2025

Abitur

Original-Prüfu
mit Lösungen

MEHR ERFAHREN

Hessen

Physik LK

+ Zusätzliche Aufgaben als PD

PDF

STARK

Inhalt

Abiturprüfung 2023

Abiturprüfung 2024 (online) .... **www.stark-verlag.de/mystark**
Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2024 des Leistungskurses freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MySTARK heruntergeladen werden.

Digitale Inhalte auf MySTARK

Aufgaben zum Download

- Original-Abituraufgaben Jahrgang **2024** im Leistungskurs
- Original-Abituraufgaben früherer Jahrgänge im **Grund- und Leistungskurs**

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) finden Sie auf der vorderen Umschlaginnenseite 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 2021 bis 2023**.
- 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 Unhalte** zu diesem Buch **online auf MySTARK**:

- **Interaktives Training** mit Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs.
- **Original-Prüfungsaufgaben 2024** im Leistungskurs zum Download.
- **Original-Prüfungsaufgaben früherer Jahrgänge** im Grund- und Leistungskurs zum Download.

Den Zugangscode zu MySTARK finden Sie auf der vorderen Umschlaginnenseite in diesem Buch.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2025 vom hessischen Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet auf MySTARK.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg!

Burkhard Apell und Frank Nordheim

Landesabitur Physik 2021 (Hessen) – Leistungskurs
Aufgabe B2: Das Davisson-Germer-Experiment

Clinton Davisson und Lester Germer gelang es 1927 erstmals, den von Louis de Broglie 1923 postulierten Wellencharakter von Teilchen experimentell nachzuweisen. In dem nach ihnen benannten Experiment werden Elektronen senkrecht auf die Oberfläche eines Nickeleinkristalls geschossen und die Intensitäten der reflektierten Elektronen als Funktion des Streuwinkels β mit einem beweglichen Detektor gemessen (Material 1). Die Messungen erfolgen mit verschiedenen Beschleunigungsspannungen U_B für den Elektronenstrahl.

1 Nach Louis de Broglie kann jedem Teilchen jeweils eine Frequenz und eine Wellenlänge zugeordnet werden.
Geben Sie die hierfür relevanten Formeln an und nennen Sie die grundsätzliche Überlegung, die zu diesen Formeln führte. (4 BE)

2 Elektronen mit der Masse m_e und der Ladung e, deren Anfangsgeschwindigkeit vernachlässigt werden soll, werden in einem elektrischen Feld mit der Spannung U_B beschleunigt.

2.1 Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen für $U_B = 54\,V$. (4 BE)

2.2 Elektronen haben die Spannung U_B durchlaufen.
Leiten Sie die folgende Formel zur Berechnung der theoretischen Wellenlänge λ_{th} her, die diesen Elektronen zugeordnet wird.

$$\lambda_{th} = \sqrt{\frac{h^2}{2m_e \cdot e}} \cdot \sqrt{\frac{1}{U_B}} \qquad (1)$$ (4 BE)

2.3 Berechnen Sie den Wert des obigen Ausdrucks

$$\sqrt{\frac{h^2}{2m_e \cdot e}}$$

und zeigen Sie durch eine Einheitenrechnung, dass dieser Ausdruck die Einheit $m \cdot \sqrt{V}$ hat.
Berechnen Sie mithilfe von Formel (1) die Wellenlänge λ_{th} für $U_B = 54\,V$.
[zur Kontrolle: $\lambda_{th} = 1{,}67 \cdot 10^{-10}\,m$] (6 BE)

3 Im Davisson-Germer-Experiment zeigen sich – abhängig vom Streuwinkel β und der Beschleunigungsspannung U_B – ausgeprägte Intensitätsmaxima. Diese Maxima sind nur als Interferenzerscheinungen zu erklären, die durch Streuung der Elektronen an der Gitterstruktur des Nickeleinkristalls entstehen. Wegen der geringen Energie der Elektronen kann man annehmen, dass nur die oberste Atomschicht des Kristalls für die Streuung der Elektronen verantwortlich ist.

