

2

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

Antwort

0

Kern- und Teilchenphysik I

Die Kärtchen beziehen sich auf die Vorlesung von Feleccitas Paus, im SS 2007.

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

Verfügbar via: <http://fam-kuster.ch>

Antwort

6

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

Antwort

4

- Gravitation
- elektromagnetische Wechselwirkung
- starke Wechselwirkung
- schwache Wechselwirkung

Antwort

Teilchen und Ladung

Welche Teilchen tragen welche Ladung

Reichweite der Wechselwirkungen

Elektronenvolt

Gauss-System

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.

in Atomphysik

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

elektrische Ladung

schwache Ladung

starke Ladung

Farbladung, Farbe

Quarks

Quarks

Quarks

einige Leptonen (z. B. Elektron)

Leptonen

Definition:

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

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

Heavyside-Lorentz-System

Nuklide

Bezeichnung

Leptonen

Quarks

18
A Nukleonen
Z Protonen
N Neutronen

Antwort

16
in Teilchenphysik

Antwort

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

$${}^A_Z X_N$$

$$A = Z + N$$

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

A Isobar

Z Isotope

N Isotone

22
Kommen nicht frei in der Natur vor:

u Up

d Down

s Strange

c Charm

b Bottom

t Top

Antwort

20
Kommen frei in der Natur vor:

e Elektron, Positron

μ

τ

ν_e

ν_μ

ν_τ

Antwort

Hadronen

Mesonen

Baryonen

Wechselwirkungen Zwischen Grundbausteinen

26

π^+ ($u\bar{d}$)

π^- ($\bar{u}d$)

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

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

Antwort

24

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

Antwort

30

Wechselwirkungen zwischen Grundbausteinen basieren auf dem Austausch eines Trägerteilchens:

Photon: γ elektromagnetische Wechselwirkung

W, Z schwache Wechselwirkung

Gluon starke Wechselwirkung

Antwort

28

p (uud) Proton

n (udd) Neutron

Λ (uds) Lambda

Ω (sss)

Antwort

Einheiten

Welche Einheiten werden verwendet?

$\hbar, c, \hbar \cdot c, \alpha, 1 \text{ fm}$

Grösse und Bezeichnung der Werte

Natürliche Einheiten

Energien

Übliche Energien und ihre physikalische Interpretationen

34

*Antwort***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**

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

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

38

Antwort

Energie Physikalische Interpretation

Energieskala des/der ...eV e in äusserer Elektronenschale im AtomkeV e in innerer Elektronenschale im AtomMeV n, p im Atomkern

GeV Quarks im Proton

TeV zukünftigen Beschleunigers LHC am CERN

32

*Antwort***Länge** $1 \text{ fm} = 10 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ **Wirkungsquerschnitt (Fläche)** $1 \text{ barn} = 1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$ **Energie** Elektronenvolt: $1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Für Masse und Impuls folgt mit:

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

Masse eV/c^2 **Impuls** eV/c

36

Antwort

$$\hbar = c = 1$$

$$1 \text{ kg} = 5.607 \cdot 10^{26} \frac{\text{GeV}}{c^2}$$

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

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

SI-Einheiten verwenden und Konstanten mitführen!

Schwerpunktsenergie

Zweiteilchenreaktion

Elastische Streuung

De-Broglie Wellenlänge

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.

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

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

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

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

Auflösung von linearer Ausdehnung

Wirkungsquerschnitt

Erklärung des Begriffs

Geometrischer Reaktionsquerschnitt

Totaler Wirkungsquerschnitt

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.

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

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

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

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_{\text{elastisch}} + \sigma_{\text{inelastisch}}$$

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

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

Mit:

Gesamtzahl der Targetteilchen: $N_b = n_b A d$

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

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

Differentieller Wirkungsquerschnitt

Luminosität

Feynman Diagramme

Elektronen-Synchrotron

Wichtige Begrenzung

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

Im Speicherring:

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

mit:

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

A : Strahlquerschnitt

$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$$

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

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

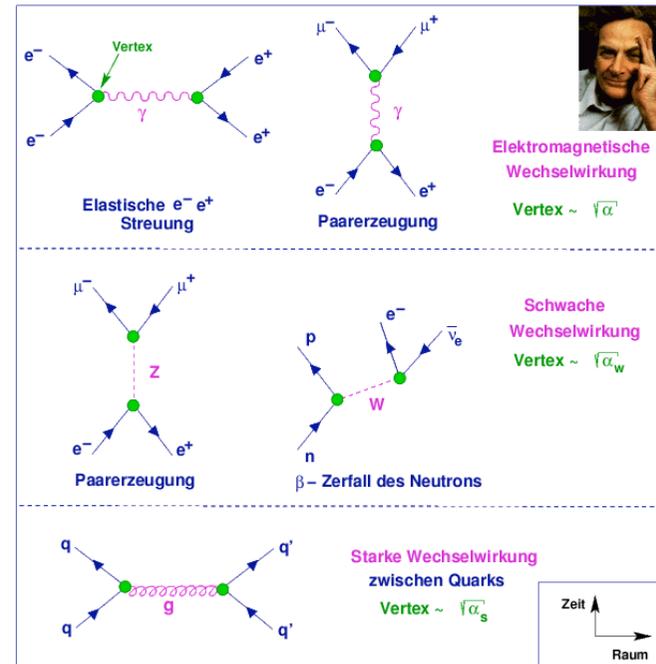
$\beta = \frac{v}{c}$: Teilchengeschwindigkeit

$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$: 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: $\Delta E \approx (\frac{m}{M})^4 \rightarrow$ für Protonen $\approx 10^{13}$ mal kleiner!



Absorption von γ Strahlung in Materie

Cherenkov-Strahlung

Spuren-Detektoren

Blasen-kammer

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

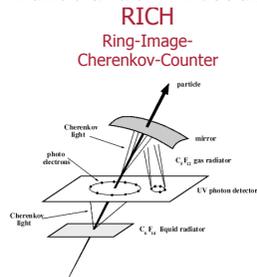
$$v > \frac{c}{n}$$

→ 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:



TODO

Photoeffekt:

Compton Streuung:

Paarbildung:

Ziel: Sichtbar machen von Teilchendurchgang → 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

74

TODO

Antwort

72

TODO

Antwort

78

TODO

Antwort

76

TODO

Antwort

Energiemessung

Grosse Detektorensysteme

Konzept

Tröpfchenmodell

Magische Zahlen

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

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.

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

Absorbierte Energie kann umgewandelt werden in:

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

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

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.

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

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