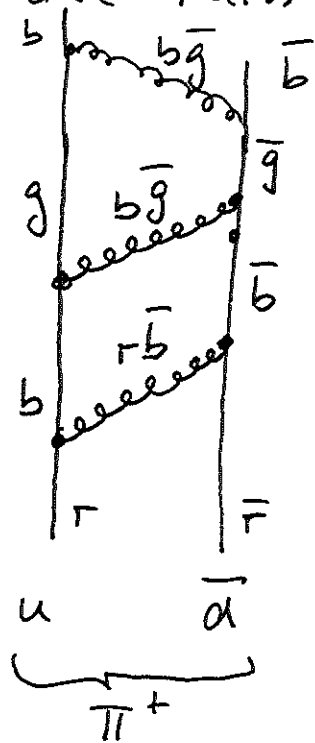


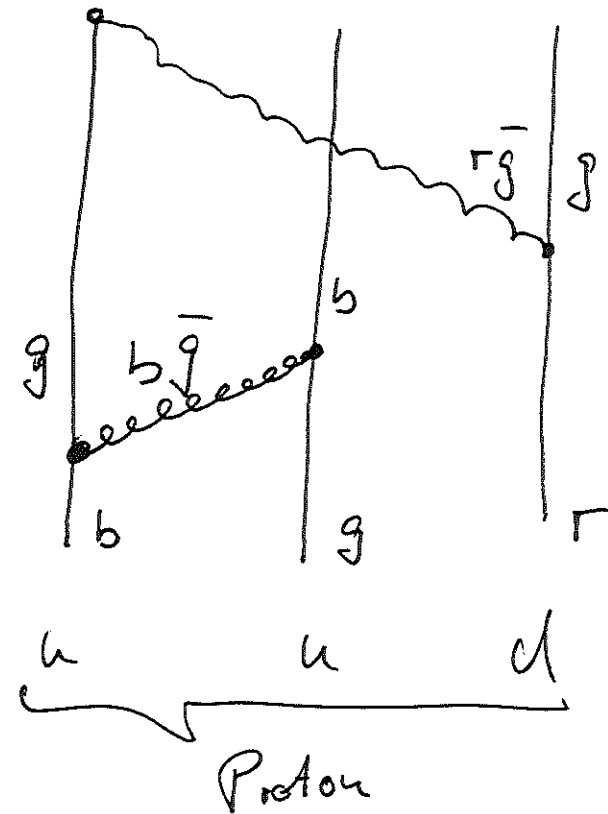
Für Meson (Bsp. π^+) gibt es drei mögliche Farbkombinationen: ①

$$|\pi^+\rangle = \begin{cases} |u_r \bar{d}_r\rangle \\ |u_b \bar{d}_b\rangle \\ |u_g \bar{d}_g\rangle \end{cases}$$

Physikalische π^+ ist Mischung dieser Zustände. Durch ständige Gluon austausch ändert sich die Farbkombination



Durch ständige Gluon austausch
Bsp. Proton



Konsequenz d. Farbladung: keine 199 oder $199\bar{9}$ Zustände, da diese nicht farbnutral wären. (2)

Starke Kopplungskonstante α_s (Dreifarbig)

QFT: Kopplungskonstante abhängig von Q^2

EM WW: Abhängigkeit gering

st WW: starke Abhängigkeit, Gluone Farbladung tragen und selbst WW

$$\alpha_s(Q^2) = \frac{12\pi}{(33 - 2n_f) \cdot \ln(Q^2/\Lambda^2)}$$

n_f : Zahl d. beteiligten Quarks

schwere Quarks tragen nur bei großen Q^2 bei

$$\Rightarrow n_f = 3 - 6$$

Λ : freier Parameter der QCD wird aus exp. Daten bestimmt $\Lambda \approx 250 \text{ MeV}/c^2$

Störungsrechnung in QCD nur möglich wenn $\alpha_s \ll 1 \Rightarrow$
 $Q^2 \gg \Lambda^2 \approx 0,06 \left(\frac{\text{GeV}}{c}\right)^2$

Für große Q^2 (kleine Abstände) wird Kopplung des Quarks untereinander kleiner und verschwindet asymptotisch

$Q^2 \rightarrow \infty$ "frei" ("asymptotische Freiheit")