Dabei wirkt die Anordnung der Atome für die Elektronen wie ein Reflexionsgitter mit der Gitterkonstante $d = 2{,}15 \cdot 10^{-10}$ m bei der Beugung von Licht. In Material 2 ist diese Streuung schematisch dargestellt.

3.1 Erläutern Sie für Materiewellen den Zusammenhang zwischen konstruktiver Interferenz, Intensitätsmaxima und Aufenthaltswahrscheinlichkeit.
Zeichnen Sie in Material 2 den Gangunterschied Δs ein und zeigen Sie die Gültigkeit der folgenden Formel.

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin\beta \qquad (2)$$

Hierbei bedeuten n die Ordnung der Maxima und d der Abstand der einzelnen Nickelatome voneinander. (5 BE)

3.2 Die experimentellen Ergebnisse solcher Streuversuche mit unterschiedlichen Spannungen sind in Material 3 dargestellt. Bestimmen Sie für $U_B = 54$ V mithilfe der Formel (2) jeweils einen experimentellen Wert λ_{exp} der Wellenlänge unter Verwendung von $n = 1$, 2 und 3.
Bestätigen Sie anhand Ihrer Ergebnisse die Plausibilität der Annahme, dass es sich bei dem gemessenen Maximum um eines der 1. Ordnung handelt. (5 BE)

3.3 Ermitteln Sie mithilfe von Material 3 für die restlichen Werte von U_B und $n = 1$ die zugehörigen Werte von λ_{exp}. (4 BE)

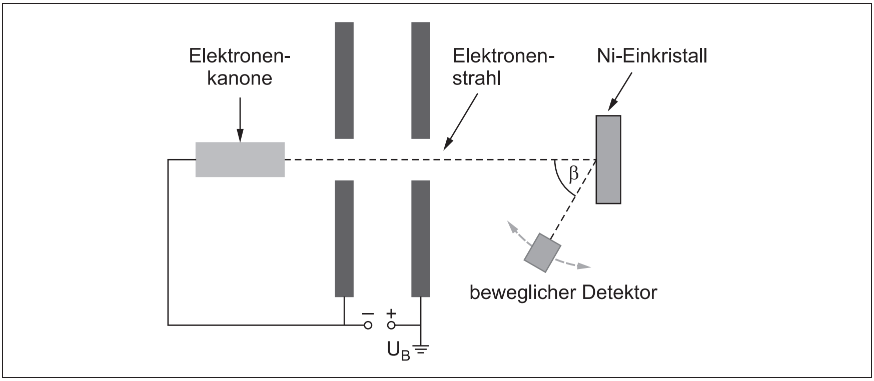
4 Nach der Formel (1) ist die Wellenlänge λ_{th} für $U_B > 0$ proportional zu $\frac{1}{\sqrt{U_B}}$.

4.1 Bestätigen Sie rechnerisch diese Proportionalität für die Messergebnisse der Aufgaben 3.2 und 3.3.
Berechnen Sie die Proportionalitätskonstante unter Einbeziehung aller Messwerte und vergleichen Sie diese quantitativ mit dem Ergebnis aus Aufgabe 2.3. (8 BE)

4.2 1959 wurde von Claus Jönsson die Interferenz von Elektronen am Doppelspalt nachgewiesen. Hier soll das Experiment vereinfacht ohne elektronenoptische Elemente zur Vergrößerung des Interferenzmusters betrachtet werden.
Mit der Spannung $U_B = 50$ kV beschleunigte Elektronen durchlaufen senkrecht einen Doppelspalt mit einem Spaltabstand $d = 2$ µm. Im Abstand von $e = 45$ cm vom Doppelspalt wird ein Interferenzmuster registriert, bei dem der Abstand der beiden Maxima erster Ordnung $a = 2{,}47$ µm beträgt.
Berechnen Sie die Wellenlänge der Elektronen zum einen mithilfe der Ergebnisse des Doppelspaltversuchs und zum anderen mit Formel (1) und vergleichen Sie diese quantitativ. (7 BE)

