

---

**Prüfungsteilnehmer**

**Prüfungstermin**

**Einzelprüfungsnummer**

---

**Kennzahl:** \_\_\_\_\_

**Kennwort:** \_\_\_\_\_

**Arbeitsplatz-Nr.:** \_\_\_\_\_

**Frühjahr  
2015**

**44011**

---

**Erste Staatsprüfung für ein Lehramt an öffentlichen Schulen  
— Prüfungsaufgaben —**

---

**Fach: Physik (Unterrichtsfach)**

**Einzelprüfung: Aufbau der Materie**

**Anzahl der gestellten Themen (Aufgaben): 1**

**Anzahl der Druckseiten dieser Vorlage: 5**

---

**Sämtliche Teilaufgaben sind zu bearbeiten!**

**Bitte wenden!**

---

### Teilaufgabe 1:

#### **Myonische Atome**

Im folgenden Gedankenexperiment soll ein Lithiumatom zuerst komplett ionisiert werden, im Anschluss ein einzelnes Myon einfangen und zuletzt durch Binden von Elektronen wieder zum neutralen Atom werden. Das Myon ist wie das Elektron ein Lepton, welches einfach negativ geladen ist und eine Masse von 206,7 Elektronenmassen besitzt.

Betrachten Sie zunächst die Situation nach dem Einfang des Myons, aber vor dem Einfang der Elektronen.

- a) Geben Sie einen Ausdruck für den Bahnradius des eingefangenen Myons im Grundzustand an und berechnen Sie dessen Wert in Einheiten des Bohrschen Radius!  
(3 Punkte)
- b) Zeigen Sie durch Rechnung, dass in Teilaufgabe a) die Gravitationskraft vernachlässigt werden darf!  
(2 Punkte)
- c) Berechnen Sie die Bindungsenergie des eingefangenen Myons!  
(3 Punkte)

Im Folgenden soll das myonische Lithiumion durch Einfang von Elektronen vollständig neutralisiert werden.

- d) Begründen Sie qualitativ, ob diese zusätzlichen Elektronen einen merklichen Einfluss auf den in Teilaufgabe a) berechneten Bahnradius des Myons haben!  
(2 Punkte)
- e) Berechnen Sie das magnetische Bahnmoment (Produkt aus Kreisstrom und Fläche) in Einheiten des Bohrschen Magneton, welches dem Myon auf seiner Kreisbahn um den Kern klassischerweise zugeordnet werden kann!  
(4 Punkte)
- f) Kann man mit Hilfe der Spektroskopie prinzipiell myonische Lithiumatome von normalen Lithiumatomen unterscheiden? Begründen Sie Ihre Antwort stichhaltig!  
(3 Punkte)
- g) Geben Sie an, welche Niveaus die Elektronen im neutralen Atom mit einem Myon im Grundzustand unter Berücksichtigung des Pauliprinzips besetzen!  
(3 Punkte)

**Fortsetzung nächste Seite!**

## Teilaufgabe 2:

### **Kerne und Teilchen: Radioaktiver Zerfall**

- a) Stellen Sie die Ratengleichung des radioaktiven Zerfalls auf, also den Zusammenhang zwischen der zeitlichen Änderung der Teilchenzahl und der Teilchenzahl selbst, und leiten Sie daraus das radioaktive Zerfallsgesetz her!  
(3 Punkte)
- b) Beim radioaktiven Zerfall von  $^{60}\text{Co}$  wandelt sich im Kern ein Neutron in ein Proton um. Stellen Sie die vollständige Zerfallsgleichung auf! Wie heißt dieser radioaktive Zerfall?  
(3 Punkte)
- c) Die Aktivität einer  $^{60}\text{Co}$ -Probe nimmt innerhalb von 142 Tagen um 5% ab. Berechnen Sie mit Hilfe dieser Angaben die Halbwertszeit von  $^{60}\text{Co}$ !  
(3 Punkte)
- d) Begründen Sie mit Hilfe der Eigenschaften der beteiligten Quarks, wieso ein freies Neutron zerfallen kann!  
(2 Punkte)
- e) Beim in Teilaufgabe b) betrachteten radioaktiven Zerfall von  $^{60}\text{Co}$  wird auch  $\gamma$ -Strahlung beobachtet. Geben Sie an, was  $\gamma$ -Strahlung ist, und erläutern Sie, durch welchen Teilprozess sie im vorliegenden Fall entsteht!  
(2 Punkte)
- f) Erläutern Sie mit Hilfe einer aussagekräftigen Skizze des Potentialverlaufs, auf welchem quantenmechanischen Effekt der  $\alpha$ -Zerfall von Kernen beruht!  
(3 Punkte)
- g) Zeichnen Sie qualitativ in jeweils ein Diagramm die typischen Spektren der Strahlungsenergie von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung, die durch Kernzerfälle verursacht wird! Begründen Sie jeweils kurz die Form der Spektren!  
(4 Punkte)

**Fortsetzung nächste Seite!**

### Teilaufgabe 3:

#### Leitfähigkeit von Metallen

Perfekte Festkörper besitzen einen periodischen Atomaufbau und anders als isolierte Atome eine Bandstruktur.

