



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2010

## Physik, Leistungskurs

### Aufgabenstellung:

#### Aufgabe 1: Das Fadenstrahlrohr – ausgewählte Experimente und Überlegungen

1. Im Fadenstrahlrohr (siehe Abbildung 1) wird mit Hilfe einer Elektronenkanone ein scharf gebündelter Elektronenstrahl erzeugt. Die Bahnkurve, auf der sich die Elektronen im Fadenstrahlrohr bewegen, ist als blau leuchtende Kurve sichtbar. Mit einem Helmholtzspulenpaar kann ein Magnetfeld zur Ablenkung des Elektronenstrahls erzeugt werden. Bei geeigneter Justierung des Systems bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn (siehe Abbildung 2).

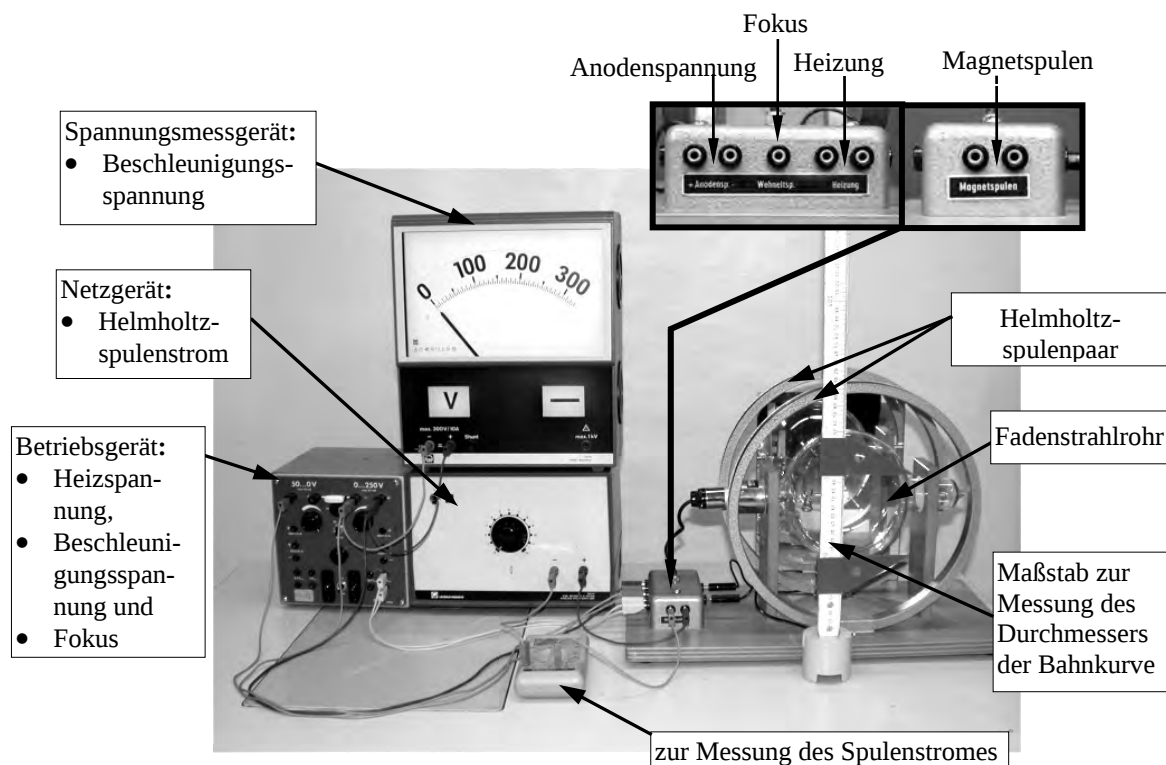


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons



Name: \_\_\_\_\_

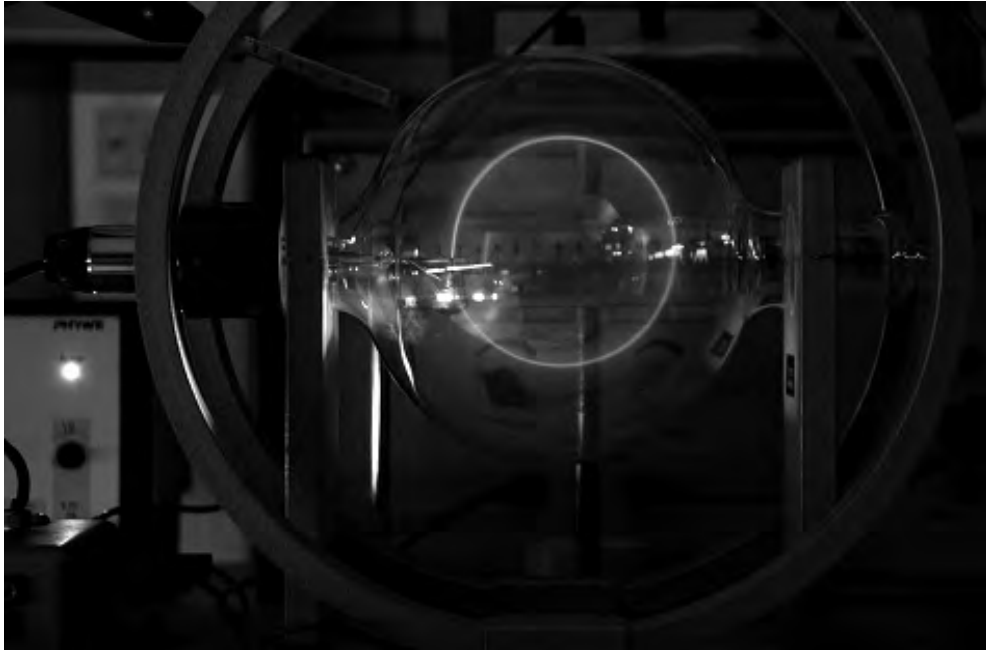


Abbildung 2: Fotografisch registrierte kreisförmige Bahnkurve im Fadenstrahlrohr

- 1.1 a) *Skizzieren Sie den Aufbau des Fadenstrahlrohres, insbesondere der Elektronenkanone mit der entsprechenden elektrischen Schaltung.*

Hinweis: Die Helmholtzspulen sowie deren Stromversorgung sollen nicht skizziert werden.

- b) *Erläutern Sie, wie der Elektronenstrahl erzeugt wird.*
- c) *Erläutern Sie, warum die Bahnkurve, auf der sich die Elektronen bewegen, sichtbar ist.* (13 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

1.2 Die Abbildung 2 zeigt die Fotografie einer Bahnkurve, auf der sich Elektronen im Fadenstrahlrohr durch das homogene magnetische Feld des Helmholtzspulenpaares bewegen.

- a) *Skizzieren Sie eine kreisförmige Bahnkurve und für ein einzelnes Elektron in einem beliebigen Punkt dieser Bahnkurve den Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}$ , die auf das Elektron wirkende Zentripetalkraft  $\vec{F}_Z$  sowie das für die Kreisbahn erforderliche magnetische Feld.*
- b) *Begründen Sie, warum der Betrag der Geschwindigkeit konstant ist.*
- c) *Begründen Sie, warum sich eine kreisförmige Bahnkurve ergibt.* (10 Punkte)

1.3 Der Radius  $r$  der kreisförmigen Bahnkurve kann gemäß  $r = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}}$

berechnet werden.

( $e$  bezeichnet die Elementarladung,  $m$  die Masse des Elektrons,  $U_B$  die Beschleunigungsspannung und  $B$  die Stärke des magnetischen Feldes.)

*Leiten Sie diese Formel her und erläutern Sie Ihren Ansatz.* (11 Punkte)

- 1.4 a) *Überprüfen Sie, unter welchen Randbedingungen die sachliche Richtigkeit der folgenden Aussagen zur Bewegung von Elektronen im Fadenstrahlrohr gegeben ist.*
  - (1) *„Wird die Beschleunigungsspannung  $U_B$  vergrößert, so wird die Geschwindigkeit  $v_0$ , mit der die Elektronen die Elektronenkanone verlassen, größer.“*
  - (2) *„Wenn  $v_0$  größer wird, dann wird auch die auf die Elektronen wirkende Lorentzkraft  $F_L$  größer.“*
  - (3) *„Wenn die Lorentzkraft  $F_L$  größer wird, wird der Kreisbahnradius  $r$  kleiner.“*



Name: \_\_\_\_\_

- 1.4 b) Werden die Aussagen (1) bis (3) des Aufgabenteils a) hintereinander gelesen, so legen sie (insgesamt) den folgenden Schluss nahe:

(1) – (3) → „Eine Vergrößerung der Beschleunigungsspannung  $U_B$  hat eine Verkleinerung des Kreisbahnradius  $r$  zur Folge.“

*Diskutieren Sie, warum diese Schlussfolgerung falsch ist.* (11 Punkte)

- 1.5 In einem Experiment ermittelt man bei einer Beschleunigungsspannung von  $U_B = 200$  V den Radius  $r$  der kreisförmigen Bahnkurve der Elektronen in Abhängigkeit von der Stärke  $B$  des magnetischen Feldes. Es ergeben sich folgende Messwerte:

$B$ in mT	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$r$ in cm	4,8	4,0	3,4	3,0	2,6	2,4

- a) *Ermitteln Sie anhand der Messwerte den Zusammenhang zwischen dem Kreisbahnradius  $r$  und der Stärke  $B$  des magnetischen Feldes, indem Sie diese in ein geeignetes Diagramm eintragen und auswerten.*
- b) *Bestimmen Sie anhand der Auswertung der Messwerte und der in Teilaufgabe 1.3 angegebenen Beziehung einen Wert für die spezifische Ladung  $\frac{e}{m}$  des Elektrons.*

(13 Punkte)

- 1.6 *Zeigen Sie, dass die Umlaufzeit  $T$  der Elektronen im Fadenstrahlrohr gemäß*

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{e \cdot B} \text{ berechnet werden kann und somit unabhängig von der Geschwindigkeit}$$

*$v$  der Elektronen ist.*

(6 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## Aufgabe 2: Entstehung und Analyse von Röntgenstrahlung – das Röntgenspektrum nach der Bragg-Reflexion

Mit einem Schulröntengerät wird ein Röntgenspektrum erzeugt. Abbildung 1 zeigt ein solches Spektrum, bei dem die Zählrate  $R$  in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  der Strahlung aufgetragen ist.

Für die Messung wird der in Abbildung 2 schematisch skizzierte Aufbau benutzt, bei dem eine Röntgenanode aus Molybdän ( $Z = 42$ ) und ein NaCl-Einkristall (Netzebenenabstand  $d = 282$  pm) verwendet wurde. Die Zählrate  $R$  wird mit einem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen, die Kollimatoren dienen lediglich der Bündelung des Röntgenstrahls.