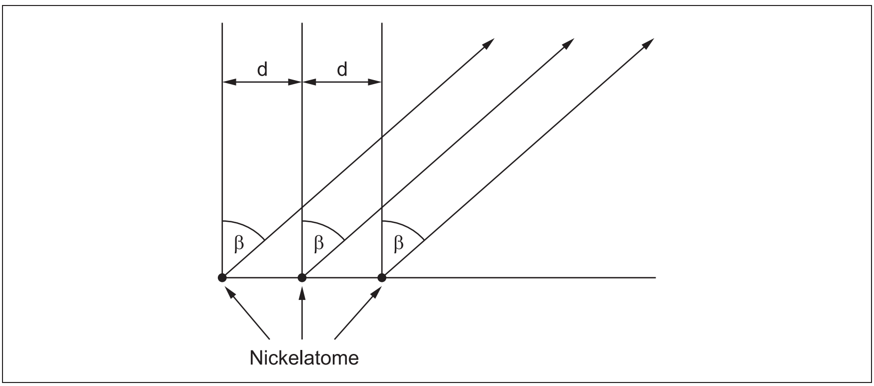
4.3 Erklären Sie, warum das Experiment von Jönsson erst mehr als 30 Jahre nach dem Experiment von Davisson und Germer durchgeführt werden konnte. (3 BE)

Material 1: Schematische Skizze des Davisson-Germer-Experiments

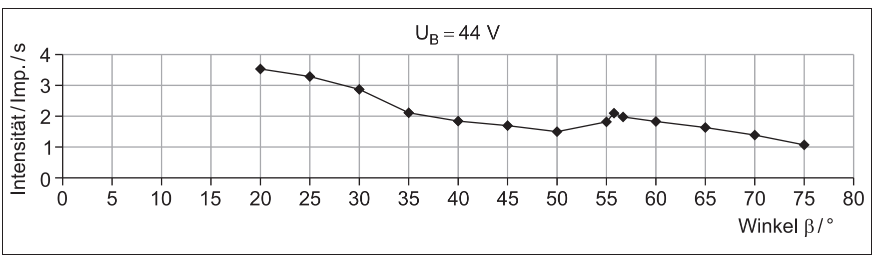


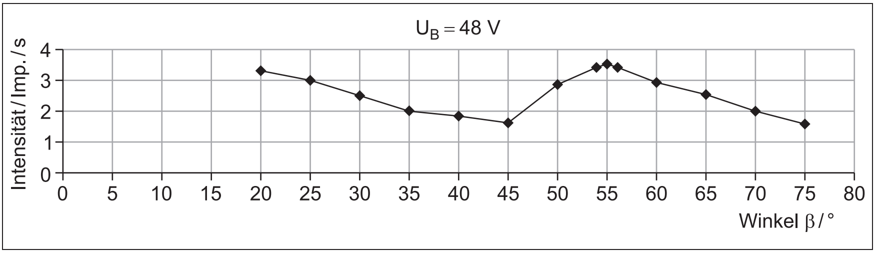
Quelle: http://qudev.phys.ethz.ch/content/science/BuchPhysikIV/PhysikIV931x.png, CC BY-SA

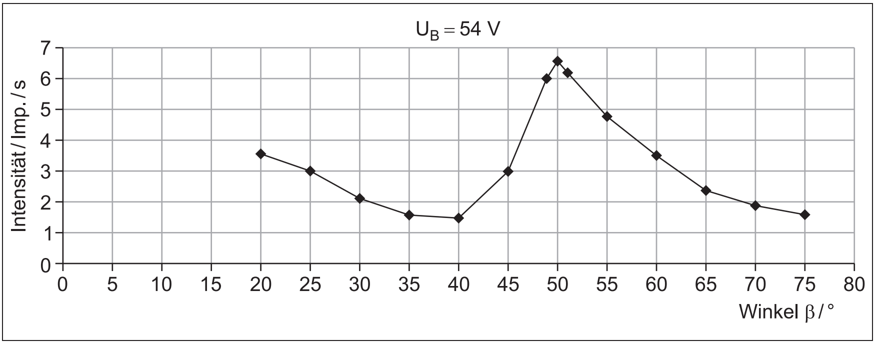
Material 2: Streuung von Elektronen an der Oberfläche eines Nickeleinkristalls (schematische Darstellung)

