

KULTUSMINISTERIUM DES LANDES SACHSEN-ANHALT



Abitur
Januar/Februar 2003

Physik
(Leistungskurs)

Einlesezeit: 30 Minuten
Arbeitszeit: 300 Minuten

Thema 1

Ladungen und Felder

Thema 2

Teilchenbeschleuniger

Thema 3

Impulserhaltung in Mechanik und
Quantenphysik

Thema 1: Ladungen und Felder

1 Experimente mit Ladungen in Feldern

Aus einer Vorrichtung P (Bild 1) werden positiv geladene Partikel mit der Ladung $Q = 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ C}$ und der Masse $m = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$ in die Mittelebene eines Plattenkondensators mit rechteckigen Platten der Länge $\ell = 30,0 \text{ cm}$ und dem Plattenabstand $d = 8,0 \text{ cm}$ gebracht.

Beim Eintritt in das Feld sei die Anfangsgeschwindigkeit vernachlässigbar klein. Die gesamte Versuchsanordnung befindet sich im Vakuum.

Die x-Achse zeigt in Richtung des Erdmittelpunktes. Am Kondensator ist eine Spannung von $U = 10,0 \text{ kV}$ angelegt.

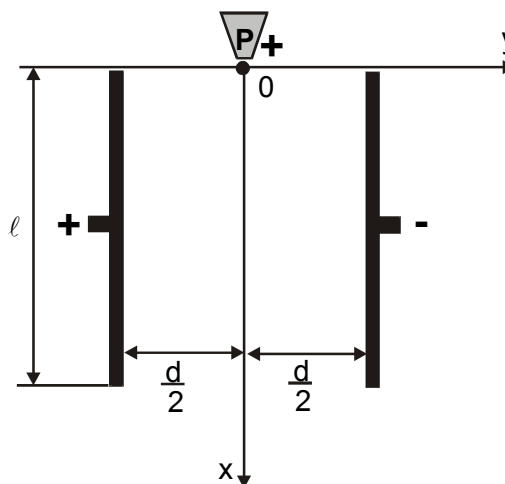


Bild 1

- 1.1 Zeigen Sie, dass für die Bahnkurve eines Partikels im Inneren des Kondensators folgende Gleichung gilt:

$$y = \frac{U \cdot Q}{m \cdot g \cdot d} \cdot x.$$

Zeichnen Sie die Bahnkurve in ein x–y–Diagramm (analog Bild 1).

Berechnen Sie die Geschwindigkeitskomponenten v_x und v_y beim Austritt aus dem Kondensator.

Bei welcher Spannung würde ein Partikel den Kondensator im Abstand $\frac{d}{4}$ vom Plattenende verlassen?

- 1.2 An die Stelle der Vorrichtung P wird nun ein radioaktives Präparat gebracht, welches eine α -Strahlung ($m_\alpha = 6,642 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) in x-Richtung mit einer kinetischen Energie von $E_{\text{kin}} = 4,8 \text{ MeV}$ freigibt. Diese Bewegungsenergie entspricht einer Geschwindigkeit von $v_\alpha = 1,52 \cdot 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Geben Sie die Orientierung eines überlagerten Magnetfeldes an und berechnen Sie dessen Flussdichte, so dass die α -Teilchen den Kondensator ohne Ablenkung passieren können.

2. Das Millikan-Experiment

Beschreiben Sie den prinzipiellen Aufbau, die Durchführung und die Auswertung des von Robert Andrews Millikan im Jahr 1916 durchgeführten Versuches zur Bestimmung der Elementarladung e . Gehen Sie dabei insbesondere auf das Problem der Massenbestimmung der Öltröpfchen bei bekannter Viskosität η der Luft ein. Verwenden Sie zu Ihrer Beschreibung u. a. das Stokes'sche Gesetz $F_R = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$.

3 Elektronen im Magnetfeld – Magnetischer Spiegel

In einem Versuch werden Elektronen zwischen der Katode K und der Anode A durch die Beschleunigungsspannung U_B beschleunigt. Anschließend treten sie wie in Bild 2 dargestellt, in ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte $B = 0,55 \text{ mT}$ senkrecht zu den Feldlinien ein.

Die gesamte Versuchsanordnung befindet sich im Vakuum.

