

2023

Abitur

Original-Prüfungsaufgaben
mit Lösungen

**MEHR
ERFAHREN**

Hessen

Physik

+ Zusätzliche Aufgaben

ActiveBook
Interaktives
Training

Original-Prüfungsaufgaben
2022 zum Download

STARK

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

Abiturprüfung 2019

Grundkurs

Aufgabe A1: Elektromagnetische Schwingkreise	GK 2019-1
Aufgabe A2: Schwingungen und stehende Wellen – der glühende Draht.....	GK 2019-12
Aufgabe B1: Gewitter und Blitzableiter	GK 2019-21
Aufgabe B2: Franck-Hertz-Versuch	GK 2019-33

Leistungskurs

Aufgabe A1: Elektrische Felder und Wassertropfen	LK 2019-1
Aufgabe A2: Induktion und der Versuch von Tolman	LK 2019-13
Aufgabe B1: Stehende Wellen und Interferenz	LK 2019-23
Aufgabe B2: Linienspektren und Fotoeffekt	LK 2019-34

Abiturprüfung 2020

Grundkurs

Aufgabe A1: Kondensatoren	GK 2020-1
Aufgabe A2: Induktion und Fadenstrahlrohr	GK 2020-11
Aufgabe B1: Interferenz von Wasserwellen und Interferenz von Lichtwellen	GK 2020-22
Aufgabe B2: Spektralanalyse in der Sternforschung	GK 2020-34

Leistungskurs

Aufgabe A1: Interferenz bei verschiedenen Wellenarten	LK 2020-1
Aufgabe A2: Der elektromagnetische Schwingkreis	LK 2020-12
Aufgabe B1: Untersuchung von Stoffen mit Magnetfeldern und Kondensatoren	LK 2020-24
Aufgabe B2: Argon-Ionen-Laser	LK 2020-35

Abiturprüfung 2021*

Grundkurs

Aufgabe A1: Schmetterlingsfarben	GK 2021-1
Aufgabe A2: Mechanische Schwingungen und Wellen	GK 2021-14
Aufgabe B1: Kräfte auf elektrische Ladungen	GK 2021-26
Aufgabe B2: Eigenschaften von Quantenobjekten	GK 2021-39
Aufgabe B3: Coulomb-Kraft und Elektron in Feldern	GK 2021-50

Leistungskurs

Aufgabe A1: Elektrische und magnetische Felder in Mikrofonen	LK 2021-1
Aufgabe A2: Hall-Effekt und Induktion in Drehzahlsensoren	LK 2021-13
Aufgabe B1: Massenbestimmung mithilfe mech. Schwingungen	LK 2021-25
Aufgabe B2: Das Davisson-Germer-Experiment	LK 2021-37
Aufgabe B3: Stehende Wellen und Doppler-Effekt	LK 2021-49

Abiturprüfung 2022 (online) www.stark-verlag.de/mystark

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2022 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MyStark heruntergeladen werden (Zugangscode vgl. Farbseiten vorne im Buch).

* Im Abitur 2021 wurden in Aufgabengruppe B ausnahmsweise drei statt zwei Aufgabenvorschläge bereitgestellt.



Original-Abituraufgaben Jahrgang 2022 im Grund- und Leistungskurs

Original-Abituraufgaben Grund- und Leistungskurs

Jahrgang 2013	1
Jahrgang 2014	88
Jahrgang 2015	174
Jahrgang 2016	251
Jahrgang 2017	328
Jahrgang 2018	410

Übungsaufgaben

Grundkurs (4 Aufgaben)	1
Leistungskurs (5 Aufgaben)	25

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 der Jahrgänge 2019 bis 2021**.
- 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 ist dieses Buch ein **ActiveBook** – das bedeutet, Sie erhalten zusätzliches Übungsmaterial **online**:

- **Interaktives Training** mit Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs.
- **Original-Prüfungsaufgaben 2022** im Grund- und Leistungskurs zum Download.
- Weitere **Abituraufgaben früherer Jahrgänge** sowie zusätzliche **Übungsaufgaben** für Grund- und Leistungskurs zum Download.



Ausführliche Infos inkl. Zugangscode finden Sie auf den Farbseiten vorne im Buch.

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2023 vom hessischen Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

In jedem Fall wünschen wir Ihnen schon an dieser Stelle viel Erfolg und hoffen, Sie mit diesem Buch ein Stück Ihres Weges begleiten zu dürfen.