$Q^2 \rightarrow 0$ (große Abstände) : Confinement

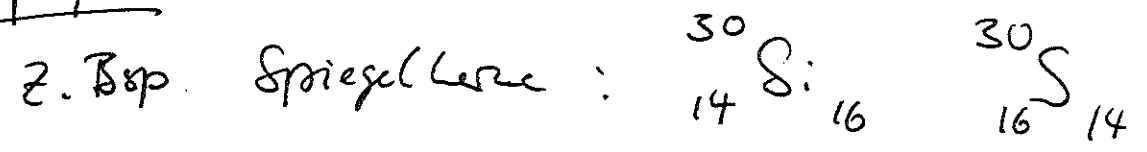
(Enstabus Isospin)

$$Q/e = \frac{1}{2} + I_3$$

Proton : $I_3 = +\frac{1}{2}$

Neutron : $I_3 = -\frac{1}{2}$

Konsequenz Kerphysik :



Quark :



"zufällige" Gleichheit von u- und d-Quarks ist Ursache d. Isospinsymmetrie

Bsp:

$$\pi^+ = u \bar{d} \quad J_3 = +1$$

$$\pi^- = d \bar{u} \quad J_3 = -1$$

$$\pi^0 = \frac{1}{\sqrt{2}} (d \bar{d} - u \bar{u}) \quad J_3 = 0$$

Pion Masse : $m_{\pi^+} = 140 \text{ MeV}$

$$m_{\pi^0} = 135 \text{ MeV}$$

$\Rightarrow J=1$ Multiplett mit $J_3 = +1, -1, 0$

Leichte Quarks

	J	J_3
u	$1/2$	$+1/2$
d	$1/2$	$-1/2$
s	0	0
\bar{u}	$1/2$	$-1/2$
\bar{d}	$1/2$	$+1/2$
\bar{s}	0	0

Isospin Symmetrie
trifft auf alle
Baryonen und Mesonen,
die unter Austausch
von $u \leftrightarrow d$ Quarks
in einander transformieren.

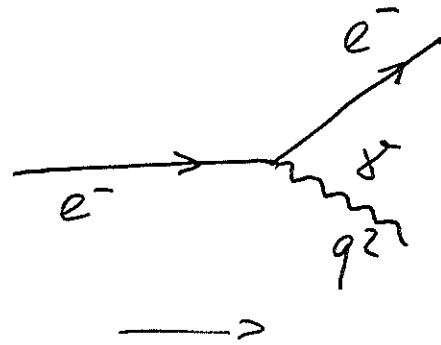
e^+e^- Colliderphysik

1. Teilchenzeugung in e^+e^- Kollisionen

(5)

(Quark/Gluon, Fermion, Gluon, W^\pm , Z, Lepton)

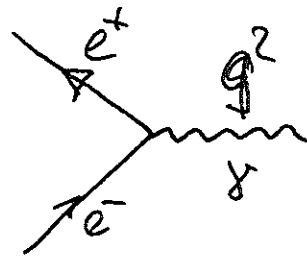
in DIS



"high-resolution" Photone (virtuelles Photon)

"high-resol." Photone können auch zu

hochenerj. e^+e^- -Kollisionen erzeugt werden:



e^+e^- -Annihilation ist "powerful"

"sauber" Prozess, da in Anfangszustand Leptonen anstatt Hadronen, die aus Partonen aufgebaut sind

(aus PVL)