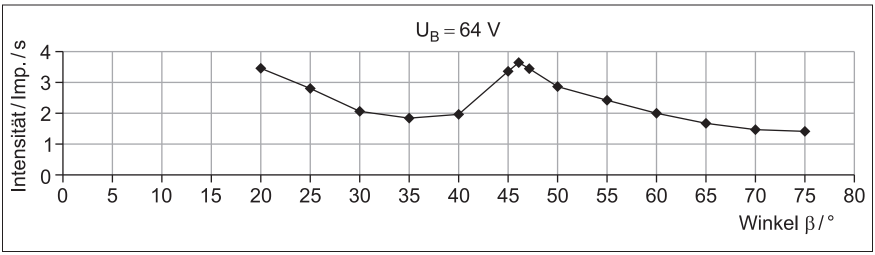


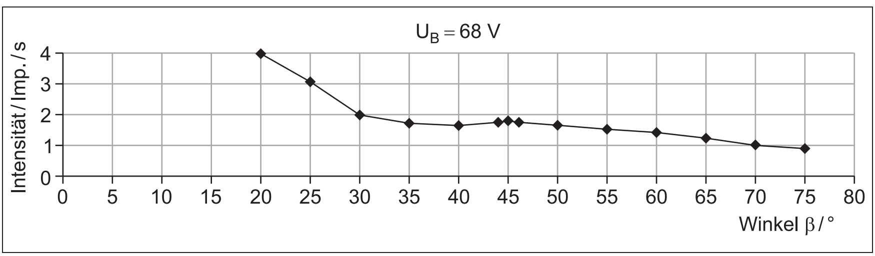
Material 3: Experimentelle Ergebnisse – Messdiagramme




$U_B = 48$ V
Intensität / Imp. / s
Winkel β / °


$U_B = 54$ V
Intensität / Imp. / s
Winkel β / °


$U_B = 64$ V
Intensität / Imp. / s
Winkel β / °


$U_B = 68$ V
Intensität / Imp. / s
Winkel β / °

Tipps und Hinweise zur Lösung von Aufgabe B2

Tipp zu Teilaufgabe 1

- Nennen Sie die beiden Formeln, die von de Broglie auf Materieteilchen übertragen wurden. Die erste Formel stellt einen Zusammenhang zwischen der Frequenz und der Energie her, die zweite Formel zwischen der Wellenlänge und dem Impuls.

Tipp zu Teilaufgabe 2.1

- Zur Berechnung der Geschwindigkeit verwenden Sie einen Energieansatz. Die gesamte elektrische Energie wird in Bewegungsenergie eines Elektrons umgewandelt. Setzen Sie in den Ansatz für die Energien die entsprechenden Formeln ein. Lösen Sie die entstehende Gleichung nach der gesuchten Geschwindigkeit v auf.

Tipp zu Teilaufgabe 2.2

- Ersetzen Sie in der De-Broglie-Gleichung für die Wellenlänge eines Materieteilchens den Impuls durch das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit eines Elektrons. Die Geschwindigkeit ersetzen Sie durch den in Teilaufgabe 2.1 hergeleiteten Ausdruck.

Tipps zu Teilaufgabe 2.3

- Setzen Sie die physikalischen Konstanten in den Ausdruck ein und berechnen Sie den Wert.
- Um die Einheiten zu überprüfen, gibt es verschiedene Umformungsmöglichkeiten. Ersetzen Sie die vorkommenden Einheiten Joule, Coulomb und später Volt und kürzen Sie.
- Berechnen Sie die theoretisch erwartete Wellenlänge durch Einsetzen der Beschleunigungsspannung.

