

2024

# Abitur

Original-Prüfung  
mit Lösungen

**MEHR  
ERFAHREN**

Gymnasium Bayern

**Physik**



**STARK**

# Inhalt

Vorwort

Stichwortverzeichnis

## Hinweise und Tipps zum Abitur

---

Schriftliche Abiturprüfung . . . . .	I
Mündliche Abiturprüfung (Kolloquium) . . . . .	III
Bewährte Strategien für das Lösen physikalischer Aufgabenstellungen . . . . .	XIII
Operatoren . . . . .	XIV
Zum Umgang mit diesem Buch . . . . .	XVI

## Abituraufgaben 2019

---

I.1: Coulomb-Gesetz; Weidezaun . . . . .	2019-1
I.2: Interferenz von Dipolstrahlung; Betatron . . . . .	2019-9
II.1: Brennstäbe; Bestimmung der Planck-Konstanten. . . . .	2019-15
II.2: Kernfusionsreaktor ITER; Metallhydrid-Speicher . . . . .	2019-23
III.1: Internationale Raumstation; Tau Ceti f – ein belebter Exoplanet? . . . . .	2019-30
III.2: Kilonova im Sternbild Wasserschlange; Sombrero-Galaxie . . . . .	2019-40

## Abituraufgaben 2020

---

I.1: Strahlentherapie mit Elektronen; Mikrowellen im Mobilfunk-standard 5G . . . . .	2020-1
I.2: Elektrisches Feld bei einem Gewitter; Geschwindigkeitsmessung beim Fahrrad . . . . .	2020-8
II.1: Experiment von Davisson und Germer; Das künstliche Element mit der Ordnungszahl 117 . . . . .	2020-16
II.2: Rauchmelder retten Leben; Untersuchung von Quanten-Dashes . . . . .	2020-23
III.1: Merkur; Hubble . . . . .	2020-31
III.2: Regulus; Die Sonne . . . . .	2020-42

## Abituraufgaben 2021

---

I.1:	Experiment von Bucherer; Lawinenverschütteten-Suchgerät (LVS-Gerät) . . . . .	2021-1
I.2:	Elektronenbewegung im Magnetron; Mikrowellengerät; Elektrisches Feld . . . . .	2021-8
II.1:	Nobelpreis 1921 für die Deutung des Fotoeffekts; Altersbestimmung mit der Radiokarbonmethode . . . . .	2021-15
II.2:	Eigenschaften von Quantenobjekten; Radioaktive Substanzen im Tabakrauch . . . . .	2021-24
III.1:	Der Asteroid Ryugu; Das Doppelsternsystem TOI 1338 . . . . .	2021-31
III.2:	Beteigeuze; Gravitationslinsen . . . . .	2021-42

## Abituraufgaben 2022

---

I.1:	Superkondensator; Interferometer . . . . .	2022-1
I.2:	Versuch von Kirchner; Leitungssucher . . . . .	2022-8
II.1:	Oberflächendesinfektion mit ultravioletter Strahlung; Transmutation von Plutonium-239; $\pi$ -Mesonen . . . . .	2022-15
II.2:	Doppelspaltexperiment mit Neutronen; Nuklear-thermischer Raketenantrieb; Bodenbelastung nach Reaktorunfall in Tschernobyl . . . . .	2022-22
III.1:	Quasar 3C 273; Das Zentrum unserer Milchstraße . . . . .	2022-29
III.2:	Die Ringe des Saturn; Die älteste Galaxie . . . . .	2022-39

**Abituraufgaben 2023 (online) . . . . .** [www.stark-verlag.de/mystark](http://www.stark-verlag.de/mystark)

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2023 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MyStark heruntergeladen werden.

## Digitales Zusatzangebot auf MyStark

---



**Original-Abituraufgaben des Jahrgangs 2023 zum Download**



**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 auf der vor deren Umschlaginnenseite in diesem Buch.

## Autoren der Lösungen

---

TB I und II: StD Florian Borges   TB III: StD Ferdinand Hermann-Rottmair

# Vorwort

## Liebe Schülerinnen und Schüler,

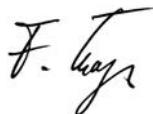
Sie haben Physik in der Oberstufe des achtjährigen Gymnasiums in Bayern belegt und möchten in diesem Fach Ihr Abitur ablegen. Das Übungsbuch, das Sie jetzt in Ihren Händen halten, gibt Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf diese Prüfung vorzubereiten. Zudem eignet sich der Band hervorragend dazu, sich gezielt auf die Schulaufgaben und Tests in Physik während der Qualifikationsphase vorzubereiten:

- Sie erhalten zunächst **Hinweise zum Abitur in Physik** mit Informationen zu Ablauf, Struktur und Inhalt der schriftlichen und mündlichen Abiturprüfung, dazu viele weitere Tipps, die Ihnen beim Lösen der Prüfungsaufgaben helfen werden.
- Der Hauptteil des Buches enthält die **Abiturprüfungen der Jahre 2019 bis 2022**.
- Die **Abiturprüfung 2023** steht auf MyStark als Download zur Verfügung.
- Auf sämtliche Aufgaben folgen separate **Tipps zum Lösungsansatz**, die Ihnen das selbstständige Lösen der Aufgaben erleichtern, sowie **vollständige, kommentierte Lösungsvorschläge**.



Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2024 vom Kultusministerium bekannt gegeben werden, finden Sie aktuelle Informationen dazu im Internet ebenfalls auf MyStark.

Die Autoren wünschen Ihnen viel Erfolg in der Abiturprüfung!



Florian Borges



Ferdinand Hermann-Rottmair

PS: Kennen Sie das STARK AbiturSkript Physik (Best.-Nr. 9530S1)? Es führt Sie systematisch durch das prüfungsrelevante Basiswissen, illustriert dieses mit vielen Beispielen und macht Sie mit typischen Aufgabenstellungen und Lösungswegen vertraut – die perfekte Ergänzung zum vorliegenden Prüfungsbuch!

# Hinweise und Tipps zum Abitur

## Schriftliche Abiturprüfung

---

### Struktur

Im Physikabitur werden vom Kultusministerium zentral sechs Aufgaben gestellt, von denen Ihr Kursleiter Ihrem Kurs **zwei aus verschiedenen Themenbereichen** vorlegt. Dabei muss in jedem Fall einer der beiden Aufgabenvorschläge zum Thema „Elektromagnetische Felder, Relativitätstheorie“ der 11. Jahrgangsstufe ausgewählt werden, die andere Aufgabe ist entweder eine der beiden Alternativen aus dem Bereich „Aufbau der Materie“ (12. Jahrgangsstufe des Standardphysikkurses) oder, falls Sie für die 12. Klasse die Lehrplanalternative „Astrophysik“ gewählt haben, eine der beiden Astrophysikaufgaben. Sie selbst haben also keine Auswahlmöglichkeit und müssen beide Ihnen vorgelegten Aufgaben bearbeiten.

Die **Prüfungsdauer** beträgt 180 Minuten.

Zugelassene **Hilfsmittel** sind ein elektronischer Taschenrechner (nicht programmierbar), die Mathematik-Merkhilfe und eine zugelassene naturwissenschaftliche Formelsammlung (in denen die Merkhilfe als Anhang integriert ist).

*Zugelassene Formelsammlungen:*

- Formelsammlung Naturwissenschaften, Gymnasium Bayern, Eigenverlag Johannes Almer, Prien, zweite Fassung, ISBN 978-3-00-040017-9
- Formelsammlung Naturwissenschaften m. Merkhilfe Mathematik, zweite Fassung, Gym. Bayern, Cornelsen Verlag, Berlin/München, ISBN 978-3-464-54224-8
- Naturwissenschaftliche Formelsammlung für die bayerischen Gymnasien, Duden Paetec Verlag, Berlin, zweite Fassung, ISBN 978-3-8355-3209-0
- Naturwissenschaftliche Formelsammlung für die bayerischen Gymnasien, C. C. Buchners Verlag, Bamberg, zweite Fassung, ISBN 978-3-7661-6700-2

### Prüfungsrelevante Themen und Inhalte

Der Prüfungsstoff gliedert sich in drei Themenbereiche, die sowohl die theoretischen Grundlagen als auch die Anwendungen in Natur und Technik abdecken (siehe die nachfolgende Auflistung der prüfungsrelevanten Themen).

*Themenbereich I: Elektromagnetische Felder, Relativitätstheorie*

- statisches elektrisches und magnetisches Feld
- Bewegung geladener Teilchen in Feldern
- Grundaussagen der speziellen Relativitätstheorie
- elektromagnetische Induktion; Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung; Selbstinduktion: Ein- und Ausschaltvorgang bei der Spule
- elektromagnetische Schwingungen; Analogie zwischen mechanischer und elektromagnetischer Schwingung
- Anwendungen, z. B. Mobiltelefon oder Mikrowellenherd

## *Themenbereich II: Aufbau der Materie*

- Eigenschaften von Quantenobjekten
- Atom- und Kernmodelle: endlich hoher Potentialtopf, Tunneleffekt, Coulomb-potenzial, Orbitale des Wasserstoffatoms (Behandlung mithilfe stehender Wellen ohne Thematisierung der Schrödinger-Gleichung), Schrödinger-Gleichung, Ausblick auf Mehrelektronensysteme, Röntgenstrahlung
- Radioaktivität und Kernreaktionen
- Anwendungen in Medizin, Wissenschaft und Technik, z. B. Materialforschung oder Energieversorgung
- Standardmodell der Elementarteilchenphysik

