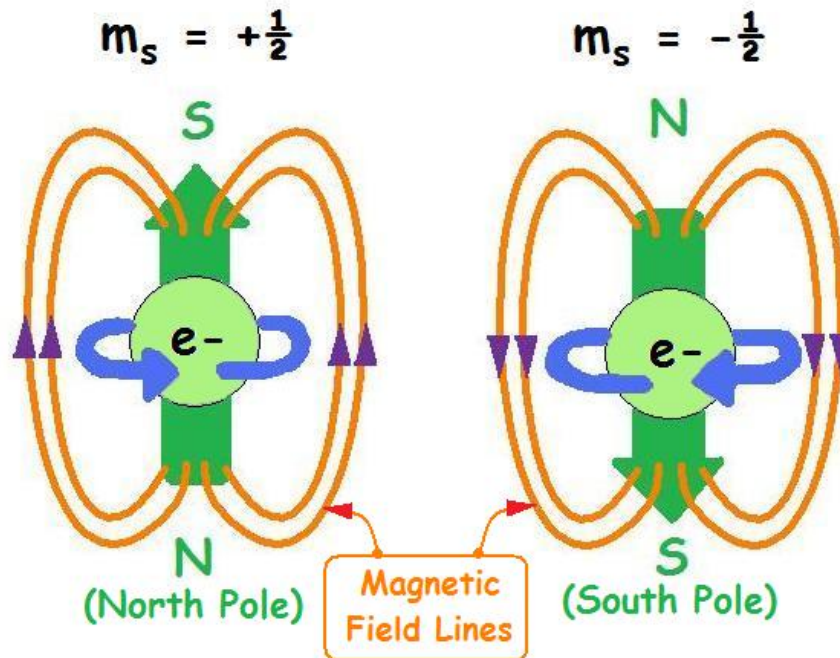


Ablenkung im elektrischen Feld



Ablenkung im magnetischen Feld
oder in gekreuzten Feldern

Spin und Magnetfeld eines Elektrons

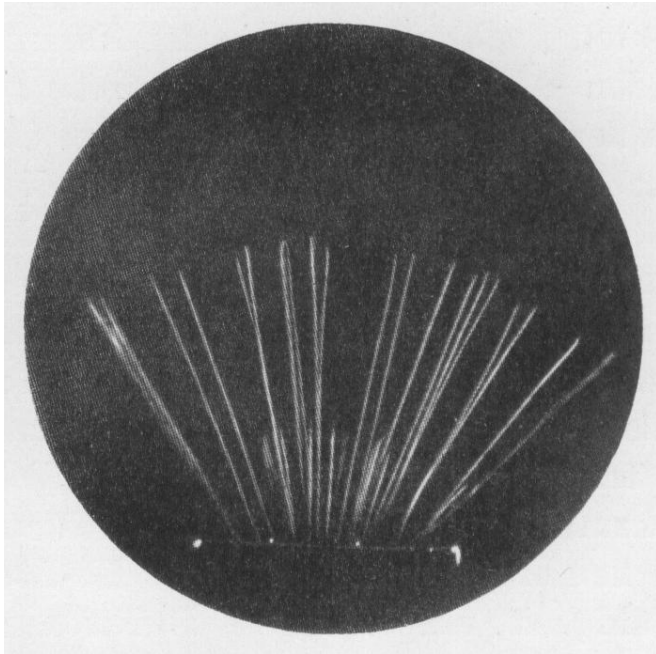


Magnetfeld einer stromdurchflossenen Leiterschleife



Die beiden Nobelpreisträger Bohr und Pauli spielen mit einem Kinderkreisel

Nachweis von Teilchen in der Nebelkammer



Spuren von Alphastrahlen

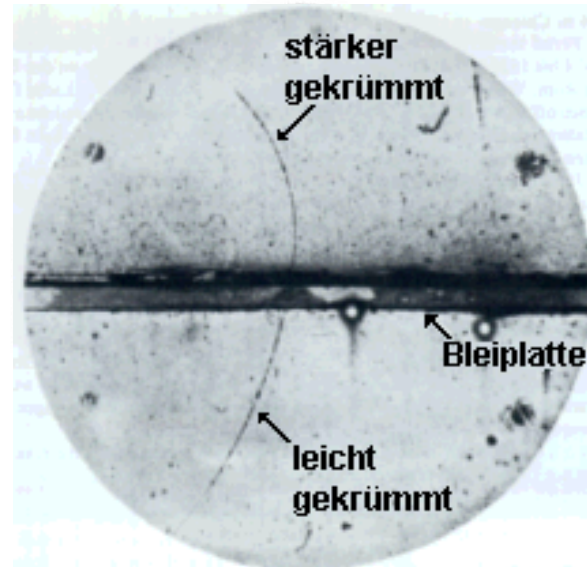
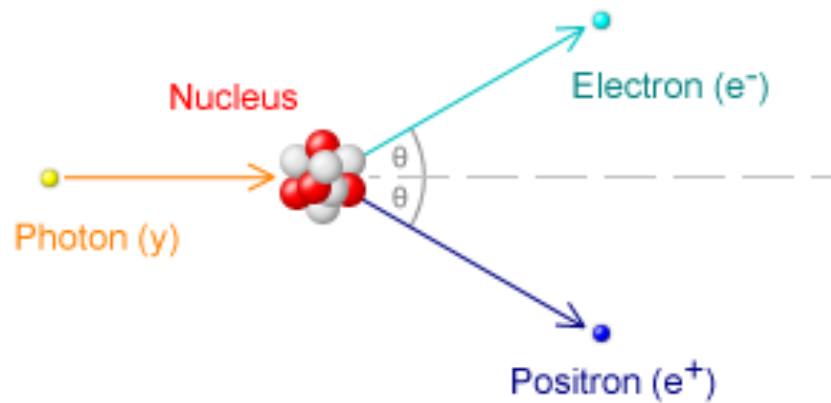