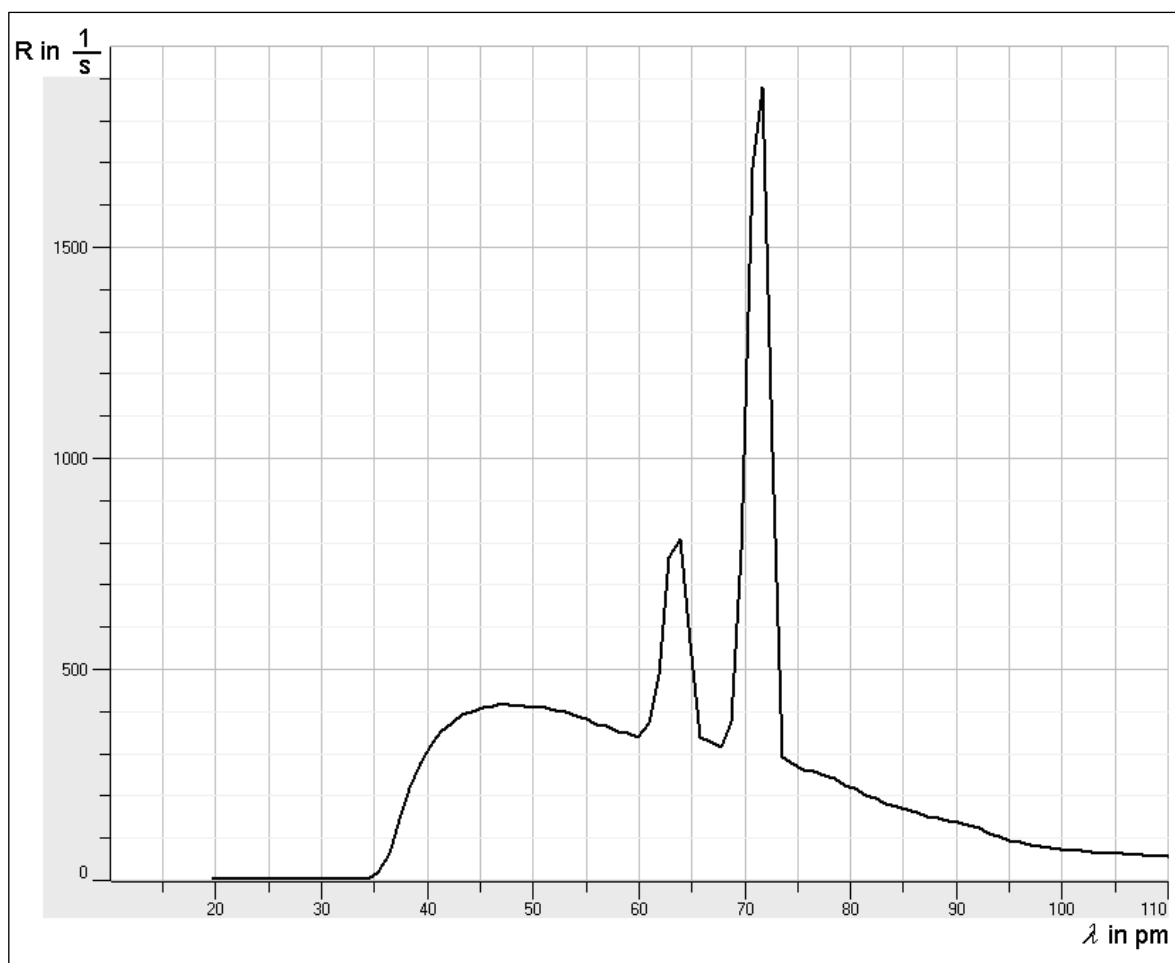


Abbildung 1: Röntgenspektrum



Name: \_\_\_\_\_

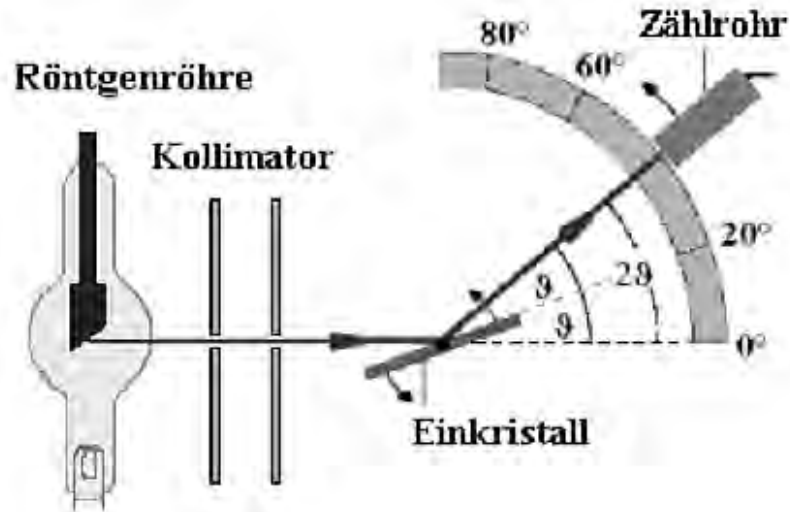


Abbildung 2: Aufbau zur Aufnahme des Röntgenspektrums

2.1 Zunächst geht es um den Entstehungsprozess der Röntgenstrahlung.

- Beschreiben Sie den Aufbau der Röntgenröhre und ergänzen Sie die Abbildung 2 durch die elektrische Beschaltung der Röhre.
- Erläutern Sie die Wechselwirkungsprozesse in der Anode, die zur Entstehung der Röntgenstrahlung beitragen.
- Geben Sie begründet an, welches der beiden ausgeprägten Maxima in Abbildung 1 zur  $K_{\alpha}$ - und welches zur  $K_{\beta}$ -Strahlung gehört. (15 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

- 2.2 Die Aufnahme des Spektrums erfolgt durch die Drehung des Einkristalls um den Winkel  $\vartheta$  bei gleichzeitiger Drehung des Zählrohrs um den Winkel  $2 \cdot \vartheta$  (siehe Abbildung 2).
- a) *Erläutern Sie diese Methode, indem Sie auf die Beugung an den Netzebenen des Einkristalls („Bragg-Reflexion“) eingehen.*
- b) *Leiten Sie mit einer geeigneten Skizze die Bragg-Beziehung  $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta$  her ( $n = 1, 2, \dots$ ;  $d$ : Netzebenenabstand;  $\vartheta$ : der in Abbildung 2 vorkommende Drehwinkel (Glanzwinkel)).* (10 Punkte)
- 2.3 Aus den Wellenlängenangaben der charakteristischen Maxima in Abbildung 1 lassen sich die zugehörigen Strahlungsenergien und mit Hilfe der Bragg-Beziehung die Glanzwinkel  $\vartheta$  ermitteln.
- a) *Geben Sie Wellenlängenwerte der beiden Maxima anhand der grafischen Auswertung an und berechnen Sie damit die Strahlungsenergien in der Einheit keV. (Zwischenergebnis:  $E_1 \approx 19,6$  keV und  $E_2 \approx 17,5$  keV)*
- b) *Bestimmen Sie diejenigen Glanzwinkel, die zu den beiden Maxima im Wellenlängenspektrum führen, in der 1. bis 3. Ordnung.*
- c) *Begründen Sie, warum die Winkelunterschiede zwischen den Maxima in den verschiedenen Ordnungen nicht konstant sind.* (13 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

2.4 Für drei verschiedene Anodenspannungen in der Röhre nimmt man im kurzwelligen Bereich das in Abbildung 3 dargestellte Spektrum auf. Die Werte der Anodenspannungen sind in dem Diagramm angegeben.

- Deuten Sie die kurzwellige Grenze des Spektrums im Photonenmodell.
- Begründen Sie, warum die charakteristischen Maxima stets an derselben Stelle (bei derselben Wellenlänge) entstehen.
- Ermitteln Sie anhand des Diagramms die Grenzwellenlänge für die drei Anodenspannungen.
- Bestimmen Sie mit diesen Wellenlängenwerten und den zugehörigen Anodenspannungen den Wert der Planck'schen Konstanten  $h$ . (13 Punkte)

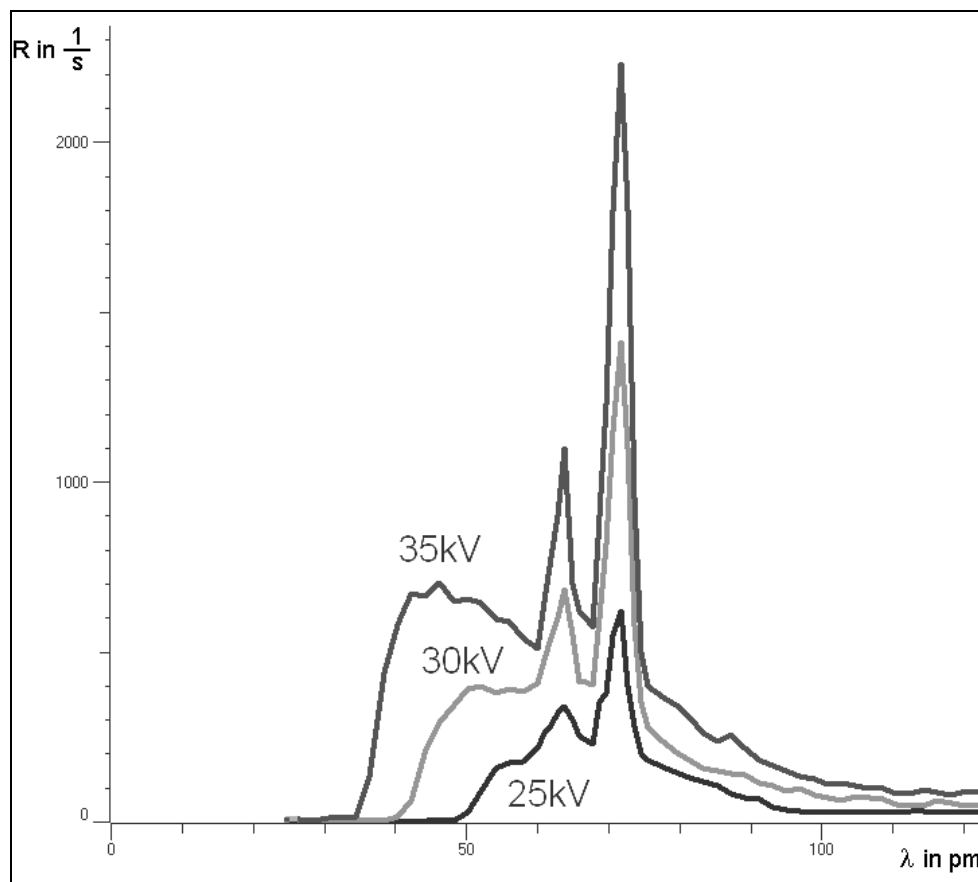


Abbildung 3: Kurzwelliges Ende des Spektrums mit verschiedenen Anodenspannungen





Name: \_\_\_\_\_

- 2.5 M. G. J. Moseley untersuchte 1913 die charakteristische Röntgenstrahlung von verschiedenen Anodenmaterialien (Kernladungszahl  $Z$ ). Er stellte dabei unter Einbeziehung des Bohr'schen Atommodells folgende Gesetzmäßigkeit auf, die näherungsweise für die Energie  $\Delta E$  der Strahlungsübergänge zwischen den Niveaus mit den Hauptquantenzahlen  $m$  und  $n$  ( $m > n$ ) gilt:

$$\Delta E = 13,6 \text{ eV} \cdot (Z - a)^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Die Zahl  $a$ , um die die Kernladungszahl  $Z$  reduziert wird, heißt „Abschirmkonstante“.

- a) Wir betrachten zunächst das Wasserstoff-Atom mit  $Z = 1$  und  $a = 0$ , also

$$\Delta E = 13,6 \text{ eV} \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

*Erläutern Sie die physikalische Bedeutung der Formel.*

- b) Bei anderen Atomen kann für Übergänge von  $m = 2$  und  $m = 3$  nach  $n = 1$  in guter Näherung  $a = 1$  gesetzt werden.

*Bestimmen Sie mit dieser Voraussetzung die Energie der  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Strahlung von Molybdän und ermitteln Sie die prozentuale Abweichung von den experimentell ermittelten Werten aus Aufgabenteil 2.3 a).*

*Interpretieren Sie, warum für Mehrelektronenatome die Einführung der Konstanten  $a > 0$  sinnvoll ist, insbesondere  $a = 1$  für den Übergang nach  $n = 1$ .*

(12 Punkte)

### Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2010

## Physik, Leistungskurs

---

### 1. Aufgabenart

- Bearbeitung eines Demonstrationsexperiments
- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung

Aufgabe 1: Das Fadenstrahlrohr – ausgewählte Experimente und Überlegungen  
(64 Punkte)

Aufgabe 2: Entstehung und Analyse von Röntgenstrahlung – das Röntgenspektrum nach der Bragg-Reflexion  
(63 Punkte)

### 3. Materialgrundlage

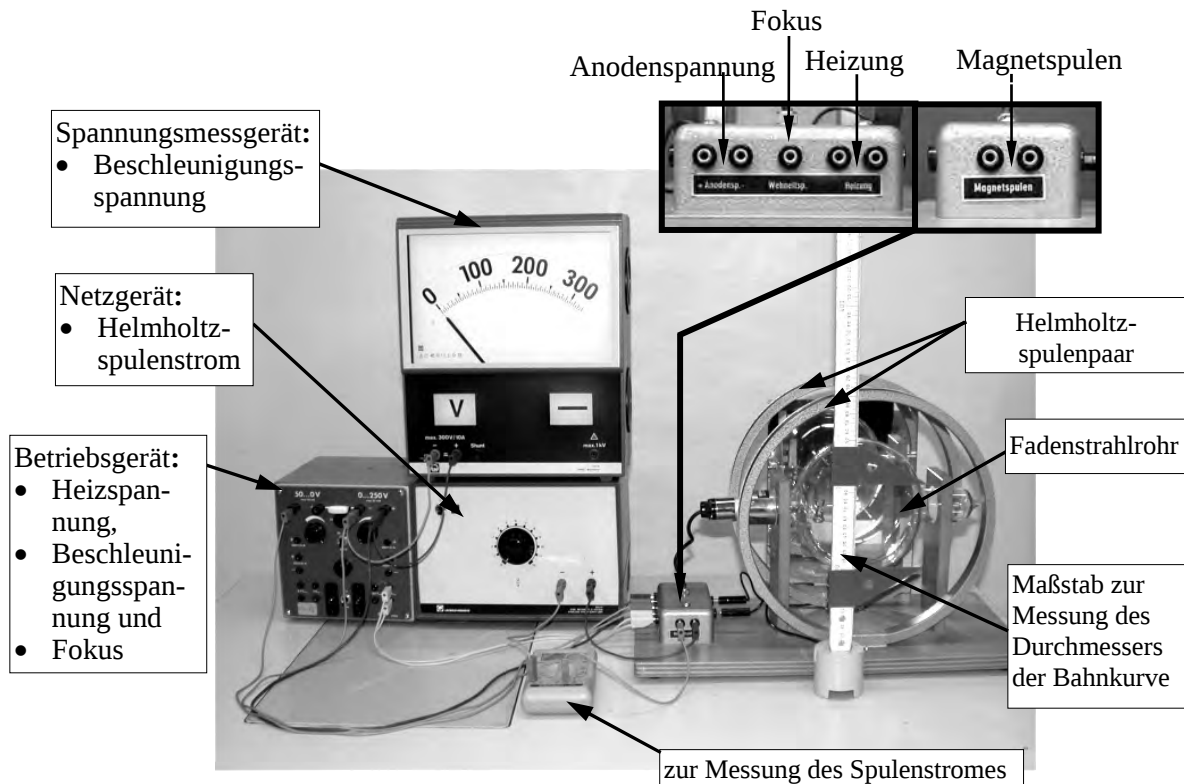
#### Versuchsmaterial und -aufbau

#### *Hinweise zum Experiment in Aufgabe 1*

#### **Versuchsaufbau:**

Das Fadenstrahlrohr wird gemäß der nachfolgenden Abbildung bzw. gemäß Schaltplan des Röhrenherstellers funktionstüchtig aufgebaut.

Es ist nicht erforderlich, die Stärke des magnetischen Feldes des Helmholtzspulenpaares zu messen. Auch der Kreisbahnradius des Elektronenstrahls muss nicht quantitativ erfasst werden.



Versuchsaufbau zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons

**Anleitungstext zur Versuchsdurchführung für die Lehrkraft:**

Mit dem funktionstüchtig aufgebauten Fadenstrahlrohr wird den Schülerinnen und Schülern die Ablenkung der Elektronen/des Elektronenstrahls rein qualitativ demonstriert.

Dazu wird – bei abgeschaltetem Magnetfeld – zunächst eine Beschleunigungsspannung von ca. 150 – 200 V eingestellt. Auf den geradlinigen Verlauf des Elektronenstrahls sollte wegen der nicht immer optimalen Sichtbarkeit hingewiesen werden. Anschließend wird der Strom für den Betrieb der Helmholtzspulen eingeschaltet und von Null ausgehend langsam so weit erhöht, bis eine „in sich geschlossene“ Bahnkurve im Fadenstrahlrohr sichtbar ist; die Lehrkraft gibt dabei an, dass sie die Stärke des magnetischen Feldes erhöht. Die Stärke des Magnetfeldes wird dann bei konstanter Beschleunigungsspannung noch einmal (deutlich) erhöht, was von der Lehrkraft auch wieder angegeben wird. Schließlich wird bei konstanter Stärke des Helmholtzspulenfeldes die Beschleunigungsspannung (deutlich) vergrößert. Die Versuchsdurchführung wird abschließend genau einmal wiederholt.

