



Übungsblatt 2 (Lösungen)

Ausgabe am 30.10.2014

Besprechung am 5/6.11.2014, 15:00-16:00

Kurzreferat (ca. 15 min):

Feynman-Graphen:

Erläutern sie anhand von Beispielen die Elemente und die konsistente Darstellung von Reaktionen in Feynman-Graphen

Literatur: <http://indico.cern.ch/event/321902/material/slides/0.pdf>

Gruppe 1 (-)

Gruppe 2 (Nicolei Rothe)

Gruppe 3 (Kevin Marolt)

Gruppe 4 (Lukas Gussmann)

Aufgabe 1: Gravitation vs. Coulombkraft

- In welchen Abstand wäre die Coulombkraft zwischen Proton (Ladung $q = +e$) und Anti-Proton (Ladung $q = -e$) gleich der Gravitationskraft in 1 m Abstand? Geben Sie den Abstand in Lichtjahren an.
- Welche Masse müssen zwei jeweils einfach geladene Körper haben, damit sich Coulombkraft und Gravitationskraft in 1 m Abstand gerade aufheben?

Lösung 1:

- Die Coulombkraft ist gegeben durch

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad \epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

die Gravitationskraft durch

$$F_G = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2}$$

Für die Coulombkraft entsprechend $r_0 = 1 m$ Abstand gilt dann

$$r = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot q_1 q_2 \cdot \frac{1}{G} \cdot \frac{r_0}{m_1 m_2}} = 1.12 \cdot 10^{18} m = 118 ly$$

-

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

$$r = 1 m$$

$$m_i = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{G} \cdot q_i} = 1.86 \cdot 10^{-9} kg$$

Aufgabe 2: Starke Wechselwirkung vs. Coulomb

Quarks tragen elektrische Ladung sowie Farbladung. Das elektrische Potential zwischen zwei Quarks (in natürlichen Einheiten) ist

$$V_{Coulomb} = -\frac{\alpha}{r} q_1^e q_2^e$$



Kern- und Teilchenphysik

WiSe 2014/15

wobei $\alpha = \frac{1}{137}$ die elektromagnetische Kopplungskonstante (Feinstrukturkonstante), r der Abstand zwischen den zwei Quarks und q_i^e die Ladung in Bruchteilen der Ladung e ist. Das Farbpotential zwischen Quarks verschiedener Farbe ist

$$V_{color} = -\frac{4}{3} \cdot \frac{\alpha_s}{r} + k \cdot r$$

mit $k = 4.31 \text{ fm}^{-2}$ als empirischem Faktor, der das „Confinement“ quantifiziert und α_s als Kopplungskonstante der starken Wechselwirkung der Größenordnung $O(\alpha_s) \sim 1$.

- berechnen Sie die Größe der beiden Kräfte zwischen eine Paar von u-quarks ($q^e = -\frac{1}{3}$) im Abstand von 2 fm in natürlichen Einheiten und konvertieren sie diese anschließend in SI-Einheiten. Ist die genaue Kenntnis von α_s wichtig?
- Was ist die Gravitationskraft in diesem Abstand (Masse des u-Quark ist 3 MeV)

Lösung 2:

a)

$$\begin{aligned} V_{Coulomb} &= -\frac{\alpha}{r} \cdot q_1^e \cdot q_2^e = -4.055 \cdot 10^{-4} \text{ fm}^{-1} = -4.055 \cdot 10^{-4} \cdot (\hbar c) \text{ fm}^{-1} \\ &= -4.055 \cdot 10^{-4} \cdot 197 \text{ MeV} = 0.079 \text{ MeV} = 0.079 \cdot 1.602 \cdot 10^{-13} \text{ J} \\ &= 1.24 \cdot 10^{-14} \text{ J} \end{aligned}$$

$$F_{Coulomb} = \frac{V_{Coulomb}}{r} = \frac{1.24 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{2 \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 6.2 \frac{\text{J}}{\text{m}}$$

$$\begin{aligned} V_{Colour} &= -\frac{4}{3} \cdot \frac{\alpha_s}{r} + kr = -\frac{4}{3} \cdot \frac{\alpha_s}{2} + 8.62 \text{ fm}^{-1} \approx 8.62 \text{ fm}^{-1} = 1698 \text{ MeV} \\ &= 1698 \cdot 1.602 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 2.7 \cdot 10^{-10} \text{ J} \end{aligned}$$

$$F_{Colour} = \frac{V_{Colour}}{r} = \frac{2.7 \cdot 10^{-10} \text{ J}}{2 \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 1.35 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{m}}$$

b)

$$\begin{aligned} V_{Gravitation} &= G \cdot \frac{M \cdot m}{r} = G \cdot \frac{9}{2} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \left(\frac{(\text{MeV}/c^2)^2}{\text{fm}} \right) \right] \\ &= 6.67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{9}{2} \cdot 10^{15} \cdot (1.76 \cdot 10^{-30})^2 \text{ J} = 0.93 \cdot 10^{-54} \text{ J} \end{aligned}$$

$$F_{Gravitation} = \frac{0.93 \cdot 10^{-54} \text{ J}}{2 \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 4.7 \cdot 10^{-40} \frac{\text{J}}{\text{m}}$$