

Konstanten & Einheiten

$hc \approx 197 \text{ MeV fm}; \quad \alpha = \frac{e^2}{\hbar c} \approx \frac{1}{137}$
 $hc \approx 1,973 \cdot 10^{-14} \text{ GeV cm}$
 $m_e c^2 = 511 \text{ keV}; \quad m_p c^2 = 938 \text{ MeV};$
 $m_n c^2 = 940 \text{ MeV}$
 $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 5,79 \cdot 10^{-5} \text{ eV/T}$
 $Ry = 13,6 \text{ eV}; \quad a_0 = 0,529 \text{ \AA};$
 $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$

H-Atom / Bohr

$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} \text{ Ry}, \quad r_n = \frac{n^2}{Z} a_0$
Entartung: n^2 (räumlich), $2n^2$ mit Spin

Summation über m_l
 $\rightarrow \int \sum_m |\Psi_l^m|^2 d\Omega = 2l + 1 = g_l$
 $\rightarrow \int \sum_{l,m} |\Psi_l^m|^2 d\Omega = n^2$

Feinstruktur ($\sim \alpha^2 E_n$): Spin-Bahn + rel. Korrektur, spaltet nach j auf.

Relativistische Kinematik

EnergieImpulsBeziehung:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$$

4rer-Imquadrat: $p^2 = m^2 c^2$

Zerfall von $T_1 \Rightarrow T_2 + T_3$

Impulserhaltung:
 $p_3^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \theta$ wobei θ der Winkel zwischen T_1, T_2 ist

Energieerhaltung: $E_3^2 = E_1^2 - E_2^2$

Massenbestimmung: $m_3^2 = E_3^2 - p_3^2$

Mndestenergie: $\sqrt{s_{min}} = \sum m_f$

$s = (p_{beam} + p_{target})^2$

Mosley Law

$$E_n = -E_R \cdot \frac{(Z-\sigma)^2}{n^2}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

Serien + Abschirmung

K - in n=1 ($\sigma = 1$)

L - in n=2 ($\sigma = 7,4$)

Alpha, von $\Delta = 1$ kommend,

$$\beta \approx \Delta = 2$$

Grundzustandsbestimmung

Termsymbol: $2S+1 L_J$ ($2S+1 =$ Multiplizität, $L \in \{S, P, D, F, \dots\}$)

Hundsche Regeln

$\rightarrow$ **Regel 1:** Multiplizität maximieren (S maximal)
 $\rightarrow$ **Regel 2:** Bei S gegeben, L maximieren

$\rightarrow$ **Regien 3:** $J = |L - S|$ (unter halbvoll) ODER $J = L + S$ (über halbvoll)

Anwendung (Bsp. Titan, Z = 22)

Schritt 1: Atom auffüllen

	Orbitale			
	s	p	d	f
1	1s			
2	2s	2p		
3	3s	3p	3d	
4	4s	4p	4d	4f
5	5s	5p	5d	5f
6	6s	6p	6d	
7	7s			

Mit max. Elektronen im jeweiligen

Orbital:

s	2
p	6
d	10
f	14

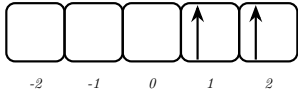
Für *Titan* ($Z = 22$):

$$(1s)^2 (2s)^2 (2p)^6 (3s)^2 (3p)^6 (4s)^2 (3d)^2$$

e^- **nach Hund in Orbitalen**

platzieren

d-Schale



Hund 1 maximiert S , also beide e^- Spin up, sodass $S = 1$.

$S = 3/2 \rightarrow \text{symm}$

$S = 0 \rightarrow \text{antisymm}$ **Bestimme L**

Da $S = 1$, muss L ungerade sein

(Antisymmetrie d. WF für äquiv. e^-).

Nach Hund 2 soll L maximal sein: nimm die m_l aus den Orbitalen und addiere zum größten ungeraden Wert.

