

2027

>30 Millionen
bestandene
Prüfungen

50
Jahre
STARK

STARK
Prüfung

**MEHR
ERFAHREN**

G9 Abitur

NRW

Physik LK

- ✓ Original-Prüfungsaufgaben
mit Lösungen
- ✓ Übungsaufgaben im Stil
der neuen Prüfung
- ✓ Interaktives Training



Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Stichwortverzeichnis

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

1	Allgemeine Hinweise zum schriftlichen Abitur im Fach Physik	I
1.1	Die inhaltlichen Vorgaben für die schriftliche Prüfung.....	I
1.2	Organisatorisches	V
1.3	Zum Aufbau der Prüfungsaufgaben	V
1.4	Durchführung der schriftlichen Abiturprüfung	VII
1.5	Bewertung der Prüfungsarbeiten	VIII
2	Methodische Hinweise zum Bearbeiten von Klausur- und Prüfungsaufgaben	VIII
2.1	Fehler vermeiden!	VIII
2.2	Operatoren beachten!	X
3	Zum Umgang mit diesem Buch	XII

Übungsaufgaben zu den Schwerpunktthemen 2027 – Leistungskurs

1	Plattenkondensator – Kondensatoren als Energiespeicher	1
2	Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern	12
3	Experimente am Doppelspalt – Eigenschaften von Quantenobjekten	22
4	Teilchen- und Welleneigenschaften von Licht	31
5	Der Doppelspalt	44

Aufgaben im Stil der neuen Abiturprüfung – Leistungskurs

I	Geladene Teilchen in elektromagnetischen Feldern	M-1
II	Radonbelastung in Gebäuden	M-12
III	Brechung und Absorption von Licht	M-20
IV	Elektromagnetische Induktion	M-32

Zentrale Abiturprüfungsaufgaben – Leistungskurs

Abiturprüfung 2024

Aufgabe 1:	Doppelspaltversuch mit Heliumatomen	2024-1
Aufgabe 2:	Fahrradbeleuchtung	2024-19
Aufgabe 3:	Ionisierende Strahlung von Americium-241	2024-41

Abiturprüfung 2025

Aufgabe 1:	Ladestation einer elektrischen Zahnbürste	2025-1
Aufgabe 2:	Temperaturmessung mit einem el.-magn. Schwingkreis	2025-12
Aufgabe 3:	Ein Interferenzexperiment mit Atomstrahlen	2025-25

Abiturprüfung 2026 www.stark-verlag.de/mystark

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2026 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MySTARK heruntergeladen werden. Den Zugangscode finden Sie vorne in diesem Buch.

Digitale Inhalte auf MySTARK



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 finden Sie vorne in diesem Buch.



Aufgaben zum Download

- Original-Abiturprüfung 2026
- Original-Abiturprüfung 2023

Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2027 vom Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu ebenfalls auf MySTARK.

Autoren

Übungsaufgaben/Lösungen Prüfungsaufgaben: bis 2019 STARK Verlag, seit 2020 Udo Mühlenfeld.
Aufgaben im Stil der neuen Prüfung mit Lösungen: STARK Verlag und Udo Mühlenfeld.

Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

Sie haben Physik in Nordrhein-Westfalen im **Leistungskurs** belegt und planen, in diesem Fach ihr Abitur abzulegen. Für die schriftliche Abiturprüfung in NRW bearbeiten seit 2007 die Schülerinnen und Schüler aller Gymnasien und Gesamtschulen – und seit 2008 auch die der Weiterbildungskollegs – dieselben **zentral gestellten Aufgaben**.

Dieses Buch hilft Ihnen dabei, sich effektiv auf dieses Zentralabitur vorzubereiten:

- Sie bekommen im ersten Teil des Buches zahlreiche **Informationen zum Abitur** sowie viele praktische Hinweise, die Ihnen sowohl in der Vorbereitung auf das Abitur als auch während der Prüfung dazu verhelfen, Prüfungsaufgaben gut zu lösen.
- Der sich anschließende **Übungsblock** enthält LK-Prüfungsaufgaben älterer Jahrgänge, die speziell auf die **Schwerpunktthemen 2027** hin ausgewählt sind.
- Mit den **Aufgaben im Stil der neuen Abiturprüfung** stehen Ihnen vier Übungsaufgaben auf Leistungskursniveau zur Verfügung, die Ihnen ganz konkret aufzeigen, was Sie in der neuen Abiturprüfung ab 2027 hinsichtlich Inhalt, Form, Umfang und Schwierigkeitsgrad der Prüfungsaufgaben erwarten wird.
- Abschließend enthält das Buch die kompletten **Original-Prüfungsaufgaben** der Jahrgänge 2024 und 2025 im Leistungskurs.
- Auf sämtliche Aufgaben folgen **vollständige, kommentierte Lösungsvorschläge** sowie separate **Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das selbstständige Lösen der Aufgaben erleichtern.

