

2026

**STARK**  
Prüfung  
**MEHR**  
**ERFAHREN**

# Abitur

Hessen

**Physik LK**

- ✓ Original-Prüfungsaufgaben (LK) mit Lösungen
- ✓ Zusätzliche Aufgaben (GK/LK) als PDF zum Download
- ✓ Interaktives Training



# Inhalt

Vorwort

Stichwortverzeichnis

## **Hinweise und Tipps zum Landesabitur**

---

Allgemeine Hinweise .....	I
1 Das Landesabitur in Hessen .....	I
2 Durchführung der schriftlichen Abiturprüfung .....	II
3 Inhaltliche Vorgaben für die schriftliche Abiturprüfung .....	II
4 Struktur und Anforderungen der Prüfungsaufgaben .....	XI
5 Bewertung der Abiturarbeiten .....	XII
Methodische Hinweise .....	XII
6 Ablauf der schriftlichen Abiturprüfung .....	XII
7 Operatoren .....	XIII
8 Das Arbeiten mit Formelsammlung und Taschenrechner .....	XV
9 Das Lösen einer physikalischen Aufgabe .....	XVI
Zum Umgang mit diesem Buch .....	XVIII

## **Original-Abituraufgaben – Leistungskurs**

---

### **Abiturprüfung 2022**

Aufgabe A1: Bewegte Ladungen in Feldern .....	LK 2022-1
Aufgabe A2: Hall-Effekt und Induktion am Beispiel der Stromzange .....	LK 2022-14
Aufgabe B1: Materialprüfungsverfahren mittels Pendelschwingungen .....	LK 2022-27
Aufgabe B2: Elektromagn. Schwingkreis und elektromagn. Wellen ..	LK 2022-41
Aufgabe B3: Atommodelle .....	LK 2022-54

### **Abiturprüfung 2023**

Aufgabe A1: Schallwellen bei einer Orgel .....	LK 2023-1
Aufgabe A2: Elektromagnetischer Schwingkreis und Teslatransformator .....	LK 2023-15
Aufgabe B1: Massenspektrometer .....	LK 2023-30
Aufgabe B2: Kontinuierlich arbeitende und gepulste Laser .....	LK 2023-44
Aufgabe B3: Fotoeffekt – Theorie und Anwendungen .....	LK 2023-57

## Abiturprüfung 2024\*

- Aufgabe A1: Bohr'sches Atommodell und Welleneigenschaften von Elektronen ..... LK 2024-1
- Aufgabe A2: Röntgenstrahlung und die Drehkristallmethode ..... LK 2024-15
- Aufgabe B1: Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern – Die Perrin-Röhre ..... LK 2024-29
- Aufgabe B2: Mechanische Schwingung und Schallwellen: Horizontaler Federschwinger und Glocke ..... LK 2024-43

**Abiturprüfung 2025\* (online) ..... [www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)**

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2025 des Leistungskurses freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MySTARK heruntergeladen werden.

\* In den Abiturprüfungen der Jahre 2024 und 2025 wurden je zwei Aufgabenvorschläge in den Aufgabengruppen A und B unterbreitet.

## Digitale Inhalte auf MySTARK

---



### Aufgaben zum Download

- Original-Abituraufgaben Jahrgang **2025** im Leistungskurs
- Original-Abituraufgaben früherer Jahrgänge im **Grund- und Leistungskurs**
- Übungsaufgabe „Rydberg-Atom und Moseley-Gesetz“



### Interaktives Training

Ihr Coach zum Erfolg: Mit dem **interaktiven Training** erhalten Sie online auf MySTARK Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs. Am besten gleich ausprobieren!

Den Zugangscode zu MySTARK ([www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)) finden Sie vorne in diesem Buch.

## Autoren sämtlicher Tipps und Lösungen

---

Bis Jahrgang 2020: Burkhard Apell, Frank Nordheim

Seit Jahrgang 2021: Frank Nordheim

# Vorwort

**Liebe Schülerinnen und Schüler,**

Sie haben Physik in Hessen als Grund- oder Leistungsfach belegt und möchten in diesem Fach Ihr Abitur ablegen. Für die schriftliche Abiturprüfung werden im **Landesabitur in Hessen** seit 2007 landesweit einheitliche Abituraufgaben gestellt, d. h., es wird ein Zentralabitur durchgeführt.