Titan: $L = 3$

Bestimme J :

$$J = |L - S|, \dots, L + S$$

und davon (unter halbvoll) das

kleinste. Für *Titan*: 3F_2

Addition Drehimpulse

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{s}, \quad |l - s| \leq j \leq l + s, \quad m_j = m_l + m_s$$

LS/jj-Kopplung

Kleines $Z = \text{LS}$: $WW \sim l_i l_j, s_i s_j$

groß gegenüber $WW \sim l_i s_i$

$$\vec{L} = \sum \vec{l}_i, \quad \vec{S} = \sum \vec{s}_i, \quad \vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

Großes $Z = \text{jj}$: $WW \sim l_i l_j, s_i s_j$

klein gegenüber $WW \sim l_i s_i$

$$\vec{J} = \sum \vec{j}_i, \quad \vec{j}_i = \vec{l}_i + \vec{s}_i$$

Clebsch-Gordan

CG geben an, wie häufig sich $|j_1, m_1\rangle$ und $|j_2, m_2\rangle$ zu $|J, M, j_1, j_2\rangle$ kombinieren. Werden null, wenn es aus Symmetriegründen nicht geht ($M \neq m_1 + m_2$ oder J verboten).

Lebensdauer angeregter Zustände

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

Übergangs-WK (Dipol)

$$|A_{fi}|^2 = |\langle f | \hat{H}_{ww} | i \rangle|^2 = e^2 \left| \int \psi_f^* \vec{r} \psi_i dV \right|^2$$

Große WK $\rightarrow$ kleine Lebensdauer

Auswahlregeln

Dipolübergänge

$$\Delta L = \pm 1, \quad \Delta M = 0, \pm 1, \quad \Delta S = 0, \quad \Delta J = 0, \pm 1$$

($J = 0 \rightarrow J = 0$ verboten; Parität muss wechseln)

Linienbreiten

$$\Delta E \cdot \tau = \hbar$$

$$\Delta \omega \cdot \tau = 1 \quad (\Delta E = \hbar \Delta \omega)$$

Linienform ist Lorentzprofil:

$$P(\omega) = \frac{1}{\pi} \frac{\Gamma/2}{(\omega - \omega_0)^2 + (\Gamma/2)^2}$$

Alkalis

$$V_{eff} = -\frac{Z_{eff} e^2}{r} \Rightarrow \text{Aufhebung der } l\text{-Entartung}$$

$\rightarrow E_n(s) < E_n(p) < E_n(d) < E_n(f)$; Aufspaltung für kleine n am größten

LS-Kopplung

Operatoren:

$$\rightarrow \hat{L}^2 \psi = \hbar^2 L(L+1) \psi, \quad \hat{L}_z \psi = \hbar M_L \psi$$

$$\rightarrow \hat{S}^2 \psi = \hbar^2 S(S+1) \psi, \quad \hat{S}_z \psi = \hbar M_S \psi$$

Hamilton ohne SB-Kopplung

$$\hat{H}_0 = \sum_i \frac{p_i^2}{2m} + V_{eff}(r_i) + \hat{H}_{rest}(r_{ij})$$

Gute Quantenzahlen:

$$|n, L, M_L, S, M_S\rangle$$

Mit SB-Kopplung

$$\hat{H}_{SB} = c \cdot \vec{L} \cdot \vec{S}$$

Gute Quantenzahlen: $|n, L, S, J, M_J\rangle$

$$E_{SB} = c \cdot [J(J+1) - L(L+1) - S(S+1)]$$

$c > 0$: weniger als halb gefüllte Schale

$c < 0$: mehr als halb gefüllt

Intervallregel

$$\Delta E_{SB} = E_{SB}(J) - E_{SB}(J-1) = 2cJ$$

jj-Kopplung

$\rightarrow$ Anzahl Terme bleibt gleich

$\rightarrow$ Energieniveaus eindeutig durch J definiert

$\rightarrow$ Niveaus mit gleichem J können mischen

Auswahlregeln jj-Kopplung

$$\Delta J = 0, \pm 1, \quad \Delta M_J = 0, \pm 1$$

Zeeman-Effekt

$$\text{Magn. Moment: } \vec{\mu}_J = -g_J \mu_B \frac{\vec{J}}{\hbar},$$

$$|\vec{\mu}_J| = g_J \mu_B \sqrt{J(J+1)}$$

Landé-Faktor:

$$g_J = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

Schwaches Feld (LS bleibt gut):

$$\Delta E = g_J \mu_B B m_J, \quad m_J = -J, \dots, J$$

$\rightarrow$ Aufspaltung in $2J + 1$ Niveaus

Normal ($S = 0 \Rightarrow g_J = 1$): Triplett,

$$\Delta E = \mu_B B m_J$$

Anomal ($S \neq 0$): $g_J \neq 1$

Paschen-Back (starkes Feld, L, S entkoppeln):

$$\Delta E \approx (m_L + 2m_S) \mu_B B$$

Kräfte

$\rightarrow$ El.-mag. - wirkt auf alle geladenen Teilchen

$\rightarrow$ Schwache WW - wirkt auf alle Fermionen

$\rightarrow$ Starke WW - wirkt nur zwischen Quarks (u. Gluonen)

WW nur durch Austausch von Feldquanten

Photon als Austauschteilchen

$e^- e^- \rightarrow e^- e^-$ mit Impulsen p_1, p'_1

Photon überträgt Viererimpuls:

$$q^2 = (p_1 - p_1')^2$$

Photonpropagator: $\frac{1}{q^2}$

Austauschteilchen

El.-mag. - Photon γ (masselos)

Schwache WW - $W^\pm, Z^0$ -Bosonen

Starke WW - Gluonen (g)

W-Propagator

$$V_{weak}(q^2) = \frac{g^2}{q^2 - m_W^2 c^4}$$

Massenmessung

Über invariante Masse /

Viererimpuls: $m_x^2 c^4 = (E_1 + E_2)^2 - |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|^2 c^2$

$$= m_1^2 c^4 + m_2^2 c^4 + 2E_1 E_2 (1 - \beta_1 \beta_2 \cos \theta)$$

Fuer Photonen: $E = pc$, weil masse null

Rel impuls:
 $p = \gamma m v = \gamma m(\beta c)$

Spin

Fermionen - halbzahliger Spin,

Fermi-Dirac, Pauli-Prinzip

Bosonen - ganzzahliger Spin,

Bose-Einstein, keine

Besetzungsbeschränkung

Quarks, Leptonen: Spin $\frac{1}{2}$;

WW-Teilchen: Spin 1; Higgs: Spin 0

Zusammengesetzte Teilchen

Aus Quarks zusammengesetzt:

Hadronen

Baryonen: 3 Quarks (qqq)

Mesonen: Quark + Antiquark ($q\bar{q}$)

Spin & Mag. Moment

$$\vec{\mu}_s = -g_s \mu_B \frac{\vec{S}}{\hbar}, \quad g_s \approx 2$$

Instabiles Teilchen

Zerfalls-/Energiebreite: $\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}$

Breit-Wigner: $P(E) = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{1}{(E - mc^2)^2 + \Gamma^2/4}$

Fermis Goldene Regel

Übergangswahrscheinlichkeit W_{fi} :

$$W_{fi} = \frac{dP}{dt} = \frac{2\pi}{\hbar} |\langle f | \hat{H}_{WW} | i \rangle|^2 \rho(E)$$

Lebensdauer: $\tau = \frac{1}{W_{fi}}$

$$\langle f | \hat{H}_{ww} | i \rangle = \int_V \psi_f^* \hat{H}_{ww} \psi_i d^3r$$

Zustandsdichte (mögliche

Endzustände bei E_f):

$$\rho(E) = \left| \frac{dN}{dE_f} \right|_{E_i}$$

Einteilchenphasenraum ($V=1$):

$$\rho_1(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{V E p c}{2\pi^2 (\hbar c)^3}$$

Zweiteilchenphasenraum ($V=1$):

$$\rho_2(E) = \frac{dN_2}{dE} = \frac{V}{(2\pi \hbar c)^3} \cdot \frac{E_1 E_2 p_1 c}{E_1 + E_2} \int d\Omega_1$$

