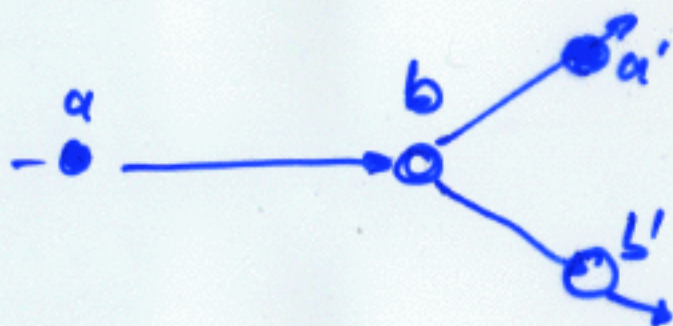


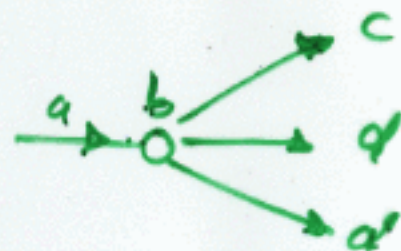
4. Streuung

elastisch: $a+b \rightarrow a'+b'$

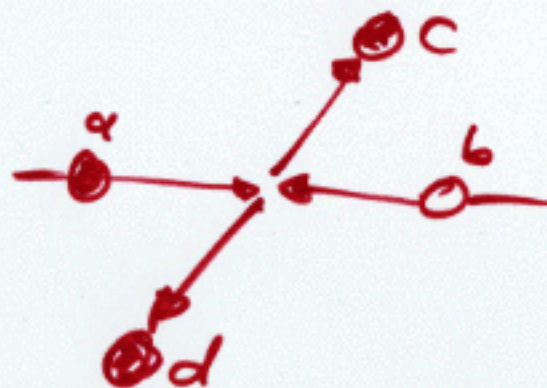
[illegible]

(identische Teilchen, Impuls, Energie anders)

(im Endzustand andere Teilchen als im Anfangszustand)



kollidierende Strahlen



Auflösungsvermögen : (reduzierte) de Broglie-Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{p} = \begin{cases} \frac{h}{\sqrt{2m E_{\text{kin}}}} \\ hc/E \end{cases}$$

nichtrelativistisch, $E_{kin} \ll mc^2$

relativistisch, $E \approx E_{\text{kin}} \gg mc^2$

↳ Bild

Wirkungsquerschnitt II : Theoretische Berechnung

Erinnerung: Reaktionsrate $\dot{N} = L \cdot \sigma$
Luminosität Wirkungsquerschnitt

Rechnung zum WQ: Fermi's „Goldene Regel“

Übergangsmatrixelement (= Wahrscheinlichkeitsamplitude) für WW, die Anfangszustand „i“ in Endzustand „f“ überführt:

$$M_{fi} = \langle \psi_f | \mathcal{H}_{int} | \psi_i \rangle = \int \psi_f^* \mathcal{H}_{int} \psi_i dV$$

Reaktionsrate hängt auch ~~von~~ von der Anzahl der möglichen Endzustände im Phasenraum ab:

Phasenraum ist 6-dimensionaler Orts-Impuls-Raum:

Heisenberg: 1 Teilchen nimmt Phasenraum-Volumen $h^3 = (2\pi\hbar)^3$ ein
Streuung erfolgt in Volumen V und Impulsbereich $\vec{p}' \dots \vec{p}' + d\vec{p}'$
Zahl der möglichen Endzustände: (Kugelschale im Impulsraum: $4\pi p'^2 dp'$)
 $dn(p') = \frac{V \cdot 4\pi p'^2 dp'}{(2\pi\hbar)^3}$

Aus $E = \frac{p^2}{2m}$ folgt $dE' = v' dp'$

Anzahl Endzustände in einem Energieintervall dE' :

$$\frac{dn(E')}{dE'} = \rho(E') = \frac{V \cdot 4\pi p'^2}{v' (2\pi\hbar)^3}$$

Reaktionsrate W pro Targetteilchen und pro einfallendem Teilchen:

$$W = \frac{2\pi}{\hbar} |M_{fi}|^2 \cdot \rho(E') = \frac{\dot{N}}{N_a N_b} = \frac{n_a \cdot v_a \cdot \sigma}{N_a} = \frac{v_a \sigma}{V}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{2\pi}{\hbar v_a} |M_{fi}|^2 \rho(E') \cdot V \quad \text{Goldene Regel}$$

σ berechnen, wenn $|M_{fi}|^2$ bekannt (aus Theorie)

$|M_{fi}|^2$ berechnen, wenn σ bekannt (aus Experiment)

Gilt analog für - Zerfälle instabiler Teilchen

- Anregung von Teilchenresonanzen

- Übergänge zwischen Energiezuständen

$$W = \frac{1}{\tau}$$

Bemerkung: $\tau \leftrightarrow$ Energiebreite von Zuständen (Γ) $\rightarrow$ Breit-Wigner-Kurve
aus $\Delta E = \frac{\hbar}{\tau}$

