

Physik

Hinweise zu den Kärtchen

Kern- und Teilchenphysik I

Die Kärtchen beziehen sich auf die Vorlesung von Felecityas Pauss, im SS 2007.

Erstellt von: Thomas Kuster, (2. Semester MSc, D-UWIS)

Verfügbar via: <http://fam-kuster.ch>

Fundamentale Bausteine

Leptonen und Quarks

Eigenschaften:

- je Spin $\frac{1}{2} \Rightarrow$ Fermionen
- Es gibt keine Angeregte Zustände
- - 6 Leptonen, sowie 6 Antiteilchen dazu
 - 6 Quarks, sowie 6 Antiteilchen dazu

Grundkräfte: Fundamentale Wechselwirkungen

- Gravitation
- elektromagnetische Wechselwirkung
- starke Wechselwirkung
- schwache Wechselwirkung

Wechselwirkungen

werden vermittelt durch?

werden dargestellt durch?

Durch Austausch von Vektorbosonen (Teilchen mit Spin=1)

Gravitation ?

elektromagnetische WW Photon: Wellenlinie

starke WW Gluonen: Spirallinie

schwache WW W^{+-} , W^{--} , Z^0 -Bosonen: gestrichelte Linie

Teilchen und Ladung

Welche Teilchen tragen welche Ladung

elektrische Ladung

schwache Ladung

starke Ladung
Farbladung, Farbe

Quarks

Quarks

Quarks

einige Leptonen (z. B. Elektron)

Leptonen

Reichweite der Wechselwirkungen

Schwache Wechselwirkung Reichweite ist sehr gering da

$M_W \approx 80 \text{ GeV}/c^2$ und $M_Z \approx 91 \text{ GeV}/c^2$ sehr schwer ist und sie somit nach der Heisenberg'schen Unschärferelation nur für extrem kurze Zeit erzeugt werden.

Elektrische Wechselwirkung Photon hat Ruhemasse 0 $\Rightarrow$ Reichweite ist ∞ .

Starke Wechselwirkung Gluonen haben Ruhemasse 0, jedoch Ladung daher können sie untereinander koppeln $\Rightarrow$ kurze Reichweite.

Elektronenvolt

Definition:

Die Energie die ein Teilchen mit Ladung $1e$ beim Durchlaufen einer Potentialdifferenz von 1 V bekommt.

$$1\text{ eV} = 1.602 \cdot 10^{-19}\text{ J}$$

Gauss-System

in Atomphysik

$$4\pi\epsilon_0 = 1 \Rightarrow \alpha = e^2$$

Heavyside-Lorentz-System

in Teilchenphysik

$$\epsilon_0 = 1 \text{ und } \alpha = \frac{e^2}{4\pi}$$

Nuklide

Bezeichnung

18

Antwort

A Nukleonen

Z Protonen

N Neutronen

A_ZX_N

$$A = Z + N$$

In der Nuklidkarte sind folgende Geraden durch festhalten einer Variable gegeben:

A Isobar

Z Isotope

N Isotone

Leptonen

Kommen frei in der Natur vor:

e Elektron, Positron

μ

τ

ν_e

ν_μ

ν_τ

Quarks

Kommen nicht frei in der Natur vor:

u Up

d Down

s Strange

c Charm

b Bottom

t Top

Hadronen

„Elementarteilchen“ welche aus Quarks aufgebaut sind: Mesonen und Baryonen

Mesonen

$$\pi^+ \quad (u\bar{d})$$

$$\pi^- \quad (\bar{u}d)$$

$$K^+ \quad (u\bar{s})$$

$$K^- \quad (\bar{u}s)$$

Baryonen

p (uud) Proton

n (udd) Neutron

Λ (uds) Lambda

Ω (sss)

Wechselwirkungen

Zwischen Grundbausteinen

Wechselwirkungen zwischen Grundbausteinen basieren auf dem Austausch eines Trägerteilchens:

Photon: γ elektromagnetische Wechselwirkung

W, Z schwache Wechselwirkung

Gluon starke Wechselwirkung

Einheiten

Welche Einheiten werden verwendet?