Zudem finden Sie weitere **digitale Inhalte online** auf **MySTARK**:

- Ein **Interaktives Training** mit Aufgaben und Lernvideos zu allen relevanten Themengebieten des Physikabiturs.
- Die **Original-Prüfungsaufgaben 2023 und 2026** im Leistungskurs zum Download.



Den Zugangscode finden Sie vorne in diesem Buch.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Abiturprüfung!

Udo Kühlenfeld

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

1 Allgemeine Hinweise zum schriftlichen Abitur im Fach Physik

1.1 Die inhaltlichen Vorgaben für die schriftliche Prüfung

Der derzeit gültige Kernlehrplan Physik, wie der für alle anderen Fächer, stammt aus dem Jahre 2022 und setzt die allgemeinen verbindlichen Bedingungen für das Abitur ab dem Jahr 2025. Darüber hinaus spezifizieren sogenannte *Vorgaben Abitur 20xx – Physik* nicht nur die inhaltlichen Schwerpunkte aus den Inhaltsfeldern des Kernlehrplans, sondern konkretisieren vor allem in den von Jahr zu Jahr veränderten *Fokussierungen* diejenigen inhaltlichen Aspekte, die schwerpunktmäßig in den jeweiligen Abituraufgaben des betreffenden Jahrgangs behandelt werden. Diese inhaltlichen Fokussierungen sind unbedingt zu beachten; sie können auf den Internetseiten des Schulministeriums von jedermann eingesehen werden.

Die Internet-Adresse für den Kernlehrplan Physik lautet:

<https://lehrplannavigator.nrw.de/sekundarstufe-ii/kernlehrplaene-fuer-die-gymnasiale-oberstufe-neue-klp/physik-gymnasiale-oberstufe>

Die Adresse für die Vorgaben lautet:

<https://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/zentralabitur-gost/faecher/physik>

Es wird in den Darstellungen des Schulministeriums explizit darauf hingewiesen, dass selbstverständlich alle im Lehrplan festgelegten Kompetenzen während des Unterrichts in der Oberstufe erworben sein müssen und in den Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung abgeprüft werden können – eine alleinige Beschränkung in der Abiturvorbereitung auf die oben genannten Fokussierungen darf daher nicht stattfinden.

Die Tabelle auf der folgenden Seite zeigt für den Leistungskurs die im Kapitel 2 des Kernlehrplans festgelegten **fachspezifischen inhaltlichen Schwerpunkte** sowie die **Fokussierungen für das Physikabitur im Jahr 2027**. In der sich anschließenden tabellarischen **Inhaltsübersicht** zu den Abiturprüfungen der in diesem Buch abgedruckten Jahrgänge sind die Inhaltsfelder mit Fokussierungen 2027 dunkelgrau hervorgehoben.

Leistungskurs: Inhaltliche Schwerpunkte und Fokussierungen 2027 (fett-kursiv)