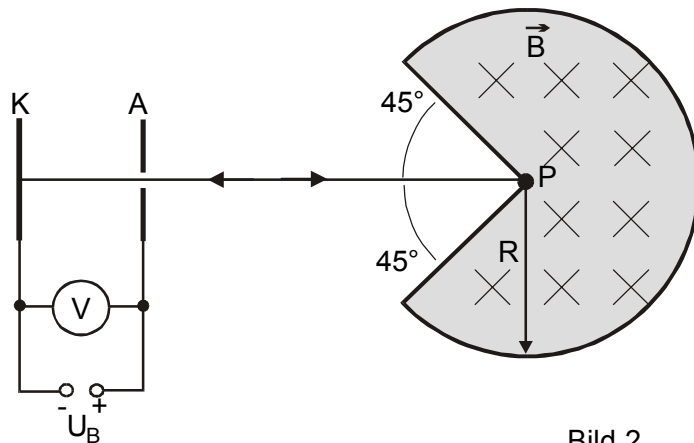


Bild 2

Das Magnetfeld ist auf den dargestellten Kreisabschnitt mit dem Radius $R = 50 \text{ cm}$ beschränkt.

Zeichnen Sie die Bahn der Elektronen im Maßstab 1:10, wenn die Beschleunigungsspannung $U_B = 1100 \text{ V}$ beträgt. Berechnen Sie die dazu notwendigen Größen. Begründen Sie daraus den Namen „Magnetischer Spiegel“ einer solchen Versuchsanordnung.

Ermitteln Sie die Zeitspanne vom Eintritt in das Magnetfeld im Punkt P bis zum Austritt aus dem Magnetfeld im Punkt P.

4 Die Entladekurve eines Kondensators (Schülerexperiment)

Entwickeln Sie eine Schaltung, mit der ein Kondensator von einer Gleichspannungsquelle aufgeladen und anschließend über einen geeigneten Widerstand so entladen wird, dass der zeitliche Verlauf der Entladestromstärke experimentell aufgenommen werden kann. Verwenden Sie dabei die von der Lehrkraft vorgegebenen Bauelemente.

Nehmen Sie anschließend die Entladekurve $I(t)$ des Kondensators auf und bestimmen Sie daraus die vor der Entladung im Kondensator gespeicherte Ladung. Berechnen Sie die Kapazität des verwendeten Kondensators.

Fertigen Sie ein vollständiges Protokoll an.

Thema 2: Teilchenbeschleuniger

1 Geschwindigkeit und kinetische Energie

Nennen Sie zwei Ziele, die Wissenschaftler mit dem Einsatz von Teilchenbeschleunigern verfolgen.

Teilchenbeschleuniger erhöhen die kinetische Energie elektrisch geladener Teilchen. Die Geschwindigkeit der Elementarteilchen bzw. Ionen ist oftmals so hoch, dass relativistische Effekte zu beachten sind. In einem Experiment werden Protonen im Vakuum auf eine Geschwindigkeit nahe der des Lichts gebracht. Die relativistische Masse erhöht sich im Vergleich zur Ruhemasse auf das 100-fache ($m = 100 m_0$).

Berechnen Sie für ein solches Proton die Geschwindigkeit als prozentualen Anteil der Lichtgeschwindigkeit c und die relativistische kinetische Energie in GeV.

2 Zyklotron

Mit dem sogenannten klassischen Zyklotron (Bild 1) lassen sich Teilchengeschwindigkeiten bis zu 10 % der Lichtgeschwindigkeit c erreichen. Relativistische Effekte können bei solchen Geschwindigkeiten noch vernachlässigt werden.

- 2.1 Beschreiben Sie den Aufbau und erläutern Sie die Wirkungsweise des abgebildeten Zyklotrons. Berücksichtigen Sie dabei u. a. die in der Skizze markierten Bauteile.

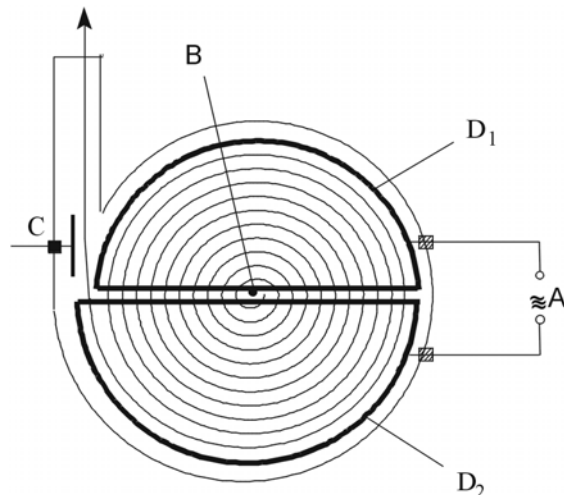


Bild 1

Zeigen Sie, dass beim klassischen Zyklotron die Zeit T , die ein Teilchen der Ladung Q und der Masse m zum kreisförmigen Durchlaufen der beiden Duanden benötigt, unabhängig vom Radius r ist.

