

Hinweise für die Schülerinnen und Schüler

Aufgabenwahl

Die vorliegende Arbeit besteht aus den Prüfungsteilen A und B. Alle Prüfungsteilnehmer bearbeiten den Teil A. Es besteht die Wahlmöglichkeit zwischen den Aufgaben A3.1 und A3.2.

Prüfungsteilnehmer, die die Prüfung unter erhöhten Anforderungen ablegen, bearbeiten zusätzlich den Prüfungsteil B. Hier besteht die Wahlmöglichkeit zwischen den Aufgaben B1 und B2.

Bearbeitungszeit

Die Bearbeitungszeit beträgt 240 Minuten für den Teil A und weitere 60 Minuten für den Teil B.

Es werden zusätzlich 30 Minuten für die Wahl der Aufgaben gewährt.

Hilfsmittel

- ein an der Schule zugelassenes Tafelwerk
- ein an der Schule zugelassener Taschenrechner
- ein Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung

Sonstiges

- Die Lösungen sind in einer sprachlich einwandfreien und mathematisch exakten Form darzustellen.
- Alle Lösungswege müssen erkennbar sein.
- Grafische Darstellungen sind auf Millimeterpapier anzufertigen.
- Entwürfe können ergänzend zur Bewertung nur herangezogen werden, wenn sie zusammenhängend konzipiert sind und die Reinschrift etwa drei Viertel des erkennbar angestrebten Gesamtumfanges umfasst.
- Maximal zwei Bewertungseinheiten können zusätzlich vergeben werden bei sehr guter Notation und Darstellung, bei eleganten, kreativen und rationellen Lösungswegen sowie bei vollständiger Lösung einer zusätzlichen Wahlaufgabe.
- Maximal zwei Bewertungseinheiten können bei mehrfachen Formverstößen abgezogen werden.
- Alle Prüfungsunterlagen sind geschlossen zurück zu geben.

Prüfungsteil A
ist von jedem Prüfungsteilnehmer zu bearbeiten.

Aufgabe A1 Mechanische Arbeit und Energie (15 BE)

Eine Armbrust ist ein horizontal auf einer Mittelsäule montierter Bogen mit Sehne. Dieser kann über Hilfsmittel - im Vergleich zu einem einfachen Sportbogen - mit deutlich größerer Kraft gespannt werden. Dem Schützen ist es durch eine Rückhaltevorrichtung möglich, Sehne und Bogen ohne Anstrengung gespannt zu halten und somit lange und genau zu zielen. Die Geschosse sind in der Regel Pfeile.



- 1 Bei einer Armbrust wird der Zusammenhang zwischen Spannweg und Spannkraft gemessen und durch die folgende Wertetabelle dargestellt.

s in m	0	0,05	0,15	0,25	0,30
F in N	0	20	180	500	720

Zeichnen Sie das $F(s)$ -Diagramm.

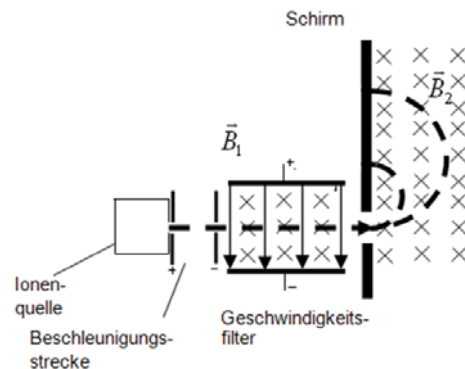
Geben Sie für diesen Zusammenhang das Kraftgesetz an. Begründen Sie.

- 2 Diese Armbrust kann mit maximal 1000 N gespannt werden.
 Bestimmen Sie den zugehörigen Spannweg.
- 3 Ermitteln Sie die beim Spannen der Armbrust von 0 auf 30 cm verrichtete mechanische Arbeit.
- 4.1 Beim Spannen einer Armbrust wird eine mechanische Arbeit von 90 Nm verrichtet. Der verwendete Pfeil aus Aluminium mit einem kleinen Zylinder aus Stahl an der Spitze hat eine Masse von 60 g.
 Berechnen Sie die maximal mögliche Anfangsgeschwindigkeit des Pfeils.
- 4.2 Die Armbrust ist zum Einschießen in einem Spannbock waagrecht auf den Mittelpunkt einer in 15,0 m Entfernung feststehenden Zielscheibe gerichtet.
 Schätzen Sie rechnerisch die Abweichung des einschlagenden Pfeils vom Mittelpunkt ab.
- 5 Beschreiben Sie die Vorgänge vom Spannen des Bogens bis zum Auftreffen des Pfeils auf die Zielscheibe aus energetischer Sicht.