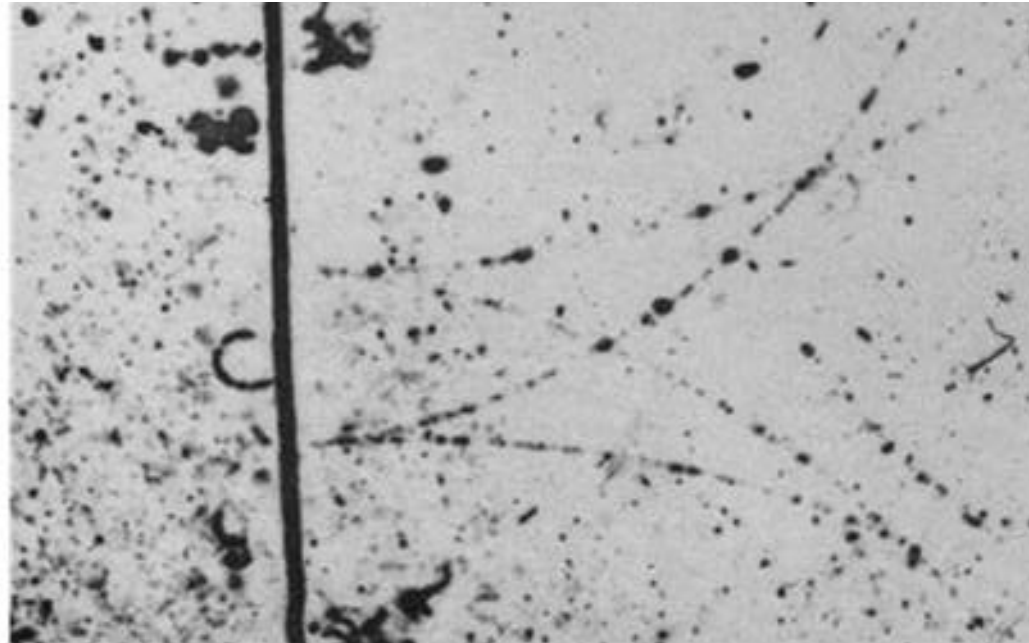


FIG. 1. A 63 million volt positron ($H_D=2.1 \times 10^6$ gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ($H_D=7.5 \times 10^4$ gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.

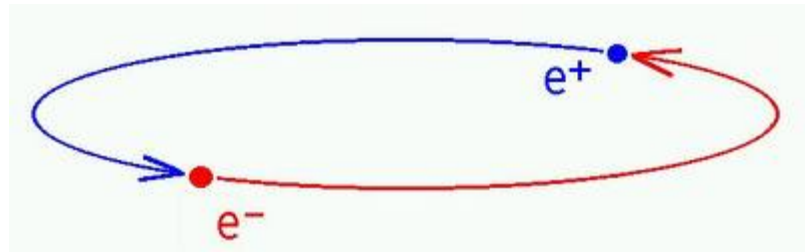
Spur eines Positrons aus der Höhenstrahlung, das eine 6 mm dicke Blei-Platte durchquert

Anderson's cloud chamber picture of cosmic radiation from 1932 showing for the first time the existence of the anti-electron that we now call the positron