**Oder:** Die Lehrkraft führt statt der Wiederholung eine entsprechende Variation des Versuchs vor, die gleichermaßen geeignet ist, die qualitativen Abhängigkeiten des Bahnkurvenradius von der Beschleunigungsspannung und von der Stärke des Helmholtzspulenfeldes zu demonstrieren.

**Hinweise zum Experiment in Aufgabe 2**

Falls das Schulröntgengerät vorhanden ist, soll das Spektrum mit der Drehkristall-Methode aufgenommen und dargestellt werden (mit NaCl-Kristall und Molybdän-Anode). Es können andere Kristalle und Anoden verwendet werden, für die Auswertung ist das abgebildete Spektrum (Abbildung 1 in Aufgabe 2) maßgeblich. Die Anodenspannung soll so eingestellt werden, dass die charakteristischen Spektralbereiche deutlich werden. Erläuterungen sind nicht vorgesehen. Falls die Diagramm-Darstellung eine andere Winkelbezeichnung für die Glanzwinkel vorsieht, ist auf die Gleichheit zu dem im Diagramm auf dem Schülerblatt dargestellten Winkel hinzuweisen.

Ist das Experiment nicht durchführbar, ist ausschließlich das zur Verfügung gestellte Material zu verwenden.

**Bezüglich der Versuchsdurchführungen sind die Vorgaben der RISU zu beachten.**

**Die Arbeitszeit beginnt erst nach Durchführung und Erläuterung der Versuche.**

**4. Bezüge zu den Vorgaben 2010****1. Inhaltliche Schwerpunkte****Aufgabe 1:**

- Ladungen und Felder
  - Elektrisches Feld, elektrische Feldstärke (Feldkraft auf Ladungsträger im homogenen Feld)
  - Potenzielle Energie im elektrischen Feld
  - Magnetisches Feld, magnetische Feldgröße  $B$ , Lorentzkraft
  - Bewegung von Ladungsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern (Fadenstrahlrohr)
- Atom- und Kernphysik
  - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms

**Aufgabe 2:**

- Atom- und Kernphysik
  - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Beobachtung von Spektrallinien am Gitter, Franck-Hertz-Versuch)
  - Ionisierende Strahlung und ihre Energieverteilung (Röntgenspektroskopie, Röntgenbeugung)

**2. Medien/Materialien**

- entfällt

**5. Zugelassene Hilfsmittel**

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

## 6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

### 6.1 Modellösungen

#### Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:

Die nachfolgenden Modellösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

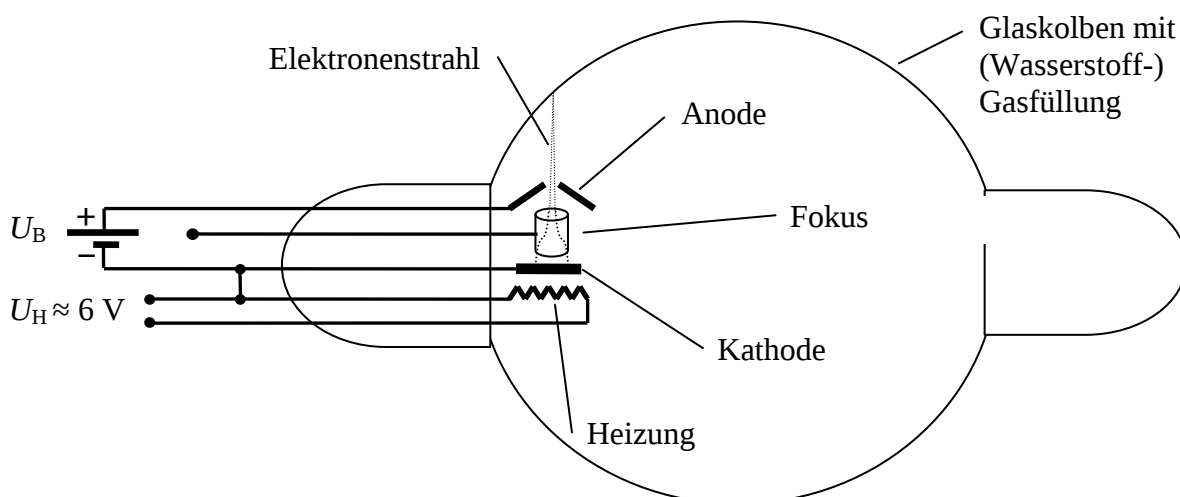
Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

Zur Ablesegenauigkeit: Bei methodisch richtigem Vorgehen ist die volle Punktzahl zu geben, wenn sich die Ablesegenauigkeit in einem von der Lehrkraft vertretbaren Rahmen bewegt.

### Modellösungen Aufgabe 1: Das Fadenstrahlrohr – ausgewählte Experimente und Überlegungen

- 1.1 a) Die Skizze zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Fadenstrahlrohres mit der darin befindlichen „Elektronenkanone“. Auf die (Wasserstoff-)Gasfüllung mit geringem Dampfdruck wird hingewiesen.

Die Anschlüsse und Polungen von  $U_{\text{Heizung}}$  und  $U_{\text{Beschleunigung}}$  sowie das Potential des Fokus sind angegeben.



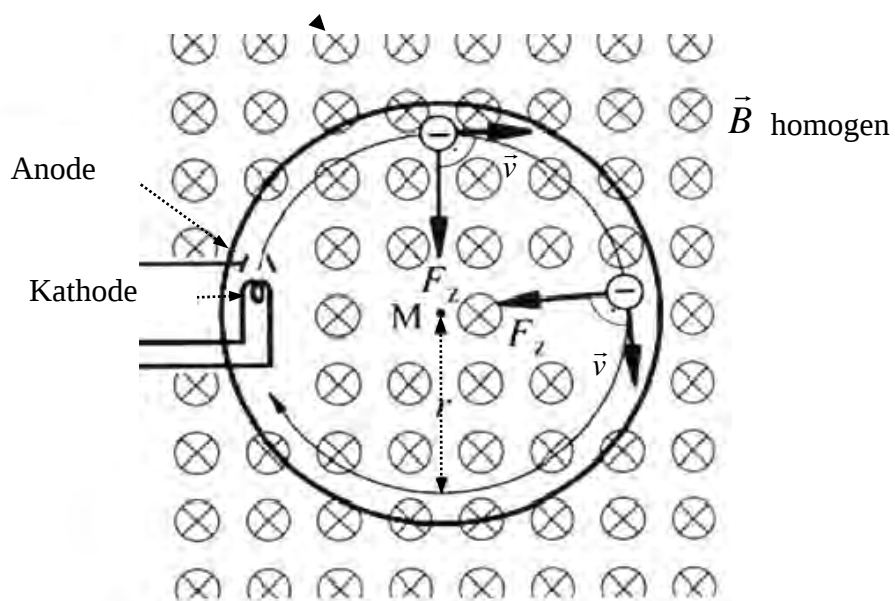
- 1.1 b) Ein Netzgerät liefert die Heizspannung, die Spannung für den Fokus und die Anodenspannung für die Beschleunigung der Elektronen.
- Durch die Heizung wird die (Metall-)Kathode zum Glühen gebracht, dadurch treten Elektronen aus dieser aus (glühelektrischer Effekt). Die aus der Kathode ausgetretenen Elektronen haben (zunächst) eine vernachlässigbar kleine Geschwindigkeit  $v_{\text{Kathode}} \approx 0$ . Im elektrischen Feld zwischen (negativer) Kathode und (positiver) Anode werden die Elektronen beschleunigt, sie fliegen also mit zunehmender Geschwindigkeit auf die Anode zu. Auf dem Weg von der Kathode zur Anode werden die Elektronen durch einen negativen Fokushohlzylinder auf der Mittelachse der Anordnung konzentriert. Wegen dieser Richtungsfokussierung sowie ihrer hohen Geschwindigkeit „fliegen“ die Elektronen durch die Anodenbohrung hindurch und verlassen somit (als eng gebündelter Elektronenstrahl) die Elektronenkanone.

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Auch wenn der Fokus und seine Funktion vom Prüfling nicht erwähnt werden, kann die volle Punktzahl für diese Teilaufgabe vergeben werden.

- 1.1 c) In dem evakuierten Glaskolben befindet sich Wasserstoffgas unter geringem Druck. Die Gasmoleküle werden durch die Elektronen des Elektronenstrahls durch Stoßanregung zum Leuchten gebracht. Dadurch wird die Bahn der Elektronen sichtbar.

- 1.2 a)



1.2 b) Auf Elektronen, die sich in einem Magnetfeld bewegen, wirkt die Lorentzkraft.

Nach der „Drei-Finger-Regel“ (oder gemäß  $\vec{F}_{\text{Lorentz}} = e \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ ) gilt stets  $\vec{F}_{\text{Lorentz}} \perp \vec{v}$ .

Damit ist  $|\vec{v}| = \text{const.}$

1.2 c) Da auch  $|\vec{B}| = \text{const}$  ist, muss gemäß  $F_{\text{Lorentz}} = e \cdot v \cdot B \cdot \sin(90^\circ)$  auch  $|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = \text{const}$  sein. Wirkt eine dem Betrage nach konstante Kraft auf ein Teilchen und steht diese Kraft stets senkrecht zum Geschwindigkeitsvektor, so bewegt sich das Teilchen auf einer Kreisbahn, und zwar mit konstantem Geschwindigkeitsbetrag.

1.3 Da sich das Elektron auf einer Kreisbahn bewegt, muss eine Zentripetalkraft  $\vec{F}_Z$

mit  $|\vec{F}_Z| = \frac{m \cdot v^2}{r}$  wirken. Diese wird hier durch die Lorentzkraft gestellt.

Damit gilt:  $|\vec{F}_Z| = |\vec{F}_{\text{Lorentz}}|$ . Somit folgt  $\frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$ , also  $\frac{m \cdot v}{r} = e \cdot B$ . (\*)

Da sich die Geschwindigkeit  $v$  des Elektrons auf der Kreisbahn nicht mehr ändert, ist  $v$  gleich der Geschwindigkeit  $v_0$ , mit der ein Elektron die Elektronenkanone verlässt. Diese Geschwindigkeit kann mit Hilfe einer Energiebetrachtung ermittelt werden:

$$W_{\text{kin, Kathode}} \approx 0 \quad \text{und} \quad W_{\text{pot, Kathode}} = e \cdot U_B$$

$$W_{\text{kin, Anode}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \quad \text{und} \quad W_{\text{pot, Anode}} = 0$$

Mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes ergibt sich der Ansatz  $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = e \cdot U_B$ .

$$\text{Umstellen liefert: } v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}.$$

#### Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:

Es wird nicht erwartet, dass die Herleitung des Zusammenhangs zwischen  $v_0$  und  $U_B$  in der hier dargestellten Ausführlichkeit erfolgt.

Mit  $v = v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}$  folgt nun aus der Beziehung (\*)

$$\frac{m \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}}{r} = e \cdot B \quad \text{und damit} \quad \frac{m^2 \cdot 2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}{r^2} = e^2 \cdot B^2$$

$$\text{bzw. } \frac{m \cdot 2 \cdot U_B}{r^2} = e \cdot B^2 \quad \text{und somit die gesuchte Beziehung } r = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}}.$$

- 1.4 a) zu (1) Diese Aussage ist gemäß  $v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}$  (ohne Einschränkung) richtig.

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Eine „Randbedingung“, z. B.  $m = \text{konstant}$ , muss hier vom Prüfling nicht genannt werden, da die Aussage selbst bei relativistischer Betrachtung richtig ist.

- zu (2) Diese Aussage ist gemäß  $F_{\text{Lorentz}} = e \cdot v \cdot B$  richtig, wenn die Stärke  $B$  des magnetischen Feldes der Helmholtzspulen nicht verändert wird.

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Es wird nicht erwartet, dass der Prüfling auch in Betracht zieht, dass die Aussage auch bei Veränderung von  $B$  richtig ist, wenn die Randbedingung  $v_1 \cdot B_1 < v_2 \cdot B_2$  mit  $v_1 < v_2$  erfüllt ist.

- zu (3) Da  $F_L$  hier die Zentripetalkraft stellt, ist diese Aussage gemäß

$$|\vec{F}_{\text{Lorentz}}| = \frac{m \cdot v^2}{r} \text{ richtig, solange } m \text{ und } v \text{ sich } \mathbf{nicht} \text{ ändern (bzw. solange}$$

das Produkt  $m \cdot v^2$  nicht „stärker“ wächst als die Lorentzkraft  $F_L$ ).

- 1.4 b) Die Schlussfolgerung ist falsch, denn gemäß  $r = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}}$  wird  $r$  mit wachsendem  $U_B$  größer.

Mit der Vergrößerung von  $U_B$  wird zwar tatsächlich  $v_0$  und damit auch  $F_{\text{Lorentz}}$

größer, es ist aber gemäß  $|\vec{F}_Z| = \frac{m \cdot v^2}{r}$  auch eine größere Zentripetalkraft erforderlich,

um das Elektron mit der erhöhten Geschwindigkeit auf die (gleiche)

Kreisbahn zu zwingen. Da  $F_Z$  quadratisch mit  $v$  wächst,  $F_{\text{Lorentz}}$  aber nur linear zu

$v$  anwächst, kann die schneller anwachsende erforderliche Zentripetalkraft nicht

mehr von der weniger stark gewachsenen Lorentzkraft gestellt werden; der

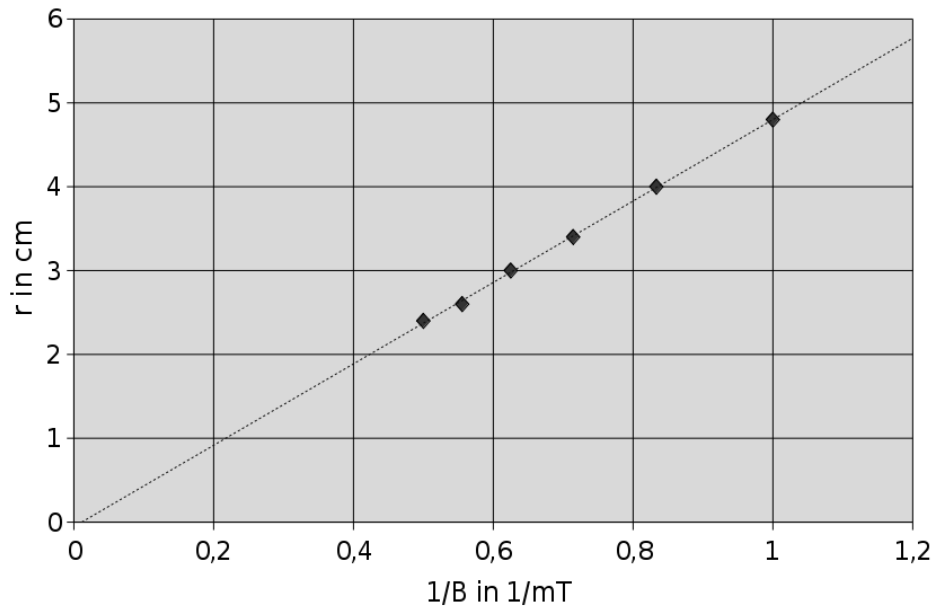
Kreisbahnradius wird also größer.