Länge 1 fm = $10 \cdot 10^{-15}$ m

Wirkungsquerschnitt (Fläche) 1 barn = 1 b = 10^{-28} m²

Energie Elektronenvolt: 1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ J

Für Masse und Impuls folgt mit:

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

Masse eV/c²

Impuls eV/c

$\hbar, c, \hbar \cdot c, \alpha, 1 \text{ fm}$ Grösse und Bezeichnung der Werte

Planck-Konstante $\frac{h}{2\pi} = \hbar = 6.582 \cdot 10^{-22} \text{ MeV}\cdot\text{s}$

Lichtgeschwindigkeit $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$\hbar c \approx 200 \text{ MeV}\cdot\text{fm}$$

Kopplungskonstante der elektromagnetischen Wechselwirkungen

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \approx \frac{1}{137} \text{ (ist keine Konstante)}$$

$$1 \text{ fm} \approx 5 \frac{1}{\text{GeV}} \approx \frac{1}{200 \text{ MeV}}$$

Natürliche Einheiten

$$\hbar = c = 1$$

$$1 \text{ kg} = 5.607 \cdot 10^{26} \text{ GeV}$$

$$1 \text{ m} = 5.068 \cdot 10^{15} \frac{1}{\text{GeV}}$$

$$1 \text{ s} = 1.519 \cdot 10^{24} \frac{1}{\text{GeV}}$$

SI-Einheiten verwenden und Konstanten mitführen!

Energien

Übliche Energien und ihre physikalische Interpretationen

Energie	Physikalische Interpretation
	Energieskala des/der ...
eV	e in äusserer Elektronenschale im Atom
keV	e in innerer Elektronenschale im Atom
MeV	n, p im Atomkern
GeV	Quarks im Proton
TeV	zukünftigen Beschleunigers LHC am CERN

Schwerpunktsenergie

$$E_{CM} = \sqrt{s}$$

Zweiteilchenreaktion

Reaktionsschema:



Lorentz-invariant:

$$s = M^2 c^4 = (E_a + E_b)^2 - (\vec{p}_a \vec{p}_b)^2 c^2$$

mit M Gesamtmasse des System a, b
Gesamtenergie im CM-System)²

$$s = (E_a^{CM} + E_b^{CM})^2 = (E^C M)^2$$

Für: $E_{a,b} \gg m_a c^2, m_b c^2$ d. h. $E_{a,b} \approx |\vec{p}_{a,b}|$

Stationäres Target: $\sqrt{s} = \sqrt{2E_a^{LAB} m_b c^2}$

Speicherring: $\sqrt{s} = \sqrt{4E_a E_b}$ falls $E_a \approx E_b \Rightarrow \sqrt{s} = 2E \rightarrow$ effiziente
Nutzung der Strahlenergie.

Elastische Streuung

Information über räumliche Form des Objekt an dem gestreut wird, bzw. des Wechselwirkungs-Potentials: Variation der Streudaten mit E_{Strahl} und Streuwinkel.

De-Broglie Wellenlänge

De-Broglie Wellenlänge: $\frac{\lambda}{2\pi}$

$$\frac{\lambda}{2\pi} = \frac{\hbar}{|\vec{p}|} = \frac{\hbar c}{\sqrt{2mc^2 E_{kin} + E_{kin}^2}}$$

Auflösung von linearer Ausdehnung

Auflösung von linearer Ausdehnung: $\Delta x: \frac{\lambda}{2\pi} \leq \Delta x$

$$|\vec{p}|c \geq \frac{\hbar c}{\Delta x} \approx \frac{200 \text{ MeV} \cdot \text{fm}}{\Delta x}$$

Wirkungsquerschnitt

Erklärung des Begriffs

Mass für die Wahrscheinlichkeit einer Reaktion (damit Mass für die Stärke der Wechselwirkung)

Abhängig von der Art der kollidierenden Teilchen und der Kräfte, die zwischen ihnen wirken.