## *Themenbereich III: Astrophysik*

- Astronomische Objekte und ihre täglichen und jährlichen Bewegungen; Orientierung am Himmel
- Sonnensystem und Physik der Sonne; Aufbau der Sonne und Energietransport
- Sterne (Entfernungsbestimmung, Kenngrößen, Klassifikation, Entwicklung)

Der Kursleiter wird die beiden Aufgaben so auswählen, dass sein Kurs das bestmögliche Ergebnis erzielen kann. Dazu ist es sinnvoll, den im Kurs behandelten Stoff möglichst wenig durch das „Ausschließen“ bestimmter Inhalte einzuschränken. Andererseits ist es für den Kursleiter hilfreich, die Vorlieben seiner Schüler zu kennen und zu berücksichtigen. Setzen Sie daher durchaus Schwerpunkte, geben Sie Ihrem Kursleiter aussagekräftige Hinweise zu Ihren Wunschthemen, aber lassen Sie möglichst keinen Themenbereich völlig unvorbereitet, denn gelegentlich sind die Aufgaben in eigentlich unerwünschten Gebieten sehr angenehm zu bearbeiten und die Lehrkraft dadurch im Zwiespalt.

## **Zur Bewertung der schriftlichen Prüfung**

In jeder der beiden Aufgaben einer Prüfungsaufgabe können maximal 60 Bewertungseinheiten (BE), insgesamt also **maximal 120 BE** erreicht werden. Die Bewertung der Aufgaben erfolgt nach dem in der Tabelle auf der nächsten Seite dargestellten Schlüssel.

In die Bewertung gehen zunächst einmal die **fachliche Richtigkeit** und **Vollständigkeit** ein. Ein weiteres wichtiges Bewertungskriterium stellt die **Darstellungsqualität** dar, in welche der richtige Einsatz der Fachsprache und die Strukturiertheit der Ausführungen einfließen. Sollten Sie in Ihrer Lösung unkonventionelle, aber richtige Wege gehen, so werden diese natürlich entsprechend gewürdigt.

Selbstverständlich geht auch die **Sprachrichtigkeit** (Rechtschreibung, Grammatik, Zeichensetzung) bei Erläuterungen oder Beschreibungen in die Bewertung ein. Hierbei führen Verstöße gegen die sprachliche Korrektheit oder die gute äußere Form möglicherweise zu Punktabzügen.

Notenpunkte	Notenstufen	Bewertungseinheiten	Intervalle in %
15	+1	120–115	
14	1	114–109	
13	1–	108–103	15
12	+2	102–97	
11	2	96–91	
10	2–	90–85	15
9	+3	84–79	
8	3	78–73	
7	3–	72–67	15
6	+4	66–61	
5	4	60–55	
4	4–	54–49	15
3	+5	48–41	
2	5	40–33	
1	5–	32–25	20
0	6	24 – 0	20

## Mündliche Abiturprüfung (Kolloquium)

---

### Struktur

Die dreißigminütige mündliche Abiturprüfung besteht aus zwei Prüfungsteilen von etwa 15 Minuten Dauer:

- einem Kurzreferat, das Sie zu dem Ihnen gestellten Thema (ca. 10 Minuten) halten, anschließend findet ein Gespräch darüber statt (ca. 5 Minuten);
- einem Gespräch (ca. 15 Minuten) zu Problemstellungen aus den beiden weiteren Ausbildungsabschnitten, die Sie gewählt haben.

Zur Wahl des Themenbereiches schreibt die Schulordnung vor:

- Zu allen vier Ausbildungsabschnitten werden vom Prüfungsausschuss Themenbereiche festgelegt (mehr als zwei pro Halbjahr), über deren Inhalte Sie geprüft werden. Spätestens vier Wochen vor dem Prüfungstermin müssen Sie sich für einen der angebotenen Themenbereiche entscheiden.
- Das Thema wird Ihnen 30 Minuten vor der Prüfung bekannt gegeben.

**Prüfer** im Kolloquium ist der Kursleiter der 12. Jahrgangsstufe. Weiter ist noch ein Physiklehrer an der Prüfung beteiligt, der ebenfalls durch Fragen zum Prüfungsstoff helfend in das Gespräch eingreifen kann. (Dies wird vermutlich dann geschehen, wenn der Prüfling in der 11. Jahrgangsstufe nicht im Kurs des Prüfers war, weil aus zwei Parallelkursen nur ein weiterführender Kurs entstanden ist.)

**Zugelassene Hilfsmittel** bei der Vorbereitung sind:

- eine zugelassene physikalische Formelsammlung
- ein zugelassener Taschenrechner (kein CAS)

Aus dieser Aufstellung ergibt sich, dass Sie keinerlei Skripten oder Aufzeichnungen in den Vorbereitungsraum mitnehmen können.