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Auch alternative (z. B. stärker formal ausgerichtete) Lösungen sind möglich.



1.5 a) Die Anfertigung eines  $1/B$ - $r$ -Diagramms ergibt die nachfolgende Grafik:



Es ergibt sich (näherungsweise) eine Ursprungsgerade. Somit ist  $r \sim \frac{1}{B}$ .

Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt

$$a = \frac{4,8 \text{ cm}}{1 \frac{1}{\text{mT}}} = 4,8 \text{ mT} \cdot \text{cm} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m}.$$

$$\text{Also gilt: } r = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{B}.$$

**Anmerkung für die korrigierende Lehrkraft:**

Alternative Lösungswege, wie beispielsweise das Anfertigen eines  $B$ - $r$ -Diagramms, das Vermuten des Vorliegens einer Hyperbel, das Prüfen der Antiproportionalität mit Hilfe der Produktgleichheit der Messwertepaare und die anschließende Weiterverwendung des Mittelwerts der Produkte sind ebenso möglich.

1.5 b) Gemäß  $r = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}}$  ist die Steigung  $a = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}}$ ,

also folgt:  $a = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e}} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m}.$

somit gilt:  $\frac{2 \cdot m \cdot U_B}{e} = (4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m})^2.$

Mit diesem Ergebnis ergibt sich für die spezifische Ladung ein Wert von

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_B}{(4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m})^2} = \frac{2 \cdot 200 \text{ V}}{(4,8 \cdot 10^{-5} \text{ T} \cdot \text{m})^2} = 1,74 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}.$$

1.6 Da das Elektron eine **gleichförmige** Kreisbewegung durchläuft, kann die Umlauf-

dauer  $T$  gemäß  $T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{v}$  berechnet werden.

Gemäß  $\frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$  ist  $\frac{m \cdot v}{r} = e \cdot B$  und damit  $v = \frac{r \cdot e \cdot B}{m}$ .

Einsetzen ergibt:  $T = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot m}{r \cdot e \cdot B} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{e \cdot B}$ .

### Modelllösungen Aufgabe 2: Entstehung und Analyse von Röntgenstrahlung – das Röntgenspektrum nach der Bragg-Reflexion

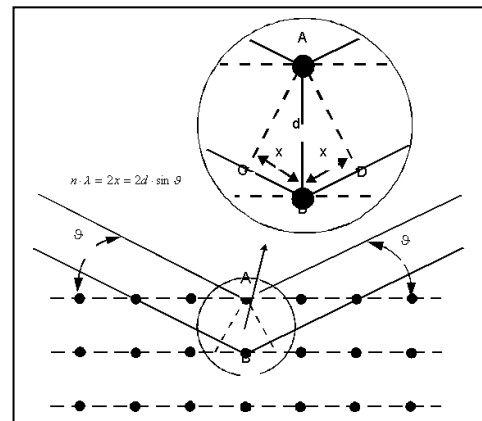
2.1 a) Die Vakuum-Röntgenröhre besteht aus einer abgeschrägten Anode A (unterschiedlichen Materials) und einer beheizbaren Kathode K. Eine Heizspannung versorgt die Kathode, wodurch diese Elektronen emittiert. Zwischen A und K wird eine Hochspannung angelegt, wodurch die Elektronen zur Anode beschleunigt werden. (Ergänzung der Abbildung 2 durch die elektrische Beschaltung der Röhre.)

2.1 b) Die beschleunigten Elektronen dringen in die Anode ein und verursachen im Anodenmaterial verschiedene Wechselwirkungsprozesse:  
**Coulomb-Wechselwirkung:** Die Elektronen werden im Coulombfeld der Atomhülle und des -kerns mehr oder weniger gebremst und geben unterschiedliche Strahlungsenergien ab; dadurch entsteht ein Kontinuum von Wellenlängen von einer kürzesten Wellenlänge hin zu immer längeren (Bremsstrahlungsbereich).  
**Charakteristische Strahlung:** Die einlaufenden Elektronen schlagen Elektronen (vorwiegend) aus der K-Schale heraus (Stoßwechselwirkungen). Die Lücke wird gefüllt durch Übergänge aus den höheren Schalen. Dadurch entstehen spezielle (charakteristische) Strahlungsenergien, die vom atomaren Aufbau der Anode abhängen. Zugehörige Wellenlängen werden im Spektrum registriert.

2.1 c) Das linke ausgeprägte Maximum im Spektrum entspricht der  $K_{\beta}$ -Strahlung, das rechte der  $K_{\alpha}$ -Strahlung. Das linke Maximum hat die kürzere Wellenlänge, damit die höhere Strahlungsenergie. Diese gehört zu dem Übergang mit größerer Energiedifferenz (hier von M- zur K-Schale).

2.2 a) Der gebündelte Röntgenstrahl fällt unter dem sogenannten Glanzwinkel  $\vartheta$  (siehe Abbildung 2) auf die Kristalloberfläche (parallel zur Netzebene). Kristall und Zählrohr werden so gedreht, dass die Bragg-Bedingung erfüllt ist (Glanzwinkel der einfallenden und der reflektierten Strahlung gleich groß). Damit muss sich das Zählrohr im doppelten Glanzwinkel drehen. Das Zählrohr registriert die Zählrate der reflektierten Strahlung beim Durchfahren des vorgesehenen Winkelbereichs.

2.2 b) Einfallende Röntgenstrahlen werden als Wellen gedeutet, die an den Atomen des Einkristalls gestreut (reflektiert) werden. Es ergibt sich bei Reflexion an benachbarten Netzebenenatomen ein Gangunterschied von  $2x$  (siehe Ausschnitt in nebenstehender Abbildung), damit entstehen Interferenzmaxima für  $n\lambda = 2x$ ,



wobei  $n$  die Ordnung beschreibt ( $n = 1, 2, \dots$ ).  
Mit  $x = d \cdot \sin \vartheta$  ergibt sich die genannte Beziehung.

2.3 a) Man liest die Wellenlängenwerte  $\lambda_{K_\alpha} = 63,6 \text{ pm}$  und  $\lambda_{K_\beta} = 71,5 \text{ pm}$  ab. (Die Werte liegen bei den Peakschwerpunkten, vgl. Hinweis oben zur Ablesegenauigkeit.)

Nach  $E = hf = h \frac{c}{\lambda}$  ergeben sich die Strahlungsenergien  $E_{K_\beta} = 19,6 \text{ keV}$  und

$$E_{K_\alpha} = 17,5 \text{ keV}.$$

2.3 b) Aus der Bragg-Beziehung ergibt sich  $\vartheta = \arcsin\left(\frac{n \cdot \lambda}{2 \cdot d}\right)$ .

Damit erhält man für  $n = 1$ :  $\vartheta_{K_\beta} = 6,4^\circ$ ,  $\vartheta_{K_\alpha} = 7,3^\circ$ , für  $n = 2$ :  $\vartheta_{K_\beta} = 13,0^\circ$ ,

$$\vartheta_{K_\alpha} = 14,6^\circ \text{ und für } n = 3: \vartheta_{K_\beta} = 19,7^\circ, \vartheta_{K_\alpha} = 22,3^\circ.$$

2.3 c) Winkel und Wellenlänge sind wegen der Bragg-Beziehung (Sinus-Funktion) nicht proportional, deswegen können die Winkelunterschiede nicht konstant sein.

- 2.4 a) Das Elektron wird beim Eintritt in die Anode so abgebremst, dass es seine komplette kinetische Energie abgibt und in Photonenenergie  $hf$  umwandelt; dadurch entsteht eine höchste Frequenz und kürzeste Wellenlänge (kurzwellige Grenze des Spektrums).
- 2.4 b) Da die charakteristischen Maxima von Übergängen im Anoden-Material abhängen, sind sie unabhängig von der Anodenspannung und somit von der max. Energie der einlaufenden Elektronen; lediglich die Energie für die Stoßanregung bzw. Ionisierung aus den jeweiligen Schalen muss aufgebracht werden.
- 2.4 c) Im Diagramm liest man die  $\lambda$ -Werte (Grenzwellenlängen) als Berührstellen der Kurven oder als Schnittstellen der Ausgleichsgeraden an die Kurven mit der  $\lambda$ -Achse ab. (Eine 2-stellige Genauigkeit in pm genügt.) Folgende Werte ergeben sich durch Auswertung mit der Ausgleichsgeraden:  
 $\lambda_G = 48,7 \text{ pm}, 25 \text{ kV}$  ,  $\lambda_G = 40,3 \text{ pm}, 30 \text{ kV}$  und  $\lambda_G = 34,6 \text{ pm}, 35 \text{ kV}$ .
- 2.4 d) Aus  $hf = eU \Leftrightarrow h = \frac{eU\lambda_G}{c}$  lässt sich für die drei Hochspannungen und zugehörigen Grenzwellenlängen die Planck'sche Konstante  $h$  als Mittelwert bestimmen:  
 $h = 6,47 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  .
- 2.5 a) Die Formel 1 gibt an, welche Energiedifferenz in Form von Strahlungsenergie von dem Wasserstoff-Atom emittiert wird, wenn das Elektron von einem angeregten Zustand mit der Energie  $E_m$  in einen weniger angeregten Zustand oder den Grundzustand mit der Energie  $E_n$  übergeht (wobei  $n, m \in \mathbb{N}$ ,  $m > n$  die Hauptquantenzahlen sind).

- 2.5 b) 1) Energie der  $K_{\alpha}$ -Strahlung: für  $n = 1$ ,  $m = 2$  und  $Z = 42$  ergibt sich 17,15 keV, prozentuale Abweichung vom experimentellen Wert ca. 2 %. Energie der  $K_{\beta}$ -Strahlung: für  $n = 1$ ,  $m = 3$  und  $Z = 42$  ergibt sich 20,32 keV, prozentuale Abweichung vom experimentellen Wert ca. 3,5 %.
- 2) Bei Mehrelektronensystemen sind weitere Elektronen in den inneren Schalen vorhanden, sodass das „herabfallende“ Elektron nicht von der gesamten Kernladung  $Z$  beeinflusst wird (Reduktion um  $a$ ); auf der K-Schale befinden sich zwei Elektronen. Ist ein Elektron befreit, wirkt auf das „herabfallende“ Elektron bei der Coulomb-Anziehung eine Kernladung weniger (Reduktion von  $Z$  um 1).

## 6.2 Teilleistungen – Kriterien

### Aufgabe 1: Das Fadenstrahlrohr – ausgewählte Experimente und Überlegungen

#### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB) <sup>1</sup>
	Der Prüfling	
a)	skizziert den Aufbau des Fadenstrahlrohres, der Elektronenkanone und der elektrischen Beschaltung.	6 (I)
b)	erläutert, wie der Elektronenstrahl erzeugt wird.	5 (II)
c)	erläutert, warum die Bahnkurve sichtbar ist.	2 (I)

#### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	skizziert eine kreisförmige Bahnkurve und für ein Elektron auf dieser Bahnkurve den Geschwindigkeitsvektor, die wirkende Zentripetalkraft sowie das erforderliche magnetische Feld.	5 (I)
b)	begründet, warum der Betrag der Geschwindigkeit konstant ist.	2 (I)
c)	begründet, warum sich eine kreisförmige Bahnkurve ergibt.	3 (I)

<sup>1</sup> AFB = Anforderungsbereich

**Teilaufgabe 1.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	leitet die angegebene Formel her.	6 (II)
2	leitet dazu die Beziehung $v_0 = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}$ her.	3 (II)
3	erläutert den Ansatz.	2 (I)

**Teilaufgabe 1.4**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a1)	überprüft die Richtigkeit der ersten und der zweiten Aussage und gibt die Randbedingungen an.	3 (I)
a2)	überprüft die Richtigkeit der dritten Aussage und gibt die Randbedingungen an.	2 (I)
b)	diskutiert, warum die angegebene Schlussfolgerung falsch ist.	6 (III)

**Teilaufgabe 1.5**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a1)	ermittelt anhand der Messwerte den Zusammenhang zwischen dem Kreisbahnradius $r$ und der Stärke $B$ des magnetischen Feldes.	5 (II)
a2)	ermittelt dazu z. B. die Steigung der Ausgleichsgeraden oder den Mittelwert der Produkte aus $r$ und $B$ .	3 (II)
b)	bestimmt anhand der Auswertung der Messwerte und der in Teilaufgabe 1.3 angegebenen Beziehung einen Wert für die spezifische Ladung des Elektrons.	5 (II)

**Teilaufgabe 1.6**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	zeigt, dass die Umlaufzeit $T$ der Elektronen gemäß $T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{e \cdot B}$ berechnet werden kann.	6 (II)

## Aufgabe 2: Entstehung und Analyse von Röntgenstrahlung – das Röntgenspektrum nach der Bragg-Reflexion

### Teilaufgabe 2.1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	beschreibt den Aufbau und ergänzt die Abbildung 2 durch die elektrische Beschaltung der Röhre.	5 (I)
b)	erläutert die Wechselwirkungsprozesse in der Anode.	6 (II)
c)	gibt begründet an, welches von den beiden Maxima zur $K_{\alpha}$ - und welches zur $K_{\beta}$ -Strahlung gehört.	4 (II)

### Teilaufgabe 2.2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Drehkristallmethode mit der Bragg-Beugung.	4 (I)
b)	leitet mit einer geeigneten Skizze die Bragg-Beziehung her.	6 (I)