-Feynman-Diagramme

graphische Orts-Zeit-Darstellung von Reaktionen zur Berechnung von M_f



(oft auch andersrum)



Fermionen:



Teilchen (z.B. e^-)

Antiteilchen (z.B. e^+)

{ = Teilchen,
bewegt sich rückwärts
in der Zeit }

Eichbosonen:



Photon γ

Vektor-Bosonen (W^+, W^-, Z^0)

Gluonen

Vertex:



beschreibt Struktur und Stärke der Wechselwirkung, z.B. Emission eines Photons

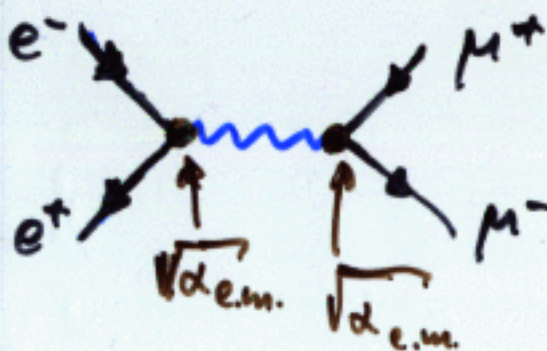
Jeder Vertex enthält eine Kopplungskonstante

$\sqrt{\alpha}$ e.m. WW.

$\sqrt{\alpha_s}$ starke WW

$\sqrt{\alpha_w}$ schwache WW

$$\alpha = \frac{1}{137}$$



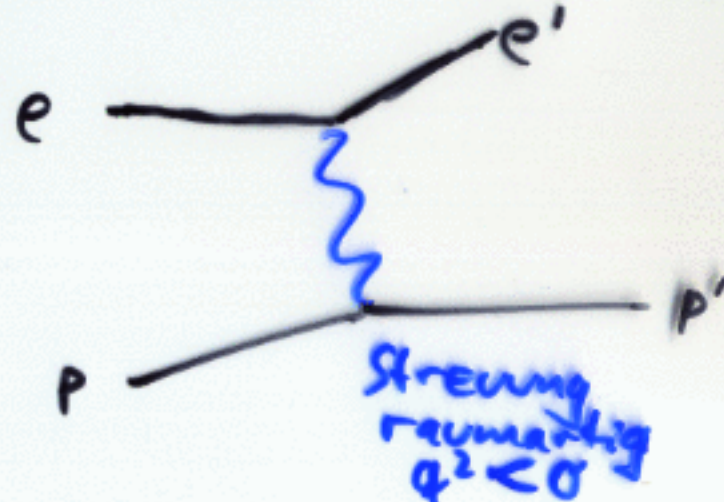
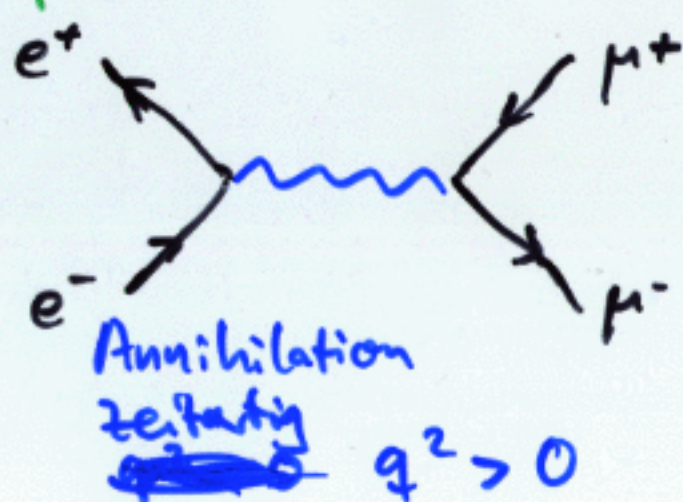
Ausgetauschte Teilchen (interne Linien) der Masse M tragen zum Übergangsmatrixelement einen Propagatorterm bei:

$$\frac{1}{-q^2 + M^2 c^2}$$

$$q^2 = |\text{Vierimpuls-Übertrag}|^2 = \begin{cases} > 0 & \text{wenn zeitartig} \\ < 0 & \text{wenn raumartig} \end{cases}$$

$\hookrightarrow = \frac{1}{Q^2}$ für virtuelle Photonen ($m_\gamma = 0$) in Amplitude
 $\Rightarrow \sigma \propto \frac{1}{Q^4}$ im Wirkungsquerschnitt (z.B. Rutherford)

Propagatorterme der schwachen WW sind wegen $M_W \approx 80, M_Z \approx 90 \text{ GeV}$ fast konstant und viel viel kleiner (Grund für die Schwäche !!)



(Def: $Q^2 = -q^2$
 > 0
 für
 raumartig
 Prozesse