### **Bewertung**

Die Note einer mündlichen Abiturprüfung wird vierfach gewertet (max. 60 Punkte) und zählt zum Abitur. Bei der Bewertung der mündlichen Prüfungen ist neben den fachlichen Kenntnissen und Fähigkeiten die Gesprächsfähigkeit angemessen zu berücksichtigen.

Bezüglich der **Gesprächsfähigkeit** (Fähigkeit zum themengebundenen und partnerbezogenen Gespräch) wird beurteilt, inwieweit Sie sich fähig gezeigt haben,

- sich von Ihnen in der Vorbereitungszeit erstellten Notizen zu lösen und das Ergebnis seiner Überlegungen in freier Rede zusammenhängend vorzutragen,
- Ihre Ausführungen logisch zu gliedern,
- komplexe Sachverhalte klar, übersichtlich und anschaulich darzustellen und dabei das Wesentliche herauszustellen,
- Ihren eigenen Standpunkt zu begründen und von anderen Positionen abzuheben,
- sich auf das Gespräch zu konzentrieren, auf Fragen, Einwände, Anregungen des Prüfers einzugehen und gegebenenfalls Hilfen aufzugreifen.

Bei der **Beurteilung der fachlichen Kenntnisse** wird Ihre Fähigkeit geprüft,

- das Thema zu erfassen,
- fachspezifische Verfahrensweisen anzuwenden und sich der Fachsprache korrekt zu bedienen,
- Sachverhalte und Probleme zutreffend zu beurteilen.

Diese Beurteilungskriterien sind naturgemäß sehr allgemein gehalten, da sie für alle Prüfungsfächer gleichermaßen gelten sollen. In Physik wird von Ihnen nicht erwartet, dass Sie Ihren eigenen Standpunkt zu einem Problem von anderen Positionen abheben können, da Sie in der Schule in den meisten Fällen nur eindeutige Sachverhalte kennengelernt haben. (Eine Ausnahme sind persönliche Folgerungen aus physikalischen Erkenntnissen, z. B.: Nutzung der Atomkraft). Ihre Prüfer werden diese allgemeinen Kriterien somit sicherlich sinnvoll auf die Belange der Physik anwenden.

### **Tipps zur Vorbereitung und Durchführung**

Die mündliche Abiturprüfung wird aktuell in zwei Fächern abgelegt und stellt für Sie ein bislang nicht bekanntes Prüfungsformat dar, das man aber recht gut trainieren kann und sollte. Falls Ihr Kursleiter/Ihre Kursleiterin eine entsprechende Übungsphase anbietet, dann schätzen Sie sich glücklich und nehmen das großzügige Angebot wahr. Oft fehlt den Lehrkräften hierfür aber die Zeit, gerade wenn im Vorfeld der Kolloquien die schriftlichen Arbeiten korrigiert und nachkorrigiert werden müssen. In diesem Fall können Sie das Prüfungsformat „Kolloquium“ hervorragend in Kleingruppen üben – nehmen Sie sich die Zeit dafür (die schriftlichen Prüfungen sind ja dann vorüber) und nutzen Sie beispielsweise die Woche vor dem ersten Kolloquium.

Sinnvoll ist zunächst, dass Sie die Prüfungssituation möglichst realistisch simulieren, d.h., Sie legen die zugelassenen Hilfsmittel, Notizblock, ggf. Folien & Stifte bereit, wählen ein Übungsthema (siehe unten) und achten auf präzise 30 Minuten Vorbereitungszeit sowie anschließend 30 Minuten Prüfungszeit (sowie wenigstens 10 Minuten zur Nachbesprechung).

Am Ende der Vorbereitungsphase sollte ein Konzept für das zehnminütige Referat vorliegen, idealerweise mit ergänzenden Notizen: Auf welche Inhalte könnten Sie noch eingehen, wenn die Zeit dafür reicht? Was könnte man ggf. weglassen oder straffen, falls es „eng“ wird? Ein pfiffiger Hinweis auf weiterführende Fragen kann auch gut ankommen, Sie sollten dann aber auf Nachfragen im zweiten Prüfungsteil gefasst sein.

Unmittelbar nach dieser Vorbereitungszeit referieren Sie idealerweise in einem Physiksaal oder Klassenzimmer, eben so realistisch wie möglich. Haben Sie dabei während des Vortrages die Uhr (gelegentlich, aber unauffällig) im Blick; wenn möglich markieren Sie im Konzept mögliche Zäsurstellen, falls die Zeit schneller vergeht als geplant. Bleiben noch ein bis zwei Minuten, dann freuen Sie sich auch über Ihre ergänzenden Notizen.