Aufgabe A2 Methoden zur Altersbestimmung (15 BE)

- Bei archäologischen Ausgrabungen werden Gegenstände aus Holz geborgen, deren Alter auf der Grundlage des Zerfallsgesetzes mit Hilfe der Radiokarbon-Datierung (C-14-Methode) bestimmt werden kann.
Die Höhenstrahlung setzt schnelle Neutronen frei, die von atmosphärischen Stickstoffatomen N-14 eingefangen werden und sich unter Aussendung je eines Protons in Atome des radioaktiven Kohlenstoffisotops C-14 umwandeln. Diese fließen in den natürlichen Stoffkreislauf der Biosphäre ein und zerfallen mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren wieder zu Stickstoffatomen N-14.
Stellen Sie für die Bildung und für den Zerfall von C-14 je eine Reaktionsgleichung auf.
- Beim klassischen Zählrohrverfahren wird im Labor die momentane Aktivität einer C-14-haltigen Probe $A = 0,2 \text{ Bq}$ gemessen. Für die Anfangsaktivität A_0 wird aufgrund von Vergleichsmessungen 3 Bq angenommen.
Bestimmen Sie das ungefähre Alter der Probe.
- Mit einem Massenspektrometer wird die Zusammensetzung von Stoffen untersucht. Mit diesem moderneren Verfahren kann der Gehalt von C-14-Atomen im Material einer Probe direkt gemessen und daraus wiederum auf deren Alter geschlossen werden.

Ein Teil des zu analysierenden Materials wird ionisiert. Die Ionen werden in einem Strahl beschleunigt. Nach Verlassen des Geschwindigkeitsfilters treten sie mit gleicher Geschwindigkeit in ein homogenes Magnetfeld ein, in dem sie abgelenkt werden. Auf dem Schirm kann am Auftreffort die Anzahl der jeweiligen Ionen gemessen werden.



- Erläutern Sie die Funktionsweise des Geschwindigkeitsfilters.
- Es sind der Plattenabstand des Kondensators im Geschwindigkeitsfilter $d = 2,0 \text{ cm}$, die an den Platten anliegende Spannung $U = 700 \text{ V}$ sowie die magnetische Flussdichte $B_1 = 0,13 \text{ T}$ gegeben.
Weisen Sie rechnerisch nach, dass unter diesen Bedingungen nur Ionen mit der Geschwindigkeit $v = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ die Blende im Schirm passieren können.
- Nach dem Eintritt in das homogene Feld hinter dem Geschwindigkeitsfilter durchlaufen die Ionen halbkreisförmige Bahnen mit unterschiedlichen Durchmessern.

$$\text{Für den Bahndurchmesser gilt } d = \frac{2 \cdot m_{\text{Ion}} \cdot v_{\text{Ion}}}{q_{\text{Ion}} \cdot B_2} .$$

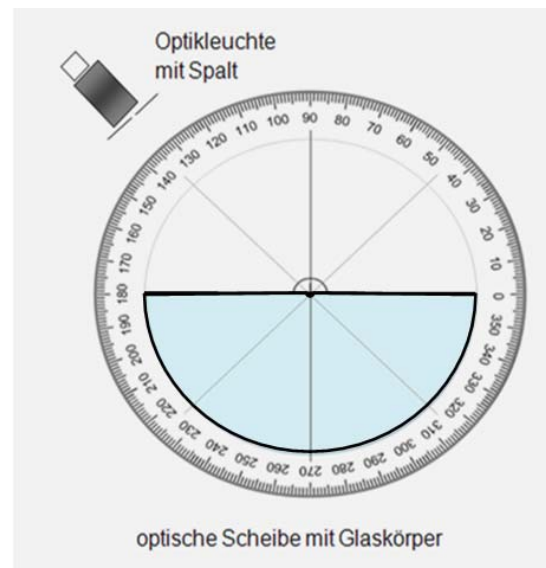
Interpretieren Sie diese Gleichung.

Die untersuchte Probe liefert neben anderen Ionen einfach positiv geladene C-14-Ionen. Die magnetische Flussdichte ist mit $B_2 = 0,50 \text{ T}$ eingestellt.
Berechnen Sie den Bahnradius der C-14-Ionen.

Aufgabe A3.1 Brechung und Reflexion (Schülerexperiment) (15 BE)
(Wahlaufgabe, alternativ A 3.2)

In einem Experiment sollen die Brechzahl¹ beim Übergang des Lichts von Luft in Glas sowie der Polarisationswinkel bestimmt werden.

Ihnen wird eine der Abbildung ähnliche Experimentieranordnung mit einem halbzyklindrischen Glaskörper zur Verfügung gestellt.