### Teilaufgabe 2.3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	gibt die Wellenlängenwerte der beiden Maxima an und berechnet damit die Strahlungsenergien in der Einheit keV.	6 (II)
b)	bestimmt die Glanzwinkel der Maxima in der 1. bis 3. Ordnung.	4 (II)
c)	begründet, warum die Winkelunterschiede zwischen den Maxima nicht konstant sind.	3 (III)

### Teilaufgabe 2.4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	deutet die kurzwellige Grenze des Spektrums im Photonenmodell.	3 (III)
b)	begründet, warum die charakteristischen Maxima stets an derselben Stelle zu liegen kommen.	3 (III)
c)	ermittelt anhand des Diagramms die Grenzwellenlänge für die drei Anodenspannungen.	3 (I)
d)	bestimmt mit diesen Wellenlängenwerten und den zugehörigen Anodenspannungen den Wert der Planck'schen Konstanten $h$ .	4 (II)

**Teilaufgabe 2.5**

	<b>Anforderungen</b>	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	<b>Der Prüfling</b>	
a)	erläutert die physikalische Bedeutung der Formel für das Wasserstoff-Atom.	4 (I)
b1)	bestimmt die Energie der $K_{\alpha}$ - und $K_{\beta}$ -Strahlung von Molybdän und ermittelt die prozentuelle Abweichung von den experimentell ermittelten Werten.	4 (II)
b2)	interpretiert, warum für Mehrelektronenatome die Einführung der Konstanten $a > 0$ sinnvoll ist, insbesondere $a = 1$ für den Übergang nach $n = 1$ .	4 (III)



## 7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

### Aufgabe 1: Das Fadenstrahlrohr – ausgewählte Experimente und Überlegungen

#### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	skizziert den Aufbau ...	6 (I)			
b)	erläutert, wie der ...	5 (II)			
c)	erläutert, warum die ...	2 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.1</b>	<b>13</b>			

#### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	skizziert eine kreisförmige ...	5 (I)			
b)	begründet, warum der ...	2 (I)			
c)	begründet, warum sich ...	3 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.2</b>	<b>10</b>			

#### Teilaufgabe 1.3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	leitet die angegebene ...	6 (II)			
2	leitet dazu die ...	3 (II)			
3	erläutert den Ansatz.	2 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.3</b>	<b>11</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 1.4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a1)	überprüft die Richtigkeit ...	3 (I)			
a2)	überprüft die Richtigkeit ...	2 (I)			
b)	diskutiert, warum die ...	6 (III)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.4</b>	<b>11</b>			

**Teilaufgabe 1.5**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a1)	ermittelt anhand der ...	5 (II)			
a2)	ermittelt dazu z. B. ...	3 (II)			
b)	bestimmt anhand der ...	5 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.5</b>	<b>13</b>			

**Teilaufgabe 1.6**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	zeigt, dass die ...	6 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.6</b>	<b>6</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 und 1.6</b>	<b>64</b>			

## Aufgabe 2: Entstehung und Analyse von Röntgenstrahlung – das Röntgenspektrum nach der Bragg-Reflexion

### Teilaufgabe 2.1

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	beschreibt den Aufbau ...	5 (I)			
b)	erläutert die Wechselwirkungsprozesse ...	6 (II)			
c)	gibt begründet an ...	4 (II)			
<b>Summe Teilaufgabe 2.1</b>		<b>15</b>			

### Teilaufgabe 2.2

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	erläutert die Drehkristallmethode ...	4 (I)			
b)	leitet mit einer ...	6 (I)			
<b>Summe Teilaufgabe 2.2</b>		<b>10</b>			

### Teilaufgabe 2.3

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	gibt die Wellenlängenwerte ...	6 (II)			
b)	bestimmt die Glanzwinkel ...	4 (II)			
c)	begründet, warum die ...	3 (III)			
<b>Summe Teilaufgabe 2.3</b>		<b>13</b>			

### Teilaufgabe 2.4

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	deutet die kurzwellige ...	3 (III)			
b)	begründet, warum die ...	3 (III)			
c)	ermittelt anhand des ...	3 (I)			
d)	bestimmt mit diesen ...	4 (II)			
<b>Summe Teilaufgabe 2.4</b>		<b>13</b>			

**Teilaufgabe 2.5**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	erläutert die physikalische ...	4 (I)			
b1)	bestimmt die Energie ...	4 (II)			
b2)	interpretiert, warum für ...	4 (III)			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.5</b>	<b>12</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 und 2.5</b>	<b>63</b>			
	<b>Summe der 1. und 2. Aufgabe</b>	<b>127</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>127</b>			
	<b>aus der Punktsomme resultierende Note</b>				
	<b>Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST</b>				
	<b>Paraphe</b>				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Noteneurteile aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

Die Klausur wird abschließend mit der Note: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

**Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)**

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	127 – 121
sehr gut	14	120 – 115
sehr gut minus	13	114 – 108
gut plus	12	107 – 102
gut	11	101 – 96
gut minus	10	95 – 89
befriedigend plus	9	88 – 83
befriedigend	8	82 – 77
befriedigend minus	7	76 – 70
ausreichend plus	6	69 – 64
ausreichend	5	63 – 58
ausreichend minus	4	57 – 50
mangelhaft plus	3	49 – 42
mangelhaft	2	41 – 34
mangelhaft minus	1	33 – 26
ungenügend	0	25 – 0



Name: \_\_\_\_\_

## Abiturprüfung 2010

### *Physik, Leistungskurs*

---

#### **Aufgabenstellung:**

#### **Aufgabe: Energieniveaus im Quecksilberatom**

Das Bohr'sche Atommodell war für die Entwicklung der Vorstellung über Atome von großer Bedeutung. Wesentliche Aussagen der Bohr'schen Postulate sollen im Folgenden dazu genutzt werden, die Beobachtung aus den beiden nachfolgend genannten Versuchen 1 und 2 zu erklären.

#### **Versuch 1** (siehe Abbildung 1):

Demonstration des Spektrums einer Quecksilberdampf Lampe (Hg-Dampf Lampe) mit Hilfe eines Gitters

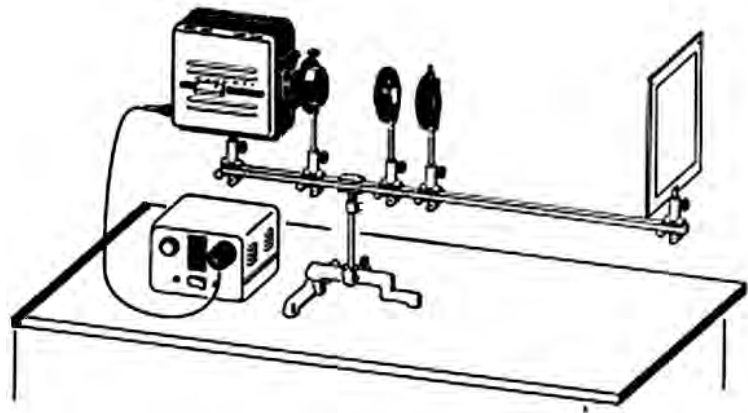


Abbildung 1: Erzeugung des **Gitterspektrums** der Hg-Dampf Lampe mit Hilfe eines Gitters



Name: \_\_\_\_\_

**Versuch 2** (siehe Abbildung 2): Kochsalz (NaCl) wird in die Flamme eines Bunsenbrenners gebracht und über Kreuz mit dem Licht einer Hg-Dampf Lampe und dem einer Natriumdampf Lampe (Na-Dampf Lampe) beleuchtet.

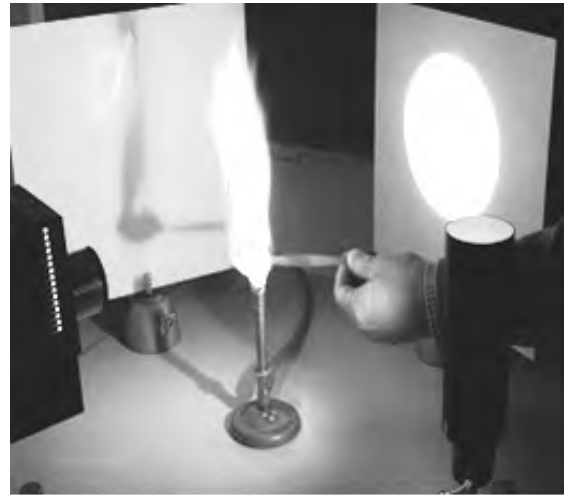


Abbildung 2: **Kreuzprojektion** von verdampfendem NaCl (Hg-Dampf Lampe vorne links, Na-Dampf Lampe vorne rechts)

## 1. Versuch 1: Gitterspektrum

- 1.1 a) *Beschreiben Sie unter Anfertigung einer Skizze den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung des Versuchs 1 zur Erzeugung des Spektrums der Hg-Dampf Lampe.*
- b) *Zeigen Sie unter Anfertigung einer geeigneten Skizze, dass die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichts einer Spektrallinie allgemein mit Hilfe der Gleichung  $n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha_n)$  bestimmt werden kann, wobei  $g$  die Gitterkonstante ist.*
- c) *Geben Sie an, was man unter  $n$  und  $\alpha_n$  versteht.* (18 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

1.2 Für die Ermittlung der Wellenlängen des Hg-Lichts auf einem Zinksulfid-Schirm in Versuch 1 wurden die Werte in Tabelle 1 festgehalten:

Gitter: 570 Striche pro mm

Abstand  $e$  zwischen Gitter und Schirm:  $e = 1,00$  m

Tabelle 1:

Farbe	Abstand $a$ der Linien 1. Ordnung zum Maximum 0. Ordnung in cm	Ablenkwinkel $\alpha$ in Grad	Wellenlänge $\lambda$ in nm
Gelb	34,9		
Grün	32,7	18,11	545
Blau	23,7	13,33	405
Ultraviolett 1	14,6	8,31	253
Ultraviolett 2	10,6	6,05	185

- a) Berechnen Sie aus dem Abstand der gelben Linie den Ablenkwinkel  $\alpha$  und ihre Wellenlänge (Kontrollergebnis: 578 nm).
- b) Das verwendete Gitter besteht aus sehr vielen nebeneinander liegenden Einzelspalten. Jeder dieser Einzelspalte für sich erzeugt das für einen Einzelspalt typische Interferenzmuster.

Die nebenstehende Abbildung 3 zeigt die Intensitätsverteilungen eines Einzelspalts und eines aus 8 solcher Einzelspalte bestehenden Gitters für ein und dieselbe Wellenlänge.

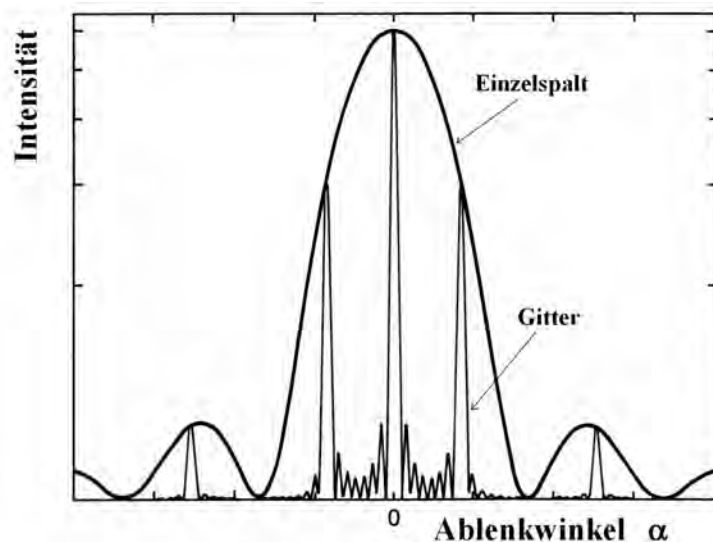


Abbildung 3: Intensitätsverteilungen bei einem Einzelspalt und bei einem Gitter

Begründen Sie, warum bei diesem Gitter ein Maximum 2. Ordnung nicht auftritt. (11 Punkte)





Name: \_\_\_\_\_

- 1.3 a) *Erläutern Sie qualitativ die beiden wesentlichen Aussagen des Bohr'schen Atommodells.*
- b) *Erklären Sie das Auftreten von Linien im Spektrum des Hg-Lichts unter der Annahme, dass man die Aussagen des Bohr'schen Atommodells auch auf Hg anwenden kann.*
- c) *Berechnen Sie anhand der Beziehung  $E = h \cdot f$  die Photonenenergie in der Einheit eV, die der Wellenlänge der gelben Linie aus dem Hg-Spektrum entspricht.*

(Kontrollergebnis: 2,15 eV)

Für die anderen Linien ergeben sich die Werte: 2,28 eV ; 3,07 eV ; 4,90 eV und 6,71 eV.