Zerfallsbreite

$$\Gamma_{fi} = W_{fi} \hbar = 2\pi |T_{fi}|^2 \rho(E_i)$$

Verzweigungsverhältnis $\frac{\Gamma_i}{\Gamma}$

$T_{fi} \propto$ Clebsch Gordon Coeffizient

Mittlere freie Weglänge

$$\lambda = \frac{1}{n \cdot \frac{d\sigma}{d\Omega}}$$

$n =$ Dichte der Streuzentren im Target

$\sigma =$ Wirkungsquerschnitt

Zahl ungestreuter Teilchen:

$$N(x) = N_0 e^{-x/\lambda}$$

Wirkungsquerschnitt

Fixed Target:

$$\sigma = \frac{\Gamma_{fi}}{\hbar v(\nu_a + \nu_b)}$$

Kollision: $\sigma = \frac{\Gamma_{fi}}{\hbar(v_a + v_b)}$

Mit **Raumwinkel**

$$d\sigma = \frac{d\sigma}{d\Omega} |T_{fi}|^2 \rho(\Omega) d\Omega$$

Differentieller

Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega}$

Totaler Wirkungsquerschnitt

$$\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$$

$\sigma_{tot} = \sigma_{el} + \sigma_{inel} + \dots$

Geometrischer Querschnitt

$$\sigma_{geo} = \pi(r_t + r_p)^2 \quad (r_t, r_p =$$

Target-/Projektilradius)

Luminosität

$$R = N_s = \phi_a N_b \cdot \sigma$$

R : Streurate

Luminosität (fixed target):

$$L = \phi_a N_b$$

$$\phi_a = \text{Teilchenstrom} = n_a \cdot v$$

$$N_s = \sigma \int_0^T L dt$$

$$\text{Collider: } L = f_{umlauf} \cdot n \cdot \frac{N_1 N_2}{A}$$

N_i : Teilchen pro Paket, n : Anzahl kollidierender Pakete

Feynman-Regeln

Externe Linien

Ein-/auslaufende Teilchen entlang der

Zeitachse, reelle Teilchen mit

$$p^2 = m^2 c^4$$

Antiteilchen in negativer Zeitrichtung

Innere Linien

Austauschteilchen (virtuell):

$$q^2 = E^2 - \vec{p}^2 c^2 \neq m^2 c^4$$

An jedem Vertex erhalten:

Viererimpuls, Ladung, Lepton-,

Baryonzahl, Farbe

$$T_{fi} \propto \frac{e^2}{q^2}$$

Wirkungsquerschnitt (el.-mag.

Streuung):

$$\sigma \sim |T_{fi}|^2 \sim \frac{e^4}{q^4}$$

Raumartig: $q^2 < 0$; es gibt System

mit $\Delta E = q^0 = 0$

Zeitartig: $q^2 > 0$; es gibt System

mit $\vec{q} = 0$

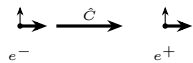
Mehrere mögliche Prozesse zum

selben Endzustand $\rightarrow$ Matrixelemente

C-Parität

starke und el.-mag. WW $\rightarrow \hat{C}$ erhalten

schwache WW: $\hat{C}$ nicht erhalten

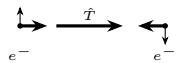


Teilchen $\rightarrow$ Antiteilchen, p, s bleiben $\Rightarrow h$ gleich

Zeitumkehr

starke und el.-mag. WW $\rightarrow \hat{T}$ erhalten

schwache WW: $\hat{T}$ nicht erhalten



p und s flippen $\Rightarrow h$ gleich

$\Rightarrow$ nur $\hat{C}\hat{P}$ bildet $\nu_L \rightarrow \bar{\nu}_R$ ab

(beobachtet, s.u.)

Eigenschaften Neutrinos

Helizität: $h = \frac{\vec{s} \cdot \vec{p}}{|\vec{p}|}$

$\nu : h = -\frac{1}{2}$ immer linkshändig

$\bar{\nu} : h = +\frac{1}{2}$ immer rechtshändig

Wu-Experiment

Relevante Größen

Zerfall: $^{60}\text{Co} \rightarrow ^{60}\text{Ni} + e^- + \bar{\nu}_e$

(Schwache Wechselwirkung)

Kernspin $\vec{J}$: Ausgerichtet durch

externes Magnetfeld $\vec{B}$ bei $T < 0,01\text{ K}$

(Vermeidung von Wärmebewegung)