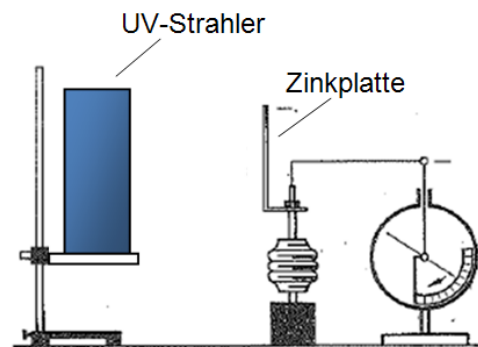
- 1 Bestimmen Sie zunächst die Brechzahl.
Verändern Sie den Einfallswinkel α zwischen 45° und 65° in Schritten von 5° und messen Sie jeweils den dazugehörigen Brechungswinkel.
Protokollieren Sie die Messwerte.
Bestimmen Sie aus den Messwerten die Brechzahl n .
Vergleichen Sie diese mit der Angabe am Experimentierplatz.
- 2 Bei diesem Experiment können Sie neben dem gebrochenen auch einen reflektierten Lichtstrahl beobachten. Bei einem bestimmten Einfallswinkel α_B bilden der reflektierte und der gebrochene Lichtstrahl einen Winkel von 90° .
Unter diesem speziellen Einfallswinkel α_B , auch BREWSTER-Winkel oder Polarisationswinkel genannt, werden von dem einfallenden unpolarisierten Licht nur die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Anteile reflektiert. Das reflektierte Licht ist dann linear polarisiert.
 - 2.1 Bestimmen Sie den Polarisationswinkel α_B möglichst genau.
 - 2.2 Für diese besondere Lage von reflektiertem und gebrochenem Lichtstrahl gilt das BREWSTERSche Gesetz $\tan \alpha_B = n$.
Bestimmen Sie mit Hilfe der Brechzahl aus Aufgabe 1 den Polarisationswinkel α_B .
Vergleichen Sie den experimentell ermittelten Wert für α_B mit dem berechneten Wert für α_B . Nennen Sie Ursachen für mögliche Abweichungen.
 - 2.3 Leiten Sie die Gleichung für das BREWSTERSche Gesetz $\tan \alpha_B = n$ her.
Erläutern Sie Ihre Vorgehensweise mit Hilfe einer Skizze.

¹ auch Brechungsindex

Aufgabe A3.2 Der lichtelektrische Effekt
(Wahlaufgabe, alternativ A3.1)

(15 BE)

Der Physiker Wilhelm HALLWACHS entdeckte im Jahr 1888, dass eine elektrisch negativ aufgeladene Zinkplatte durch die Einwirkung von ultravioletttem Licht entladen wird.



- 1 Erklären Sie den später so genannten HALLWACHS-Effekt mit der Lichtquantenhypothese.
- 2 In einem anderen Experiment wird eine Fozelle mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 435 \text{ nm}$ beleuchtet. Die Energie der ausgelösten Elektronen beträgt $0,91 \text{ eV}$.
Berechnen Sie die Energie der Photonen und bestimmen Sie das Kathodenmaterial.

In Leuchtdioden (LED) erfolgt prinzipiell eine Umkehrung des lichtelektrischen Effekts. Um dies zu untersuchen, werden verschiedene LED nacheinander an eine regelbare Spannungsquelle angeschlossen. Bei einer bestimmten Spannung U_0 leuchtet die LED deutlich sichtbar. Im kristallinen Halbleitermaterial wird dabei an einer gezielt konstruierten Stelle die durch die Mindestspannung U_0 bedingte Energie der Elektronen abgegeben. Entsprechend dieser, für das jeweilige Halbleitermaterial typischen Energiedifferenz, wird monochromatisches Licht der Wellenlänge λ emittiert. So liefert z.B. ein geeignet dotiertes Galliumphosphid-Kristall grünes Licht. Die nebenstehende Tabelle enthält die Messwerte für fünf verschiedene LED.

LED Farbe	λ in nm	U_0 in V
Rot	665	1,85
Orange	635	1,95
Gelb	590	2,10
Grün	560	2,20
Blau	480	2,60

- 3 Geben Sie jeweils die zur Lichtemission führende Energie der Elektronen an. Zeichnen Sie das $E(f)$ -Diagramm. (Maßstab: $1 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \hat{=} 2 \text{ cm}$, $1 \text{ eV} \hat{=} 5 \text{ cm}$)
- 4 Ermitteln Sie den Anstieg der Geraden.
Welche physikalische Bedeutung hat dieser Wert?

Prüfungsteil B ist nur von Prüfungsteilnehmern zu bearbeiten, die eine Prüfung unter erhöhten Anforderungen ablegen.
--

Aufgabe B1 **Besondere Atome** (15 BE)

(Wahlaufgabe, alternativ B2)

Das BOHRsche Atommodell lässt sich vor allem auf Atome mit $Z < 2$ anwenden.