- d) *Bestimmen Sie für jede der fünf Linien im Hg-Spektrum die Energieniveaus, zwischen denen die Elektronen des Hg-Atoms bei Aussendung dieser Strahlung wechseln (Abbildung 4) und zeichnen Sie diese Übergänge (mit Kennzeichnung) in das Termschema ein.*

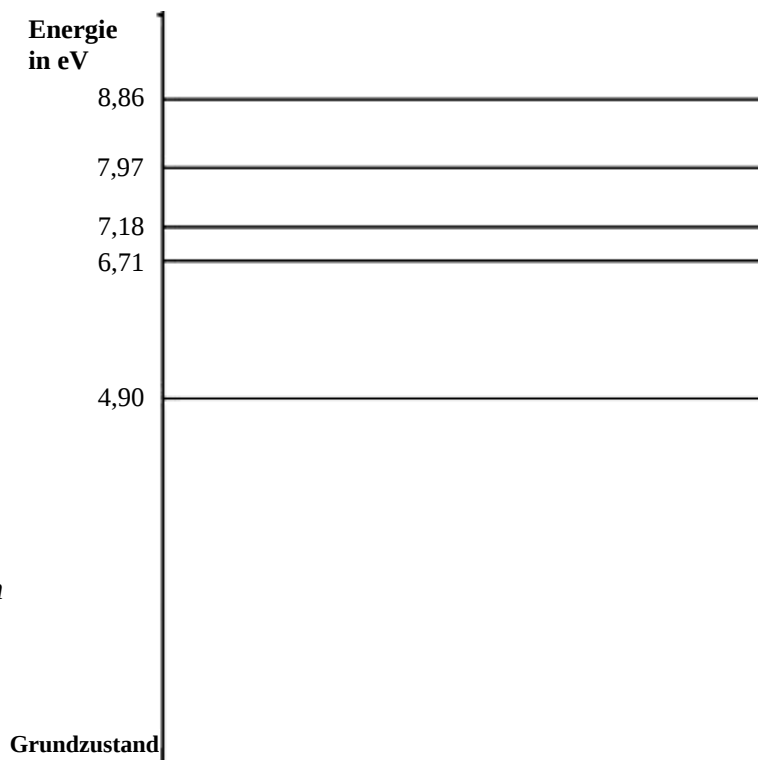


Abbildung 4: Stark vereinfachte Darstellung des Termschemas für das Hg-Atom

(23 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

## 2. Versuch 2: Kreuzprojektion

- 2.1 Beschreiben Sie den Versuchsaufbau und die Durchführung des Versuchs. (3 Punkte)
- 2.2 Beschreiben Sie Ihre Beobachtung auf den beiden Schirmen. (3 Punkte)
- 2.3 Erklären Sie die Beobachtung auf den beiden Schirmen mit Hilfe wesentlicher Aussagen des Bohr'schen Atommodells. Erklären Sie dabei insbesondere, warum in einem Fall ein „Schatten“ der Flamme zu sehen ist und im anderen Fall nicht. (8 Punkte)

## 3. Der Franck-Hertz-Versuch

Eine Bestätigung der wesentlichen Aussagen des Bohr'schen Atommodells bildeten die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs, der im Folgenden genauer untersucht wird.

- 3.1 Abbildung 5 zeigt den Aufbau des Franck-Hertz-Versuchs.
- a) Erläutern Sie die Funktion der einzelnen Bauelemente und die Bedeutung der Spannungen  $U_1$  und  $U_2$ .

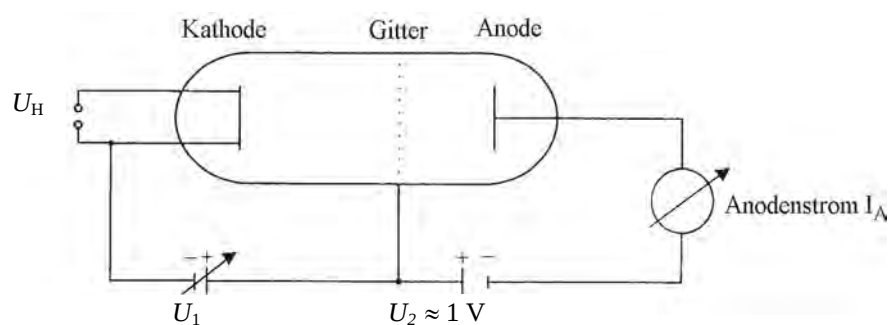


Abbildung 5: Versuchsaufbau des Franck-Hertz-Versuchs



Name: \_\_\_\_\_

- b) Der Kolben des Franck-Hertz-Versuchs enthält Hg-Dampf.  
*Skizzieren Sie den Verlauf des Anodenstroms  $I_A$  in Abhängigkeit von der Spannung  $U_1$  (Franck-Hertz-Diagramm).*
- c) *Erläutern Sie die Ergebnisse des Franck-Hertz-Versuchs mit Aussagen des Bohr'schen Atommodells.* (19 Punkte)

3.2 Führt man den Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Dampf quantitativ durch, findet man in der  $U_1$ - $I_A$ -Darstellung Maxima im Abstand von  $\Delta U_1 = 4,90 \text{ V}$ .

- a) *Berechnen Sie die Wellenlänge  $\lambda_{\text{FH}}$  der Strahlung, die dieser Anregung entspricht.*  
(Kontrollergebnis:  $\lambda_{\text{FH}} = 253 \text{ nm}$ )
- b) Das Spektrum der Hg-Dampf Lampe in Versuch 1 zeigt neben der  $\lambda_{\text{FH}} = 253 \text{ nm}$ -Linie auch Linien, die zu größeren Wellenlängen gehören.  
*Erläutern Sie mit Hilfe des Termschemas in Abbildung 4, warum die entsprechenden Anregungsenergien der Hg-Atome in der  $U_1$ - $I_A$ -Kurve des Franck-Hertz-Diagramms nicht nachgewiesen werden.*
- c) Theoretisch erwartet man bei jedem Spannungsabstand  $\Delta U_1 = 4,90 \text{ V}$  ein scharfes Abfallen des Anodenstroms bis auf den Wert Null.  
*Erklären Sie, warum der Anodenstrom nach dem Erreichen eines Maximums weder scharf abfällt noch genau auf Null zurückgeht.* (16 Punkte)



Name: \_\_\_\_\_

#### 4 Eine Modifikation des Franck-Hertz-Versuchs

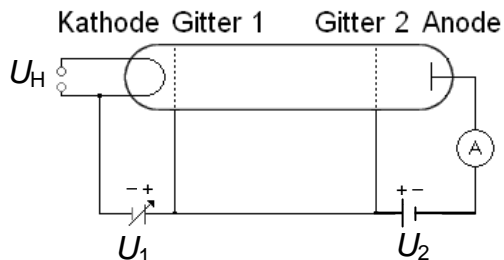


Abbildung 6:  
Versuchsaufbau nach Franck und Knipping

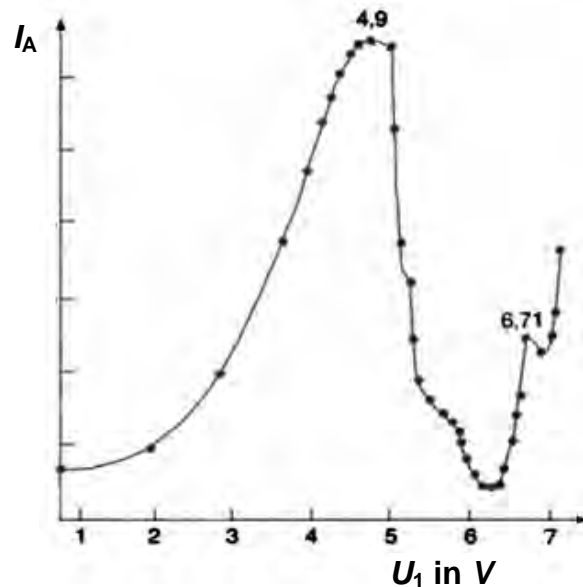


Abbildung 7: Messkurve beim Franck-Knipping-Experiment. (Das Maximum bei  $U_A = 6,71$  V ist der Deutlichkeit wegen leicht überhöht dargestellt.)

Die Abbildung 6 zeigt eine Modifikation des ursprünglichen Franck-Hertz-Versuchs durch James Franck und Paul Knipping, bei dem die Beschleunigungsstrecke der Elektronen von der Reaktionsstrecke mit den Hg-Atomen räumlich getrennt ist. Die Elektronen werden zunächst mit der Spannung  $U_1$  beschleunigt; der Abstand zwischen Kathode und Gitter 1 ist dabei so klein, dass in diesem Bereich praktisch keine Stöße der Elektronen mit den Hg-Atomen auftreten.

Gitter 1 und Gitter 2 liegen auf demselben Potential. Auf dieser Strecke zwischen Gitter 1 und Gitter 2 kann es nun zu den Stößen mit den Hg-Atomen kommen. Zwischen Gitter 2 und der Anode liegt wieder eine Gegenspannung  $U_2 \approx 1$  V an. Die Versuchsdurchführung ist identisch mit der des klassischen Franck-Hertz-Versuchs. Enthält das Franck-Knipping-Rohr wieder Hg-Dampf, erhält man für Beschleunigungsspannungen bis  $U_1 = 7$  V das in Abbildung 7 dargestellte Franck-Knipping-Diagramm.



Name: \_\_\_\_\_

- 4.1 *Beschreiben Sie die Messkurve des Franck-Knipping-Versuchs (Abbildung 7) und vergleichen Sie diese Messkurve mit der Messkurve des Franck-Hertz Versuchs.*  
(4 Punkte)
- 4.2 *Erläutern Sie, welchen Vorteil die räumliche Trennung von Beschleunigungs- und Reaktionsstrecke beim Franck-Knipping Versuch im Gegensatz zum klassischen Franck-Hertz Versuch hat.*  
(6 Punkte)
- 4.3 *Interpretieren sie das Auftreten eines zusätzlichen Maximums (beachte die kleine abfallende Flanke) des Anodenstroms bei einer Spannung von  $U_1 = 6,71 \text{ V}$ .*  
(4 Punkte)

## 5. Anregung der Hg-Atome mit Licht

Verwendet man für die Röhre des Franck-Hertz-Versuchs UV-durchlässiges Quarz-Glas, kann man die Hg-Atome im Inneren der Röhre auch von außen mit Photonen beschießen.

- 5.1 *Erläutern Sie auf der Grundlage des Termschemas in Abbildung 4 das Absorptionsverhalten der Hg-Atome, wenn Photonen jeder gewünschten Energie zwischen 5 eV und 6 eV zur Verfügung stehen.*  
(3 Punkte)
- 5.2 *Erläutern Sie auf der Grundlage des Termschemas in Abbildung 4 das Absorptionsverhalten der Hg-Atome, wenn Photonen jeder gewünschten Energie zwischen 6 eV und 7 eV zur Verfügung stehen.*  
(2 Punkte)

### Zugelassene Hilfsmittel:

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2010

## Physik, Leistungskurs

### 1. Aufgabenart

- Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material sowie zwei Demonstrationsexperimente enthält

### 2. Aufgabenstellung

Aufgabe: Energieniveaus im Quecksilberatom

(120 Punkte)

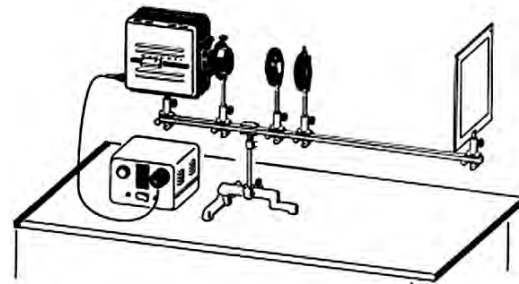
### 3. Materialgrundlage

#### Versuchsmaterial und -aufbau

#### Hinweise zu den Experimenten

##### Versuch 1:

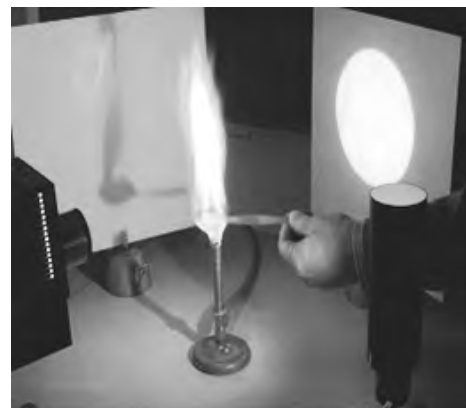
Das Linienspektrum einer Hg-Dampf Lampe wird mit Hilfe eines Gitters (570 Striche/mm) erzeugt (siehe nebenstehende Abbildung).



##### Versuch 2:

Kochsalz wird in die Flamme eines Brenners gebracht und mit dem Licht einer Hg-Dampf-Lampe und dem Licht einer Na-Dampf-Lampe beleuchtet.

Die beiden Lampen beleuchten dabei die Flamme eines Brenners von zwei verschiedenen Seiten aus unter einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander (siehe nebenstehende Abbildung). Die Lichtbündel werden auf zwei Schirmen aufgefangen. In die Flamme wird ein Spatel bzw. ein Löffel mit Kochsalz (NaCl) gebracht, dieses färbt die Flamme gelb (durch das Natrium). Auf dem Schirm, der vom Licht der Hg-Dampf-Lampe beleuchtet wird, sieht man keine Änderung. Auf dem zweiten Schirm, der vom Licht der Na-Dampf-Lampe beleuchtet wird, sieht man deutlich sichtbar einen Schatten der Flamme.



Für die beiden Leuchten sind keine weiteren Linsenvorsätze erforderlich. Man hält den Spatel (aus der Chemie) bzw. den Löffel mit dem Kochsalz in die Flamme. Es kann ein paar Augenblicke dauern, bis sich die Flamme einfärbt.

#### **4. Bezüge zu den Vorgaben 2010**

##### *1. Inhaltliche Schwerpunkte*

- Elektromagnetische Schwingungen und Wellen einschließlich Resonanz
  - Interferenz (Lichtbeugung am Spalt, Doppelspalt und Gitter, Wellenlängenmessung)
- Atom- und Kernphysik
  - Linienspektren in Absorption und Emission und Energiequantelung des Atoms, Atommodelle (Beobachtung von Spektrallinien am Gitter, Franck-Hertz-Versuch)

##### *2. Medien/Materialien*

- entfällt

#### **5. Zugelassene Hilfsmittel**

- Physikalische Formelsammlung
- Wissenschaftlicher Taschenrechner (ohne oder mit Grafikfähigkeit)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

#### **6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen**

##### **6.1 Modelllösungen**

##### **Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

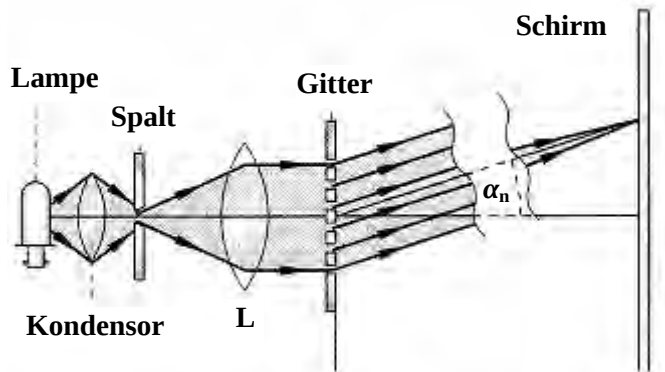
Die nachfolgenden Modelllösungen erfassen nicht notwendigerweise alle sachlich richtigen Lösungsalternativen.