Erzeugung zweier Elektron-Positron-Paare in einer Nebelkammer



Positronium – ein exotisches Atom aus Positron und Elektron



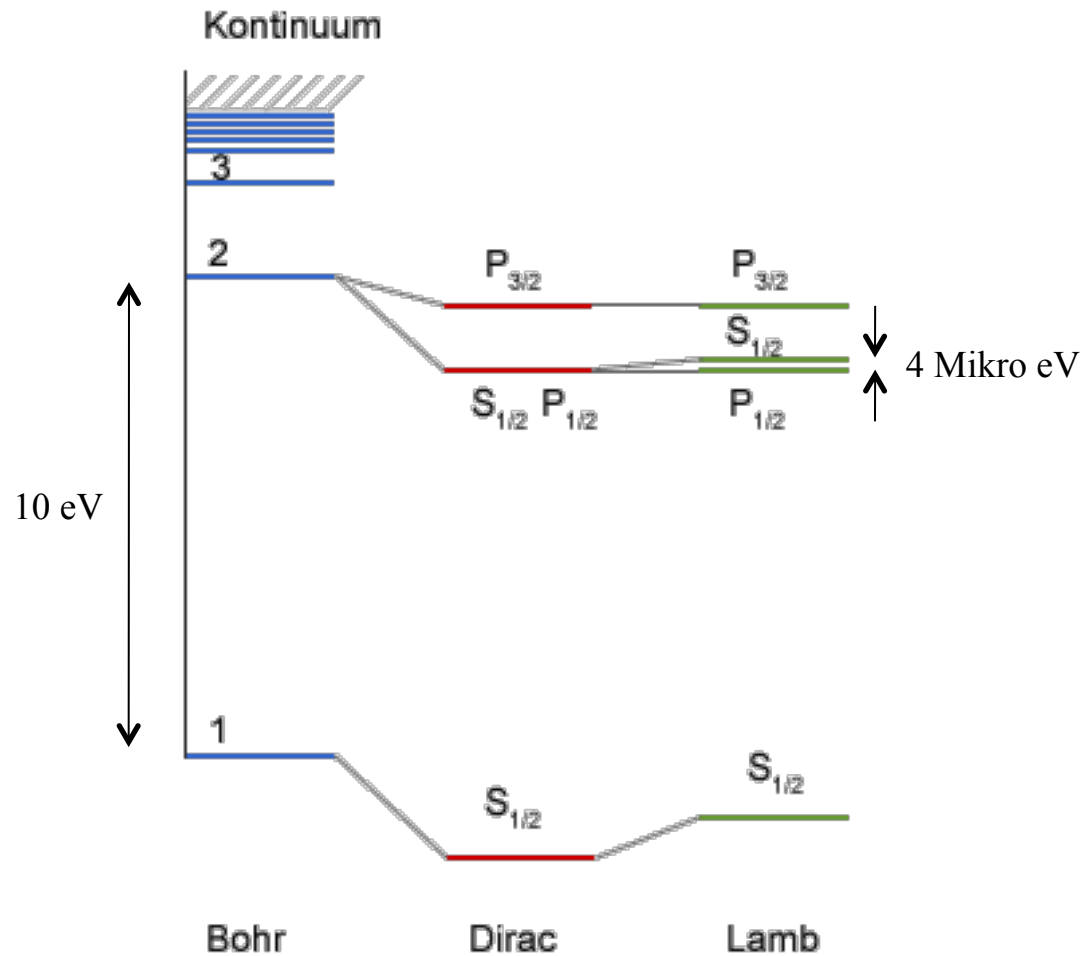
Durchmesser doppelt so groß wie beim Wasserstoffatom

Lebensdauer : ca. 10^{-10} Sekunden

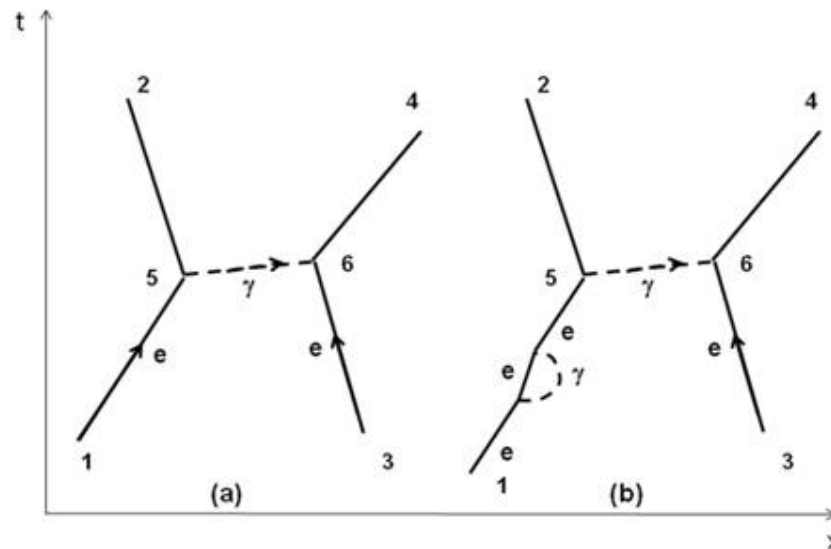
Zerfall in 2 Gamma-Quanten mit der Energie $E_\gamma = m_e c^2 = 0,511$ MeV

Anwendung: Positronen-Emissions-Tomographie (PET), z.B. mit Positronen aus dem Zerfall von ^{18}F

Anregungsschema des Wasserstoffatoms



Abstoßung zwischen zwei Elektronen durch den Austausch eines Photons in Feynman-Diagrammen



- (a) Streuung von zwei Elektronen durch Austausch eines Photons (entspricht der klassischen Coulomb-Abstoßung)
- (b) Vor dem Austausch eines Photons emittiert eines der Elektronen ein Photon und absorbiert es wieder. Damit verändert es seine Bahn. Dies ist das erste neue Diagramm der Quantenfeldtheorie.