- 1 Nennen Sie Eigenschaften eines Atoms, die sich mit dem Bohrschen Modell zuverlässig beschreiben lassen.

In sogenannten mesonischen Atomen ($Z = 1$) tritt an die Stelle des Elektrons ein π^- -Meson. Dieses Elementarteilchen hat die Ladung $-e$. Seine Masse m_M entspricht der 272-fachen Masse des Elektrons.

- 2 Nehmen Sie an, dass sich die Energieniveaus eines mesonischen Atoms aus

$$E_n = -3,7 \text{ keV} \cdot \frac{1}{n^2} \quad \text{mit } n = 1; 2; 3; \dots$$

ergeben.

Zeichnen Sie ein Energieterm-Schema für $1 \leq n \leq 4$.

Bestimmen Sie die Ionisierungsenergie für mesonische Atome im Grundzustand.

- 3 Für die Energiedifferenz zwischen zwei Bahnen des π^- -Mesons gilt folgende Beziehung

$$\Delta E = k_M \cdot m_M \cdot \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad k_M = 2,39 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}, \quad n = 1; 2; 3; \dots, \quad m = 2; 3; 4; \dots$$

Bestimmen Sie die Wellenlänge des Fotons, das beim Übergang von E_3 nach E_2 emittiert wird.

Ordnen Sie die Strahlung in das elektromagnetische Spektrum ein.

Untersuchen Sie, ob im Bereich $1 \leq n \leq 4$ überhaupt sichtbares Licht emittiert werden kann.

- 4 Bestimmen Sie aus einem Kräfteansatz und unter Anwendung der BOHRschen Quantenbedingung

$$2\pi \cdot m_M \cdot v_n \cdot r_n = n \cdot h$$

den Radius der inneren Bahn ($n = 1$) eines π^- -Mesons in einem derartigen Atom.

- 5 Begründen Sie, warum eine Erweiterung des BOHRschen Modells notwendig war.

Aufgabe B2**Laserlicht**

(15 BE)

(Wahlaufgabe, alternativ B1)

- 1 Nennen Sie zwei besondere Eigenschaften des Laserlichts.
Begründen Sie, dass diese Eigenschaften ihre Ursache in der Entstehung des Laserlichts haben.

- 2 Herkömmliche DVD-Player arbeiten mit einer Laserdiode, die Licht mit einer Wellenlänge von 650 nm abstrahlt. Sie geben DVD² mit einer Speicherkapazität von 4,7 Gigabyte wieder. Bei einer derartigen DVD werden Daten mit Hilfe einer von innen nach außen laufenden Spiralspur gespeichert, die eine genormte Breite von ca. 0,75 μm hat. Diese Spurbreite soll in einem Experiment überprüft werden. Dazu wird ein Laserstrahl auf die DVD gerichtet. Wird diese, wie in der nebenstehenden Abbildung dargestellt, senkrecht mit Laserlicht der entsprechenden Wellenlänge bestrahlt, so beobachtet man auf einem im Abstand von 10,0 cm parallel aufgestellten Schirm zwei helle, zum Strahl symmetrisch liegende Punkte.

 - 2.1 Erläutern Sie dieses Verfahren.
 - 2.2 Der Abstand der beiden Punkte beträgt 34 cm. Weisen Sie nach, dass die geprüfte DVD der Norm entspricht.

- 3 Um die gespeicherte Datenmenge erhöhen zu können, wurde nach blauen Laserdioden gesucht. Der japanische Physiker Shuji NAKAMURA hat 1997 ein spezielles Verfahren erfunden, um solche Laserdioden zu produzieren. Dazu entwickelte er ein besonderes Halbleitermaterial, das Galliumnitrit. Bei Halbleitern treten an die Stelle diskreter Energieniveaus zwei sogenannte Energiebänder. Bei diesem Material ist deren Energiedifferenz mit 2,66 eV groß genug, um blaues Licht abzustrahlen. Damit lassen sich auf einer Blu-Ray-Disk bis zu 54 Gigabyte speichern. Die Spurbreite einer Blu-Ray-Disk beträgt 0,3 μm .
 - 3.1 Zeigen Sie, dass eine solche Laserdiode blaues Licht ausstrahlt.
 - 3.2 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge des Laserlichts und der Speicherkapazität des Datenträgers.
 - 3.3 Im Versuch der Aufgabe 2 gelingt es nicht, bei Verwendung einer Blu-Ray-Disk Interferenzfiguren zu erzeugen. Begründen Sie.

² DVD: Abkürzung für Digital Versatile Disc, ein digitales Speichermedium