Geometrischer Reaktionsquerschnitt

$$\sigma_b = \frac{\dot{N}}{\Phi_a \cdot N_b}$$

Mit:

Gesamtzahl der Targetteilchen: $N_b = n_b A d$

Fluss: $\Phi_a = \frac{\Delta N_a}{\Delta t A} = \frac{N}{A} = n_a v_a$

mit: $v_a = \frac{\Delta N_a}{\Delta x A} = \frac{\Delta N_a}{\Delta V}$

Reaktionsrate: $\dot{N} = \Phi_a N_b \sigma_b$

Frontfläche: A , Dicke: d , σ_a überlagern sich nicht

Totaler Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{\text{Reaktionsrate}}{\text{Fluss} \cdot \text{Zahl der Streuzentren}}$$
$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elastisch}} + \sigma_{\text{inelastisch}}$$

$[\sigma] = L^2$: hat die Dimension einer Fläche ($1 \text{ barn} = 1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$)

Differentieller Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_{\text{tot}} = \int \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} d\Omega$$

Luminosität

$$\mathcal{L} = \Phi_a \cdot N_b \Rightarrow \dot{N} = \sigma \cdot \mathcal{L}$$

Im Speicherring:

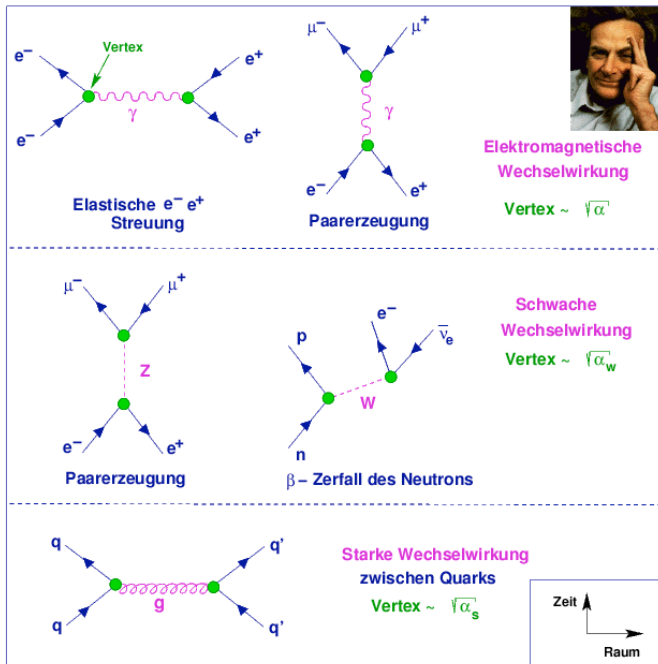
$$\mathcal{L} = \frac{N_a N_b u}{A}$$

mit:

u : Umlauffrequenz mal Zahl der Teilchenpakete ($u = fn$)

A : Strahlquerschnitt

Feynman Diagramme



Elektronen-Synchrotron

Wichtige Begrenzung

Synchrotronstrahlung: e^- emittiert Strahlung, wenn es durch eine Kraft auf einer Kreisbahn gehalten wird.

Pro Umlauf vom e^- abgestrahlte Energie:

$$\Delta E = \frac{4\pi}{3} \frac{\alpha \hbar c \beta^3 \gamma^4}{R}$$

mit:

R : Krümmungsradius

$\beta = \frac{v}{c}$: Teilchengeschwindigkeit

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$: Lorentzfaktor

Für hochenergetische e^+, e^- ($\beta \approx 1$):

$$\Delta E[\text{GeV}] \approx 9 \frac{(E[\text{GeV}])^4}{R[\text{km}]} \cdot 10^{-8}$$

Bemerkung: für relativistische Protonen (Masse M) und relativistische Elektronen (Masse m) mit demselben Impuls: $\Delta E \approx (\frac{m}{M})^4 \longrightarrow$ für Protonen $\approx 10^{13}$ mal kleiner!