- a) Erläutern Sie die Begriffe *Bandstruktur*, *Leitungsband*, *Valenzband* und *Fermienergie*! Skizzieren Sie die Bandstruktur für ein Metall und im Vergleich dazu die Bandstrukturen für einen Isolator und einen Halbleiter!

(4 Punkte)

- b) Erläutern Sie, welche Energie Elektronen im Leitungsband besitzen, die zur Leitfähigkeit von Metallen beitragen!

(2 Punkte)

- c) Aus einem Modell auf der Basis der klassischen Physik wurde Anfang des 20. Jahrhunderts eine Formel für die Leitfähigkeit von Metallen hergeleitet. Um zu dieser Formel zu gelangen, nehmen Sie an, dass es sich bei den Elektronen im Festkörper um klassische freie Teilchen handelt, die durch ein konstantes elektrisches Feld  $E$  beschleunigt werden, bis sie nach einer Stoßzeit  $\tau$  durch einen Stoß wieder gestoppt werden.

Berechnen Sie die Geschwindigkeit eines Elektrons nach der Zeit  $\tau$  und die mittlere Geschwindigkeit  $\bar{v}$  im Zeitintervall zwischen  $t = 0$  und  $t = \tau$ !

Die Stromdichte hängt mit der mittleren Geschwindigkeit  $\bar{v}$  über  $j = ne\bar{v}$  zusammen ( $n$  = Zahl der Leitungselektronen pro Volumen). Leiten Sie aus diesem Modell die unten stehende Formel für die spezifische Leitfähigkeit  $\sigma$  her:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{2m_e}$$

*Hinweis:* Benutzen Sie das Ohmsche Gesetz in der Form  $j = \sigma \cdot E$ .

(7 Punkte)

- d) Kupfer hat die Dichte  $8,96 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  und jedes Atom liefert im Mittel ein frei bewegliches Elektron. Berechnen Sie die Dichte dieser Elektronen! (Ersatzwert:  $8,46 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ )

(3 Punkte)

- e) Berechnen Sie die mittlere Stoßzeit  $\tau$  für Elektronen in reinem Kupfer mit einem spezifischen Widerstand von  $\rho = \sigma^{-1} = 1,69 \cdot 10^{-2} \mu\Omega\text{m}$  und nennen Sie zwei physikalische Prozesse, die als Stoß angesehen werden können!

(4 Punkte)

**Fortsetzung nächste Seite!**

#### Teilaufgabe 4:

##### Rotationsspektren zweiatomiger Gase

- a) Geben Sie die klassische Rotationsenergie eines starren, zweiatomigen Moleküls (Hantel aus den Massen  $m_1$  und  $m_2$ ) als Funktion des Drehimpulses und der Atomkoordinaten  $r_1$  und  $r_2$  an! Die Rotation erfolgt um den Schwerpunkt des Systems senkrecht zur Verbindungsachse. (3 Punkte)

- b) Der quantenmechanische Ausdruck für die Rotationsenergie lautet:

$$E_{rot} = \frac{\hbar^2}{2\Theta} J(J+1)$$

Geben Sie an, welche physikalische Größe durch  $\Theta$  dargestellt wird!

In der Quantenmechanik ist der Drehimpuls quantisiert. Geben Sie an, welche Werte  $J$  annehmen kann!

(3 Punkte)

- c) Skizzieren Sie in einem Energiediagramm die Rotationsniveaus und die Werte der Übergangsenergien! Leiten Sie eine Formel für die Übergangsfrequenzen her, die in einem Absorptionsspektrum beobachtet werden! Beachten Sie dabei die Auswahlregel  $\Delta J = \pm 1$ ! (4 Punkte)

- d) Bestimmen Sie die Bindungslängen in den Molekülen HBr und  $N_2$ , wenn beim Übergang von  $J = 1$  nach  $J = 0$  elektromagnetische Strahlung der Energie

$$E_{HBr} = 1,85 \text{ meV}$$

$$E_{N_2} = 0,494 \text{ meV}$$

emittiert wird!

(4 Punkte)

- e) Das Rotationsspektrum von HBr lässt sich im Experiment durch die direkte Absorption elektromagnetischer Strahlung bestimmen. Für  $N_2$  funktioniert dies nicht. Begründen Sie diesen Unterschied! In welchem Frequenz- oder Wellenzahlenbereich finden sich die Rotationsübergänge? (4 Punkte)

- f) Nennen Sie einen Mechanismus, der zu einer Verbreiterung der einzelnen Absorptionslinien führt und erläutern Sie ihn kurz!

(2 Punkte)