Das magnetische Moment μ des Müons

$$\mu = 1/2 \cdot g \cdot \mu_B$$

Experiment: $g = 2.0023318416$ (13)

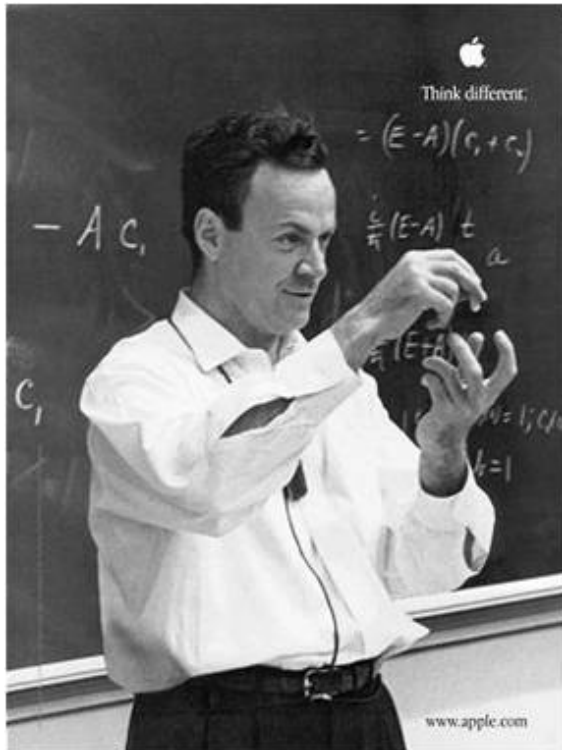
Theorie (QED): $g = 2.0023318361$ (10)

Differenz: $\Delta g = 0.0000000054$ (16)

Beachte,

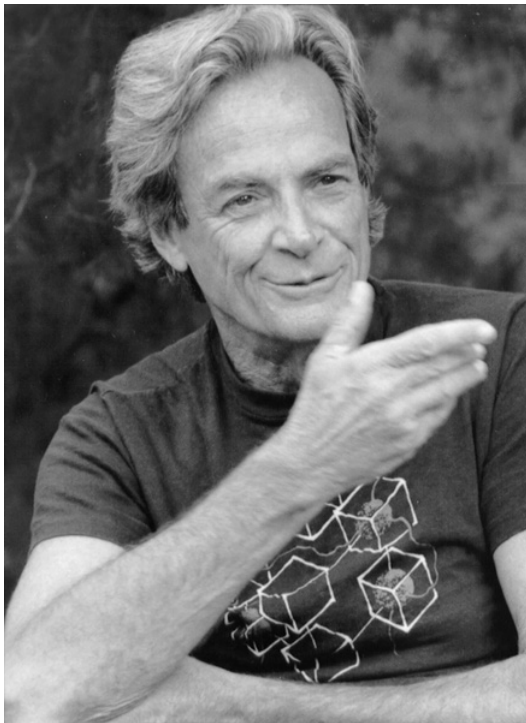
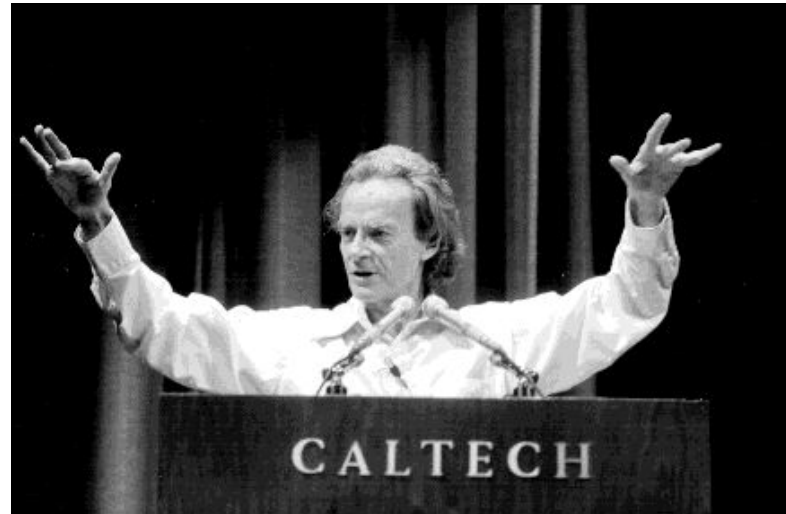
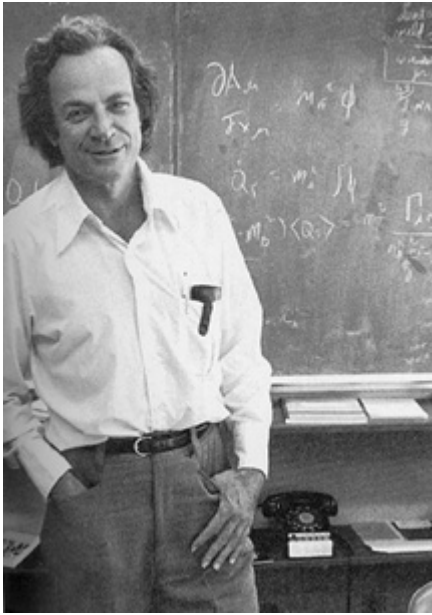
1. wie genau die Rechnung mit der Quantenelektrodynamik (QED) ist: acht Dezimalen !
2. dass noch ein winziger unerklärter Effekt übrig ist. Welche Physik könnte da dahinter stecken?

