

Teilchen- und Kernphysik WS 2018/19

M. Kobel, K. Danziger, L. Wüst, O. Novgorodowa

Übung 1, Ausgabe 18.10.2018

1 Anwesenheitsübung und Diskussion zur Vorlesung

1.1 Heisenbergsche Orts-Impuls-Beziehung

Die Ausdehnung eines Protons ist ungefähr $r_p = 1$ fm. Wie groß ist r_p in natürlichen HL-Einheiten der Teilchenphysik? Was sagt dieser Wert über die Impulse der Quarks im Proton aus und warum?

2 Hausaufgaben

2.1 Schwerpunktsenergien bei Kollider-, und Fixed-Target Experimenten

Im Folgenden sollen die Strahlenergien von Fixed-Target und Kollider Experimenten verglichen werden. *Es soll dabei in jedem Schritt darauf geachtet werden, ob die Ruhemassen der beteiligten Teilchen im Vergleich zu ihren Impulsen und Energien vernachlässigt werden können*

1. Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie, die derzeit am **Large Hadron Collider (LHC)** bei der frontalen Kollision von Protonen mit einer Strahlenergie von jeweils 6,5 TeV zur Verfügung steht. Betrachten Sie nun ein "Fixed-Target" Experiment, bei dem ein kosmisches Proton auf ein Proton in der Atmosphäre trifft (hierbei soll angenommen werden, dass sich letzteres in Ruhe befindet). Welche Energie müsste das kosmische Proton haben, damit hier dieselbe Schwerpunktsenergie erreicht wird wie im Fall des Kollider Experiments?
2. Wiederholen Sie die Aufgabe für die Parameter der Hadron-Elektron-Ring-Anlage HERA am DESY, wo Elektronen mit einer Energie von 30 GeV frontal auf Protonen mit einer Energie von 920 GeV trafen, d.h. bestimmen Sie zunächst die Schwerpunktsenergie von HERA und dann die nötigen Energien in hypothetischen "Fixed-Target" Modi, sowohl für den Fall ruhender Elektronen als auch für ruhende Protonen.

2.2 Gebundene Zustände der elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung

Im Grundzustand gebundener Zustände ist die Gesamtenergie $E(p) = E_0 + T(p) + V(p)$ minimal, also $dE/dp = 0$, wobei E_0 die Ruheenergie, $T = E_{kin}$ die kinetische Energie und $V = E_{pot}$ die potenzielle Energie bezeichnen. Verwenden Sie im Folgenden natürliche Einheiten $\hbar c = 1$. Beim Einsetzen von Werten ist dann $\hbar c = 0,2 \text{ GeV} \cdot \text{fm}$ zu verwenden.

1. Ein gebundenes Teilchen der Masse m befinde sich in einem Potenzial der Form $V(r) = -\alpha/r$. Eliminieren Sie r zugunsten von p mit Hilfe der Heisenbergschen Unbestimmtheit. Begründen Sie deren Anwendung, indem Sie die Unschärfe in einer Ortskomponente betrachten, wie z.B. $\Delta x = \sqrt{\langle x^2 \rangle}$.
2. Berechnen Sie daraus mit Hilfe der nichtrelativistischen Beziehung für die kinetische Energie $T(p)$ die mittlere Geschwindigkeit $\beta = p/m$ eines gebundenen Teilchens im Grundzustand.
3. Welcher Bindungsradius ergibt sich als Funktion von α und m ? Wie müssen Sie diese Gleichung modifizieren, wenn Sie einen gebundenen Zustand zweier gleich großer Massen m betrachten?

4. Verifizieren Sie für das Beispiel des Wasserstoffatoms ($\alpha = \alpha_{em}$ und $m = m_e$), dass Sie mit diesem Verfahren die richtige Bindungsenergie von 13,6 eV erhalten.
5. Wiederholen Sie die Rechnung mit Hilfe des relativistischen Ausdrucks für $E_0 + T(p)$ und bestätigen Sie, dass man relativistisch für $\beta = p/E$ dasselbe Ergebnis wie oben erhält.
6. Die Schwache Wechselwirkung hat eine endliche Reichweite von $\lambda_W = 2$ am, unterhalb derer man ihr Potenzial ebenfalls mit $V(r) = -\alpha_W/r$ mit $\alpha_W = 1/30$ annähern kann. Dies bedeutet, dass alle Bindungsradien $r < \lambda_W$ sein müssen. Darf man nicht-relativistisch rechnen? Wie groß muss die (reduzierte) Masse des Systems sein, damit der Bindungsradius so klein wird? Ist das mit bekannten Teilchen möglich?

2.3 Klassischer Wirkungsquerschnitt einer harten Kugel

Ein leichtes Projektil streut mit einem Stoßparameter b nach Gesetzen des klassischen elastischen Stoßes an einer ruhenden, massiven Targetkugel vom Radius R .

1. Leiten Sie eine Beziehung zwischen Streuwinkel θ und Stoßparameter b her.
2. Fertigen Sie eine Skizze, die den in den Vorlesung hergeleiteten Ausdruck für den differentiellen Wirkungsquerschnitt $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| \frac{b}{\sin \theta} \frac{db}{d\theta} \right|$ veranschaulicht.
3. Berechnen Sie daraus den differentiellen Wirkungsquerschnitt. Hängt er vom Streuwinkel θ ab?
4. Wie groß ist der totale Wirkungsquerschnitt?