Tipps zu Teilaufgabe 3.1

- Das Interferenzbild kann als Maß für die Aufenthaltswahrscheinlichkeit interpretiert werden.
- Der Gangunterschied ist der Wegstreckenunterschied zwischen zwei unmittelbar benachbarten Strahlen zwischen Beugungsobjekt und Schirm. Die Bedingung der konstruktiven Interferenz ist erfüllt, wenn der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge beträgt.

Tipps zu Teilaufgabe 3.2

- Zur Berechnung der Wellenlänge stellen Sie die Formel aus Teilaufgabe 3.1 entsprechend um. Setzen Sie nacheinander die Ordnungen 1, 2 und 3 ein und berechnen Sie die Wellenlängen.
- Vergleichen Sie die experimentell bestimmten Wellenlängen mit der theoretisch erwarteten Wellenlänge aus Teilaufgabe 2.3.

Tipp zu Teilaufgabe 3.3

- Lesen Sie aus den verschiedenen Graphen zu den unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen die jeweiligen Streuwinkel β der Intensitätsmaxima ab und berechnen Sie daraus die jeweiligen Wellenlängen.

Tipps zu Teilaufgabe 4.1

- Sind zwei Größen proportional zueinander, so ist deren Produkt konstant (= Proportionalitätskonstante). Berechnen Sie diese durch Einsetzen der bereits ermittelten Werte aus den Teilaufgaben 3.2 und 3.3.
- Berechnen Sie den Mittelwert der Proportionalitätskonstanten und die prozentuale Abweichung.

Tipps zu Teilaufgabe 4.2

- Nennen Sie die beiden relevanten Gleichungen des Doppelspaltexperiments. Es handelt sich dabei um zwei Gleichungen mit jeweils einer trigonometrischen Funktion.
- Für kleine Winkel können Sie die beiden Gleichungen über die trigonometrischen Funktionen gleichsetzen. Berechnen Sie die Wellenlänge einmal mithilfe dieser beiden Formeln und einmal mit der Gleichung aus Teilaufgabe 2.2.
- Vergleichen Sie die beiden Werte und bestimmen Sie deren prozentuale Abweichung.

Tipp zu Teilaufgabe 4.3

- Die von de Broglie postulierten Wellenlängen von Materieteilchen sind extrem klein (häufig deutlich unter einem Nanometer). Was bedeutet das für die Herstellung eines entsprechenden Doppelspalts?

Lösungen zu Aufgabe B2

1 **De-Broglie-Wellen**

De Broglie stellte die These auf, dass nicht nur Licht Teilchen- und Wellencharakter besitzt, sondern auch Elektronen und andere Objekte mit einer realen Ruhemasse. Daher übertrug er die von den Photonen bekannten Beziehungen bezüglich Energie und Impuls auf Materieteilchen, d. h., er wies auch Quantenobjekten mit einer Ruhemasse (Photon = Quantenobjekt ohne Ruhmasse) eine Frequenz f und eine Wellenlänge λ zu. Dabei hängen diese wellentypischen Größen jeweils über die Planck-Konstante h mit den teilchentypischen Größen Energie E und Impuls p zusammen.

Die zugehörigen **Formeln** lauten für die

- Frequenz: $\underline{\underline{f = \frac{E}{h}}}$
- Wellenlänge: $\underline{\underline{\lambda = \frac{h}{p}}}$

2.1 **Geschwindigkeit der Elektronen**

Bei der Beschleunigung der Elektronen wird die Energie im elektrischen Feld komplett in Bewegungsenergie der Elektronen umgewandelt. Es gilt also folgender Energieansatz:

$$E_{el} = E_{kin} \quad \Leftrightarrow \quad e \cdot U_B = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2e \cdot U_B}{m_e}}$$

Setzt man die gegebenen Werte ein, so ergibt sich für die Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 54\,\mathrm{V}}{9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}} = \underline{\underline{4{,}36 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}}$$