Richard Feynman (1918 – 1988)

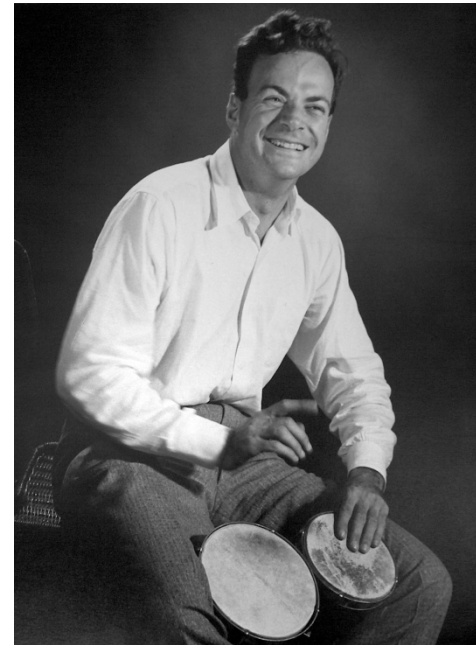


- 1918 Geboren in New York
- 1935 Studium der Physik am MIT, Promotion in Princeton
- 1943 Manhattan Project in Los Alamos
- 1945 Associate Professor an der Cornell University
- 1950 Professor am CalTec in Berkeley, Feynman Lectures
- 1965 Nobelpreis für Physik
- 1988 Gestorben in Los Angeles

Richard Feynman



*Physics is like sex;
sure, you can get some
interesting results, but
that's not why we do it.*



Ist das Proton ein elementarer Baustein der Materie?

Eigenschaften des Elektrons:

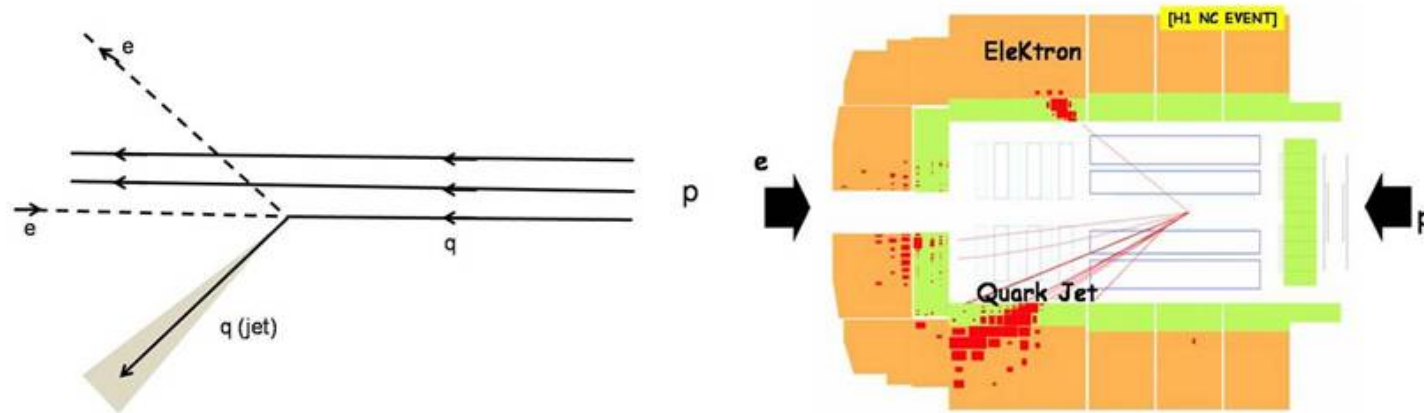
1. Ladung: $-1 e$ (Elementarladung)
2. Masse: $0,511 \text{ MeV}/c^2$
3. Spin: $\frac{1}{2} \hbar$
4. Magnetisches Moment:
1 Bohrsches Magneton des
Elektrons
5. Ausdehnung: punktförmig
($< 10^{-18} \text{ m}$)