Mit diesem Buch helfen wir Ihnen einerseits, sich effektiv auf dieses Zentralabitur vorzubereiten. Zum anderen eignet sich der Band hervorragend dazu, sich gezielt auf Klausuren oder Tests in Physik im Laufe Ihrer Oberstufenlaufbahn vorzubereiten:

- Dazu geben wir Ihnen zunächst ausführliche **Hinweise** zu den Rahmenbedingungen der Prüfungen, zu Inhalten, Methoden und Prüfungskriterien.
- Der Hauptteil des Bandes enthält die offiziellen, vom hessischen Kultusministerium gestellten schriftlichen **Abituraufgaben im Leistungskurs der Jahrgänge 2022 bis 2024**.
- Zu allen Aufgaben finden Sie von uns ausgearbeitete **vollständige, kommentierte Lösungsvorschläge** sowie separate **Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das selbstständige Lösen der Aufgaben erleichtern.

Zudem finden Sie **digitale Inhalte** zu diesem Buch **online auf MySTARK**:

- **Interaktives Training** mit Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs.
- **Original-Prüfungsaufgaben 2025** im Leistungskurs zum Download.
- **Original-Prüfungsaufgaben früherer Jahrgänge** im Grund- und Leistungskurs zum Download.
- Übungsaufgabe „Rydberg-Atom und Moseley-Gesetz“



Den Zugangscode zu MySTARK finden Sie vorne in diesem Buch.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2026 vom hessischen Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet auf MySTARK.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

Frank Nordheim



# Hinweise und Tipps zum Landesabitur

## Allgemeine Hinweise

---

### 1 Das Landesabitur in Hessen

Seit Frühjahr 2007 legen alle hessischen Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe und des beruflichen Gymnasiums das Landesabitur ab. Dies bedeutet, dass die *schriftlichen* Prüfungen (d. h. Prüfungen in den beiden Leistungskursfächern und dem dritten, schriftlichen Prüfungsfach) *zentral* gestellt werden; die Aufgabenstellungen erfolgen also landesweit einheitlich. Die mündlichen Prüfungen werden weiterhin dezentral organisiert, d. h. dieses Verfahren läuft so ab wie bisher.

Mit der Einführung des zentralen schriftlichen Landesabiturs in Hessen verfolgt das Kultusministerium vor allem folgende Ziele:

- größtmögliche Objektivität durch Vergleichbarkeit von Leistungen.
- landesweite Vereinheitlichung der Unterrichtsinhalte.
- Erhöhung der Transparenz der Anforderungen im schriftlichen Abitur durch Veröffentlichung der bereits geschriebenen Aufgaben.

Die Prüfungsaufgaben **ab dem Abitur 2026** orientieren sich dabei an folgenden vom Kultusministerium herausgegebenen Vorgaben ([www.kultusministerium.hessen.de](http://www.kultusministerium.hessen.de)):

- an den Kerncurricula (KCGO) für die gymnasiale Oberstufe (Basis: KCGO seit 1.8.2016). Diese Kerncurricula können Sie im Internet auf den Seiten des Hessischen Kultusministeriums nachlesen. Dort werden die Inhaltsfelder genannt und stichpunktartig deren Inhalte (Konkretisierungen) beschrieben. Diese Stichpunkte bilden die Grundlage für die Aufgaben des zentralen Landesabiturs. Inhaltsfelder und die Konkretisierungen finden Sie auch in diesem Buch abgedruckt.

**Beachten Sie:** Seit Februar 2025 gelten für alle Schülerinnen und Schüler, die zum Schuljahr 2024/25 in die Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe eingetreten sind, überarbeitete Kerncurricula, die die Basis für die Abiturprüfungen ab 2027 bilden. Für das Abitur 2026 gilt nach wie vor die bisherige Fassung des KCGO.

- an den bundesweit einheitlich gefassten Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife.
- an der Oberstufen- und Abiturverordnung (OAVO).

Die Bewertung der Abiturarbeiten erfolgt nach wie vor durch die Lehrkräfte der eigenen Schule. Für die Korrektur der Arbeiten erhalten die Lehrerinnen und Lehrer Lösungs- und Bewertungshinweise, anhand derer die Beurteilung vorgenommen wird.