Sollte die Auswertung der Messdaten mit Hilfe eines grafikfähigen TR oder CAS erfolgen, so muss der Prüfling die entstandenen Graphen für die korrigierende Lehrkraft skizzenhaft in seiner Reinschrift dokumentieren.

**Modelllösungen Aufgabe: Energieniveaus im Quecksilberatom**

**1. Versuch 1: Gitterspektrum**

1.1 a) **Beschreibung des Versuchsaufbaus**



Bader, F.: Dorn-Bader Physik 12/13, Gymnasium Sek II, Hannover 2000, S. 188; Skizze abgeändert

Skizziert werden müssen: Lampe, Spalt, Abbildungslinse L, Gitter und Schirm, Skizzierung von Nah- und Fernbereich zwischen Gitter und Schirm; auf den Kondensator kann verzichtet werden.

**Beschreibung der Versuchsdurchführung:**

Gemäß vorstehender Skizze wird der Spalt mit Hilfe des Lichts der Hg-Dampfampe ausgeleuchtet und anschließend mit einer Sammellinse auf dem Schirm abgebildet. In den (nahezu parallel verlaufenden) Strahlengang nach der Linse wird das Gitter gebracht.

1.1 b) **Herleitung der Gleichung**

$$n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha_n):$$

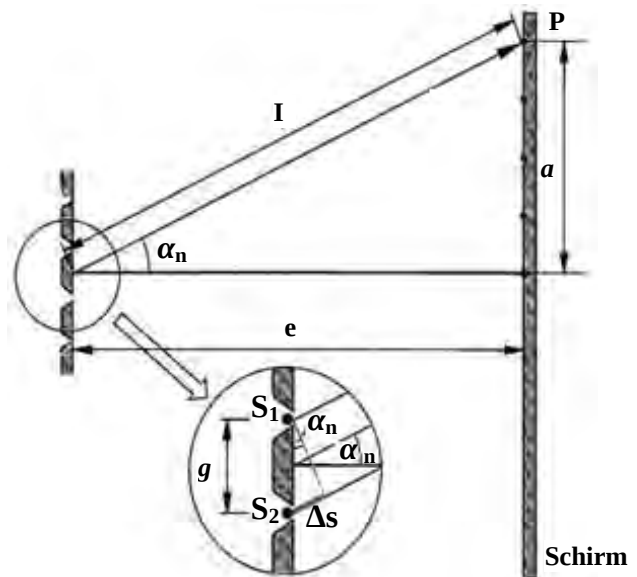
Ist  $n$  die Nummer des jeweiligen Maximums, gilt, da der Winkel  $\alpha_n$  in beiden Teilen der Skizze

auftritt:  $\sin(\alpha_n) = \frac{\Delta s}{g}$ . Das  $n$ -te

Maximum ergibt sich bei einem Gangunterschied zwischen den Randstrahlen  $\Delta s = n \cdot \lambda$ .

Also erhält man insgesamt nach Umstellung:  $n \cdot \lambda = g \cdot \sin(\alpha_n)$ .

$n = 0$  liefert das Hauptmaximum, die Nebenmaxima werden für  $n \geq 1$  erreicht.



Grehn, J.; Krause, J.: Metzler Physik, 1998, S. 295; Zeichnung abgeändert



1.1 c) **Angabe der weiteren Größen:**

$n$  ist die Ordnungsnummer des jeweiligen Maximums.

$\alpha_n$  ist der Ablenkungswinkel, unter dem das jeweilige Maximum  $n$ -ter Ordnung zu sehen ist.

1.2 a) **Berechnung der Wellenlängen:**

Es sei jetzt ( $n = 1$ ) der Einfachheit  $\alpha_1 = \alpha$  gesetzt. Dann ist

$$\lambda = \frac{g}{1} \cdot \sin(\alpha_1) = g \cdot \sin(\alpha).$$

Mit  $\sin(\alpha) = \frac{a}{\sqrt{a^2 + e^2}}$  erhält man:  $\lambda = g \cdot \sin(\alpha) = g \cdot \frac{a}{\sqrt{a^2 + e^2}}$ .

Die Gitterkonstante berechnet sich zu  $g = \frac{1}{570} \text{ mm} \approx \underline{\underline{1,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}}}$ .

Der Ablenkswinkel ergibt sich z. B. als  $\alpha = \arctan \frac{a}{e}$ . Berechnet der Schüler diesen

Wert zuerst, vereinfacht sich natürlich die obige Rechnung entsprechend.

**Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Bei der zu berechnenden Wellenlänge für die gelbe Linie ist eine Abweichung von einigen Prozent akzeptabel. Für die anderen Linien sind Winkel und Wellenlänge in der Aufgabe vorgegeben.

Die vervollständigte Tabelle lautet:

Farbe	Abstand $a$ der Linien 1. Ordnung zum Maximum 0. Ordnung in cm	Ablenkswinkel $\alpha$ in Grad	Wellenlänge $\lambda$ in nm
Gelb	34,9	<b>19,24</b>	<b>578</b>
Grün	32,7	18,11	545
Blau	23,7	13,33	405
Ultraviolett 1	14,6	8,31	253
Ultraviolett 2	10,6	6,05	185

- 1.2 b) An der Position des Gittermaximums zweiter Ordnung befindet sich ein Minimum des Einzelspalts, was bedeutet, dass unter dem entsprechenden Winkel kein Licht beobachtbar ist.

1.3 a) **Qualitative Erläuterung der zwei Bohr'schen Aussagen:**

1. Aussage:

Der positiv geladene Atomkern wird von Elektronen auf konzentrischen Kreisbahnen ohne Abgabe von Energie (strahlungsfrei) umrundet.

2. Aussage:

Beim Übergang der Elektronen zwischen zwei Zuständen wird elektromagnetische Strahlung absorbiert bzw. emittiert, deren Wellenlänge der Planck'schen Beziehung  $E = h \cdot f$  genügt.

1.3 b) **Erklärung des Auftretens von Linien:**

Da die Elektronen in der Hülle der Atome nur ganz bestimmte – diskrete – Energieniveaus annehmen können, wird bei einem Übergang von einem höheren Energieniveau auf ein niedrigeres die zugehörige Energiedifferenz in Form elektromagnetischer Strahlung einer ganz bestimmten Energie abgegeben. Nach  $E = h \cdot f$  bedeutet das diskrete Frequenzen bzw. Wellenlängen, also Linien in einem Spektrum.

1.3 c) **Berechnung der Photonenenergie:**

Es ist  $E_{\text{ph}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ ,  $c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  und  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

Farbe	Wellenlänge	Energie (in J)	Energie (in eV)
Gelb	$\lambda_1 = 578 \text{ nm}$	$E_1 = 3,44 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E_1 = 2,15 \text{ eV}$
Grün	$\lambda_2 = 545 \text{ nm}$	$E_2 = 3,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E_2 = 2,28 \text{ eV}$
Blau	$\lambda_3 = 405 \text{ nm}$	$E_3 = 4,91 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E_3 = 3,07 \text{ eV}$
Ultraviolett 1	$\lambda_4 = 253 \text{ nm}$	$E_4 = 7,84 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E_4 = 4,90 \text{ eV}$
Ultraviolett 2	$\lambda_5 = 185 \text{ nm}$	$E_5 = 10,7 \cdot 10^{-19} \text{ J}$	$E_5 = 6,71 \text{ eV}$

1.3 d) **Bestimmung der Übergänge:**

Berechnung der Energieniveaudifferenzen: Man erkennt an dem Termschema, dass die beiden UV-Linien durch den Übergang in den Grundzustand emittiert werden:

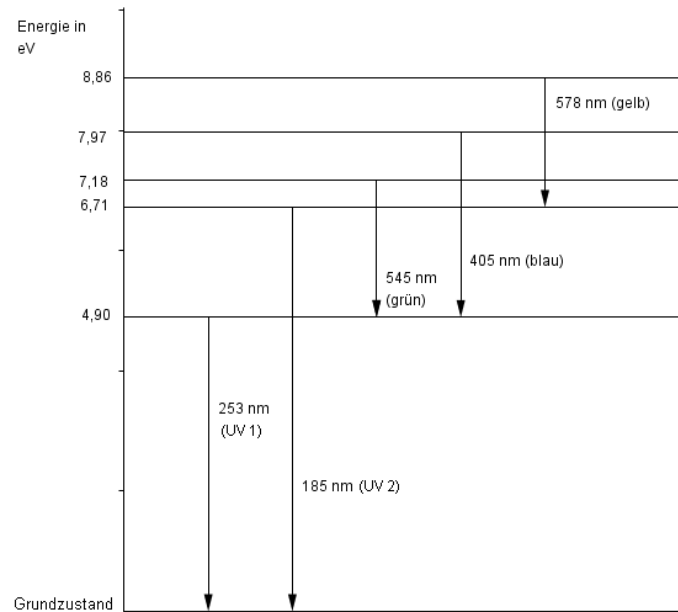
Gelb:  $8,86 \text{ eV} \leftrightarrow 6,71 \text{ eV}$

Grün:  $7,18 \text{ eV} \leftrightarrow 4,90 \text{ eV}$

Blau:  $7,97 \text{ eV} \leftrightarrow 4,90 \text{ eV}$

UV1:  $4,90 \text{ eV} \leftrightarrow 0 \text{ eV}$

UV2:  $6,71 \text{ eV} \leftrightarrow 0 \text{ eV}$

2. **Versuch 2: Kreuzprojektion**2.1 **Beschreibung von Versuchsaufbau und -durchführung:**

Hg- und Na-Dampfampe beleuchten über Kreuz eine Flamme, in der NaCl verdampft. Auf zwei verschiedenen Schirmen wird das Licht beider Lampen nach Durchgang durch die Flamme aufgefangen.

2.2 **Beschreibung der Beobachtung:**

Beobachtung auf „Hg“-Schirm: Es ist nichts zu erkennen, insbesondere kein Schatten der Flamme.

Beobachtung auf „Na“-Schirm: Es ist ein Schatten der Flamme zu erkennen.

### 2.3 Erklärung:

Die Hg-Dampflampe sendet nur Licht aus, das zu den (errechneten) Hg-Linien gehört. Keine dieser Wellenlängen bzw. keine der zugehörigen Photonenenergie stimmt mit der Anregungsenergie des Na überein, sodass keine Wechselwirkung zwischen den Photonen des Hg-Lichts und den Na-Atom-Hüllelektronen auftritt.

Die Na-Dampflampe sendet solches Licht aus, das exakt diejenige Energie hat, die Na-Atom-Hüllelektronen anregen können, auf höhere Bahnen (gemäß Bohr'schen Atommodells) zu wechseln. Ein Teil des eingestrahnten Na-Lichts wird also dazu genutzt, die Na-Atome im verdampfenden NaCl anzuregen. Diese Photonen fehlen später auf dem Schirm. Die angeregten Na-Atomhüllelektronen werden wieder in den Grundzustand zurückkehren: Sie senden dabei zwar auch wieder Licht exakt der zuvor absorbierten Wellenlänge aus, aber dieses Licht geht in alle Raumrichtungen, sodass auf dem Schirm das dort fehlende Licht nicht vollständig ersetzt wird. Daher entsteht hinter der Flamme ein dunklerer Bereich, ein „Schatten“.

## 3. Der Franck-Hertz-Versuch

### 3.1 a) Erläuterung der Bauelemente:

Glüh-Kathode: Austreten / Zur-Verfügung-Stellen von Elektronen

Gitter: Beschleunigung der Elektronen aufgrund Beschleunigungsspannung  $U_1$  und Möglichkeit zum Durchgang der Elektronen hin zur Anode

Anode: Auffangen der dort ankommenden Elektronen

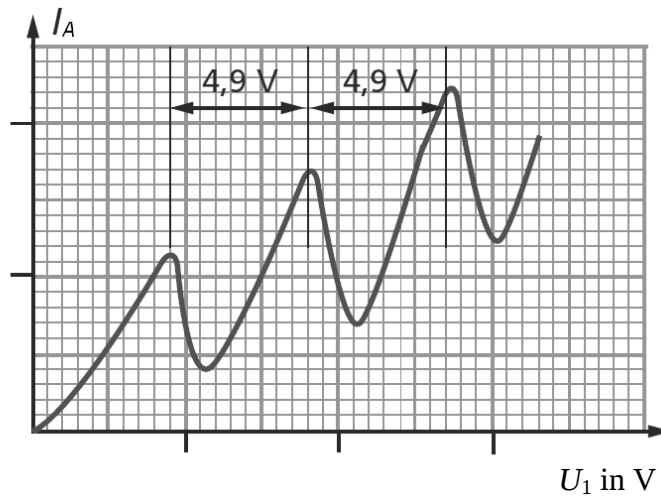
Anodenstrommessgerät: Bestimmung der Anodenstromstärke  $I_A$

#### Bedeutung der Spannungen:

$U_H$  : Heizspannung zum Glühen der Kathode

$U_1$  : Beschleunigungsspannung für die Elektronen zwischen Kathode und Gitter

$U_2$  : Die Gegenspannung bewirkt, dass durch inelastische Stöße abgeschwächte Elektronen die Anode nicht erreichen.

3.1 b) **Skizze des Anodenstromverlaufs:**

Paetec: Physik, Gymnasiale Oberstufe, 2003, S. 487; geänderte und vereinfachte Darstellung

**Hinweise für die korrigierende Lehrkraft:**

Quantitative Angaben an den Achsen sind nicht verlangt. Es müssen aber die äquidistanten Maxima deutlich erkennbar sein.

3.1 c) **Erläuterung der Ergebnisse** des Franck-Hertz-Versuchs (leicht verändert übernommen aus Paetec: Physik, Gymnasiale Oberstufe, 2003, S. 487 f.):

Auf ihrem Weg zur Anode stoßen die Elektronen mit Hg-Atomen zusammen. Bei niedriger Beschleunigungsspannung erfolgen diese Stöße elastisch. Die Elektronen geben dabei nahezu keine kinetische Energie an die Atome ab und sind deshalb in der Lage, das geringe Gegenfeld vor der Anode zu überwinden.