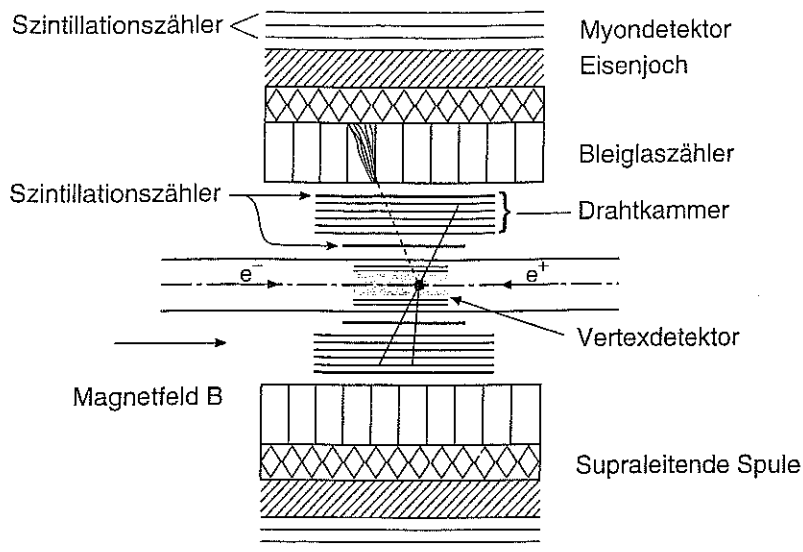
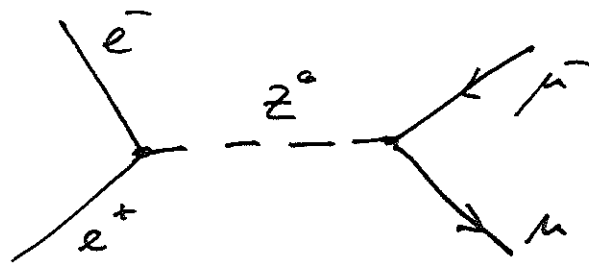
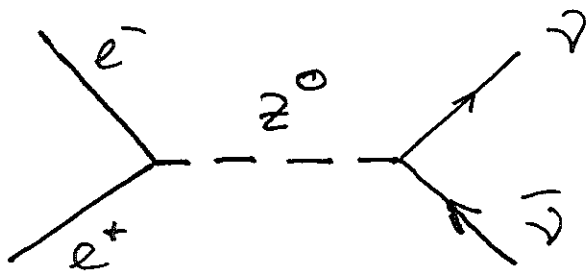
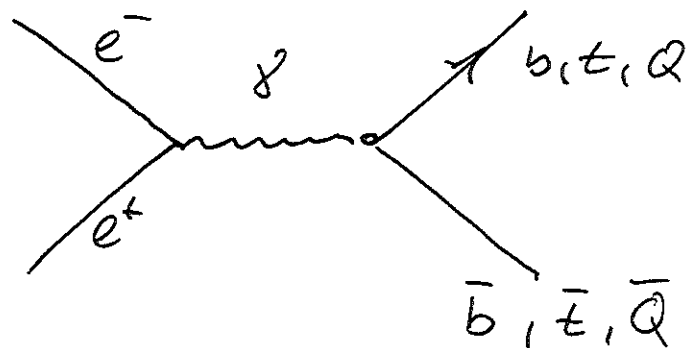
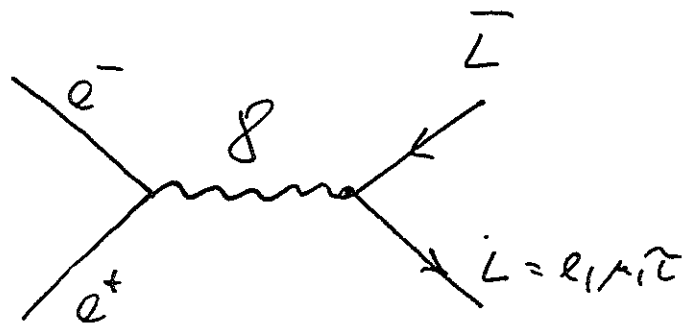
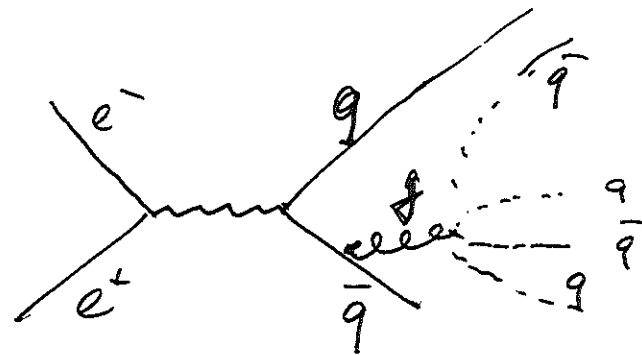
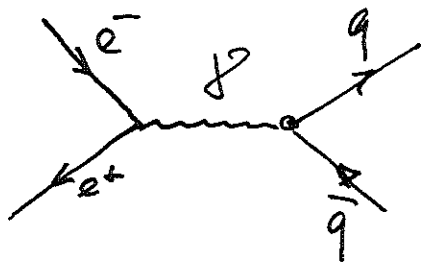
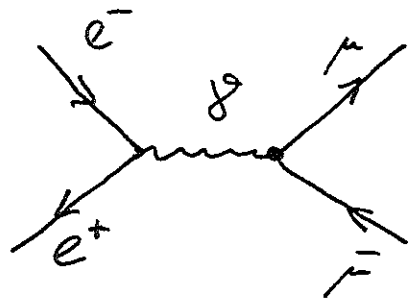