## 2 Durchführung der schriftlichen Abiturprüfung

Weiterhin wird in Grund- und Leistungskurse unterschieden. Die **Bearbeitungszeit** für die Abituraufgaben ist abhängig vom gewählten Kurs: Bei Grundkursarbeiten beträgt sie 255 Minuten und bei Leistungskursarbeiten 300 Minuten. In die Bearbeitungszeit ist die Zeit für die Auswahl der Aufgaben miteingeschlossen. Sie wird nicht gesondert ausgewiesen.

**Neu geregelt** ist ab dem Abitur 2026 die **Auswahl der Aufgaben**. Künftig gilt: Zu Beginn der Vorbereitungszeit (am Tage des schriftlichen Abiturs in Physik) erhalten Sie insgesamt **vier** Aufgabenvorschläge A, B, C, D. Aus diesen **wählen Sie drei aus**, die Sie bearbeiten möchten.

Sie dürfen folgende **Hilfsmittel** zu Ihrer schriftlichen Abiturprüfung in Physik verwenden: ein Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung, einen eingeführten Taschenrechner (bei grafikfähigen Rechnern und ComputeralgebraSystemen ist ein Reset durchzuführen) sowie eine Formelsammlung. Die Formelsammlung soll alle üblichen Formeln, aber keine Herleitungen und weitergehenden physikalischen Erklärungen enthalten und kann komplett die drei Naturwissenschaften, Mathematik und Informatik abdecken. Bei Verwendung einer rein physikalischen Formelsammlung ist zudem eine mathematische Formelsammlung zugelassen.

## 3 Inhaltliche Vorgaben für die schriftliche Abiturprüfung

Grundlage der schriftlichen Abiturprüfung bildet das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe für das Fach Physik. Thematisch legt das Kultusministerium jedes Jahr **Schwerpunkte** fest, auf die sich die Prüfungsaufgaben im Grund- und Leistungskurs beziehen. Für das **Abitur 2026** sind das:

- Q1.1 Elektrisches Feld
- Q1.2 Magnetisches Feld
- Q1.3 Induktion
- Q2.1 Schwingungen
- Q2.2 Wellen
- Q2.3 Wellen an Grenzflächen
- Q3.1 Eigenschaften von Quantenobjekten
- Q3.2 Atommodelle
- Q3.3 Röntgenstrahlung

**Beachten Sie:** Im Themenfeld „Q3.2 Atommodelle“ kommt neu das Verständnis des Begriffs „Energiestufenmodell“ hinzu; zudem wird im Leistungskurs erwartet, dass Sie die Rydberg-Formel in erweiterter Form kennen und anwenden können (Moseley'sches Gesetz, wasserstoffähnliche Atome). Aufgaben zu dieser Thematik finden Sie im Buch (vgl. LK 2022/B3/2.5; LK 2024/A2/5) und im Downloadbereich auf MySTARK (vgl. LK 2020/B2 und gesonderte Übungsaufgabe „Rydberg-Atom und Moseley-Gesetz“).

Zu Ihrer detaillierten Orientierung sind im Folgenden die Konkretisierungen zu allen Themenfeldern aus dem Kerncurriculum abgedruckt. Die genannten Schwerpunktthemen für das Abitur 2026 sind mit **SP 2026** gekennzeichnet.

**Landesabitur Physik 2024 (Hessen) – Leistungskurs**  
**Aufgabe A2: Röntgenstrahlung und die Drehkristallmethode**

Vor über hundert Jahren hat Wilhelm C. Röntgen die nach ihm benannte Röntgenstrahlung entdeckt. Sie wird heute vielfältig in Wissenschaft, Technik und Medizin eingesetzt. Röntgenröhren, in denen beschleunigte Elektronen auf eine Anode beispielsweise aus Kupfer oder Molybdän geschossen werden, dienen der Erzeugung von Röntgenstrahlung. Zur spektralen Untersuchung von Röntgenstrahlung wird im Folgenden die Drehkristallmethode verwendet, die unter anderem von den Physikern William L. Bragg und William H. Bragg entwickelt wurde.