- 2.2 In einem Zyklotron sollen Protonen auf die Geschwindigkeit $v = 0,10 c$ gebracht werden. Die magnetische Flussdichte beträgt $B = 0,40 \text{ T}$.

Berechnen Sie (nichtrelativistisch!) die Frequenz der beschleunigenden Wechselspannung, den Radius der äußersten Teilchenbahn sowie die erreichte kinetische Energie der Protonen in MeV.

Begründen Sie, warum die in einem klassischen Zyklotron erreichbare kinetische Energie begrenzt ist.

- 2.3 Ein Teilchen tritt in die untere Elektrode D_2 mit der Anfangsenergie E_1 ein und beschreibt dort eine Halbkreisbahn mit dem Radius r_1 . Es nimmt bei jedem vollen Umlauf die Energie $\Delta E = E_1$ auf.

Zeigen Sie, dass für den Zusammenhang zwischen den Radien r_n der Halbkreisbahnen in der oberen Elektrode D_1 und der Anzahl der Umläufe n gilt: $r_n \sim \sqrt{n}$.

Erläutern Sie anhand dieses Zusammenhanges, dass die äquidistante Bahndarstellung in Bild 1 nicht realistisch ist und fertigen Sie eine Skizze des realistischen Bahnverlaufs an.

3 Synchrotron

- 3.1 Am Deutschen Elektronensynchrotron (DESY) werden Elektronen mit 99,99 % der Lichtgeschwindigkeit auf einer nahezu kreisförmigen Bahn gehalten. Diese extrem schnellen Elektronen senden eine sehr intensive elektromagnetische Strahlung (Synchrotronstrahlung) mit einem kontinuierlichen Spektrum aus. Die Quantenenergie der in der Synchrotronstrahlung auftretenden Photonen reicht von 1,00 eV bis 100 keV.

Berechnen Sie die größte und die kleinste vorkommende Wellenlänge und ordnen Sie die jeweiligen Bezeichnungen der Spektralbereiche zu.

- 3.2 Durch geeignete Apparaturen lassen sich aus dem Spektrum der Synchrotronstrahlung beliebige Wellenlängen herausfiltern. Wird eine Materialprobe monochromatischer Strahlung ausgesetzt, kann u. a. der Photoeffekt beobachtet werden.

Beschreiben und begründen Sie,

- wie sich eine Erhöhung der Intensität der Synchrotronstrahlung bei gleichbleibender Frequenz,
- eine Erhöhung der Frequenz bei gleichbleibender Intensität jeweils auf die Emission der Photoelektronen auswirkt.

Eine Wolframprobe wird mit Synchrotronstrahlung der Frequenz $1,47 \cdot 10^{16}$ Hz bestrahlt. Dabei registriert man Elektronen mit der maximalen kinetischen Energie von 56,4 eV.

Berechnen Sie die Energie, mit der diese Elektronen im Material gebunden waren.

4 Linearbeschleuniger

Die maximal erreichbare Energie von Elektronen in Ringbeschleunigern ist durch die ständige Energieabgabe in Form von Synchrotronstrahlung begrenzt. Einen Ausweg, die Synchrotronstrahlung zu vermindern, bieten Linearbeschleuniger.

Beschreiben Sie den Aufbau und erläutern Sie die Wirkungsweise eines Linearbeschleunigers mithilfe von Bild 2.

Begründen Sie insbesondere, warum die Zylinderelektroden (Driftröhren) mit zunehmender Flugstrecke immer länger werden.

