Kern & Teilchen 8.5.08

Konzepte d. Kernphysik

Erhaltungssätze & Symmetrien

Energieerhaltung

$$A + B \longrightarrow C_1 + C_2 \; \dots + C_n$$

Q-Wert Reaktion $\quad Q = m_A c^2 + m_B c^2 - \sum_{i=1}^{n} m_{C_i} c^2$

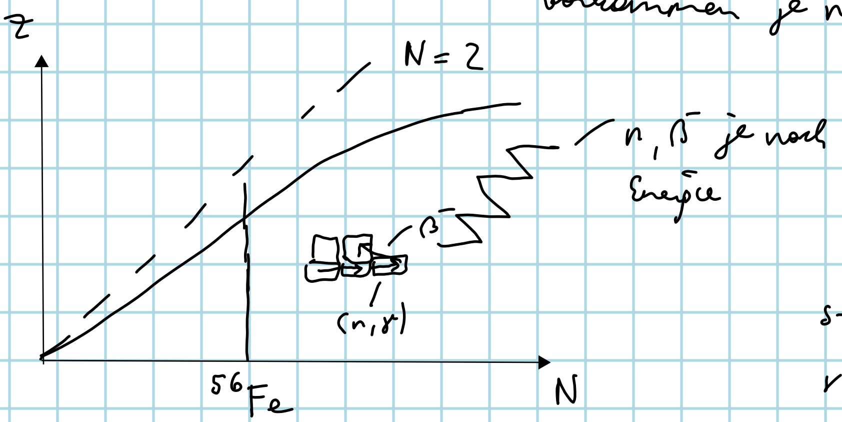
$Q > 0$ Reaktion ohne Schwelle // von selbst

$Q < 0$ Schwellenenergie

Bsp: n-Einfang

$$n + (A,Z) \longrightarrow (A+1,Z) + \gamma$$

od. β^- // Es kann entweder n-Einfang od. β^- Zerfall vorkommen je nach Energie (günstiger)



He-Brennen

s-Prozess (stabiles Tal)

r-Prozess (großer n-Überschuss)

Supernova

Drehimpulserhaltung } Winkelverteilung
Paritätserhaltung

A + B

relative Drehung (Mechanik?)

$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{L} = \vec{J}$ ... Gesamtimpuls

Baryonenzahlerhaltung

$$p + d \not\rightarrow p + p + \gamma$$

$(p + \bar{p} \rightarrow \gamma + \gamma)$ – wegen Impulserhaltung im SPS

Leptonenzahlerhaltung

$$\begin{matrix} e^- & \mu^- & \tau^- \\ \nu_e & \nu_\mu & \nu_\tau \\ L_e & L_\mu & L_\tau \end{matrix}$$

$$L = L_e + L_\mu + L_\tau$$

Neutrinooszillationen sorgen für Umwandlung der Neutrinos

$$e^{-i \frac{m_\nu c^2}{\hbar c} t}$$

$$\Delta m_\nu^2 \neq \emptyset$$

früher geglaubt, innerh. jeder Familie
jetzt Gesamt – Neutrino-Zahl

Messung d. Oszillationen

Neutrinoquelle $\longrightarrow$ $\boxed{\text{Det}}$

$\bar{\nu}_e$ $\qquad$ ν_μ

Sonne $\xrightarrow{\text{Erdbahn}}$ $\square$ Gran Sasso

Reaktoren $\xrightarrow{\sim\text{km}}$ Schweiz

Man glaubt, dass es Übergänge zw. Neutrinos gibt

CERN $\xrightarrow{\sim 800\text{ km}}$ $\square$ Gran Sasso (Berg)

ν – Quelle

(Myon – Neutrinos)

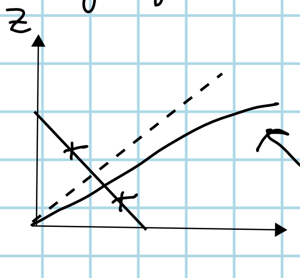
1932 – Neutron v. Chadwick entdeckt $\quad 939 \frac{\text{MeV}}{c^2}$ $\quad q = \emptyset$

Proton hat 938 $\quad q = +e_0$

// Heisenberg meint es sei nur 1 Teilchen mit 2 Ladungszuständen und hat d. Isospin dafür eingeführt