- 1.1 Skizzieren und beschriften Sie den Aufbau einer Röntgenröhre.  
Beschreiben Sie die Funktionen der angelegten Spannungen. (5 BE)
- 1.2 Eine Röntgenröhre wird mit einer Beschleunigungsspannung von  $U_a = 30 \text{ kV}$  betrieben.  
Berechnen Sie unter der Annahme, dass alle Elektronen vor der Beschleunigung eine zu vernachlässigende Geschwindigkeit besitzen, mit einem nichtrelativistischen Ansatz die Geschwindigkeit  $v$ , mit der die Elektronen auf die Anode treffen. Berechnen Sie das Ergebnis auch als prozentualen Anteil der Lichtgeschwindigkeit. (4 BE)
- 2 Material 1 zeigt ein idealisiertes Röntgenspektrum einer Kupferanode. Zur Beschreibung eines solchen Spektrums unterscheidet man den kontinuierlichen Anteil und den charakteristischen Anteil der Röntgenstrahlung.
- 2.1 Erläutern Sie die Entstehung dieser beiden Strahlungsanteile und erklären Sie in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit, die Anode zu kühlen.  
Beschreiben Sie den Einfluss des verwendeten Anodenmaterials und der Beschleunigungsspannung auf diese beiden Anteile der Strahlung. (8 BE)
- 2.2 Erläutern Sie, welche Auswirkungen auf das Spektrum in Material 1 zu erwarten sind, wenn bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen die Heizspannung erhöht wird. (2 BE)
- 3 Das Röntgenspektrum einer Molybdänanode wird mit einem NaCl-Kristall untersucht. Material 2 zeigt eine Skizze des dafür benötigten Versuchsaufbaus. Zum Nachweis der Röntgenstrahlung wird ein Zählrohr verwendet, das beim Drehen des Kristalls jeweils um den doppelten Glanzwinkel  $\varphi$  weitergedreht wird. Der Netzebenenabstand beträgt  $d = 282 \text{ pm}$ .
- 3.1 Die Bragg-Bedingung  $n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \varphi$  mit  $n = 1, 2, 3, \dots$  stellt einen Zusammenhang zwischen der Wellenlänge  $\lambda$  der Röntgenstrahlung, dem Netzebenenabstand  $d$  des verwendeten Kristalls und dem Glanzwinkel  $\varphi$  her.  $n$  gibt die Ordnung des Interferenzmaximums an.  
Leiten Sie unter Verwendung von Material 3 die Bragg-Bedingung her. (4 BE)

- 3.2 Material 4 zeigt das Röntgenspektrum einer Molybdänanode in zwei Darstellungen.

Ordnen Sie die sechs ausgeprägten Maxima (Peaks) in der unteren Darstellung jeweils der  $K_{\alpha}$ - oder  $K_{\beta}$ -Linie sowie der jeweiligen Ordnung zu.

Berechnen Sie unter Verwendung aller Maxima die Wellenlängen der  $K_{\alpha}$ - und der  $K_{\beta}$ -Linie von Molybdän.

*Hinweis:* Mit „ $K_{\alpha}$ - und  $K_{\beta}$ -Linie“ werden die Übergänge vom Energieniveau  $E_2$  auf das Energieniveau  $E_1$  bzw. vom Energieniveau  $E_3$  auf das Energieniveau  $E_1$  bezeichnet. (8 BE)

- 4.1 Zwischen der Grenzwellenlänge  $\lambda_{\min}$  des Röntgenspektrums und der Beschleunigungsspannung  $U_a$  gilt der Zusammenhang

$$\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e} \cdot \frac{1}{U_a}.$$

Leiten Sie diesen Zusammenhang her. (4 BE)

- 4.2 Material 5 stellt für verschiedene Beschleunigungsspannungen einen Ausschnitt des jeweiligen Röntgenspektrums einer Molybdänanode dar.

Zeichnen Sie, wie in Material 5 an einem Beispiel gezeigt, durch den steil ansteigenden Teil jeder Kurve jeweils eine Gerade, die den Verlauf näherungsweise beschreibt.

Bestimmen Sie mithilfe dieser Geraden die Grenzwellenlängen  $\lambda_{\min}$ .