Nach Ihrem zehnminütigen Vortrag (Phase 1) lassen Sie sich von den Mitgliedern Ihrer Lerngruppe ca. zehn Minuten zum Referat und dem übrigen Stoff des Schwerpunktthalbjahres befragen (Phase 2, mögliche Frage-/Stichpunkte dafür siehe unten), schließlich dann nochmals zehn Minuten zum übrigen Prüfungsstoff (also den nicht ausgeschlossenen Bereichen, Phase 3; Stichpunkte für Fragen finden Sie ebenfalls unten). Lassen Sie sich möglichst vielseitige Rückmeldung geben zu allen drei Phasen, so lernen nicht nur Sie am schnellsten und meisten, sondern auch die Testprüfer und -prüferinnen profitieren ungemein für ihre eigenen Versuche! (Übrigens eignen sich als Prüfer auch sehr gut Mitschülerinnen und -schüler, die ganz andere Kolloquiumsfächer gewählt haben, denn das typische Procedere ist in allen Fächern sehr ähnlich und qualifizierte Rückmeldungen über generelle Kriterien wie Verständlichkeit, Ausdruck, Auftreten, Redetempo, „Posing“, „Performance“ usw. sind gleichermaßen möglich. Zur Bewertung fachspezifischer Aspekte Ihres Vortrags ist es natürlich sinnvoll, wenn Sie ein Physikprüfling abfrägt.

Die Erfahrung zeigt ganz deutlich: Wenn Sie Ihr zweites oder drittes Übungskolloquium gehalten und besprochen haben und zudem selbst bei Mitschülern „geprüft“ und „bewertet“ haben, dann sind Sie bestens vorbereitet und werden mit Ihrem Ergebnis bei der Echtprüfung zufrieden sein. Auch für das andere mündliche Fach, in dem Sie mündlich geprüft werden, wird sich der Aufwand lohnen.

Vielleicht ist Ihr Kursleiter/Ihre Kursleiterin so freundlich und gibt Ihnen alte Aufgaben zum Üben; falls das nicht möglich ist, dann finden Sie hier einige Beispiele, wobei das erste Beispiel ausführlich behandelt wird, die weiteren kürzer gefasst sind.



**Aufgabenvorschlag 1****1. Experiment von Davisson und Germer**

Im Jahr 1927 wiesen Davisson und Germer die Welleneigenschaft von Elektronen experimentell nach. Bei ihrem Experiment treffen Elektronen senkrecht auf die Oberfläche eines Nickelkristalls (siehe Abb. 1). Die regelmäßige Anordnung der Atome in der Oberfläche wirkt wie ein Reflexionsgitter mit der Gitterkonstanten  $b = 0,215 \text{ nm}$  (siehe Abb. 2). Ein Detektor misst die Intensität in Abhängigkeit vom Winkel  $\varphi$ .

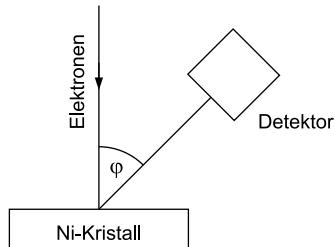


Abb. 1

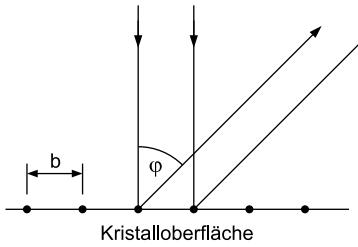


Abb. 2

In einem ersten Versuch, bei dem zunächst ruhende Elektronen durch die Spannung  $U_B$  beschleunigt werden, kann ein deutliches Maximum bei  $\varphi_0 = 51^\circ$  festgestellt werden.

- a) Zeigen Sie, dass (bei nicht-relativistischer Rechnung) zwischen der angelegten Beschleunigungsspannung  $U_B$  und der De-Broglie-Wellenlänge  $\lambda$  der Elektronen der Zusammenhang

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{2m_e \cdot e \cdot U_B}$$

gilt, und geben Sie die Bedeutung der in dieser Formel verwendeten Konstanten an. Berechnen Sie den Wert von  $\lambda$  für  $U_B = 54 \text{ V}$ .

[Zur Kontrolle:  $\lambda = 0,17 \text{ nm}$ ]

(8 BE)

- b) Tragen Sie in Abb. 2 den Gangunterschied zwischen den beiden eingezeichneten Strahlen ein und bestätigen Sie mithilfe des Gangunterschieds für den Winkel  $\varphi_0$  den in Teilaufgabe a berechneten Wert von  $\lambda$ . Geben Sie auch die Ordnung des betrachteten Maximums an.

(5 BE)

- c) Erläutern Sie die Veränderung des Winkels, unter dem das Maximum erster Ordnung beobachtet wird, wenn die Beschleunigungsspannung  $U_B$  erhöht wird.