Abb. 9.1. Prinzipskizze eines 4π -Detektors, wie er in e^+e^- -Kollisionsexperimenten verwendet wird. Der Detektor ist eingebettet in eine Solenoidspule, die ein Magnetfeld von typischerweise 1 T entlang der Strahlrichtung erzeugt. Geladene Teilchen werden in einem Vertexdetektor, der häufig aus Silizium-Mikrostreifenzählern besteht, und Drahtkammern nachgewiesen. Der Vertexdetektor dient zur Bestimmung des Wechselwirkungspunktes. Aus der Krümmung der Spuren im Magnetfeld wird der Impuls bestimmt. Photonen und Elektronen werden im elektromagnetischen Kalorimeter, z. B. Bleiglas, durch Schauerbildung nachgewiesen. Myonen durchdringen den gesamten Detektor und werden in den äußeren Szintillatoren nachgewiesen.

Beispiele für exp. Möglichkeiten in e^+e^- -Annihilation



Kollidierende Strahlen

(symm.) Collider LEP

$$\vec{p}_{e^-} = -\vec{p}_{e^+} \quad (\vec{p}_{\text{ges}} = 0)$$

(7)

=> Laborsystem ist identisch mit Schwerpunktsystem (CMS)

Für Teilchenenergie ist die invariante Masse \sqrt{s} relevant

$$\sqrt{s} = \sqrt{(\sum p_i)^2}$$

$$s = (p_1 + p_2)^2$$

$$p_1 = (E, \vec{p}_c)$$

$$p_2 = (E, -\vec{p}_c)$$

$$\Rightarrow s = 4E^2$$

$$\sqrt{s} = 2E$$

Vgl.: e^+ auf ruhendes Target

$$p_1 = (E, \vec{p}_c)$$

$$p_2 = (mc, 0)$$

}

$$s = 2Emc^2 + 2m^2c^4$$

$$\Rightarrow \sqrt{s} \propto \sqrt{E}$$

Schwerpunktenergie im Collider $\propto E$

ruhendes Target $\propto \sqrt{E}$

Um ^{neue} Teilchen zu finden, erhöht man die Schwerpunktsenergie und sucht nach Anzeichen der Reaktionsrate (bzw. Resonanz)

Leptonische Kanäle

(Lepton spin $-\frac{1}{2}$)

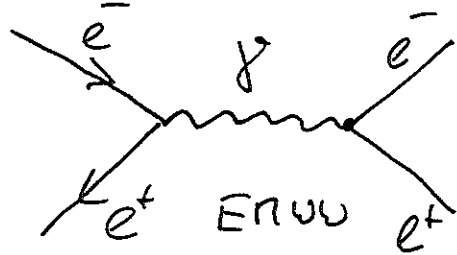
(8)

unterschiedl. schw. WW und
für die gleichen Leptonen
el. veg. WW

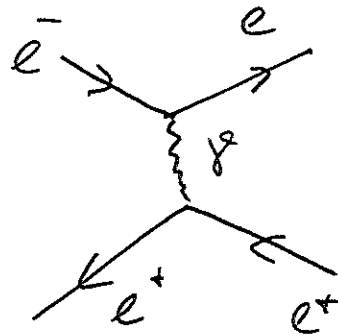
$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