Eigenschaften des Protons:

1. Ladung: $+1 e$ (Elementarladung)
2. Masse: $938 \text{ MeV}/c^2$
3. Spin: $\frac{1}{2} \hbar$
4. Magnetisches Moment:
 $2,79 \cdot$ Bohrsches Magneton des
Protons
5. Ausdehnung: $0,88 \cdot 10^{-15} \text{ m}$

Elektron - Proton - Stoß

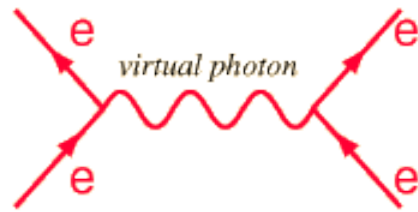
Hierbei wird ein Quark aus dem Proton herausgeschlagen.



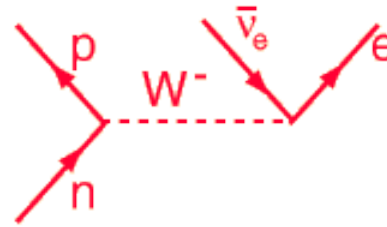
Links: schematische Darstellung.

Rechts: die Spuren eines Ereignisses am DESY in Hamburg

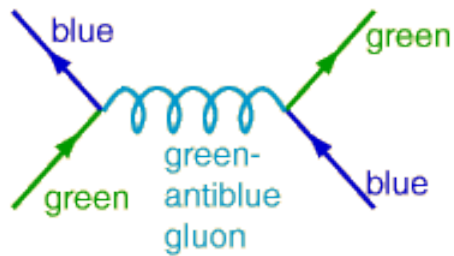
Feynman-Diagramme



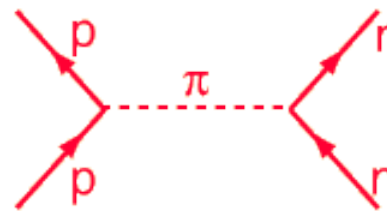
Electromagnetic



Weak



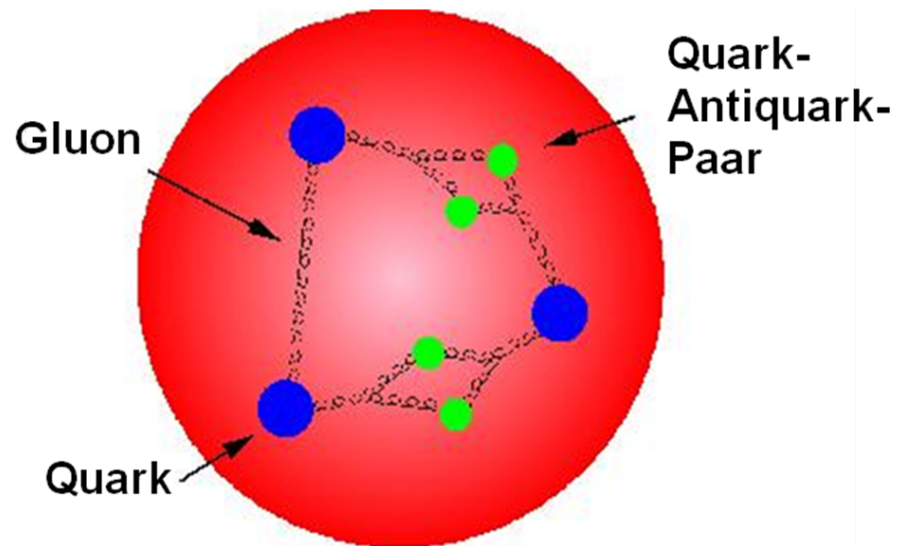
between quarks



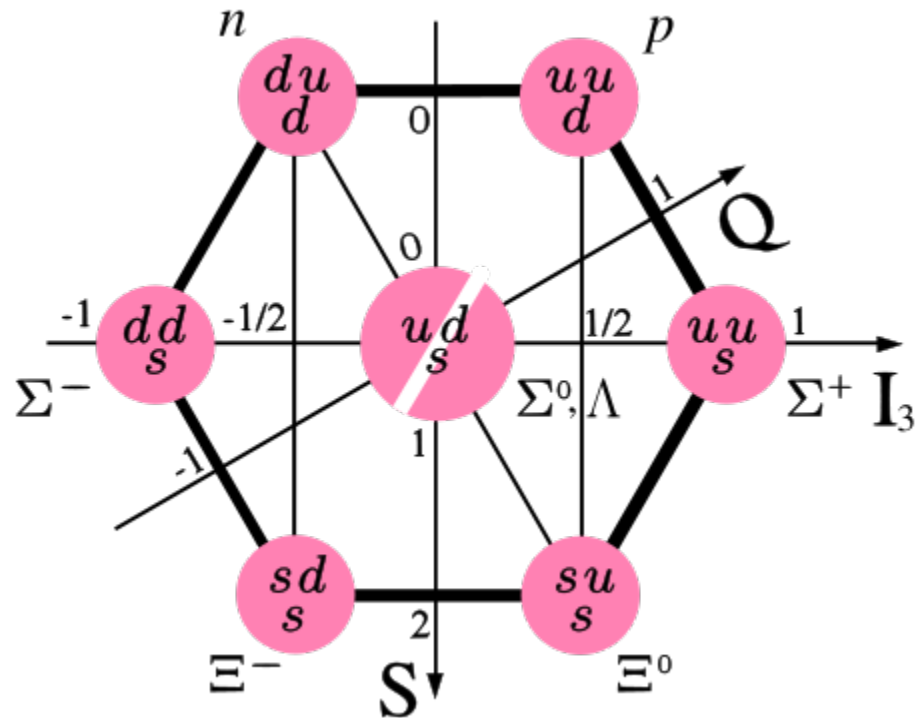
between nucleons

Strong Interaction

Die innere Struktur des Protons

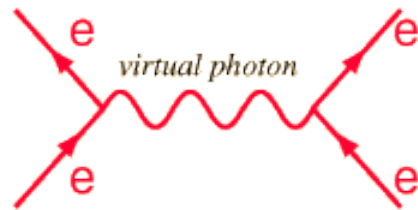


Das Oktett der Baryonen

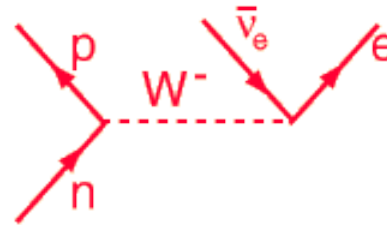


Die Massen der Nukleonen (n , p) sind etwa $1000 \text{ MeV}/c^2$,
 die Massen der Σ^- und Λ - Barionen etwa $1200 \text{ MeV}/c^2$ und
 die Massen der Ξ -Teilchen etwa $1320 \text{ MeV}/c^2$.

