

---

# Übungen zur Vorlesung Physik IV – Kern- und Teilchenphysik –

Prof. C. Zeitnitz, Dr. F. Ellinghaus, Dr. A. Pollmann

Sommersemester 2016

Universität Wuppertal

---

## BLATT X

ABGABE BIS DONNERSTAG, DEN 7. JULI 2016, 12:00

### 1. $\Upsilon$ -Resonanz

(5 Punkte)

Am Elektron-Positron-Speicherring CESR wurde die  $\Upsilon(1S)$ -Resonanz mit einer Masse von ca.  $9460 \text{ MeV}/c^2$  detailliert vermessen

- (a) Berechnen Sie die Unschärfe der Strahlenergie  $E$  und der Schwerpunktsenergie  $W$ , wenn der Speicherring einen Krümmungsradius von  $R = 100 \text{ m}$  besitzt. Es gilt  $\delta E = \sqrt{\frac{55}{32\sqrt{3}} \frac{\hbar c m_e c^2}{2R} \gamma^4}$

Was bedeutet diese Energieunschärfe für die experimentelle Messung der Zerfallsbreite des  $\Upsilon$  (Verwenden Sie die Information aus Teil b)?

- (b) Integrieren Sie die Breit-Wigner Formel über den Energiebereich der  $\Upsilon(1S)$  Resonanz. Der experimentell ermittelte Wert dieses Integrals für die hadronischen Endzustände beträgt  $\int \sigma(e^+e^- \rightarrow \Upsilon \rightarrow \text{Hadronen}) dW \approx 300 \text{ nb MeV}$ .
- (c) Die Zerfallswahrscheinlichkeit für  $\Upsilon \rightarrow l^+l^-$  ( $l = e, \mu, \tau$ ) beträgt jeweils ca. 2.5%. Wie groß ist die totale natürliche Zerfallsbreite? Welchen Wirkungsquerschnitt würde man im Resonanzmaximum erwarten, falls es keine Energieunschärfe im Strahl gäbe?

### 2. Paarproduktion

(5 Punkte)

Wenn ein Elektron mit hoher Energie in Materie eindringt, erzeugt es durch Bremsstrahlung Photonen. Diese wiederum erzeugen  $e^+e^-$ -Paare durch Paarproduktion. Bei genügend hohen Anfangsenergien, wiederholen sich diese beiden Prozesse mehrfach und man spricht von einer elektromagnetischen Kaskade.

- (a) Berechnen Sie die maximale Wellenlänge von Gammastrahlung in Materie, bei der Paarerzeugung stattfinden kann.

- (b) Ein Positron und ein Elektron treffen mit vernachlässigbarer kinetischer Energie aufeinander und produzieren zwei Photonen. Welche Wellenlänge haben diese dann?
- (c) Zeigen Sie, dass ein  $e^+e^-$ -Paar nicht durch ein isoliertes Photon erzeugt werden kann.

### 3. Neutrinooszillation

(10 Punkte)

Für den Nachweis der Neutrinooszillation wurde der Nobelpreis 2015 vergeben (siehe [https://www.kva.se/globalassets/priser/nobel/2015/fysik/sciback\\_fy\\_en\\_15.pdf](https://www.kva.se/globalassets/priser/nobel/2015/fysik/sciback_fy_en_15.pdf)).

Wenn hochenergetische kosmische Strahlung auf die Erdatmosphäre trifft, entsteht eine Kaskade von Teilchenreaktionen, in denen auch Pionen erzeugt werden. Diese zerfallen, unter anderem, in Myonen und Myonneutrinos. Die Super-Kamiokande Kollaboration führte ein sogenanntes "neutrino-disappearance" Experiment durch, d.h. sie maßen weniger Myon-Neutrinos mit ihrem Detektor, als man ohne Oszillation erwarten würde.

- (a) Es ist üblich die Oszillation nur auf zwei Neutrino-Sorten zu beschränken. Damit ergibt sich die Mischungsmatrix zwischen den Flavour-Eigenzuständen  $v_\mu$  und  $v_e$  und den Massen-Eigenzuständen  $v_1$  und  $v_2$ .

$$\begin{pmatrix} v_\mu \\ v_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Berechnen Sie  $v_\mu(t)$  in Abhängigkeit von den Masseneigenzuständen.

- (b) Die Masseneigenzustände propagieren mit  $v_i(t) = v_i(0) \cdot e^{-iE_i \cdot t}$ . Nehmen Sie an, dass  $m_i$  viel kleiner als  $E_i$  ist und berechnen Sie  $v_\mu(t)$  in Abhängigkeit von den Impulsen.
- (c) Ein Myon-Neutrino ist zum Zeitpunkt  $t = 0$  erzeugt worden. Zeigen Sie, dass zu einem späteren Zeitpunkt  $t$  die Wahrscheinlichkeit, dass es weiterhin ein Myon-Neutrino ist, in natürlichen Einheiten und im Ruhesystem des Neutrinos gegeben ist durch  $P_\mu(t) = \left| \frac{v_\mu(t)}{v_\mu(0)} \right|^2 = 1 - \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 \left[ \frac{t}{2} (E_2 - E_1) \right]$ .
- (d) Berechnen Sie  $P_e(t)$  aus  $P_\mu(t)$ . Berechnen Sie nach welcher Zeit und in welchem Abstand die Hälfte der Myon-Neutrinos in Elektron-Neutrinos oszilliert sind. Nehmen Sie an, dass  $m_{\nu_e} = 2 \text{ eV}$ ,  $m_{\nu_\mu} = 3 \text{ eV}$ ,  $E = 1 \text{ GeV}$  und  $\theta = 34^\circ$ .
- (e) Wenn die Myon-Neutrinos mit Hilfe eines Beschleunigers immer an der gleichen Stelle erzeugt werden, in welchem Abstand würden Sie einen Neutrino-Detektor bauen um das Verschwinden der Myon-Neutrinos möglichst präzise zu messen. Geben Sie eine Begründung an, eine Rechnung ist nicht notwendig.

---

Die Übungsblätter und weitere Informationen sind verfügbar unter <http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~elli/KerneTeilchenSoSe16/>

anna.pollmann@uni-wuppertal.de