Elektronenimpuls $\vec{p}_e$: Fluchtichtung

der emittierten β -Teilchen

Beobachtung:

Asymmetrie: Deutlich mehr

Elektronen fliegen *entgegen* der

Richtung des Kernspins ($\vec{p}_e \uparrow \downarrow \vec{J}$)

Messgröße: Die Intensität hängt

direkt vom Winkel zwischen Spin und

Impuls ab ($\propto 1 - \frac{\nu}{c} \cos \theta$)

Aussagekraft:

Beweis der maximalen

Paritätsverletzung (P -Verletzung) in

der Schwachen Wechselwirkung

Symmetrie-Check: Unter

Raumspiegelung spiegelt sich der

Impuls ($\vec{p}_e \rightarrow -\vec{p}_e$), der

Drehimpuls/Spin bleibt als axialer

Vektor gleich ($\vec{J} \rightarrow \vec{J}$)

Das Spiegelexperiment müsste das

umgekehrte Verhalten zeigen – da die

Natur aber eine Richtung real

bevorzugt, ist die Spiegelsymmetrie

kollabiert

Die Helizitaat muesste im Mittel

verschwinden

Rutherford-Streuung

$\rightarrow$ Streupartner punktförmig, geladen

$\rightarrow E_{kin} = T$ klein gegenüber Masse

des Targets

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ruth} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{16 T^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$

$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{m^2}{4\pi^2 \hbar^2} |T_{fi}|^2$

relativistische Form

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ruth} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4 p^2 c^2 \beta^2}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)}$

Mott-Streuung

Streuung von Spin- $\frac{1}{2}$ -Elektronen an

schwerem Target ohne Spin.

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{mott} =$

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ruth} (1 - \beta^2 \sin^2(\theta/2))$

Ausgedehntes Target

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{ext}^{mott} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{mott} \cdot |F(q^2)|^2$

Formfaktor:

$F(q^2) = \int \rho(\vec{r}) e^{i\vec{q}\vec{r}/\hbar} d^3r$

$\rightarrow$ Wirkungsquerschnitt an

ausgedehntem Target immer kleiner

als bei punktförmigem ($|F| \leq 1$)

Dirac-Streuformel

Für Spin $\frac{1}{2}$ an Spin $\frac{1}{2}$ (Punktproton):

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{dirac} =$

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{mott} \cdot \left(1 + \frac{Q^2}{2M_p^2 c^4} \tan^2(\theta/2)\right)$

$Q^2 = -q^2$

Rosenbluth-Formel

Mit Formfaktoren G_E, G_M (Funktion

von Q^2):

$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{mott} \cdot$

$\left[\frac{G_E^2 + \tau G_M^2}{1 + \tau} + 2\tau G_M^2 \tan^2 \frac{\theta}{2}\right]$

$\tau = \frac{Q^2}{4M_p^2 c^4}$

Protonradius

Formfaktor:

$G_E(Q^2) = \left(1 + \frac{Q^2}{0,71 \text{ GeV}^2}\right)^{-2}$

$\langle r^2 \rangle = -6\hbar^2 \frac{dG_E(Q^2)}{dQ^2} \Big|_{Q^2=0}$

$u \leftrightarrow d, \quad c \leftrightarrow s, \quad t \leftrightarrow b$

Proton-Antiproton-Kollision

$u\bar{d} \rightarrow W^+, \quad d\bar{u} \rightarrow W^-$

$u\bar{u} \rightarrow Z^0, \quad d\bar{d} \rightarrow Z^0$

Kopplung von W und Z

$\psi = \psi_L + \psi_R, \quad e = e_L + e_R$

$\rightarrow W^\pm$: Kopplung nur an

linkshändige Fermionen (bzw.

rechtshändige Antifermionen)

$\rightarrow Z$: an beide, unterschiedlich stark

Bindungsenergie

$B(N, Z) = Zm_p c^2 + Zm_e c^2 +$

$Nm_n c^2 - M(N, Z)c^2$

M = Masse des Atoms, N = Anzahl

Neutronen

Bindungsenergie pro Nukleon:

$\frac{B}{A}, \quad A = N + Z$

Weizsäcker-Formel

$B = a_v A - a_0 A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} -$

$a_{sym} \frac{(N-Z)^2}{A} \pm \frac{\delta}{A^{1/2}}$

(a_v Volumen, a_0 Oberfläche, a_c

Coulomb, a_{sym} Asymmetrie, δ

Paarung)

Kernzerfälle

Q-Wert: $Q = (m_i - \sum_f m_f) c^2$;

Zerfall möglich wenn $Q > 0$

$\alpha: \frac{A}{Z} X \rightarrow \frac{A-4}{Z-2} Y + \alpha$

γ : Abregung des Kerns, kein Wechsel

von Z, A

Fundamentale Teilchen (SM)

Quarks (alle Spin $\frac{1}{2}$, $B = \frac{1}{3}$):

$q \quad Q \quad m \quad q \quad Q \quad m$

$u \rightarrow \frac{2}{3}, \quad 2,2\text{ M} \quad c \rightarrow \frac{2}{3}, \quad 1,27\text{ G}$

$d \rightarrow -\frac{1}{3}, \quad 4,7\text{ M} \quad s \rightarrow -\frac{1}{3}, \quad 95\text{ M}$

$t \rightarrow \frac{2}{3}, \quad 173\text{ G} \quad b \rightarrow -\frac{1}{3}, \quad 4,2\text{ G}$

alle Quarks: $B = \frac{1}{3}$, $L=0$, $\eta_P = +1$;

Antiquark: $\bar{Q}, \bar{B}, \bar{S}, \bar{C}, \bar{B}, \bar{T}, \eta_P \rightarrow$

Vorzeichen

Leptonen (Spin $\frac{1}{2}$, $L = +1$):

$\ell \quad Q \quad m \quad \tau \quad \text{Zerfall}$

$e \rightarrow -1 \quad 0,511\text{ M} \quad \text{stabil}$

$\mu \rightarrow -1 \quad 105,7\text{ M} \quad 2,2\text{ } \mu\text{s}, \quad e\bar{\nu}_e \nu_\mu$

$\tau \rightarrow -1 \quad 1777\text{ M} \quad 2,9 \cdot 10^{-13}\text{ s}$

$\nu_e, \mu, \tau \quad 0 \quad < 1\text{ eV} \quad (\text{stabil})$

alle Leptonen: $B=0$, $S=C=\dots=0$;

Antilepton: $L = -1$, $Q \rightarrow$ Vorzeichen

Eichbosonen & Higgs:

$\gamma \quad \text{WW} \quad Q \quad J \quad m$

$e \quad \text{e.m.} \quad 0 \quad 1 \quad 0$

$g \times 8 \quad \text{stark} \quad 0 \quad 1 \quad 0$

$W^\pm \quad \text{schwach} \quad \pm 1 \quad 1 \quad 80,4\text{ G}$

$Z^0 \quad \text{schwach} \quad 0 \quad 1 \quad 91,2\text{ G}$

$H^0 \quad - \quad 0 \quad 0 \quad 125\text{ G}$

alle Bosonen $\mathcal{G} \quad H^0$:

$B=0$, $L=0$, $S=C=\dots=0$;

$\eta_P(\gamma, g) = -1$, $H^0: J^P = 0^+$

Wichtige Hadronen

WW-Tag: st=stark, em=e.m.,

s=schwach.

Mesonen ($q\bar{q}$, $B=0$; $P=(-1)^{L+1}$):

$\pi^\pm \quad q\bar{q} \quad \pm 1 \quad 0 \quad 140 \quad 2,6 \cdot 10^{-8} \quad \mu\text{s} \quad (s)$

$\pi^0 \quad \frac{u\bar{u}-d\bar{d}}{\sqrt{2}} \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 135 \quad 8,5 \cdot 10^{-17} \quad \gamma \gamma \quad (\text{em})$

$K^\pm \quad u\bar{s} \quad \pm 1 \quad \frac{1}{2} \quad \pm 1 \quad 494 \quad 1,2 \cdot 10^{-8} \quad \mu\text{s}, \pi\pi \quad (s)$