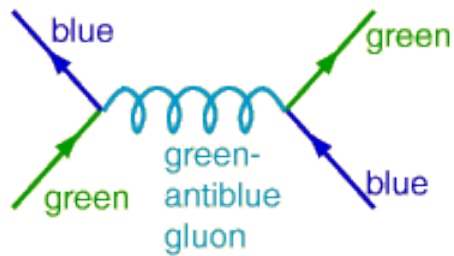
Feynman-Diagramme



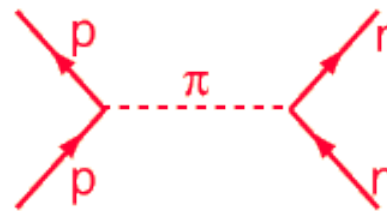
Electromagnetic



Weak



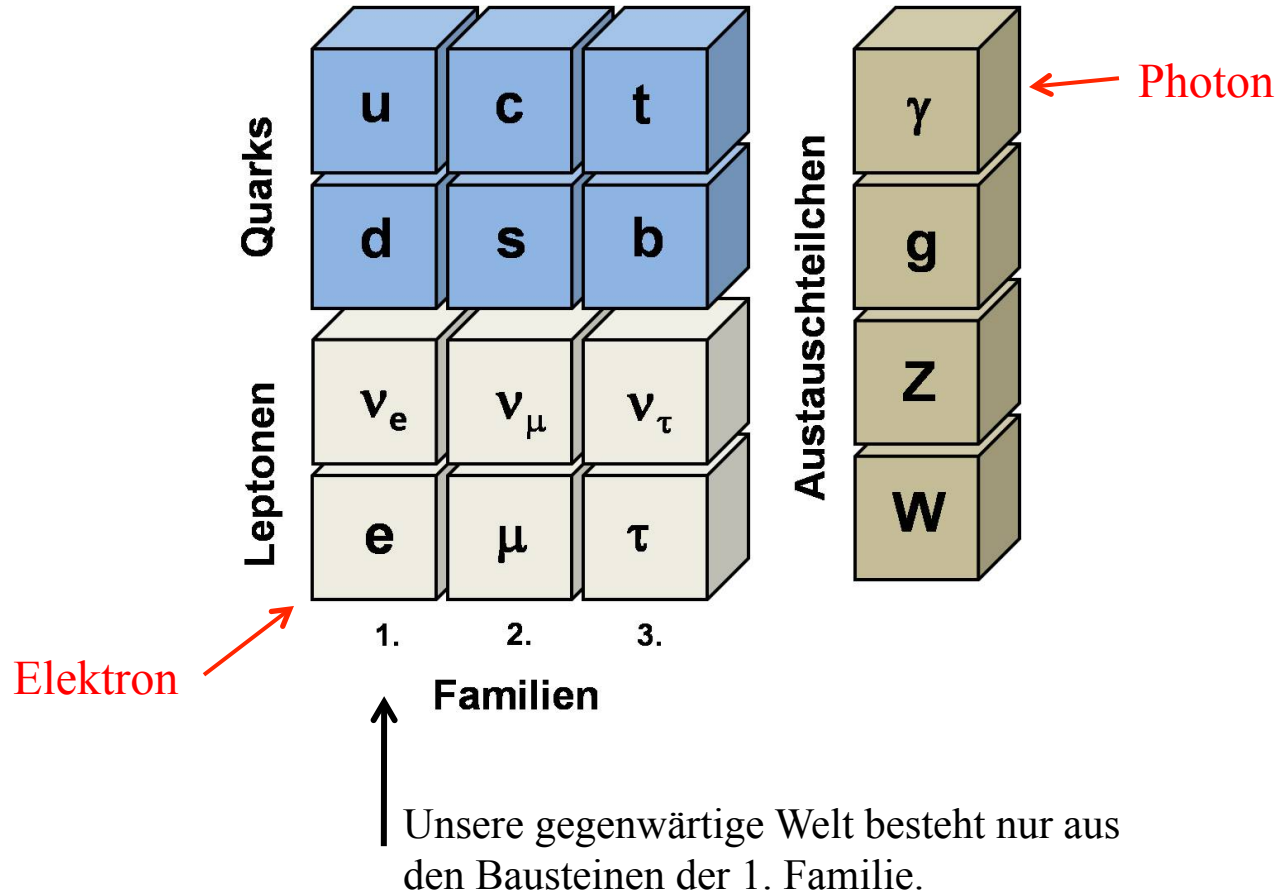
between quarks



between nucleons

Strong Interaction

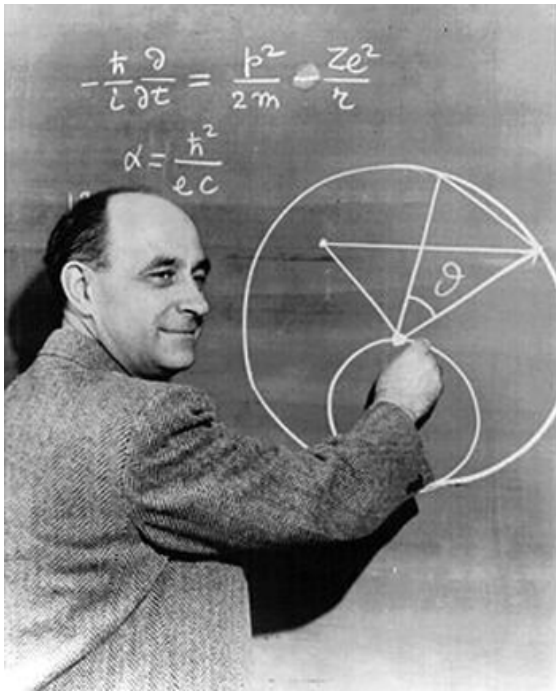
Die fundamentalen Bausteine der Materie im heutigen Standardmodell



Historische Entwicklung des Elementarteilchenkonzepts

Zeitpunkt	Objekte	"Elementarteilchen"	Ordnungsschema
Antike	Materie	Atome	
19. Jahrh.	Moleküle	Atome von ca. 70 verschiedenen Elementen	Periodensystem
um 1910	Atome	Elektronen, Atomkerne	
um 1932	Atomkerne	Nukleonen (Protonen und Neutronen)	
um 1964	Nukleonen und andere Hadronen	Quarks	
um 1995		Leptonen und Quarks	Standardmodell

Enrico Fermi (1901 – 1954)



- 1901 Geboren in Rom
Studium an der Scuola Normale Superiore in Pisa
Promotion mit 21 Jahren
- 1926 Professor für Theoretische Physik an der Universität Rom
Theorie der Schwachen Wechselwirkung (β-Zerfall)
Experimente zum Neutroneneinfang
- 1938 Nobelpreis für Physik, Emigration in die USA
Professor an der Columbia University
- 1942 Erster kritischer Kernreaktor in Chicago
Mitarbeit beim Manhattan-Projekt
- 1945 Professor in Chicago