Stellen Sie unter Verwendung der Tabelle in Material 5 die Grenzwellenlängen  $\lambda_{\min}$  in Abhängigkeit vom Kehrwert der Spannung  $U_a$  in einem Diagramm grafisch dar.

Ermitteln Sie aus diesem Diagramm mithilfe einer Ausgleichsgeraden durch den Ursprung einen Wert für das Planck'sche Wirkungsquantum und die prozentuale Abweichung dieses Werts vom Literaturwert. (12 BE)

- 5 Henry Moseley fand den folgenden Zusammenhang zwischen der Frequenz der  $K_{\alpha}$ -Linie und der Ordnungszahl  $Z$  des zugehörigen Elements:

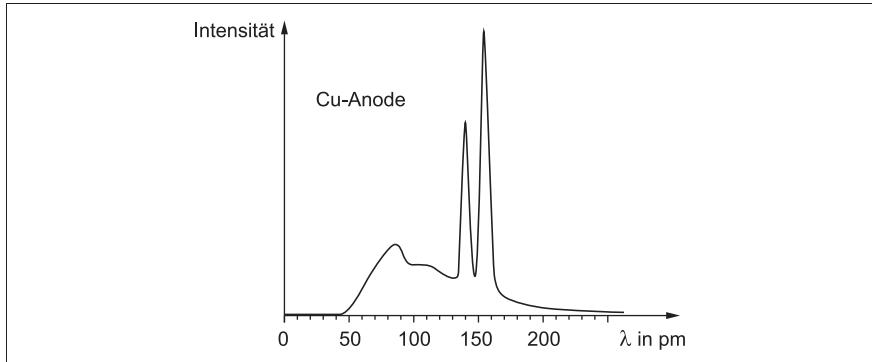
$$f_{K_{\alpha}} = \frac{3}{4} f_R \cdot (Z - S)^2$$

mit der Rydberg-Frequenz  $f_R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ .

Die dimensionslose Zahl  $S$  wird Abschirmkonstante genannt. Die  $K_{\alpha}$ -Linie von Kupfer ( $Z=29$ ) besitzt die Frequenz  $f_{K_{\alpha}} = 1,94 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$ .

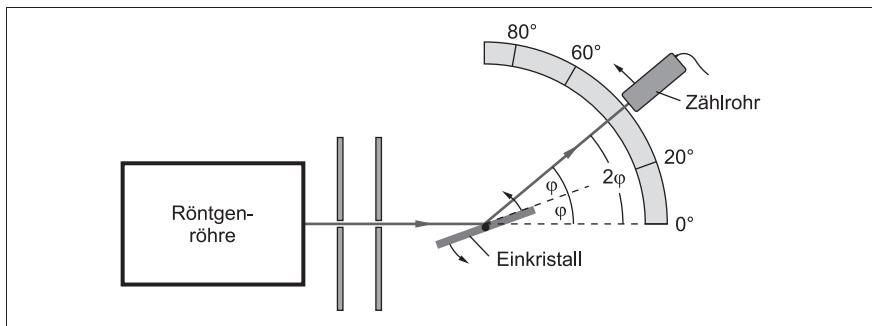
Bestätigen Sie rechnerisch, dass die Abschirmkonstante  $S$  für die  $K_{\alpha}$ -Linie von Kupfer ungefähr den Wert 1 besitzt. (3 BE)

### Material 1: Idealisiertes Röntgenspektrum einer Kupferanode



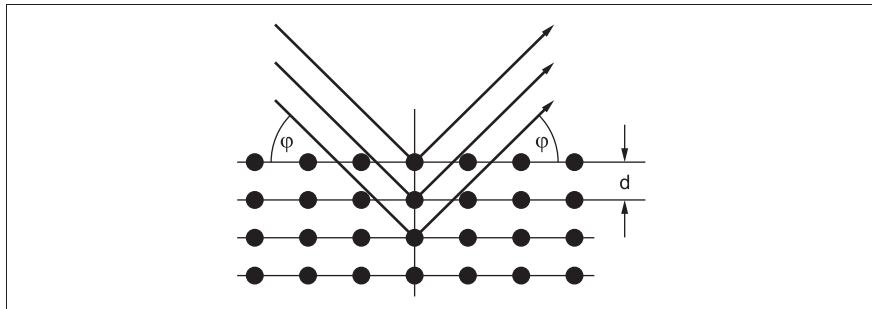
Bardo Diehl et al.: Physik Oberstufe Gesamtbund, Berlin 1. Aufl. 2008, S. 362