(3 BE)

In einem zweiten Experiment wird die Wellenlänge der Elektronen durch Änderung von  $U_B$  variiert und die Intensität bei dem festen Winkel  $\varphi_0$  ermittelt.

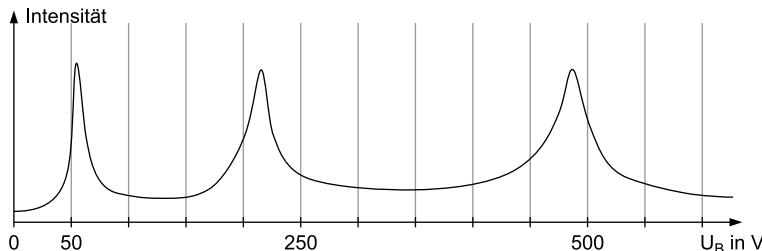


Abb. 3

- d) Erklären Sie den in Abb. 3 dargestellten Verlauf der gemessenen Intensität in Abhängigkeit von  $U_B$ . Verifizieren Sie auch die Lage der Maxima. (8 BE)
- e) Beschreiben Sie, was nach dem klassischen Teilchenbild für das Diagramm des zweiten Experiments zu erwarten wäre, und zeigen Sie einen Widerspruch zum klassischen Teilchenbild auf, der sich aus dem Ergebnis des Experiments ergibt. (4 BE)

## 2. Das künstliche Element mit der Ordnungszahl 117

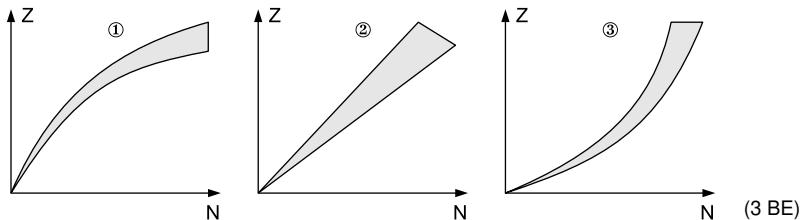
Im Jahr 2010 wurde in einem russisch-amerikanischen Gemeinschaftsprojekt erstmals das Element mit der Ordnungszahl 117 erzeugt. Dem GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt gelang die Erzeugung dieses Elements im Jahr 2014 ebenfalls. Um das im deutschsprachigen Raum inzwischen als Tenness (Ts) bezeichnete Element zu erhalten, wurde das Berkelium-Isotop  $^{249}\text{Bk}$  (Halbwertszeit 330 Tage) mit dem Calcium-Isotop  $^{48}\text{Ca}$  beschossen. Durch Kernfusion entsteht unter Abgabe von Neutronen das instabile Isotop  $^{294}\text{Ts}$ .

- a) Geben Sie die Reaktionsgleichung zur Erzeugung von  $^{294}\text{Ts}$  an. (2 BE)
- b) Die Reaktion ist endotherm, der Q-Wert beträgt  $-194 \text{ MeV}$ . Berechnen Sie die Atommasse von  $^{294}\text{Ts}$  in u. Gegebene Atommassen:  
 $m(^{48}\text{Ca}) = 47,952522 \text{ u}; m(^{249}\text{Bk}) = 249,074987 \text{ u}$  (4 BE)
- c) Für das Experiment wurden 13 mg  $^{249}\text{Bk}$  hergestellt. Berechnen Sie die Anfangsaktivität. (6 BE)
- d) Zwischen der Herstellung und der Verwendung des Berkeliums lagen 17 Tage. Berechnen Sie den Anteil des Berkeliums, der bereits vor Versuchsbeginn zerfallen ist. (4 BE)

- e) Nach der klassischen Vorstellung könnte bei den verwendeten Energien keine ausreichende Menge an  $^{294}\text{Ts}$  erzeugt werden. Wegen des Tunneleffekts läuft die Reaktion aber deutlich häufiger ab, als es klassisch zu erwarten wäre. Erklären Sie den Tunneleffekt in diesem Zusammenhang anhand des Potenzialtopfmodells für Atomkerne. (4 BE)

2010 war zunächst nicht bekannt, welches Element durch den Beschuss von  $^{249}\text{Bk}$  mit  $^{48}\text{Ca}$  entstand. Die Untersuchung der emittierten Strahlung zeigte, dass dieses Element ausschließlich durch  $\alpha$ -Zerfälle in das Dubnium-Isotop  $^{270}\text{Db}$  übergeht.