Bhabha - Streuung

$$e^+ + e^- \rightarrow e^+ + e^- \quad (\text{"Bhabha - Streuung"})$$



+



Endzustände
sind identisch
=> Austausch
addieren in WW

μ -Produktion

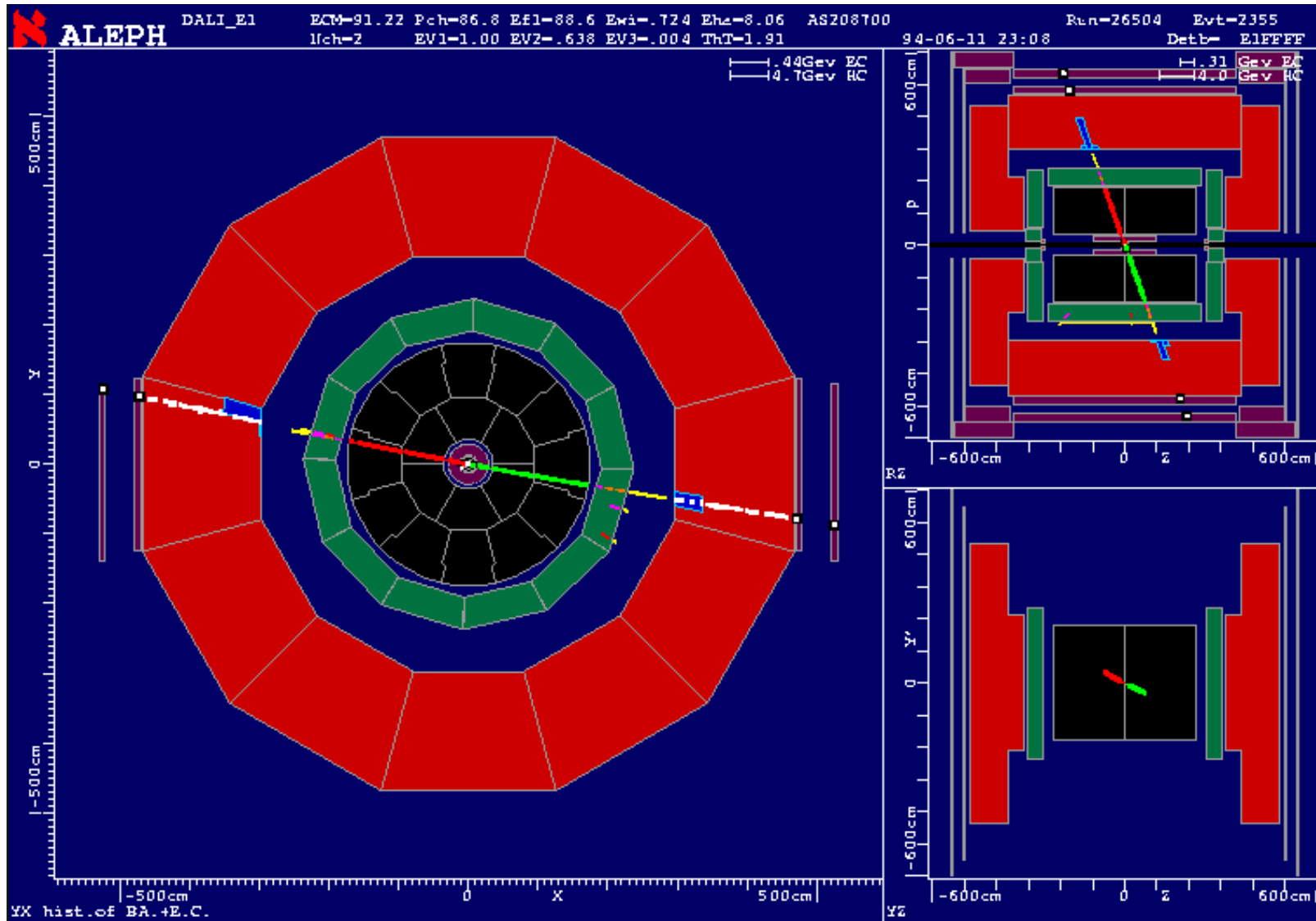
$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^- \quad , \quad m_{\mu^\pm} = 105,7 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{s} \geq 210 \text{ MeV}$$

$$\tau_\mu = 2,2 \mu\text{sec} \quad (\text{Bild Aleph})$$

$$\begin{aligned} \text{Zerfälle } \mu^- &\rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \\ \mu^+ &\rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu \end{aligned}$$

Di-Muon event in e+ e- collision (LEP)



τ -Produktion

(9)

$$e^+ + e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$$

mit $v_2 = \underline{1784 \text{ GeV}} \Rightarrow \sqrt{s} \geq 2568 \text{ GeV}$

Lebensdauer $\tau \approx 3 \cdot 10^{-13} \text{ sec}$

Entdeckung (SLAC 1975)

$$e^+ + e^- \rightarrow \tau^+ + \tau^-$$

$L \rightarrow e^+ + \nu_e \bar{\nu}_e$
oder $\mu^+ + \nu_\mu \bar{\nu}_e$

$L \rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau + \nu_e$
 $e^- + \bar{\nu}_e + \nu_e$