Ladungen, Felder und Induktion	Schwingende Systeme und Wellen	Quantenphysik	Atom- und Kernphysik
<i>Elektrische Ladungen und Felder:</i> Ladungen, elektr. Felder, elektr. Feldstärke; Coulomb-Gesetz, elektr. Potenzial, elektr. Spannung, Kondensator und Kapazität; magn. Felder, magn. Flussdichte <i>Experimentelle u. theoretische Untersuchung der Ursachen und Wirkungen elektr. und magn. Felder</i>	<i>Schwingungen und Wellen:</i> harmonische Schwingungen und ihre Kenngrößen; Huygens-Prinzip, Reflexion, Brechung, Beugung; Polarisation und Superposition von Wellen; Michelson-Interferometer <i>Beschreibung, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von harmonischen Schwingungen und Wellen</i>	<i>Teilchenaspekte von Photonen:</i> Energiequantelung von Licht, Fotoeffekt, Bremsstrahlung <i>Erkenntnisse zu Eigenschaften von Quantenobjekten</i>	<i>Atomaufbau:</i> Atommodelle, eindimensionaler Potenzialtopf, Energieniveauschema; Röntgenstrahlung <i>Untersuchungen zur Struktur, Stabilität und zum Zerfall von Materie</i>
<i>Bewegungen in Feldern:</i> geladene Teilchen in elektr. Längs- und Quersfeldern; Lorentzkraft; geladene Teilchen in gekreuzten elektr. und magn. Feldern <i>Experimentelle u. theoretische Untersuchung der Ursachen und Wirkungen elektr. und magn. Felder</i>	<i>Schwingende Systeme:</i> Federpendel, Fadenpendel, Resonanz; Schwingkreis, Hertz'scher Dipol <i>Beschreibung, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von harmonischen Schwingungen und Wellen</i>	<i>Photonen und Elektronen als Quantenobjekte:</i> Doppelspaltexperiment, Bragg-Reflexion, Elektronenbeugung; Wahrscheinlichkeitsinterpretation, Delayed-Choice-Experiment; Kopenhagener Deutung <i>Erkenntnisse zu Eigenschaften von Quantenobjekten</i>	<i>Ionisierende Strahlung:</i> Strahlungsarten, Nachweismöglichkeiten ionisierender Strahlung, Eigenschaften ionisierender Strahlung, Absorption ionisierender Strahlung <i>Untersuchungen zur Struktur, Stabilität und zum Zerfall von Materie</i>
<i>Elektromagnetische Induktion:</i> magn. Fluss, Induktionsgesetz, Regel von Lenz; Selbstinduktion, Induktivität <i>Experimentelle u. theoretische Untersuchung der Ursachen und Wirkungen elektr. und magn. Felder</i>			<i>Radioaktiver Zerfall:</i> Kernaufbau, Zerfallsreihen, Zerfallsgesetz, Halbwertszeit; Altersbestimmung <i>Untersuchungen zur Struktur, Stabilität und zum Zerfall von Materie</i>
			<i>Kernspaltung und -fusion:</i> Bindungsenergien, Massendefekt; Kettenreaktion <i>Untersuchungen zur Struktur, Stabilität und zum Zerfall von Materie</i>

Prüfungsaufgabe		Ladungen, Felder und Induktion	Schwingende Systeme und Wellen	Quantenphysik	Atom- und Kernphysik
LK 2024	1. Doppelspaltversuch mit Heliumatomen			×	
	2. Fahrradbeleuchtung	×			
	3. Ionisierende Strahlung von Americium-241	×			×
	<i>(Im Abitur 2024 wurden nur drei Aufgabenvorschläge bereitgestellt.)</i>				
LK 2025	1. Ladestation einer elektrischen Zahnbürste	×	×		
	2. Temperaturmessung mit einem elektromagnetischen Schwingkreis	×	×		
	3. Ein Interferenzexperiment mit Atomstrahlen		×	×	
	4. Tritium im ehemaligen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi				×
LK 2026	1. Feuchtigkeitsmessung von Getreide	×			
	2. Schutz von Elektromotoren	×			
	3. Fraunhofer und der Beginn der Astrospektroskopie		×		×
	4. Schulexperimente zu Radioaktivität und Strahlenschutz				×

Neben den vollständigen Abituraufgaben dieser Jahrgänge finden Sie in diesem Buch bzw. im Downloadbereich dazu weitere exemplarische Abiturprüfungsaufgaben der letzten Jahre, die thematisch die **Fokussierungen für 2027** aufgreifen und Ihnen so eine gezielte Vorbereitung auf diese Schwerpunktthemen ermöglichen. Es sind dies im Einzelnen:

- Fokussierung *Experimentelle und theoretische Untersuchung der Ursachen und Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder* (Übungsaufgaben 1–2):
 - LK 2014, Aufgabe 1: Eigenschaften des Plattenkondensators und Kondensatoren als Energiespeicher
 - LK 2015, Aufgabe 1: Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern
- Fokussierung *Erkenntnisse zu Eigenschaften von Quantenobjekten* (Übungsaufgaben 3–4):
 - LK 2014, Aufgabe 4: Experimente am Doppelspalt – Eigenschaften von Quantenobjekten
 - LK 2018, Aufgabe 2: Teilchen- und Welleneigenschaften von Licht
- Fokussierung *Beschreibung, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von harmonischen Schwingungen und Wellen* (Übungsaufgabe 5):
 - LK 2011, Aufgabe II/1: Der Doppelspalt
- Fokussierung *Untersuchungen zur Struktur, Stabilität und zum Zerfall von Materie* (Downloadbereich):
 - LK 2023, Aufgabe 1: Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums auf zwei verschiedene Arten
 - LK 2023, Aufgabe 2: Das Rasterelektronenmikroskop (Diese Aufgabe 2 passt zudem zur oben genannten Fokussierung im Themenbereich elektrische und magnetische Felder.)
 - LK 2023, Aufgabe 3: Neutrinomassenbestimmung

Beachten Sie: Für den Abiturjahrgang 2027 werden bei den Vorgaben nur die Inhaltsfelder genannt, bei denen Fokussierungen vorgenommen wurden. Unabhängig davon bleiben alle inhaltlichen Schwerpunkte verbindlich. So wird das Inhaltsfeld „Relativitätstheorie“ nicht mehr explizit erwähnt. Die Fokussierung *Beschreibung, Eigenschaften und Anwendungsbeispiele von harmonischen Schwingungen und Wellen* ist für das Abitur 2025 neu hinzugekommen. Ungeachtet dessen bleiben die Fokussierungen für die Abiturprüfungen 2025 und 2026 auch für die Abiturprüfung 2027 erhalten. Sie sollten daher die oben genannten Aufgaben und die der Jahre 2025 und 2026 besonders intensiv üben.

EIN INTERFERENZEXPERIMENT MIT ATOMSTRAHLEN

- 3.1** In einem Experiment sollen die Welleneigenschaften von langsamen Rubidium-Atomen mit der Masse $m = 1,4 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ und der Geschwindigkeit $v = 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ untersucht werden.
- a** Zeigen Sie rechnerisch, dass den in dem Experiment verwendeten Rubidium-Atomen eine De-Broglie-Wellenlänge von $\lambda_{\text{DB}} = 2,4 \text{ nm}$ zugeordnet werden kann.
 - b** Erläutern Sie einen Vorteil von diesen langsamen (im Vergleich zu deutlich schnelleren) Rubidium-Atomen im Hinblick auf die Möglichkeit, Welleneigenschaften in Interferenzexperimenten nachzuweisen. **8**
- 3.2** In dem Experiment soll das Verhalten der Rubidium-Atome als Quantenobjekte untersucht werden. Dazu wechselwirken diese Atome mit einer stehenden Lichtwelle. Diese stehende Lichtwelle wird zunächst betrachtet.
- a** Beschreiben Sie anhand von M 1 die Entstehung der stehenden Lichtwelle.
 - b** Ermitteln Sie die Wellenlänge des Lasers zur Erzeugung der stehenden Lichtwelle aus M 1. **7**
- 3.3** An der stehenden Lichtwelle kann das Phänomen der Bragg-Reflexion der Rubidium-Atome beobachtet werden. M 2 zeigt dies schematisch.
- a** Leiten Sie die Bragg-Gleichung $2d \cdot \sin \varphi_k = k \cdot \lambda_{\text{DB}}$ für das k -te Maximum her.
- Der Winkel, den die beiden Teilstrahlen B und C bei dem k -ten Maximum einschließen, wird mit β_k bezeichnet.
- b** Ermitteln Sie unter Zuhilfenahme der Bragg-Gleichung den kleinsten Wert für den Winkel β_k . **11**
- 3.4** Durch Hinzufügen einer weiteren stehenden Lichtwelle unterhalb der bisher betrachteten entsteht ein Interferometer. M 3 enthält Informationen zu diesem Interferometer.
- a** Werten Sie das Interferenzmuster in Abbildung 3 b (in M 3) im Hinblick auf die Wellenlänge λ_{DB} der verwendeten Rubidium-Atome aus.

Die Rubidium-Atome befinden sich während der Durchführung des Experiments im Gravitationsfeld der Erde.