### Material 2: Schematischer Versuchsaufbau zur Aufnahme eines Röntgenspektrums



Stefan Richtberg, <https://www.leifiphysik.de/atomphysik/roentgen-strahlung/versuche/roentgen-emissionsspektrum>

### Material 3: Abbildung zur Herleitung der Bragg-Bedingung



$d$ : Netzebenenabstand;  $\varphi$ : Glanzwinkel

## Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe A2

### Tipp zu Teilaufgabe 1.1

- ◆ Eine Röntgenröhre besteht aus einem evakuierten Glaskolben, einer Anode und einer Glühkathode. Zeichnen Sie auch die Heiz- und die Beschleunigungsspannung ein. Beschreiben Sie die Entstehung und die Beschleunigung der vorkommenden freien Elektronen.

### Tipp zu Teilaufgabe 1.2

- ◆ Zur Berechnung der Geschwindigkeit der Elektronen verwenden Sie einen Energieansatz. Sie dürfen nichtrelativistisch rechnen.
- ◆ Gehen Sie davon aus, dass die gesamte elektrische Energie des Feldes in kinetische Energie der Elektronen umgewandelt wird.
- ◆ Zur Bestimmung des prozentualen Anteils der Lichtgeschwindigkeit berechnen Sie den Quotienten aus der berechneten Geschwindigkeit und der Lichtgeschwindigkeit.

### Tipp zu Teilaufgabe 2.1

- ◆ Unterscheiden Sie zwei Anteile: einmal die Bremsstrahlung, die entsteht, wenn Elektronen im Anodenmaterial abgebremst werden, und einmal die charakteristische Strahlung, die durch Herausschlagen von Elektronen auf inneren Bahnen der Atome des Anodenmaterials entsteht.
- ◆ Die charakteristische Strahlung ist materialabhängig. Beschreiben Sie die beiden Spektren der Strahlungsanteile und begründen Sie Kühlung der Anode.
- ◆ Die Änderung des Anodenmaterials hat nur Einfluss auf das charakteristische Spektrum. Welchen Einfluss hat die Beschleunigungsspannung auf das Bremsspektrum?

### Tipp zu Teilaufgabe 2.2

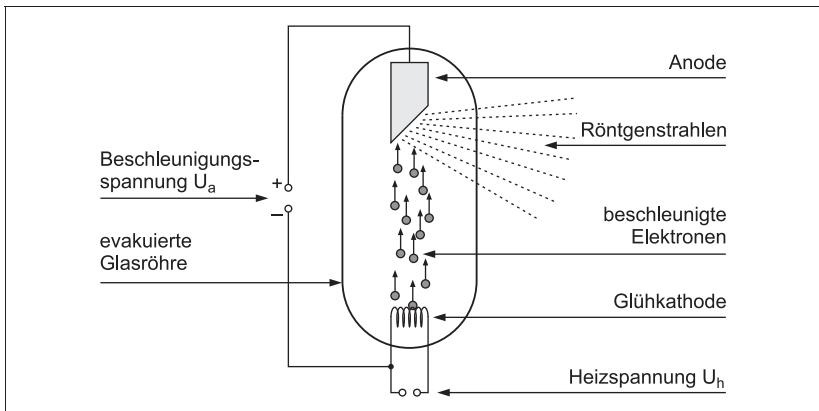
- ◆ Durch Erhöhung der Heizspannung gelangen mehr freie Elektronen auf das Anodenmaterial. Wie wirkt sich dies auf die beiden Teile des Röntgenspektrums aus?

### Tipp zu Teilaufgabe 3.1

- ◆ Wenn Röntgenstrahlen auf einen Kristall treffen, werden sie an den Atomlagen im Kristall gestreut. Diese gestreuten Strahlen interferieren miteinander. Untersuchen Sie den Fall der konstruktiven Interferenz.
- ◆ Was gilt für den Gangunterschied zwischen den gestreuten Strahlen bei konstruktiver Interferenz? Bestimmen Sie anhand der Skizze einen mathematischen Term für den Gangunterschied und setzen Sie diesen in die Bedingungsgleichung für konstruktive Interferenz ein.