2.2 **Herleitung der λ_{th}-Formel**

In der Formel für die De-Broglie-Wellenlänge für Materieteilchen ersetzt man den Impuls und anschließend die Geschwindigkeit (siehe Teilaufgabe 2.1):

$$\lambda_{th} = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v} = \frac{h}{m_e \cdot \sqrt{\frac{2e \cdot U_B}{m_e}}} = \sqrt{\frac{h^2}{2e \cdot U_B \cdot m_e}} = \underline{\underline{\sqrt{\frac{h^2}{2e \cdot m_e}} \cdot \sqrt{\frac{1}{U_B}}}} \qquad (1)$$

2.3 **Wert und Einheit des Vorfaktors von (1)**

Zur Berechnung des Terms setzt man die gegebenen Werte ein:

$$\sqrt{\frac{h^2}{2e \cdot m_e}} = \frac{h}{\sqrt{2e \cdot m_e}} = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\,\mathrm{Js}}{\sqrt{2 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}}$$

$$= \underline{\underline{1{,}227 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{m} \cdot \sqrt{\mathrm{V}}}}$$

Einheitenrechnung

$$1\sqrt{\frac{(\text{Js})^2}{\text{C}\cdot\text{kg}}}=1\sqrt{\frac{\text{kg}^2\cdot\text{m}^4\cdot\text{s}^2}{\text{s}^4\cdot\text{A}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}}}=1\sqrt{\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^4}{\text{A}\cdot\text{s}^3}}=1\sqrt{\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^4}{\frac{\text{W}}{\text{V}}\cdot\text{s}^3}}$$

$$=1\sqrt{\frac{\text{kg}\cdot\text{m}^4\cdot\text{V}}{\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\frac{1}{\text{s}^3}\cdot\text{s}^3}}=1\sqrt{\text{m}^2\cdot\text{V}}=1\cdot\text{m}\cdot\sqrt{\text{V}}$$

Alternative 1:

$$1\sqrt{\frac{(\text{Js})^2}{\text{C}\cdot\text{kg}}}=1\sqrt{\frac{(\text{V}\cdot\text{A}\cdot\text{s}^2)^2}{\text{A}\cdot\text{s}\cdot\text{kg}}}=1\sqrt{\text{V}\cdot\frac{\text{V}\cdot\text{A}\cdot\text{s}^3}{\text{kg}}}=1\sqrt{\text{V}\cdot\frac{\text{J}\cdot\text{s}^2}{\text{kg}}}$$

$$=1\sqrt{\text{V}\cdot\frac{\text{kg}\cdot\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\cdot\text{s}^2}{\text{kg}}}=1\sqrt{\text{V}\cdot\text{m}^2}=1\,\text{m}\cdot\sqrt{\text{V}}$$

Alternative 2:

$$1\sqrt{\frac{(\text{Js})^2}{\text{C}\cdot\text{kg}}}=1\sqrt{\frac{\text{Js}}{\text{As}}\cdot\frac{\text{Js}}{\text{kg}}}=1\sqrt{\frac{\text{V}\cdot\text{A}\cdot\text{s}^2}{\text{As}}\cdot\frac{\text{kg}\cdot\frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{\text{kg}}}=1\sqrt{\text{V}\cdot\text{s}\cdot\frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$=1\sqrt{\text{V}\cdot\text{m}^2}=1\,\text{m}\cdot\sqrt{\text{V}}$$

Wert von λ_{th}
Mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3 folgt durch Einsetzen in (1):

$$\lambda_{\text{th}}=1{,}227\cdot10^{-9}\,\text{m}\cdot\sqrt{\text{V}}\cdot\sqrt{\frac{1}{54\,\text{V}}}=\underline{\underline{1{,}67\cdot10^{-10}\,\text{m}=167\,\text{pm}}}$$

3.1 **Interferenz von Materiewellen**
In der Quantenmechanik wird davon ausgegangen, dass Teilchen keinen fest definierbaren Ort besitzen. Es ist nur möglich, eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit anzugeben, die durch Materiewellen beschrieben werden. Interferieren diese an einem bestimmten Ort konstruktiv, entsteht dort ein Maximum an Intensität, d.h., die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Teilchen an diesem Ort ist (im Vergleich zur Umgebung) maximal.