- b** Begründen Sie, dass die De-Broglie-Wellenlänge der Rubidium-Atome beim Auftreffen auf dem Detektor kleiner ist als beim Eintritt in das Interferometer. 10

- 3.5** Das hier behandelte Interferenzexperiment mit Atomstrahlen gehört zur Grundlagenforschung im Bereich der Quantenphysik.
Bewerten Sie den Nutzen weiterer Grundlagenforschung im Bereich der Quantenphysik anhand der Informationen aus M 4. 4

Material

M 1

Zur Erzeugung einer stehenden Lichtwelle wird ein Laser verwendet, der monochromatisches Licht einer bestimmten Wellenlänge λ_L aussendet. Der Strahl des Lasers wird senkrecht auf einen Spiegel gerichtet. An diesem wird der Strahl reflektiert. Abbildung 1 stellt dies schematisch dar.

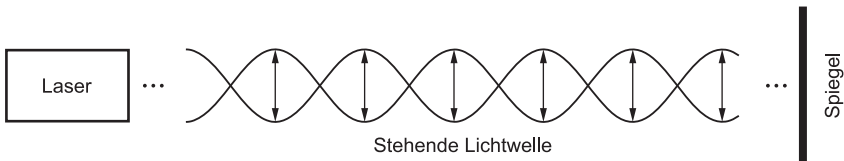


Abbildung 1: Schematische Darstellung der stehenden Lichtwelle

In dem Bereich zwischen Laser und Spiegel gibt es benachbarte Orte maximaler Helligkeit im Abstand von $d = 390 \text{ nm}$.

M 2

Der Strahl aus Rubidium-Atomen fällt unter einem geeigneten Winkel φ_k in die stehende Lichtwelle und wird dort an ihr gebeugt (einfallender Atomstrahl). Entsprechend der Interferenz an einem Kristallgitter wird ein Teil des einfallenden Atomstrahls an den „Netzebenen“ der stehenden Lichtwelle Bragg-reflektiert (Teilstrahl B). Der andere Teil des einfallenden Atomstrahls passiert die stehende Lichtwelle ohne Ablenkung (Teilstrahl C) und schließt mit dem Teilstrahl B den Winkel $\beta_k = 2 \cdot \varphi_k$ ein. Abbildung 2 zeigt diesen Prozess schematisch.

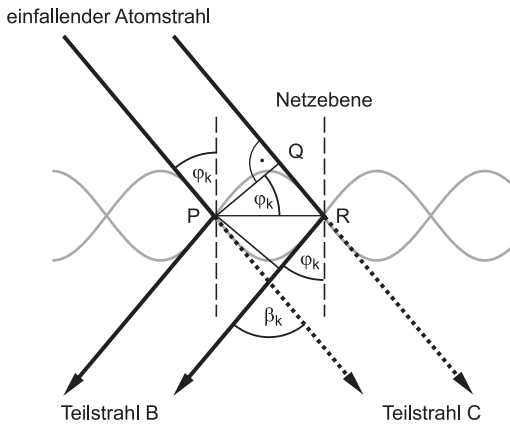


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Bragg-Reflexion des Atomstrahls

M 3

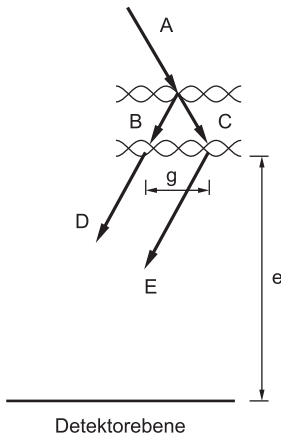


Abbildung 3 a

Schematische Darstellung der Entstehung der vier Teilstrahlen (D) bis (G) und am Detektor gemessene Interferenzmuster

Quelle: S. Dürr, T. Nonn & G. Rempe: Origin of quantum-mechanical complementarity probed by a ‚which-way‘ experiment in an atom interferometer, in: Nature, 395 (1998), S. 34; verändert

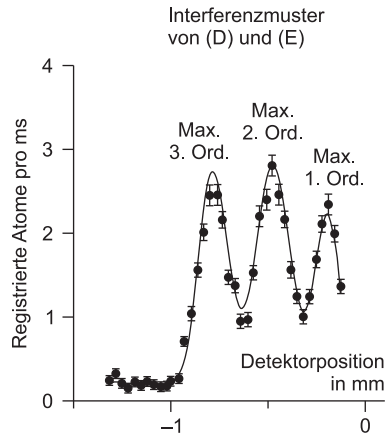


Abbildung 3 b

Abbildung 3 a stellt das Interferometer schematisch dar. Die obere stehende Lichtwelle teilt den Atomstrahl A gemäß der in M 2 dargestellten Prozesse in zwei gleich intensive Teilstrahlen B und C auf. Diese beiden Teilstrahlen werden mit einer zweiten stehenden Lichtwelle in gleicher Weise erneut in jeweils zwei Komponenten aufgeteilt, wobei in der Abbildung nur die beiden sich nach links ausbreitenden Strahlen, D und E, eingezeichnet sind.