Erreicht die kinetische Energie der Elektronen einen bestimmten Wert, dann kommt es zu inelastischen Stößen zwischen Elektronen und Atomen. Die Hg-Atome nehmen dabei Energie von den Elektronen auf. Diese sind dann nicht mehr in der Lage, das Gegenfeld zu überwinden – dementsprechend sinkt die Stromstärke. Wird die Beschleunigungsspannung weiter erhöht, vergrößert sich die Energie der Elektronen wieder, der Strom steigt erneut an. Bei einer stetigen Steigerung der Spannung erreichen die Elektronen auch wieder diejenige Energie, bei der inelastische Stöße erfolgen.

Auf diese Weise können die Elektronen auf ihrem Weg zur Anode gleich zwei- oder mehrmals ihre Energie an Hg-Atome abgeben. So erklärt sich das Auftreten mehrerer Maxima bzw. Minima in der Spannungs-Stromstärke-Kurve.

Geht man von diskreten Energieniveaus in der Hülle des Hg-Atoms aus, dann zeigt dieser Versuch: Nur wenn die kinetische Energie eines Elektrons mindestens gleich der Differenz zweier atomarer Energieniveaus ist, kann sie durch das Hg-Atom aufgenommen werden.

### 3.2 a) **Berechnung der „Anregungswellenlänge“:**

Der Spannungsabstand  $\Delta U_1 = 4,90 \text{ V}$  entspricht einer Energieabgabe der Elektronen von  $\Delta E = e \cdot U_1 = e \cdot 4,90 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 4,90 \text{ J} = 7,85 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

Da  $\Delta E = E_{\text{ph}}$  ist, ergibt sich mit:

$$E_{\text{ph}} = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda_{\text{FH}}}, \text{ also } \lambda_{\text{FH}} = h \cdot \frac{c}{E_{\text{ph}}}, \text{ also } \underline{\underline{\lambda_{\text{FH}} \approx 253 \text{ nm}}}.$$

### 3.2 b) **Erläuterung der „fehlenden Anregungen“ im Franck-Hertz-Diagramm**

Aus dem Termschema ergibt sich, dass langwelligere Strahlung erst dann emittiert werden kann, wenn zuvor Anregungen von mindestens 6,71 eV auftreten, da die langwelligere Strahlung erst bei Übergängen zwischen den „oberen“ Energieniveaus vorkommen. Dieser Prozess ist aber sehr unwahrscheinlich, da die anregenden Elektronen ab einer Energie von 4,90 eV bereits ihre Energie mit hoher Wahrscheinlichkeit an die Hüllelektronen abgeben, die diese dann beim „Rücksprung“ als 253-nm-Linie abgeben.

#### **Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Die beobachtete Anregung von 4,90 eV entspricht einem 61S0 nach 63P1 Übergang. Die optischen Linien des Hg entstehen durch Übergänge von 6D nach 6P Zuständen sowie 7D nach 6P bzw. 7, 8 oder 9S nach 6P. Zu ihrer Anregung müsste ein Elektron also zunächst auf mindestens 6,7 eV beschleunigt werden. Da bei der Anordnung Beschleunigungs- und Anregungsstrecke zusammenfallen, ist dieser Prozess unwahrscheinlich und führt zu keinen ausgeprägten Maxima. Lediglich bei sehr geringem Dampfdruck und entsprechend kleiner Stoßwahrscheinlichkeit könnten diese Übergänge auftreten. Allerdings würden bei der geringen Stoßwahrscheinlichkeit ebenfalls keine ausgeprägten Maxima beobachtet werden können. Bei der nachfolgenden Modifikation des Versuchs nach Franck und Knipping wird jedoch genau eine dieser Energien angeregt und nachgewiesen.

### 3.2 c) **Erklärung für „Abfall nicht auf Null“**

Ursache 1: Nicht alle Elektronen stoßen genau dann, wenn sie 4,9 eV Energie aufgenommen haben.

Ursache 2: Bei einer festen Beschleunigungsspannung ergibt sich keine einheitliche Energie der Elektronen (vgl. Erklärung für die „Breite“).

#### **Erklärung der „Breite“**

Ursache 1: Die Elektronen, die aus der Kathode austreten, haben nicht alle die gleiche Energie.

Ursache 2: Die Elektronen verlieren auch durch elastische Stöße Energie. Hier ist der Energieverlust zwar klein, aber es können zahlreiche Wechselwirkungen auftreten.

Ursache 3: Trifft ein Elektron auf ein bereits angeregtes Hg-Atom, können zudem auch andere Energien absorbiert werden.

Ursache 4: Die Hg-Atome weisen unterschiedliche Bewegungsenergie auf.

#### **Hinweis für die korrigierende Lehrkraft:**

Es soll je eine Erklärung für die endliche Breite und das Nichtabfallen auf Null angegeben werden.

## **4. Eine Modifikation des Franck-Hertz-Versuchs**

### **4.1 Beschreibung des Diagramms:**

Das Diagramm zeigt ebenfalls einen deutlichen Anstieg bis zu einer Spannung von 4,9 V und einen anschließenden Abfall auf etwa 1/10 des Anodenstroms. Sein Verlauf ist jedoch etwas unregelmäßiger als die Franck-Hertz-Kurve. Einigermaßen deutlich erkennbar ist eine zusätzliche Flanke bzw. ein Maximum bei einer Spannung von 6,71 V.

### **4.2 Bedeutung der Trennung von Beschleunigungs- und Reaktionsstrecke**

Bevor die Elektronen überhaupt auf Hg-Atome treffen, ist durch die Trennung der beiden Strecken die Möglichkeit gegeben, ihnen größere Energien als 4,9 eV zuzuführen. In der üblichen Anordnung würden solche Elektronen i.d.R. durch die erste Anregung von 4,90 eV bereits ihre Energie verlieren, während beim Franck-Knipping-Versuch die Elektronen erst auf Hg-Atome treffen, wenn sie ihre maximal erreichbare Energie innerhalb der Beschleunigungsstrecke aufgenommen haben, so dass dann auch höhere Energieniveaus angeregt werden können.

#### 4.3 **Interpretation**

Aufgrund der Trennung von Beschleunigungs- und Reaktionsstrecke erlaubt die Anordnung nach Franck und Knipping den Nachweis dieser höheren Anregungen: Die beobachtete Flanke bei 6,71 V entspricht dem Übergang von der 2. Anregung in den Grundzustand (siehe Abbildung 7).

### 5. **Anregung der Hg-Atome mit Licht**

- 5.1 Bei dem Beschuss der Hg-Atome mit Photonen der Energie zwischen 5 eV und 6 eV tritt keine Anregung der Hg-Atome auf. Photonen können – im Gegensatz zu Elektronen – ihre Energie nur vollständig abgeben.
  
- 5.2 Bei dem Beschuss der Hg-Atome mit Photonen der Energie zwischen 6 eV und 7 eV tritt Anregung der Hg-Atome auf, da 6,71 eV ein Anregungsniveau im Term-schemata des Hg ist.



**6.2 Teilleistungen – Kriterien****Aufgabe: Energieniveaus im Quecksilberatom****1. Versuch 1: Gitterspektrum****Teilaufgabe 1.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB) <sup>1</sup>
	Der Prüfling	
a)	beschreibt Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung unter Anfertigung einer Skizze.	6 (II)
b)	zeigt die Gleichung für die Wellenlänge $\lambda$ .	10 (II)
c)	gibt die Bedeutung von $n$ und $\alpha_n$ an.	2 (I)

**Teilaufgabe 1.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	berechnet die Wellenlänge und den Winkel für eine Linie des Hg-Spektrums.	5 (I)
b)	begründet, warum bei dem Gitter ein Maximum 2. Ordnung nicht auftritt.	6 (II)

**Teilaufgabe 1.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	erläutert qualitativ die Aussagen des Bohr'schen Atommodells.	4 (I)
b)	erklärt das Auftreten von Spektrallinien mit Hilfe des Bohr'schen Modells.	3 (II)
c)	berechnet die zugehörige Photonenenergie.	5 (I)
d1)	bestimmt die Energieniveaus, zwischen denen die Abstrahlung erfolgt.	8 (II)
d2)	zeichnet die Übergänge in das Termschema ein.	3 (I)

---

<sup>1</sup> AFB = Anforderungsbereich

**2. Versuch 2: Kreuzprojektion****Teilaufgabe 2.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	beschreibt den Versuchsaufbau und die Durchführung des Versuchs.	3 (I)

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	beschreibt seine Beobachtung.	3 (I)

**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erklärt die Beobachtung mit Hilfe des Bohr'schen Modells.	8 (III)

**3. Der Franck-Hertz-Versuch****Teilaufgabe 3.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	erläutert die Funktion der Bauelemente und die Bedeutung der Spannungen.	7 (II)
b)	skizziert den Verlauf des Anodenstroms im Franck-Hertz-Versuch mit Hg-Dampf.	4 (II)
c)	erläutert das Versuchsergebnis mit Bezug auf das Bohr'sche Modell.	8 (II)

**Teilaufgabe 3.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
a)	berechnet die Wellenlänge der 4,9-eV-Anregung.	4 (I)
b)	erläutert das Fehlen höherer Anregungen im Franck-Hertz-Diagramm.	6 (III)
c)	erklärt zwei charakteristische Merkmale des Anodenstromverlaufs.	6 (II)

**4. Eine Modifikation des Franck-Hertz-Versuchs****Teilaufgabe 4.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	beschreibt die Franck-Knipping-Messkurve und vergleicht sie mit der Franck-Hertz-Messkurve.	4 (I)

**Teilaufgabe 4.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erläutert die Vorteile einer räumlichen Trennung von Beschleunigungs- und Reaktionsstrecke.	6 (III)

**Teilaufgabe 4.3**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	interpretiert das Auftreten einer zusätzlichen Flanke.	4 (II)

**5. Anregung der Hg-Atome mit Licht****Teilaufgabe 5.1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erläutert das Absorptionsverhalten von Hg-Dampf bei Photonenstößen zwischen 5 und 6 eV.	3 (II)

**Teilaufgabe 5.2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)
	Der Prüfling	
1	erläutert das Absorptionsverhalten von Hg-Dampf bei Photonenstößen zwischen 6 und 7 eV.	2 (II)

## 7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

### Aufgabe: Energieniveaus im Quecksilberatom

#### 1. Versuch 1: Gitterspektrum

##### Teilaufgabe 1.1

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	beschreibt Versuchsaufbau und ...	6 (II)			
b)	zeigt die Gleichung ...	10 (II)			
c)	gibt die Bedeutung ...	2 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.1</b>	<b>18</b>			

##### Teilaufgabe 1.2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	berechnet die Wellenlänge ...	5 (I)			
b)	begründet, warum bei ...	6 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.2</b>	<b>11</b>			

##### Teilaufgabe 1.3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
a)	erläutert qualitativ die ...	4 (I)			
b)	erklärt das Auftreten ...	3 (II)			
c)	berechnet die zugehörige ...	5 (I)			
d1)	bestimmt die Energieniveaus ...	8 (II)			
d2)	zeichnet die Übergänge ...	3 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 1.3</b>	<b>23</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 1.1, 1.2 und 1.3</b>	<b>52</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**2. Versuch 2: Kreuzprojektion****Teilaufgabe 2.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	beschreibt den Versuchsaufbau ...	3 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.1</b>	<b>3</b>			

**Teilaufgabe 2.2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	beschreibt seine Beobachtung.	3 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.2</b>	<b>3</b>			

**Teilaufgabe 2.3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	erklärt die Beobachtung ...	8 (III)			
	<b>Summe Teilaufgabe 2.3</b>	<b>8</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 2.1, 2.2 und 2.3</b>	<b>14</b>			

**3. Der Franck-Hertz-Versuch****Teilaufgabe 3.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	erläutert die Funktion ...	7 (II)			
b)	skizziert den Verlauf ...	4 (II)			
c)	erläutert das Versuchsergebnis ...	8 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 3.1</b>	<b>19</b>			

**Teilaufgabe 3.2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
a)	berechnet die Wellenlänge ...	4 (I)			
b)	erläutert das Fehlen ...	6 (III)			
c)	erklärt zwei charakteristische ...	6 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 3.2</b>	<b>16</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 3.1 und 3.2</b>	<b>35</b>			

**4. Eine Modifikation des Franck-Hertz-Versuchs****Teilaufgabe 4.1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	beschreibt die Franck-Knipping-Messkurve ...	4 (I)			
	<b>Summe Teilaufgabe 4.1</b>	<b>4</b>			

**Teilaufgabe 4.2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	erläutert die Vorteile ...	6 (III)			
	<b>Summe Teilaufgabe 4.2</b>	<b>6</b>			

**Teilaufgabe 4.3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	interpretiert das Auftreten ...	4 (II)			
	<b>Summe Teilaufgabe 4.3</b>	<b>4</b>			
	<b>Summe Teilaufgaben 4.1, 4.2 und 4.3</b>	<b>14</b>			

**5. Anregung der Hg-Atome mit Licht**

**Teilaufgabe 5.1**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	erläutert das Absorptionsverhalten ...	3 (II)			
<b>Summe Teilaufgabe 5.1</b>		<b>3</b>			

**Teilaufgabe 5.2**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl (AFB)	EK	ZK	DK
1	erläutert das Absorptionsverhalten ...	2 (II)			
<b>Summe Teilaufgabe 5.2</b>		<b>2</b>			
<b>Summe Teilaufgaben 5.1 und 5.2</b>		<b>5</b>			
<b>Summe der Aufgabe</b>		<b>120</b>			

	<b>Summe insgesamt</b>	<b>120</b>			
	<b>aus der Punktsomme resultierende Note</b>				
	<b>Note ggf. unter Absenkung um ein bis zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST</b>				
	<b>Paraphe</b>				

ggf. arithmetisches Mittel der Punktsommen aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

ggf. arithmetisches Mittel der Notenuurteile aus EK und ZK: \_\_\_\_\_

Die Klausur wird abschließend mit der Note: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

**Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)**

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
sehr gut plus	15	120 – 114
sehr gut	14	113 – 108
sehr gut minus	13	107 – 102
gut plus	12	101 – 96
gut	11	95 – 90
gut minus	10	89 – 84
befriedigend plus	9	83 – 78
befriedigend	8	77 – 72
befriedigend minus	7	71 – 66
ausreichend plus	6	65 – 60
ausreichend	5	59 – 54
ausreichend minus	4	53 – 47
mangelhaft plus	3	46 – 39
mangelhaft	2	38 – 32
mangelhaft minus	1	31 – 24
ungenügend	0	23 – 0