## Lösungen zu Aufgabe A2

### 1.1 Skizze und Beschriftung



### Beschreibung der Spannungen

In einer Röntgenröhre werden an einer Glühkathode durch Einschalten einer Heizspannung  $U_h$  freie Elektronen erzeugt. Diese Elektronen werden mithilfe einer Spannung  $U_a$  auf die Anode zu beschleunigt.

### 1.2 Berechnung der Geschwindigkeit der Elektronen

Durch Anlegen einer Beschleunigungsspannung entsteht zwischen der Kathode und der Anode ein elektrisches Feld, in dem die Elektronen beschleunigt werden. Dabei geht die elektrische Energie komplett in Bewegungsenergie der Elektronen über. Es gilt der Energieansatz:

$$E_{el} = E_{kin} \Rightarrow e \cdot U_a = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$$

Für die Geschwindigkeit, mit der die Elektronen auf die Anode auftreffen, erhält man durch Umstellen der Gleichung:

$$v = \sqrt{\frac{2e \cdot U_a}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 30 \cdot 10^3 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = \underline{\underline{1,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

### Prozentualer Anteil der Lichtgeschwindigkeit

Er ergibt sich als Quotient des eben berechneten Werts und der Lichtgeschwindigkeit:

$$\frac{v}{c} = \frac{1,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,33 = \underline{\underline{33 \%}}$$

Die Elektronengeschwindigkeit beträgt ca. 33 % der Lichtgeschwindigkeit.

In der Aufgabenstellung ist ausdrücklich verlangt, dass Sie nichtrelativistisch rechnen, also für die kinetische Energie die klassische Formel  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2$  verwenden. Die so berechnete Geschwindigkeit  $v = 0,33 \text{ c}$  liegt zwar über dem Wert der Faustformel  $v < 0,1 \text{ c}$  für nichtrelativistische Rechnung; eine relativistische Vergleichsrechnung zeigt aber, dass der exakte Wert mit  $v = 0,328 \text{ c}$  kaum vom klassischen Wert abweicht. Die klassische Rechnung ist also gerechtfertigt.

## 2.1 Entstehung der Strahlungsanteile

Den **kontinuierlichen Anteil** der Röntgenstrahlung bezeichnet man auch als Bremsstrahlung. Er entsteht, wenn die beschleunigten Elektronen auf die Anode prallen, in das Anodenmaterial eindringen und abgebremst werden. Diese negative Beschleunigung der Elektronen führt dazu, dass sie Energie in Form von Photonen abgeben. Die Photonenenergien können beliebige Werte annehmen, die durch die unterschiedlichen Abbremsungsprozesse der Elektronen bestimmt werden. Dadurch entsteht ein kontinuierliches Spektrum: Es hat keine diskreten Energieniveaus, sondern zeigt eine breite Verteilung von Energien. Das Spektrum besitzt eine maximale Energie der Strahlung (minimale Wellenlänge). Diese Grenze wird erreicht, wenn die gesamte kinetische Energie der Elektronen vollständig in elektromagnetische Strahlung umgewandelt wird. Ein großer Teil der Energie wird in Form von Wärmeenergie an die Anode abgegeben, weshalb diese gekühlt werden muss.

Der **charakteristische Anteil** der Röntgenstrahlung entsteht durch Elektronenübergänge innerhalb der Atome des Anodenmaterials. Die in die Anode eindringenden Elektronen haben genügend Energie, um Elektronen aus den inneren Schalen der Atome herauszuschlagen. Dies führt zu einer Ionisation des Atoms und hinterlässt eine Lücke in einer der inneren Elektronenschalen. Um diese Lücke zu füllen, springen Elektronen aus höheren Energieniveaus auf das niedrigere Energieniveau. Während dieses Übergangs wird die Differenz der Energiezustände als Photon emittiert. Aufgrund der quantisierten Energiedifferenzen zwischen den verschiedenen Elektronenschalen entstehen diskrete Linien im Röntgenspektrum; diese sind charakteristisch für das jeweilige Anodenmaterial.