TIPP Lösungshinweise zu Aufgabe 3

Vorbemerkung

Die fachlichen Inhalte dieser Aufgabe sind einzig und allein im Inhaltsfeld „Quantenphysik“ angesiedelt. Inhaltliche Schwerpunkte bilden die „Teilchenaspekte von Photonen“ sowie „Photonen und Elektronen als Quantenobjekte“. Die Aufgabe enthält drei Seiten mit unterschiedlichen Materialien, die Sie zur Bearbeitung der einzelnen Teilaufgaben heranziehen müssen.

Entsprechend der in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierung stehen „Erkenntnisse zu Eigenschaften von Quantenobjekten“ im Mittelpunkt, exemplarisch anhand von Rubidium-Atomen. Die De-Broglie-Wellenlänge, der Nachweis von Welleneigenschaften und die Entstehung von stehenden Lichtwellen sind Bestandteil der ersten beiden Teilaufgaben, die dritte Teilaufgabe greift die Bragg-Reflexion auf und in der vierten Teilaufgabe wird ein Interferometer untersucht. Die letzte Teilaufgabe verknüpft mit der Beurteilung zur Verfügung gestellter Informationen in Form von Textauszügen die beiden Kompetenzbereiche „Sachkompetenz“ und „Bewertungskompetenz“.

Teilaufgabe 3.1

a: Die Formel für die Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge entnehmen Sie der Formelsammlung.

Setzen Sie die gegebenen Werte ein und kontrollieren Sie das Ergebnis mit dem im Text angegebenen Wert.

b: Überlegen Sie, welche Größenordnung Beugungsobjekte bei Interferenzexperimenten aufweisen müssen.

Die Formel für die De-Broglie-Wellenlänge zeigt, wie die Wellenlänge von der Geschwindigkeit abhängt.

Teilaufgabe 3.2

a: Der Text über der Abbildung 1 im Material M 1 gibt Anregungen, um bei der Beschreibung den Wellencharakter in den Vordergrund zu stellen.

Sie müssen noch das Zustandekommen der stehenden Welle beschreiben.

Der Operator „beschreiben“ erwartet keine Erklärung des Sachverhalts.

b: Einen Zusammenhang zwischen der gesuchten Wellenlänge und dem Abstand zweier Orte maximaler Helligkeit entnehmen Sie der Abbildung 1 in M 1.

Der Text unter der Abbildung informiert über notwendige Messwerte.

Teilaufgabe 3.3

a: Die Bragg-Gleichung verknüpft den Gangunterschied der reflektierten Teilstrahlen mit der Interferenzbedingung für konstruktive Interferenz.

Ermitteln Sie anhand der Abbildung 2 zunächst den Gangunterschied der beiden reflektierten Teilstrahlen.

Verknüpfen Sie diesen dann im Dreieck PRQ mit dem Einfallswinkel und dem Netzebenenabstand d .

Formulieren Sie die Interferenzbedingung für das k -te Maximum.

3 Ein Interferenzexperiment mit Atomstrahlen

3.1 a De-Broglie-Wellenlänge

Die gegebenen Werte werden in die Formel zur Berechnung der De-Broglie-Wellenlänge λ_{DB} eingesetzt:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{DB}} &= \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} \quad (*) \\ &= \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{1,4 \cdot 10^{-25} \text{ kg} \cdot 2,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{\underline{2,4 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2,4 \text{ nm}}}\end{aligned}$$

b Vorteil langsamer Rb-Atome bei Interferenzexperimenten

Um Welleneigenschaften in Interferenzexperimenten nachzuweisen, ist es erforderlich, dass die Beugungsobjekte von der Größe her – also z. B. der Breite eines Beugungsspalts – in etwa der Wellenlänge entsprechen. Bei der Herstellung lassen sich größere Beugungsobjekte naturgemäß leichter realisieren. Für die Interferenzexperimente werden also Rubidium-Atome mit möglichst großer De-Broglie-Wellenlänge benötigt.