Hintergrundinformation: Die prinzipielle Ortsunkenntnis ist eine Folge der Heisenberg'schen Unschärferelation, nach der Ort und Impuls eines Quantenobjekts nicht gleichzeitig messbar sind. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Quantenobjekts an einem Ort ist nach Max Borns statistischer Interpretation der Quantenmechanik durch das Amplitudenquadrat der (sich überlagernden) Wellenfunktionen an diesem Ort gegeben.

Gangunterschied und Beugungsbedingung

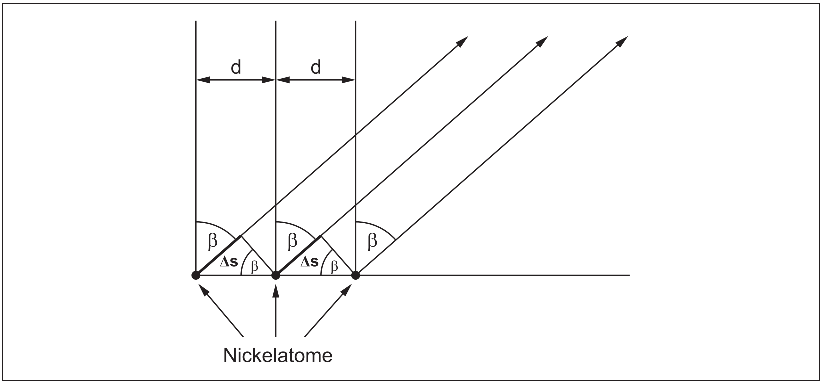


Abb. 1

Der Gangunterschied ist die Wegdifferenz zweier benachbarter Strahlen von den Nickelatomen zum weit entfernten Detektor (Abb. 1). Für den Fall der konstruktiven Überlagerung muss der Gangunterschied zweier unmittelbar benachbarter Strahlen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge betragen. Die Bedingung lautet also:

$$\Delta s = n \cdot \lambda \quad \text{mit } n = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

Im rechtwinkligen Dreieck mit der Hypotenuse d, dem Winkel β und der Gegenkathete Δs (vgl. Abb. 1) gilt die trigonometrische Beziehung:

$$\sin\beta = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} = \frac{\Delta s}{d} \quad \Rightarrow \quad \Delta s = d \cdot \sin\beta$$

Setzt man die beiden Formeln für Δs gleich, so ergibt sich die gesuchte Formel:

$$\underline{\underline{n \cdot \lambda = d \cdot \sin\beta}} \quad \text{mit } n = 0, 1, 2, 3, \ldots$$

3.2 **Experimentell ermittelte Werte der Wellenlänge**

Zur Bestimmung von λ_{exp} löst man die Beugungsbedingung (2) aus der Aufgabenstellung 3.1 nach der gesuchten Wellenlänge auf:

$$n \cdot \lambda_{exp,\,n} = d \cdot \sin 50° \quad \Rightarrow \quad \lambda_{exp,\,n} = \frac{d \cdot \sin 50°}{n}$$

Somit erhält man für $n = 1$

$$\lambda_{exp,\,1} = d \cdot \sin 50° = 2{,}15 \cdot 10^{-10}\ \text{m} \cdot \sin 50° = \underline{\underline{1{,}65 \cdot 10^{-10}\ \text{m} = 165\ \text{pm}}}$$

und für $n = 2$ bzw. $n = 3$ wegen $\lambda_{exp,\,n} = \frac{1}{n} \cdot \lambda_{exp,\,1}$:

$$\lambda_{exp,\,2} = \frac{1}{2} \cdot \lambda_{exp,\,1} = \frac{1}{2} \cdot 165\ \text{pm} = \underline{\underline{82{,}5\ \text{pm}}}$$

$$\lambda_{exp,\,3} = \frac{1}{3} \cdot \lambda_{exp,\,1} = \frac{1}{3} \cdot 165\ \text{pm} = \underline{\underline{55{,}0\ \text{pm}}}$$