- f) Beschreiben Sie, wie aus dem Spektrum der emittierten  $\alpha$ -Strahlung auf die Existenz von  $^{294}\text{Ts}$  geschlossen werden kann, wenn für alle Elemente mit Ordnungszahlen  $Z \leq 115$  die Spektren der  $\alpha$ -Strahlung bekannt sind. (3 BE)
- g) Der  $^{270}\text{Db}$ -Kern zerfällt durch spontane Spaltung. Dabei werden neben zwei großen Bruchstücken im Mittel drei Neutronen frei. Wählen Sie aus den Diagrammen ①, ② oder ③ dasjenige aus, das den Zusammenhang zwischen der Neutronen- und der Protonenzahl richtig wiedergibt, und erklären Sie die Abgabe der Neutronen mithilfe dieses Diagramms. (3 BE)



- h) Nennen Sie die vier fundamentalen Wechselwirkungen des Standardmodells der Teilchenphysik und erläutern Sie jeweils deren Bedeutung für die Stabilität schwerer Kerne. (6 BE)
- 
- (60 BE)

## Tipps und Hinweise zum Aufgabenvorschlag 1

### Tipps zu Teilaufgabe 1

- ↗ **a:** Sie benötigen die Formel für die De-Broglie-Wellenlänge und die Energiebilanz des Beschleunigungsvorgangs. Einsetzen und Umformen führt zum Ziel.
- ↗ **b:** Geometrisch gehorcht der Gangunterschied einer Winkelbeziehung im rechtwinkligen Dreieck (Einzeichnen nicht vergessen!). Was muss darüber hinaus für den Gangunterschied gelten, damit es zur konstruktiven Interferenz kommt? Schließen Sie aufgrund der berechneten Größe des Gangunterschieds auf die Ordnungszahl des Maximums.
- ↗ **c:**  $U_B$  steht bei der Formel aus Teilaufgabe 1a im Nenner.
- ↗ **d:** Ausgangspunkt Ihrer Argumentation: Hier ist der Gangunterschied konstant! Was folgt daraus – unter Berücksichtigung Ihrer Überlegung aus Teilaufgabe 1c – bei wachsenden Spannungswerten für die auftretenden Maxima? Die Lage der Maxima ergibt sich mit der Formel aus Teilaufgabe 1a.
- ↗ **e:** Beachten Sie die „klaren“ Maxima (Anzahl, Intensität, Abhängigkeit von den Versuchsparametern).

### Tipps zu Teilaufgabe 2

- ↗ **a:** Es werden auch Neutronen frei (Aufgabentext!).
- ↗ **b:** Lösen Sie die Q-Wert-Gleichung nach der gesuchten Masse auf.
- ↗ **c:** Sie benötigen die Anfangszahl der Bk-Kerne und die Halbwertszeit. Verwenden Sie die gerundete Atommasse.
- ↗ **d:** Das Zerfallsgesetz liefert den Prozentwert (es ist nach dem Anteil gefragt).
- ↗ **e:** Denken Sie an endlich hohe Potenzialwände.
- ↗ **f:** Berücksichtigen Sie, dass beim Alphazerfall die Ordnungszahl um 2 kleiner wird.
- ↗ **g:** Beachten Sie das typische Verhältnis zwischen Protonen und Neutronen bei leichten Kernen einerseits und sehr schweren bzw. mittelschweren Kernen andererseits.
- ↗ **h:** Es geht um die Stabilität schwerer Kerne. Zwei der Wechselwirkungen spielen hier eine Rolle, die anderen beiden nicht. Obwohl ein Alphastrahler vorliegt, kann auch mit Betazerfall argumentiert werden.

## Lösungen zum Aufgabenvorschlag 1

1. a) Für die De-Broglie-Wellenlänge  $\lambda$  gilt einerseits ( $h$ : Planck'sches Wirkungsquantum;  $p$ : Elektronenimpuls;  $m_e$ : Elektronenmasse;  $v$ : Elektronengeschwindigkeit)

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v},$$

für die Elektronenenergie die Beziehung ( $e$ : Elementarladung)

$$\frac{1}{2} m_e \cdot v^2 = e \cdot U_B$$

(nicht-relativistisch gerechnet!). Durch Kombination beider Gleichungen lässt sich der **gesuchte Zusammenhang** für das Quadrat der Wellenlänge herleiten:

$$\lambda^2 = \frac{h^2}{m_e^2 \cdot v^2} = \frac{h^2}{2m_e \cdot \frac{1}{2} m_e \cdot v^2} = \frac{h^2}{2m_e \cdot e \cdot U_B} \quad (*)$$

Durch Einsetzen der angegebenen Werte erhält man für die **De-Broglie-Wellenlänge** den Wert

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{h}{\sqrt{2m_e \cdot e \cdot U_B}} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 54 \text{ V}}} \\ &= \underline{\underline{1,7 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,17 \text{ nm}}}. \end{aligned}$$

- b) Für den **Gangunterschied** ergibt sich  
(Abb. 4):

$$\begin{aligned} \Delta s &= b \cdot \sin \varphi_0 \quad (***) \\ &= 0,215 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \sin 51^\circ \\ &= \underline{\underline{1,7 \cdot 10^{-10} \text{ m}}} \end{aligned}$$

Wegen  $\Delta s = \lambda$  handelt es sich um das **Maximum 1. Ordnung**.