Burkhard Apell und 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:

- Es soll eine größtmögliche Objektivität durch Vergleichbarkeit von Leistungen und der damit einhergehenden Aufwertung des Abschlusses geschaffen werden.
- Die Unterrichtsinhalte sollen landesweit vereinheitlicht werden.
- Es soll eine Erhöhung der Transparenz der Anforderungen im schriftlichen Abitur dadurch erreicht werden, dass die bereits geschriebenen Aufgaben veröffentlicht werden.

Die Prüfungsaufgaben orientieren sich dabei an drei vom Kultusministerium herausgegebenen Vorgaben (www.kultusministerium.hessen.de), nämlich

- an den Kerncurricula für die gymnasiale Oberstufe vom 1.8.2016 (nach der Verordnung vom 5.2.2016). 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.
- an den „Einheitlichen Prüfungsanforderungen in den Abiturprüfungen“ des Landes Hessen (EPA).
- an der Oberstufen- und Abiturverordnung (OAVO).

Die EPA und die OAVO sind weniger für Sie wichtig als für Ihre Lehrerin oder Ihren Lehrer. Alle für Sie wichtigen Aspekte werden wir Ihnen in diesem Buch erläutern.

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. Einzige Bedingung: Nach 60 Minuten sind die nicht gewählten Vorschläge zurückzugeben. Der genaue Zeitpunkt liegt in Ihrer eigenen Entscheidung.

Zu Beginn der Vorbereitungszeit (am Tage des schriftlichen Abiturs in Physik) erhalten Sie insgesamt vier Aufgabenvorschläge. Ein Halbjahr wird verpflichtend vom Hessischen Kultusministerium festgelegt. Dieses verpflichtende Halbjahr kann jährlich wechseln. Für dieses Halbjahr erhalten Sie zwei Aufgabenvorschläge, von denen Sie einen bearbeiten müssen. Für die beiden anderen Kurshalbjahre wird Ihnen je ein Aufgabenvorschlag zur Auswahl vorgelegt. Sie bearbeiten somit zwei Aufgabenvorschläge zu den Lehrplaninhalten zweier unterschiedlicher Kurshalbjahre:

Q1 Elektrisches und magnetisches Feld

Q2 Schwingungen und Wellen

Q3 Quanten- und Atomphysik

Sie bekommen also vier Aufgaben aus drei unterschiedlichen Halbjahren:

- Zwei Aufgaben aus einem vorher durch das Kultusministerium festgelegten Halbjahr, von denen Sie eine Aufgabe bearbeiten müssen;
- jeweils eine Aufgabe aus den beiden verbleibenden Halbjahren, von denen Sie ebenfalls eine Aufgabe bearbeiten müssen.

Demzufolge können Sie ein Halbjahr ausschließen, Sie wissen aber vorher nicht, welches das verpflichtend festgelegte Halbjahr ist.

Sie dürfen folgende **Hilfsmittel** zu Ihrer schriftlichen Abiturprüfung in Physik verwenden: Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung; eingeführter 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.

Für das **Abitur 2023** sind die nachfolgend aufgeführten Themenfelder und Konkretisierungen schwerpunktmäßig die Grundlage für die Prüfungsaufgaben im grundlegenden (Grundkurs) und im erhöhten Niveau (Leistungskurs).

Q1.1 Elektrisches Feld

Q1.2 Magnetisches Feld

Q1.3 Induktion

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 Nিকেleinkristalls 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 $U_B = 54\text{V}$. (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.

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

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 $\text{m} \cdot \sqrt{\text{V}}$ hat.

Berechnen Sie mithilfe von Formel (1) die Wellenlänge λ_{th} für $U_B = 54\text{V}$.

[zur Kontrolle: $\lambda_{\text{th}} = 1,67 \cdot 10^{-10} \text{ m}$] (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 Nিকেleinkristalls 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 $d = 2,15 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ bei der Beugung von Licht. In Material 2 ist diese Streuung schematisch dargestellt.