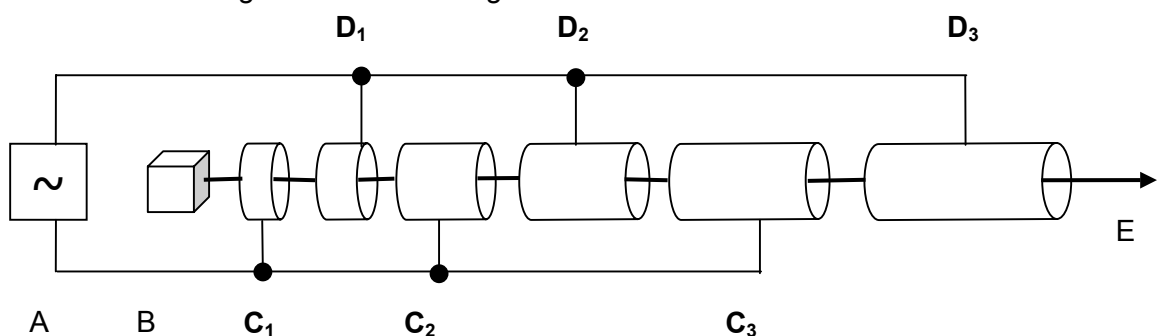


Bild 2

Thema 3: Impulserhaltung in Mechanik und Quantenphysik

1 Kraftstoß, Impuls- und Impulserhaltungssatz

Die Erhaltung des Impulses stellt eine der grundlegendsten physikalischen Gesetze dar, deren Anwendung in allen Teilgebieten der Physik zu finden ist.

- 1.1 Definieren Sie den Impuls eines Körpers und formulieren Sie den Satz von der Erhaltung des Impulses in Wort- und Gleichungsform. Erläutern Sie diesen fundamentalen Satz anhand zweier Beispiele. Gehen Sie dabei sowohl auf einen elastischen als auch auf einen unelastischen Stoß ein und wenden Sie in diesem Zusammenhang auch den Energieerhaltungssatz an.
- 1.2 Ein Pendel wird um den Winkel α aus seiner Ruhelage ausgelenkt und stößt mit seinem Pendelkörper (1) elastisch und zentral auf eine ruhende Kugel (2). Diese bewegt sich dann entlang der im folgenden dargestellten parabelförmigen Bahn und fällt in einen tiefer gelegenen mit Sand gefüllten ruhenden Wagen.

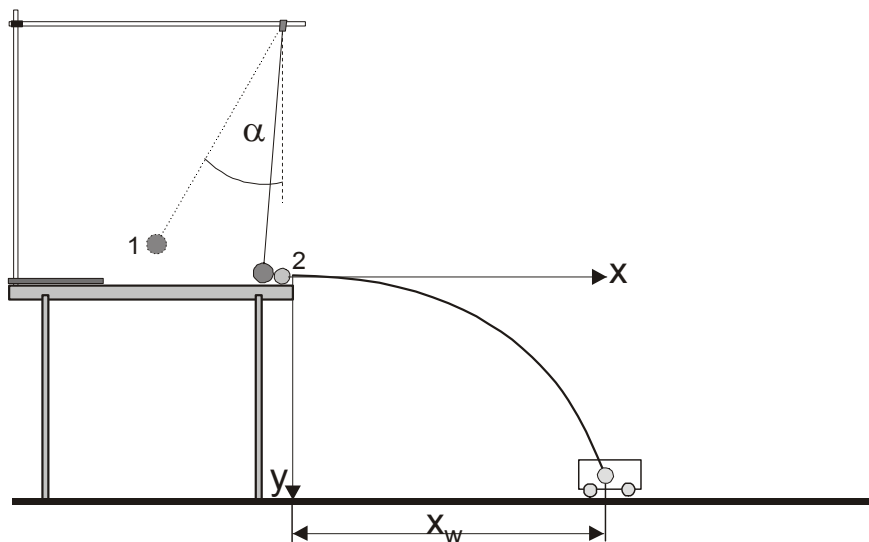


Bild 1

Daten:

Länge des Pendels:	$\ell = 1,0 \text{ m}$
Pendelmasse (1):	$m_p = 150 \text{ g}$
Pendelauslenkung:	$\alpha = 35^\circ$
Masse der Kugel (2):	$m_k = 150 \text{ g}$
Masse des Wagens:	$m_w = 250 \text{ g}$
Reibungszahl	$\mu = 0,06$

Analysieren Sie die Vorgänge vom Loslassen der Kugel im Punkt 1 bis zum Stillstand des Wagens.

Berechnen Sie, wie weit der Wagen rollt, wenn die Reibungszahl μ zwischen den Rädern und dem Untergrund konstant bleibt.

(Zwischenergebnis zur Kontrolle: Geschwindigkeit der Kugel nach dem Zusammenstoß mit dem Pendel im Punkt 2

$$u_k = \sqrt{2 \cdot g \cdot \ell (1 - \cos \alpha)} \quad)$$

2 Raketenantrieb

Konstantin Ziolkowski gilt als ein bedeutender Pionier der Raumfahrt und des Raketenantriebs.