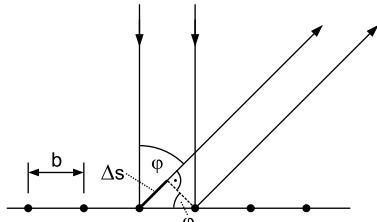


Abb. 4

- c)  $U_B$  erscheint im Nenner der Formel (\*), also wird mit steigender Spannung die Wellenlänge kleiner. Damit wird auch der Gangunterschied  $\Delta s = \lambda$  kleiner, sodass sich gemäß der Beugungsbedingung (\*\*\*) der (spitze) **Winkel  $\varphi_0$  verringert**.
- d) Da der Winkel und damit nach der Beugungsbedingung (\*\*\*)) auch der Gangunterschied  $\Delta s = k \cdot \lambda$  gleich bleiben, müssen kleinere Wellenlängen durch größere  $k$ -Werte ausgeglichen werden: Es treten **Maxima höherer Ordnung** auf, d. h. der Gangunterschied beträgt 1, 2 oder 3 Wellenlängen.

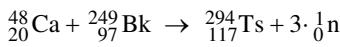
Die **Lage der Maxima** im Diagramm der Abb. 3 lässt sich quantitativ mithilfe des in Teilaufgabe 1a gefundenen Zusammenhangs (\*) überprüfen: Da  $\lambda^2$  umgekehrt proportional zu  $U_B$  ist, erhält man das

- 1. Maximum bei 54 V wie oben für  $\Delta s = \lambda$ .
- 2. Maximum bei  $2^2 = 4$ -facher Spannung von 216 V für  $\Delta s = 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$ .
- 3. Maximum bei  $3^2 = 9$ -facher Spannung von 486 V für  $\Delta s = 3 \cdot \frac{\lambda}{3}$ .

- e) Bei der **klassischen** Teilchenvorstellung wäre vorzugsweise die Rückstreuung feststellbar – unabhängig von v.

Die **diskreten** Maxima bei bestimmten Spannungswerten lassen sich nicht im Teilchenmodell erklären. In diesem würde man zudem bei höherer Spannung auch eine höhere Intensität beim Maximum erwarten – und nicht die gleiche!

2. a) Die **Reaktionsgleichung** lautet:



- b) Die **Atommasse von  $^{294}\text{Ts}$**  folgt aus der Massenbilanz der Reaktion:

$$-194 \text{ MeV} = [m_{\text{Ca}} + m_{\text{Bk}} - m_{\text{Ts}} - 3m_n] \cdot c^2$$

$$\frac{-194}{931,49} \text{ u} \cdot c^2 = [47,952522 \text{ u} + 249,074987 \text{ u} - m_{\text{Ts}} - 3 \cdot 1,08665 \text{ u}] \cdot c^2$$

$$\frac{-194}{931,49} \text{ u} = 293,767559 \text{ u} - m_{\text{Ts}}$$

$$m_{\text{Ts}} = 293,767559 \text{ u} + \frac{194}{931,49} \text{ u} = \underline{\underline{293,98 \text{ u}}}$$

- c) Um die **Anfangsaktivität**  $A_0 = \lambda \cdot N_0$  zu berechnen, benötigt man die Zerfallskonstante  $\lambda$  und die anfängliche Zahl  $N_0$  der Bk-Kerne. Die Zerfallskonstante hängt mit der angegebenen Halbwertszeit  $T_H$  über  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_H}$  zusammen, die Kernzahl  $N_0$  lässt sich aus der Probenmasse berechnen:

$$13 \cdot 10^{-6} \text{ kg} = N_0 \cdot 249 \text{ u} \Rightarrow N_0 = \frac{13 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}{249 \text{ u}} = \frac{13 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}{249 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} \\ = \underline{\underline{3,1 \cdot 10^{19}}}$$

Damit erhält man für die Anfangsaktivität:

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 = \frac{\ln 2}{330 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \cdot 3,1 \cdot 10^{19} = \underline{\underline{7,5 \cdot 10^{11} \text{ Bq}}}$$

- d) Den **vorab zerfallenen Bk-Anteil** berechnet man mithilfe des Zerfallsgesetzes  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$  für die Dauer  $t = 17 \text{ d}$ :

$$\frac{N_0 - N(17 \text{ d})}{N_0} = 1 - \frac{N(17 \text{ d})}{N_0} = 1 - e^{-\frac{\ln 2 \cdot 17 \text{ d}}{330 \text{ d}}} = 0,035 = \underline{\underline{3,5 \%}}$$



© 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**