Gemäß der Formel (*) ist die De-Broglie-Wellenlänge umgekehrt proportional zur Geschwindigkeit der Atome. Für die Experimente werden also möglichst langsame Rubidium-Atome benötigt.

3.2 a Entstehung der stehenden Lichtwelle

Der Laser sendet monochromatisches Licht aus, also eine Lichtwelle mit konstanter Wellenlänge. Die Lichtwelle trifft auf einen Spiegel, der senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle steht. Die reflektierte Welle läuft der ankommenden Welle genau entgegen. Die reflektierte Welle hat die gleiche Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit. Durch die Überlagerung der ankommenden und der reflektierten Welle entsteht eine stehende Welle.

b Wellenlänge des Lasers

Dem Material M 1 wird die Information entnommen, dass der Abstand d zwischen zwei Orten maximaler Helligkeit 390 nm beträgt. Die Abbildung 1 macht zudem deutlich, dass dieser Abstand der halben Wellenlänge λ_{L} des Lasers entspricht. Daher folgt:

$$\begin{aligned}d &= \frac{\lambda_{\text{L}}}{2} \\ \Rightarrow \lambda_{\text{L}} &= 2 \cdot d = 2 \cdot 390 \text{ nm} = \underline{\underline{780 \text{ nm}}}\end{aligned}$$

3.3 a Herleitung der Bragg-Gleichung

Wenn der Atomstrahl auf die stehende Lichtwelle trifft, stellen die Knotenpunkte der stehenden Welle Erregerzentren für Elementarwellen dar. Die Erregerzentren haben den Abstand d zueinander. Es kommt zur Interferenz der ausgesandten Elementarwellen. Die Gesamtintensität aller reflektierten Wellen hängt vom Gangunterschied Δs zweier benachbarter Wellen ab.

In der Abbildung 2 wird deutlich, dass sich die beiden benachbarten Wellen des einfallenden Atomstrahls beim Erreichen der Punkte P bzw. R um die Länge der Strecke $\overline{QR}$ unterscheiden; die beiden reflektierten Wellen des Teilstrahls B unterscheiden sich aus Symmetriegründen (Reflexionsgesetz) um dieselbe Länge. Insgesamt beträgt der Gangunterschied zweier benachbarter Rb-Wellen somit:

$$\Delta s = 2 \cdot |\overline{QR}| \quad (*)$$

Im rechtwinkligen Dreieck PRQ erkennt man den trigonometrischen Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke $\overline{QR}$ und dem Netzebenenabstand d :

$$\sin \varphi_k = \frac{|\overline{QR}|}{|\overline{PR}|} = \frac{|\overline{QR}|}{d} \Rightarrow |\overline{QR}| = d \cdot \sin \varphi_k$$

Eingesetzt in (*) folgt:

$$\Delta s = 2 \cdot |\overline{QR}| = 2d \cdot \sin \varphi_k \quad (**)$$

Es kommt zur konstruktiven Interferenz, wenn der Gangunterschied zweier von zwei nebeneinanderliegenden Erregerzentren ausgehenden Elementarwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist. Für das k -te Maximum gilt also $\Delta s = k \cdot \lambda_{DB}$ mit $k = 1, 2, 3, \dots$

Gleichsetzen mit (**) ergibt die Bragg-Gleichung:

$$\underline{\underline{2d \cdot \sin \varphi_k = k \cdot \lambda_{DB} \quad (k = 1, 2, 3, \dots)}}$$

b Minimaler Ablenkwinkel β_k

Es gilt $\beta_k = 2\varphi_k$. Die Bragg-Gleichung wird nach φ_k aufgelöst:

$$2d \cdot \sin \varphi_k = k \cdot \lambda_{DB} \Rightarrow \varphi_k = \sin^{-1} \left(\frac{k \cdot \lambda_{DB}}{2d} \right)$$

$\varphi_k < 90^\circ$ ist ein spitzer Winkel. Aufgrund der Monotonie der Sinusfunktion in diesem Winkelbereich nehmen φ_k und damit ebenso $\beta_k = 2\varphi_k$ den kleinsten Wert an, wenn k den kleinsten Wert annimmt, also für $k = 1$.

Mit den gegebenen Werten folgt:

$$\beta_1 = 2 \cdot \varphi_1 = 2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{1 \cdot 2,4 \text{ nm}}{2 \cdot 390 \text{ nm}} \right) = \underline{\underline{0,35^\circ}}$$



© **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