- 2.1 Erklären Sie das Prinzip des Raketenantriebs unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes.
- 2.2 Ziolkowski entwickelte eine Gleichung (Raketengleichung), die die Raketenstartmasse m_0 , die zeitlich abnehmende Raketenmasse $m(t)$, und die Ausströmgeschwindigkeit der Antriebsgase c_{Gas} zur erzielbaren Geschwindigkeitsänderung Δv in Beziehung setzt:

$$\Delta v = c_{\text{Gas}} \cdot \ln \frac{m_0}{m(t)}.$$

Begründen Sie mithilfe dieser Gleichung, dass heutige Raketen, die ein Verhältnis von Start- und Leermasse von etwa 6:1 haben und deren Feststoffantrieb Gas mit einer Geschwindigkeit von $2800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ausstößt, mit einer Raketenstufe nicht in eine Erdumlaufbahn gelangen können.

Begründen Sie ferner, dass eine mehrstufige Rakete diese Fluchtgeschwindigkeit erreichen kann.

- 2.3 Leiten Sie die zweite kosmische Geschwindigkeit her.

3 Photonenimpuls

Dem Physiker R. Frisch ist es gelungen, den Impuls von Photonen qualitativ und quantitativ nachzuweisen. In einer Vakuumröhre (Bild 3) verdampfte er flüssiges Natrium bei einer Temperatur von $360 \text{ }^\circ\text{C}$ und erzeugte durch ein Blendensystem S_1 und S_2 einen feinen thermischen Na-Atomstrahl.

Nach einer Strecke von $\ell = 50 \text{ cm}$ traf der Strahl auf der kalten Anode auf und hinterließ bei A_0 einen Niederschlag. Durch seitliches Einstrahlen von Licht einer Na-Dampflampe ($\lambda = 588 \text{ nm}$) senkrecht zum Atomstrahl konnte ein zweiter Niederschlag bei A_1 erzielt werden. Dies konnte als Nachweis für die Absorption der Photonen durch Na-Atome interpretiert werden.

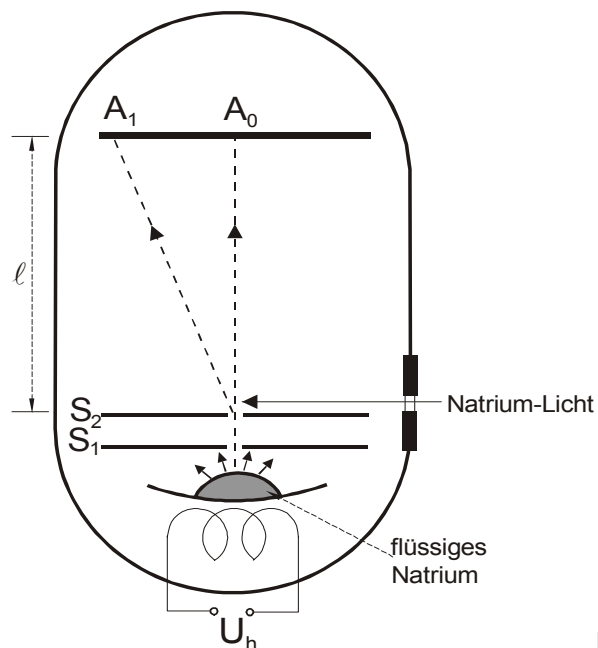


Bild 3

Berechnen Sie aus der Temperatur des erhitzten Natriums die mittlere kinetische Energie der Natriumatome im Strahl sowie deren Impuls.

Berechnen Sie mithilfe des Photonenimpulses den mittleren Abstand der Auftrefforte A_0A_1 .

4 Drehimpuls (Themaufgabe)

Stellen Sie in einer sprachlich zusammenhängenden Form die Bedeutung des Drehimpulses dar. Gehen Sie insbesondere auf folgende Schwerpunkte ein:

- Modell „starrer Körper“,
- Trägheitsmoment,
- Winkelgeschwindigkeit,
- Drehmoment,
- Vektorcharakter des Drehimpulses,
- Drehimpulserhaltungssatz,
- eine Anwendung aus Astronomie oder Technik oder Sport.