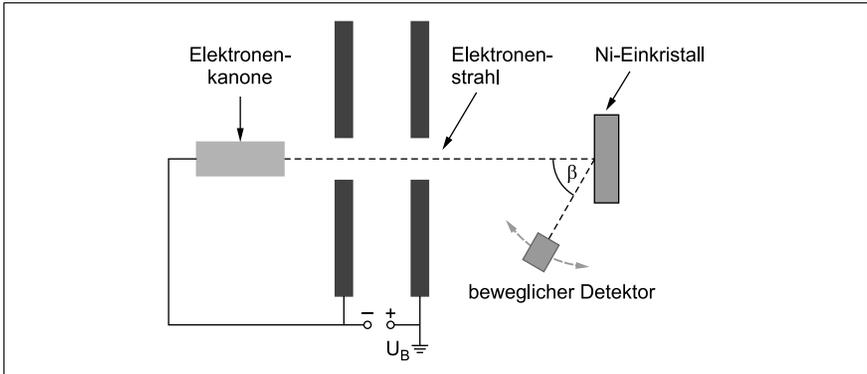
- 3.1 Erläutern Sie für Materiewellen den Zusammenhang zwischen konstruktiver Interferenz, Intensitätsmaxima und Aufenthaltswahrscheinlichkeit. Zeichnen Sie in Material 2 den Gangunterschied Δs ein und zeigen Sie die Gültigkeit der folgenden Formel.

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

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

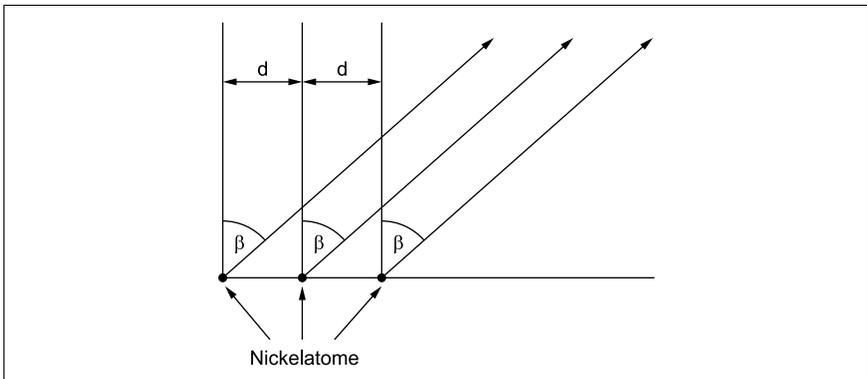
- 3.2 Die experimentellen Ergebnisse solcher Streuversuche mit unterschiedlichen Spannungen sind in Material 3 dargestellt. Bestimmen Sie für $U_B = 54 \text{ V}$ mithilfe der Formel (2) jeweils einen experimentellen Wert λ_{exp} der Wellenlänge unter Verwendung von $n = 1, 2$ und 3 . Bestätigen Sie 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 $U_B = 50 \text{ kV}$ beschleunigte Elektronen durchlaufen senkrecht einen Doppelspalt mit einem Spaltabstand $d = 2 \text{ }\mu\text{m}$. Im Abstand von $e = 45 \text{ cm}$ vom Doppelspalt wird ein Interferenzmuster registriert, bei dem der Abstand der beiden Maxima erster Ordnung $a = 2,47 \text{ }\mu\text{m}$ 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

