



## Übung 1

(Ausgabe: 09.10.2014, Abgabe: 14.10.2014)

### Einfache Fragen (werden in der Übung besprochen – unbewertet)

▪ **Frage 1:**

Beschleunigte Teilchen werden genutzt, um kleinste Strukturen wie auch den Atomkern zu untersuchen. Dazu werden die Teilchen auf Energien beschleunigt, die die zu untersuchenden Strukturen „auflösen“ können. Hierzu folgende Beispiele:

- FN-Tandem-Beschleuniger (IKP, Köln): Protonen mit 20 MeV,
- Elektron-Stretcher-Anlage ELSA (HISKP, Bonn): Elektronen mit 3,5 GeV,
- Large-Hadron Collider LHC (Cern, Genf): Blei-Kerne mit 574 TeV (2,76 TeV/u).

Wie groß ist die de Broglie-Wellenlänge der beschleunigten Teilchen und welche Strukturen bzw. physikalischen Systeme können Sie mit den jeweiligen Sonden untersuchen?

▪ **Frage 2:**

Ein Tandem-Beschleuniger, wie am Institut für Kernphysik in Köln, kann die angelegte Terminalsplannung durch einen Umladeprozess in der Mitte des Beschleunigertanks zweimal nutzen. Dadurch werden z.B. Protonen durch eine 10 MV Terminalsplannung auf 20 MeV/u und He<sup>2+</sup>-Ionen auf 7.5 MeV/u beschleunigt. Auf welche maximale Energie kann ein durch die Umladung vollständig-ionisierter Kohlenstoff-Ionenstrahl mit dieser Terminalsplannung beschleunigt werden, wenn er vor dem Umladeprozess einfach negativ geladen war?

▪ **Frage 3:**

In der Vorlesung haben Sie bereits gelernt, dass drei der vier elementaren Wechselwirkungen essentiell für das Verständnis der Kernphysik sind. Später werden Sie lernen, dass die jeweilige Wechselwirkung durch sogenannte „Austauschbosonen“ vermittelt wird. Im Falle der starken Wechselwirkung auf der Skala des Atomkernes können Pionen als die relevanten Austauschbosonen angesehen werden. Diese haben eine typische Masse von 140 MeV/c<sup>2</sup>.

Schätzen Sie mit Hilfe der Energieunschärfe  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$  ein oberes Limit für ihre Lebensdauer ab und berechnen Sie die Strecke, welche die Pionen in dieser Zeit zurücklegen können unter der Annahme, dass sie sich mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen! Was sagt das erhaltene Ergebnis über die starke Wechselwirkung aus? Welche Wechselwirkungen sind noch relevant für den Atomkern?

▪ **Frage 4:**

Was versteht man unter dem Wirkungsquerschnitt einer Reaktion und wie ist der totale Wirkungsquerschnitt definiert? Nennen Sie die typische Größenordnung von Wirkungsquerschnitten für kernphysikalische Reaktionen.

(Bitte wenden)

**Übungsaufgaben (sind zuhause zu lösen und werden in der nächsten Übung eingesammelt und bewertet – zulassungsrelevant)**

▪ **Aufgabe 1: Rutherford'sches Streuexperiment (18 Punkte)**

- a) Beschreiben Sie kurz das Rutherford'sche Streuexperiment. (2 Punkte)
- b) Welche Eigenschaft von Atomen konnte aus dem Experiment abgeleitet werden? (1 Punkt)
- c) Leiten Sie die Rutherford'sche Streuformel klassisch ab und skizzieren Sie das Streuproblem mit den relevanten Größen. (5 Punkte) (Tipp: Einige, der in der Vorlesung vorgeschlagenen Lehrbücher liefern nützliche Tipps.)

**Als Erinnerung:** Die Rutherford'sche Streuformel

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( 1.44 \text{ MeVfm} \frac{zZ}{4E_\alpha} \right)^2 \cdot \frac{1}{\sin^4 \theta/2}$$

- d) Eine  $\alpha$ -Quelle mit einer Intensität von  $I = 10^8$  Zerfällen/s liefert  $\alpha$ -Teilchen mit einer Energie von  $E_\alpha = 5$  MeV. Diese werden an einem  $^{197}\text{Au}$  Target gestreut. Die Goldfolie befindet sich in einem Abstand  $a = 20$  cm zur Quelle, hat einen Durchmesser von 1 cm und eine Dicke von  $d = 50$   $\mu\text{m}$ . Berechnen Sie den differentiellen Wirkungsquerschnitt des Streuprozesses unter den Winkeln  $\theta = 15^\circ, 90^\circ$  und  $150^\circ$  für reine Rutherford-Streuung. (3 Punkte)
- e) Unter den genannten Winkeln, siehe **d**), werden nun Teilchendetektoren platziert. Diese haben eine kreisförmige Fläche mit einem Durchmesser von  $d_{\text{Detektor}} = 2$  cm und einen Abstand von  $a = 20$  cm zur Goldfolie. Berechnen Sie, die Anzahl an  $\alpha$ -Teilchen pro Sekunde in den Detektoren. Vernachlässigen Sie Öffnungswinkeleffekte der Detektoren. (3 Punkte)
- f) Wie lange müssen Sie mit der experimentellen Anordnung in **e**) mindestens messen, um einen statistischen Fehler, d.h.  $\sigma$  aus der Poissonverteilung, von weniger als 1% zu erreichen? Wie können Sie die benötigte Messzeit verringern? (3 Punkte)
- g) Wann wird die Rutherford'sche Streuformel ungültig? Skizzieren Sie einen möglichen Verlauf des differentiellen Wirkungsquerschnitts als Funktion von  $E_\alpha$  für einen gegebenen Detektionswinkel. (1 Punkt) (**Tipp:** Nützliche Informationen können in den empfohlenen Lehrbüchern gefunden werden.)

▪ **Aufgabe 2: Aufbau des Atomkerns – Nuklidkarte (12 Punkte)**

- a) Wie viele stabile Zinn-Isotope gibt es? Nennen Sie diese. (4 Punkte)
- b) Wie viele stabile  $N = 82$  Isotone gibt es? Nennen Sie diese. (3 Punkte)
- c) Wie viele stabile Isobare der Massen  $A = 40, 58, 124, 138, 150,$  und  $204$  gibt es? Nennen Sie diese. Fällt Ihnen etwas auf? (5 Punkte)

Eine Nuklidkarte finden Sie z.B. hier: <http://www.nndc.bnl.gov/chart/>

*Insgesamt wird es zwölf Übungen geben. Jede wird mit 30 Punkten bewertet werden. Von der Gesamtpunktzahl von 360 Punkten müssen 180 Punkte erreicht werden und ein Femtoprojekt aktiv bearbeitet worden sein, um die Klausurzulassung zu erlangen. Insgesamt dürfen nur zwei Übungen nicht bearbeitet werden. Abgaben in Gruppen von bis zu drei Studenten sind erlaubt und werden empfohlen. Für weitere Hinweise zu den Übungen beachten Sie bitte auch die Informationen auf der Webseite zu dieser Veranstaltung!*