Bindungsenergie

Spiegelkerne : $\begin{cases} Z = a & N = b \\ Z = b & N = a \end{cases}$ $B \sim |a-b|$



// Nuklidkarte

stabile Kerne

weiter oben hat man keine Chance mehr Spiegelkerne zu bekommen (instabile Kerne)

$\Rightarrow$ Ladungsunabhängigkeit d starken WW (hängt nur v Masse ab)

$^3H \rightarrow t$ (Triton?) $Z = 1$ $N = 2$

$^3He \rightarrow \tau$ (Tau) $Z = 2$ $N = 1$

$\hat{H}_{stark}$ invariant unter Rotation im Isospinraum

Isospin $\longrightarrow$ genügt der Algebra d $SU(2)$ (analog zu Spin)

$$\boxed{[\hat{T}_m, \hat{T}_n] = i\,\varepsilon_{kmn}\,\hat{T}_k}$$ ($\hbar$ fehlt weil Spin Dim v $\hbar$ hat)

Isospin Komponenten

$\hat{T}^2$ Casimir Op. d $SU(2)$ unitär

$T_3 = +\frac{1}{2}$ proton // Charakterisierung d Ladungszustände

$-\frac{1}{2}$ neutron

Ladung anschreiben : $q = e_0\left(\frac{Y}{2} + T_3\right)$ Y... Hyperladung

Gell-Mann-Nishijima Relation

Y: 2x Ladungsschwerpunkt d Multipletts d. Nukleonen

Multiplett

p n

1 0

Ladungsschwerpunkt

$$\underbrace{\frac{(1+0)}{2}}_{\text{Anzahl}} = \frac{1}{2} \Rightarrow Y = 1$$

4 Teilchen f. Delta Baryon

$\Delta^{++}, \Delta^{+}, \Delta^{0}, \Delta^{-}$

$2 + 1 + 0 - 1 = 2$

Ladungsschwerpkt

$$\frac{2}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow Y = 1$$

// aus $T_3 \rightarrow / \Delta^-$ Δ^0 Δ^+ Δ^{++}

$T_3 = -\frac{3}{2}, -\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}, +\frac{3}{2}$

$T = \frac{3}{2}$

$$q = e_0\left(\frac{1}{2} + T_3\right)$$

// nur f. Spin $\frac{1}{2}$, $T = \frac{1}{2}$

$\hat{\vec{T}} = \frac{1}{2}\vec{J}$ $\quad J_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \dots$

3 Quarks

- $s = \frac{1}{2}$ ... Nukleon
- $s = \frac{3}{2}$ ... Delta Teilchen

// $\vec{S} = \frac{\hbar}{2}\vec{\sigma}$ // analog zu σ

Multiplett hat 4 Partner →

$T = \frac{3}{2} \Rightarrow T_3 = -T, T$

Frage: Gibt es den Isospin wirklich?

Isospin Invarianz – leicht verletzt (näherungsweise Symmetrie)

m_u, m_d $\qquad m_u = m_d$ // dann wäre Isospin Invarianz exakt

d-Quark ist > u-Quark

$m_d > m_u$ $\qquad m_d c^2 - m_u c^2 \sim 3\,\mathrm{MeV}$

Vektoren im Isospin-Raum: $|p\rangle \Rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ $\quad |n\rangle \Rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

etwas schlampig: $\underbrace{\hat{T}_3}_{\frac{1}{2}J_3} |p\rangle = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$

$\hat{T}_\pm = \hat{T}_1 \pm i \hat{T}_2$ $\qquad$ $\hat{T}_+ |p\rangle = \emptyset \qquad \hat{T}_- |n\rangle = \emptyset$

$$\hat{T}_+ |n\rangle = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \emptyset & 1 - i \cdot i \\ 1 + i \cdot i & \emptyset \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 2 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Proton

$T_1 |p\rangle = \frac{1}{2} |n\rangle$ $\qquad$ // Man könnte auch drehen, aber einen Mischzustand gibt es nicht (Neutron od. Proton!)

Ein 2 Teilch. Zst. aus 2 Protonen $|p\rangle_{(1)} |p\rangle_{(2)}$ $\qquad T_3 = \underset{(1)}{\frac{1}{2}} + \underset{(2)}{\frac{1}{2}} = +1$ $\Rightarrow T = 1$ $\quad |1\ 1\rangle$

2 Neutronen

$|n\rangle_{(1)} |n\rangle_{(2)} \qquad T_3 = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = -1$ $\Rightarrow T = 1$ $\quad |1\ {-1}\rangle$

Prot & Neutr.