Absorption von γ Strahlung in Materie

Photoeffekt:

Compton Streuung:

Paarbildung:

Cherenkov-Strahlung

Geladenes Teilchen mit $v \approx c$ in Medium mit Brechungsindex: $n > 1$:

$$v > \frac{c}{n}$$

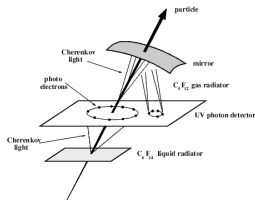
→ Angeregtes Atom sendet Licht aus, dessen Wellenfront unter festem Winkel relativ zur Teilchenbahn ist (wie eine schiessende Ente im Wasser). Photonen werden in einem Kegel mit festem Winkel θ um die Bahn des geladenen Teilchens emittiert.

$$\cos \theta = \frac{1}{\beta n}$$

Energieverlust durch C -Strahlung klein gegenüber Ionisationsverlust.

Aufbau der Messung:

RICH
Ring-Image-
Cherenkov-Counter



Spuren-Detektoren

Ziel: Sichtbar machen von Teilchendurchgang $\rightarrow$ Messung von Spuren
Rekonstruiere die Flugbahn anhand der gemessenen Punkte im Raum
Extrahiere Information über Impuls

Beachte: Das Teilchen sollte nicht stark vom Detektor(-Material)
beeinflusst werden, d. h. keine Materialien mit hohen Dichten.

Signale auf Grund von Ionisation:

Geiger-Müller-Zähler, MWPC (Multi-Wire Proportional Chambers), DC
(Drift Chamber), TPC (Time Projection Chamber), Silicium Detektoren
(Strips, Pixel), Bubble-, spark-chambers (früher)

Signale auf Grund von Szintillationslicht:

z. B. scintillating fibers, liquids

Blasenkammer

70

Antwort

TODO

Gaszähler

72

Antwort

TODO

Proportionalkammer

74

Antwort

TODO

Driftkammer

76

Antwort

TODO

Siliziumstreifendetektoren

78

Antwort

TODO

Energiemessung

Erfordert in der Regel eine vollständige Absorption der Teilchen in einem Medium.

Absorbierte Energie kann umgewandelt werden in:

Signale $\propto$ ursprüngliche Energie des Teilchens $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ionisation} \\ \text{Anregung von Atomen} \\ \text{Cherenkovlicht} \end{array} \right.$

Grosse Detektorensysteme

Konzept

Kombiniere verschiedene Detektortypen/Technologien zu einem grossen Detektorsystem, das aus Detektorenlagen besteht.

Tröpfchenmodell

$$m(Z, A) = Zm_H + (A - Z)m_n - a_V A + a_S A^{\frac{2}{3}} + a_C Z^2 A^{-\frac{1}{3}} + a_A \frac{(Z - \frac{A}{2})^2}{A} + \begin{cases} +\delta \\ 0 \\ -\delta \end{cases}$$

Volumenenergie ($a_V A$): Kondensationsenergie die frei wird, dominanter Term, erklärt die Näherung: $m(Z, A) = Zm_H + (A - Z)m_n - B/A(???)$

Oberflächenenergie ($-a_S A^{\frac{2}{3}}$): Nukleonen an der Oberfläche sind weniger stark gebunden.

Coulombenergie ($-a_C Z^2 A^{-\frac{1}{3}}$): Coulombabstossung zwischen den Protonen.

Asymmetrienergie ($-a_A \frac{(Z - \frac{A}{2})^2}{A}$): Wird verringert wenn $Z \neq N$

Paarungsenergie $\left(\begin{cases} +\delta & \text{gg - Kerne} \\ 0 & \text{ug, gu - Kerne} \\ -\delta & \text{uu - Kerne} \end{cases} \right) : \delta \approx a_P A^{-\frac{1}{2}}$

Magische Zahlen

Zahlenwerte für N und Z

N: 2 8 20 28 50 82 126 (184) (196)

Z: 2 8 20 28 50 82 (114) (164)

Die Werte in Klammern wurden theoretisch berechnet, aber noch nicht empirisch gemessen, bzw. bewiesen.