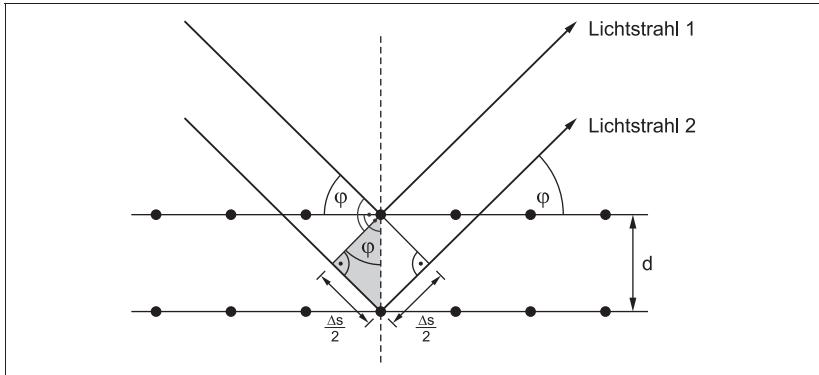
## Einfluss des Materials und der Beschleunigungsspannung

Bei einer Veränderung des Anodenmaterials bleibt der kontinuierliche Anteil des Spektrums unverändert. Die charakteristischen Peaks des Spektrums verändern sich, da die Energiedifferenzen zwischen den Schalen materialabhängig sind.

Die Beschleunigungsspannung hat Einfluss auf den kontinuierlichen Anteil des Spektrums, sie verändert die minimale Wellenlänge (maximale Energie der Strahlung). Einen Einfluss auf die charakteristischen Peaks hat eine Veränderung der Beschleunigungsspannung dagegen nicht.

- 2.2 Eine Erhöhung der Heizspannung führt dazu, dass die Glühkathode wärmer wird und mehr freie Elektronen aus der Glühwendel ausgelöst werden. Diese höhere Anzahl an Elektronen trifft dann auf die Anode. Somit **nimmt die Intensität** der Röntgenstrahlung **zu**.

### 3.1 Herleitung der Bragg-Bedingung



Röntgenstrahlen mit einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda$  treffen auf das Kristallgitter unter einem Winkel  $\varphi$  zur Gitterebene. Die einfallenden Lichtstrahlen 1 und 2 werden an verschiedenen Gitterebenen reflektiert. Für konstruktive Interferenz müssen die reflektierten Strahlen in Phase sein. Das bedeutet, dass die zusätzliche Weglänge, die Lichtstrahl 2 im Vergleich zum Lichtstrahl 1 zurücklegt, ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$  sein muss.

Wie man der Skizze entnehmen kann, folgt aus dem Nebenwinkelsatz, dass der Glanzwinkel  $\varphi$  auch im grau getönten rechtwinkeligen Dreieck vorkommt. Es gilt die Winkelbeziehung

$$\sin \varphi = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\frac{\Delta s}{2}}{d} = \frac{\Delta s}{2d} \Rightarrow \Delta s = 2d \cdot \sin \varphi.$$

Für konstruktive Interferenz gilt die Bedingung:

$$\Delta s = n \cdot \lambda \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

Daraus folgt durch Gleichsetzen:

$$\underline{n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \varphi} \quad \text{mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

### 3.2 Zuordnung (Ordnung der Maxima und Linien)

Im Röntgenspektrum sind drei Maximapare (Doppelpeaks) sichtbar. Das wiederholte Auftreten der Doppelpeaks entsteht durch die in 3.1 beschriebene Bragg-Reflexion. Gemäß der Bragg-Bedingung gilt  $\sin \varphi \sim n$ , d. h., die Linien höherer Ordnungen liegen bei größeren Glanzwinkeln. Zu sehen sind daher **von links nach rechts die Maxima erster, zweiter und dritter Ordnung**.



© STARK Verlag

[www.stark-verlag.de](http://www.stark-verlag.de)  
[info@stark-verlag.de](mailto:info@stark-verlag.de)

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH  
ist urheberrechtlich international geschützt.  
Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung  
des Rechteinhabers in irgendeiner Form  
verwertet werden.

**STARK**