Thema 1: Ladungen und Felder

Aufgabe 1	BE 20
------------------	------------------------

1.1 Zeigen, dass für die Bahngleichung gilt: $y = \frac{U \cdot Q}{m \cdot g \cdot d} \cdot x$

Diagramm mit $y = f(x) = 6,34 \cdot 10^{-2} \cdot x$

Geschwindigkeitskomponenten:

$$v_x = \sqrt{2 \cdot g \cdot \ell} = 2,43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}; \quad v_y = \frac{U \cdot Q}{m \cdot d} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \ell}{g}} = 0,15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Spannung bei $\frac{d}{4}$: $U_2 \approx 10,5 \text{ kV}$

1.2 Orientierung des überlagerten Magnetfeldes

$$B = \frac{U}{d \cdot v_0} = 8,2 \text{ mT}$$

Aufgabe 2	18
------------------	-----------

Beschreibung des prinzipiellen Aufbaus, der Durchführung und Auswertung des Millikanexperimentes
Massenbestimmung z. B. über Sinkgeschwindigkeit in Luft und daraus folgender Radienberechnung

Aufgabe 3	14
------------------	-----------

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot U_B \cdot m_e}{e \cdot B^2}} = 0,20 \text{ m}$$

Zeichnung im Maßstab 1:10
Begründung des Namens „Magnetischer Spiegel“

Zeit bis zum Austritt: $t = (3\pi + 2) \cdot \frac{m_e}{e \cdot B} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ s}$

Aufgabe 4	18
------------------	-----------

Durchführung und Auswertung des Experimentes mit vollständigem Protokoll

Thema 2: Teilchenbeschleuniger

	BE
Aufgabe 1	14

zwei Ziele

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad v = 0,99995 c$$

$$E = E_0 + E_{\text{kin}}$$

$$E_{\text{kin}} = (m - m_0) \cdot c^2, \quad E_{\text{kin}} = 93 \text{ GeV}$$

Aufgabe 2	30
------------------	-----------

2.1 Aufbau
Wirkungsweise

$$F_R = F_L, \quad T = 2\pi \cdot \frac{m}{B \cdot Q}$$

2.2 $f = \frac{B \cdot Q}{2\pi \cdot m}, \quad f = 6,1 \text{ MHz}$

$$F_R = F_L, \quad r = 0,78 \text{ m}$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} \cdot v^2, \quad E_{\text{kin}} = 4,7 \text{ MeV}$$

Begründung

2.3 z. B.: Länge einer Halbkreisbahn: $\pi \cdot r_n = v \cdot \frac{T}{2}$

Energie nach Durchlaufen der n-ten Bahn: $\frac{m}{2} \cdot v_n^2 = n \cdot E_1 \quad (n > 0)$

z. B. $r_n = \frac{T}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E_1}{m}} \cdot \sqrt{n}; \quad r_n \sim \sqrt{n}$

Erläuterung
Skizze

Aufgabe 3	16
------------------	-----------

3.1 $E = h \cdot f, \quad \lambda_{\text{max}} = 1,24 \text{ } \mu\text{m}, \text{ Infrarotstrahlung}$
 $\lambda_{\text{min}} = 12,4 \text{ pm}, \text{ Gamma-/Röntgenstrahlung}$

3.2 Beschreibung und Begründung
 $E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A, \quad W_A = 4,4 \text{ eV}$

Aufgabe 4	10
------------------	-----------

Aufbau
Wirkungsweise
Begründung

Thema 3: Impulserhaltung in Mechanik und Quantenphysik

Aufgabe 1	BE 26
------------------	------------------------

- 1.1 Definition
Formulierung und Erläuterungen des Impulserhaltungssatzes an Beispielen

- 1.2 Analyse

$$s = \left(\frac{m_k}{m_k + m_w} \right)^2 \cdot \frac{\ell \cdot (1 - \cos \alpha)}{\mu} = 0,42 \text{ m}$$

Aufgabe 2	16
------------------	-----------

- 2.1 Erklärung des Rückstoßprinzips mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes

- 2.2 Begründung z. B. mit
 $\Delta v = 5,02 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} < 7,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Begründung

- 2.3 Herleitung

Aufgabe 3	8
------------------	----------

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{3}{2} k \cdot T = 1,31 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$P_{\text{Na}} = m_{\text{Na}} \cdot v_{\text{Na}} = 3,16 \cdot 10^{-23} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$\overline{A_0 A_1} = \ell \cdot \frac{P_{\text{Ph}}}{P_{\text{Na}}} = 1,80 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Aufgabe 4	20
------------------	-----------

Darstellung