Messung von $E = E_e + E_\mu \ll \sqrt{s}$

Restenergie von γ 's weg gelassen

WQ : $e^+ e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Fermi's goldene Regel

$$W = \frac{2\pi}{t} |M_{fi}|^2 \sum_f \uparrow \text{Zustandsdichte}$$

$$R_{fi} \propto \frac{e^2}{q^2 + m^2} = \frac{4\pi\alpha}{q^2}$$

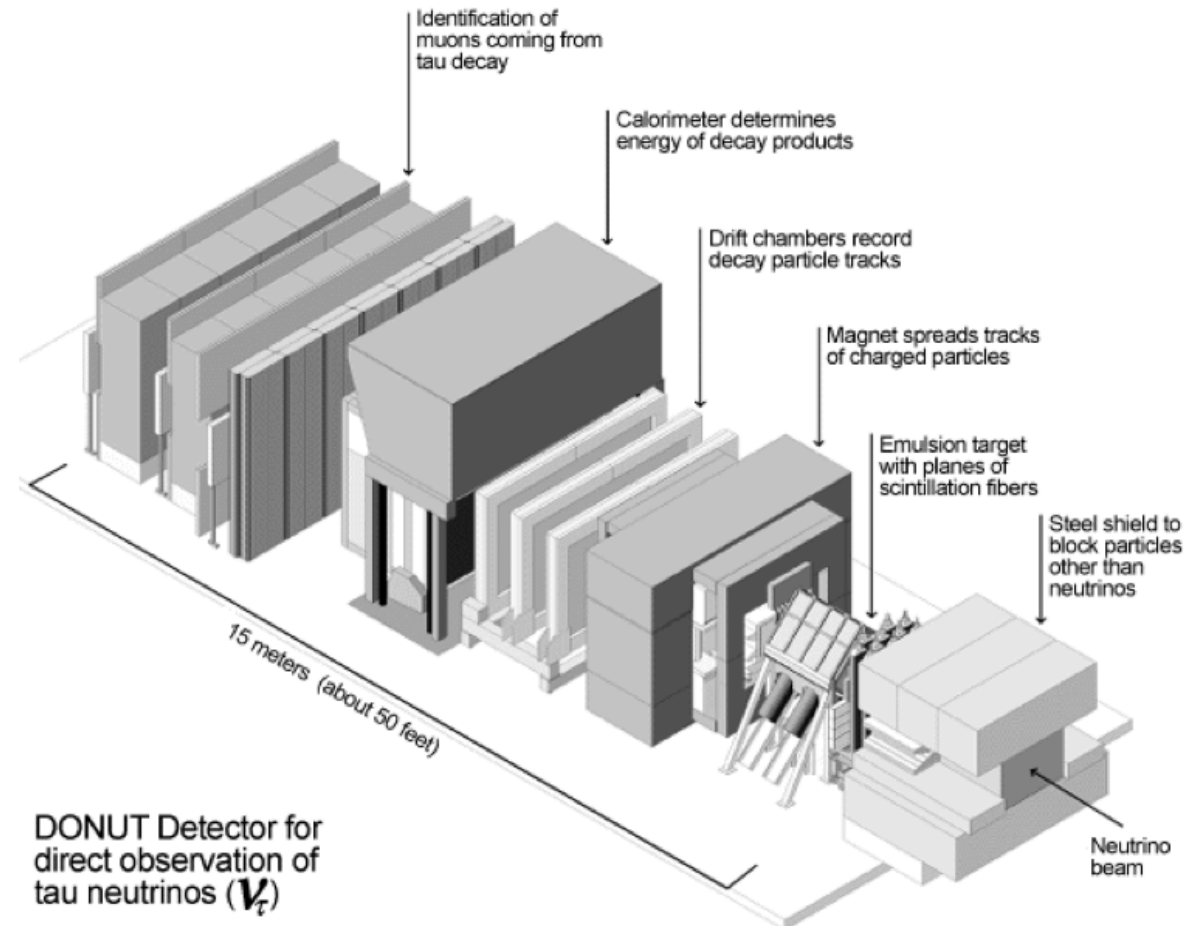
\uparrow
0 (Feynman)

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c}$$

Not a collider experiment!

Direct detection of the tau particle with the DONUT detector at Fermilab

DONUT Detector



Donut (2000): first direct tau detection with nuclear emulsion technique