$K^0 \quad d\bar{s} \quad 0 \quad \frac{1}{2} \quad +1 \quad 498 \quad \frac{S:0,96-10}{L:5,10-8} \quad \pi\pi/3\pi \quad (s)$

$\eta \quad \frac{u\bar{u}+d\bar{d}-2s\bar{s}}{\sqrt{6}} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 548 \quad 5 \cdot 10^{-19} \quad \gamma\gamma, 3\pi \quad (\text{em})$

$J/\psi \quad c\bar{c} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 3097 \quad 7 \cdot 10^{-21} \quad \ell\ell, \text{Had} \quad (\text{em/st})$

$\Upsilon \quad b\bar{b} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 9460 \quad 1,2 \cdot 10^{-20} \quad \ell\ell \quad (\text{em})$

$J^P = 0^-$ (pseudoskalar, $L=0$), 1^-

(Vektor: $\rho, J/\psi, \Upsilon$)

alle Mesonen: $B=0$, $L=0$; Antimesonen

= Ladungs-/Flavour-Konj.

Baryonen (qqq , $B=1$, $P = +1$):

qqq	Q	I	S	$m \text{ } \tau/s$	Zerfall
$p \quad uud$	$+\frac{2}{3}$	0	0	938 stabil	—
$n \quad udd$	0	$\frac{1}{2}$	0	940 880	$p\bar{\nu}_e \quad (s)$
$\Lambda \quad uds$	0	0	-1	1116 $2,6 \cdot 10^{-10}$	$p\pi^- \quad (s)$
$\Sigma^\pm \quad uus$	± 1	1	-1	1189 $8 \cdot 10^{-11}$	$p\pi^0, n\pi^\pm \quad (s)$
$\Sigma^0 \quad uds$	0	1	-1	1193 $7 \cdot 10^{-20}$	$\Lambda\gamma \quad (\text{em})$
$\Sigma^- \quad dds$	-1	1	-1	1197 $1,5 \cdot 10^{-10}$	$n\pi^- \quad (s)$
$\Xi^0 \quad uss$	0	$\frac{1}{2}$	-2	1315 $2,9 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda\pi^0 \quad (s)$
$\Xi^- \quad dss$	-1	$\frac{1}{2}$	-2	1322 $1,6 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda\pi^- \quad (s)$
$\Delta \quad uuu, \dots ddd$	$2, \dots -1$	$\frac{3}{2}$	0	1232 $6 \cdot 10^{-24}$	$N\pi \quad (\text{st})$
$\Omega^- \quad sss$	-1	0	-3	1672 $8 \cdot 10^{-11}$	$\Lambda K^- \quad (s)$

Oktett $J^P = \frac{1}{2}^+$; Dekuplett

($\Delta, \Sigma^*, \Xi^*, \Omega$) $J^P = \frac{3}{2}^+$

alle Baryonen: $B=1$, $L=0$;

Antibaryon: $B = -1$, $Q, S, \dots \rightarrow$

Vorzeichen

(K^0 : Masseneigenzustände K_S/K_L ;

m in MeV)

Erhaltungssätze

GröÙe	stark	e.m.	schwach
Q, B, L	ja	ja	ja
Energie/Impuls, J	ja	ja	ja
P (Parität)	ja	ja	nein
C	ja	ja	nein
$C/P, T$	ja	ja	fast
J (Isospin)	ja	nein	nein
I_3	ja	ja	nein
$\bar{S}, \bar{C}, \bar{B}, \bar{T}$ (Flavour)	ja	ja	nein

Bei schwacher WW: $|\Delta S| \leq 1$,

$\Delta S = \Delta Q$ (gel. Strom)

stark/e.m.: $\Delta S = \Delta C = 0$

Zerfall / WW erkennen

Aus Lebensdauer auf WW schließen:

$\rightarrow$ **stark:** $\tau \sim 10^{-23}$ s (breite

Resonanz), $\Delta S=0$

$\rightarrow$ **e.m.:** $\tau \sim 10^{-16}$ – 10^{-19} s, γ im

Endzustand

$\rightarrow$ **schwach:** $\tau \gtrsim 10^{-13}$ s, Neutrino /

$\Delta S \neq 0$

Reaktion erlaubt, wenn *alle*