$|p\rangle_{(1)} |n\rangle_{(2)} \qquad T_3 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = \emptyset$

- $T = 1 \quad |1\ 0\rangle$
- $T = 0 \quad |0\ 0\rangle$

$$|0\ 0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|p\,n\rangle - |n\,p\rangle \right)$$

$$|1\ 1\rangle = |p\ p\rangle \qquad +1 \quad \text{symmetr. bez. Vertauschg.}$$

$$|1\ {-1}\rangle = |n\ n\rangle \qquad -1 \quad \text{antisymm. b. V.} \quad (-1)^{T+1}$$

$$|\underset{T}{1}\ \underset{T_3}{0}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|p\,n\rangle + |n\,p\rangle \right)$$

N–N System $\quad |\psi_{NN}\rangle = |\psi^{NN}_{Raum}\rangle \cdot |\psi^{NN}_{Spin}\rangle \cdot |\psi^{NN}_{Isospin}\rangle$

$\downarrow$

Fermionen $\longrightarrow$ $|\psi_{NN}\rangle$ antisymm. bez. Vert. von Teilchen

Isospin : $(-1)^{T+1}$

$$(-1) = (-1)^L (-1)^{S+1} (-1)^{T+1}$$ $\rightarrow$ $L+S+T$ muss ungerade sein f. Fermionen

vorgegeben

S	T	L
0	0	1, 3, 5, 7 ...
0	1	0, 2, 4, 6, 8 ...
1	0	0, 2, 4, 6, 8 ...
1	1	1, 3, 5, 7 ...

Streuung Protonen an Protonen $\rightarrow$

$T = 1$ beide gleich ausgerichtet

$\rightarrow S = 1$

es gäbe nur ungerade Partialwellen

$L = 1, 3 ...$ $L = 0$ (s) gäbe es nicht

Bei p Streuung ist der Wirkungsq. s $\rightarrow \emptyset \rightarrow$

die Protonen würden sich nicht "sehen"!

$\bar{L}$	$\bar{S}$ (fix)	$\bar{T}$		
0	0	1	pp, nn, pn	$J = 0$
0	1	0	pn	$J = 1$
1	0	0	pn	$J = 1$
1	1	1	pp, nn, pn	$J = 0, 1, 2$ // im Prinzip

// Niedr. Energie Anteile

Isospin v. Kernen

$$q = e_0 \sum_{i=1}^{A} \left(\frac{Y^{(i)}}{2} + T_3^{(i)} \right) = e_0 \left(\underbrace{\sum_{i=1}^{A} T_3^{(i)}}_{Z\frac{1}{2} - N\frac{1}{2}} + \frac{A}{2} \right) = e_0 \frac{Z - N + Z + N}{2}$$

$$= \underline{\underline{Z e_0}}$$

$$T_3 = \frac{Z-N}{2}$$

$$\boxed{T = \frac{|Z-N|}{2}, \frac{|Z-N|}{2} + 1, ... \frac{A}{2}}$$

möglicher Isospin Wert f. Kerne

Grundzustand immer!

Quark - Einschluss $q \equiv \bar{q}$

Beim Auseinander - ziehen werden immer neue

Quark - Antiquark Paare erzeugt

WW zwischen 2 Nukleonen ist in QCD nicht gut berechen-bar

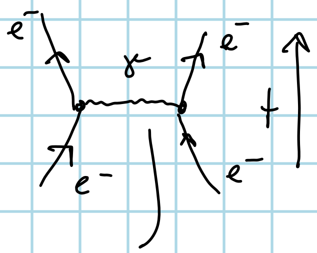
Beschreibung: Potential-Modelle $V_{NN}(|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|)$

Reid - Soft Core Pot

Päris - Pot.

Mesontheoretische Modelle (Yukawa 1934)

Teilchen gab es zu der Zeit noch nicht



Wie lange kann ich Teilchen austauschen, ohne dass Unschärfe verletzt ist?

Reichweite d. WW

$\frac{\hbar c}{mc^2} \sim 1{,}5\,\text{fm}$ $\rightarrow$ Voraussage d. Pions (sehr gute Voraussage d. Pions)