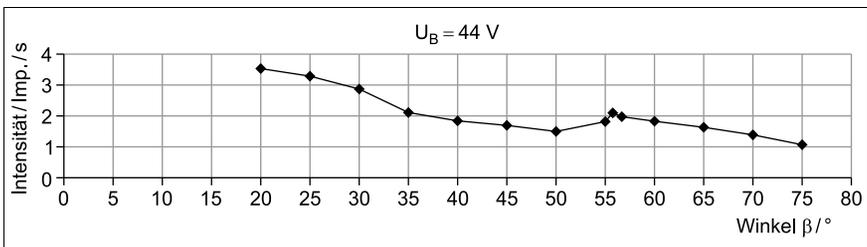


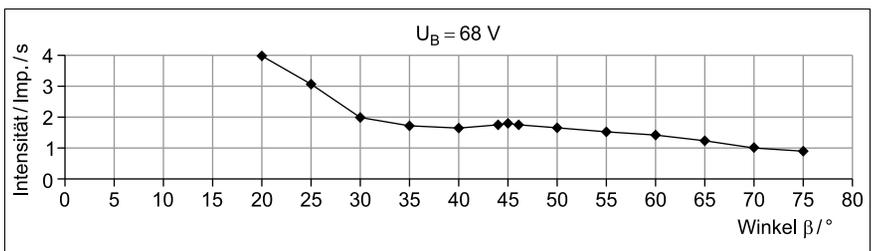
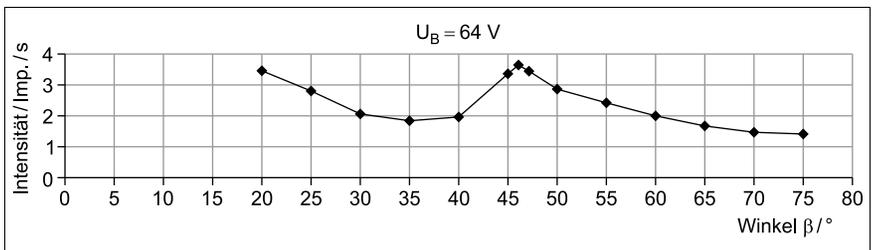
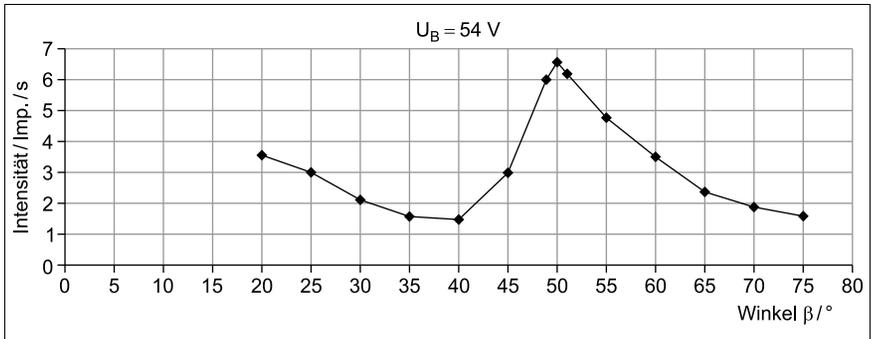
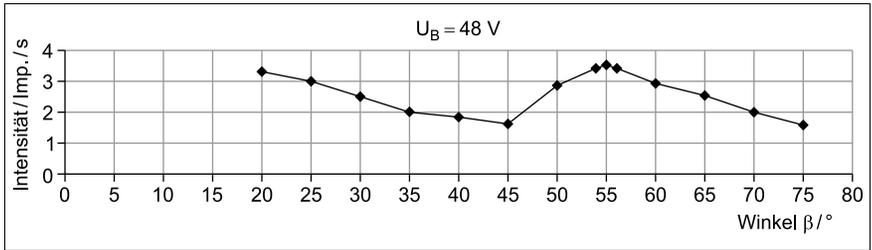
Quelle: <http://qudev.phys.ethz.ch/content/science/BuchPhysikIV/PhysikIV931x.png>, CC BY-SA

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



Material 3: Experimentelle Ergebnisse – Messdiagramme





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 Ruhemasse) 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: $f = \frac{E}{h}$
- Wellenlänge: $\lambda = \frac{h}{p}$

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:

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

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

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

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):

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

2.3 Wert und Einheit des Vorfaktors von (1)

Zur Berechnung des Terms setzt man die gegebenen Werte ein:

$$\begin{aligned} \sqrt{\frac{h^2}{2e \cdot m_e}} &= \frac{h}{\sqrt{2e \cdot m_e}} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{\sqrt{2 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} \\ &= \underline{\underline{1,227 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \sqrt{\text{V}}}} \end{aligned}$$

Einheitenrechnung

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

Alternative 1:

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

Alternative 2:

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

Wert von λ_{th}

Mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3 folgt durch Einsetzen in (1):

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

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

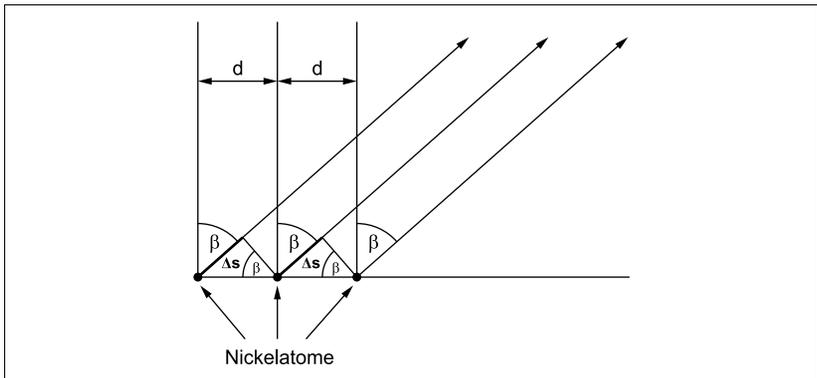


Abb. 1

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:

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

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

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

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

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

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:

$$n \cdot \lambda_{\text{exp}, n} = d \cdot \sin 50^\circ \Rightarrow \lambda_{\text{exp}, n} = \frac{d \cdot \sin 50^\circ}{n}$$

Somit erhält man für $n = 1$

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

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

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

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



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
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