



Associazione per l'Insegnamento della Fisica

37^a edizione

2023



Campionati di FISICA

Nationaler Wettbewerb-Theorieteil

Senigallia(An) - Freitag, 14. April 2023

Anleitung

Zeit: 4 Stunden

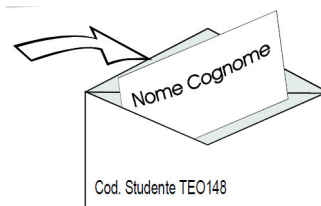
Bitte noch nicht umblättern!
Warte auf den Start!

1. Sobald du die Erlaubnis hast, die Arbeit zu beginnen, kontrollierst du, dass der **Schüler-Kenncode (Codice Studente)** auf dem großen Umschlag, auf dem kleinen Umschlag und auf dem Kärtchen gleich sind! Schreibe klar und deutlich Deinen **NAMEN und FAMILIENAMEN auf das Kärtchen**. Gib das Kärtchen dann in den kleinen Umschlag und verschließe ihn, **ohne ihn zuzukleben**! Lege den kleinen Umschlag sofort in den großen Umschlag, in dem du am Schluss alle Blätter abgibst!

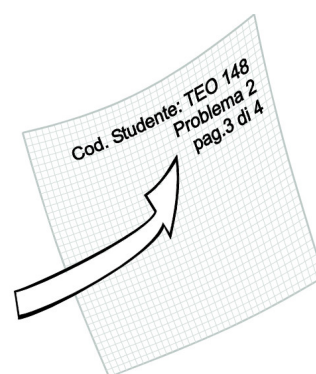
Anschließend darfst du **KEINEN Namen mehr auf die Blätter und die Umschläge schreiben, sondern nur mehr Deinen Schüler-Kenncode (Codice Studente)**.

2. Lies den Text der drei Probleme genau durch!
3. Du musst für **jedes Problem ein eigenes Blatt verwenden!**
4. Schreibe auf jeder Seite oben rechts deutlich:
 - deinen **Schüler-Kenncode (Codice Studente)**
 - die **Nummer** des Problems
 - die **Seitenzahl** (beginnend mit 1 für jedes einzelne Problem)
 - die **gesamte Anzahl der verwendeten Seiten** für das betreffende Problem

Beispiel: Seite 3 von 7.



Cod. Studente TE0148



I Campionati di Fisica
sono organizzati dall'AIF
su mandato del



MINISTERO DELL'ISTRUZIONE
E DEL MERITO

La Gara Nazionale ha il sostegno di

Comune di
Senigallia

Liceo Statale "Medi"
Senigallia

NÜTZLICHE MATHEMATISCHE FORMELN

Für $x \ll 1$ kann man folgende Näherungen verwenden ¹:

$$[\mathbf{A1}] \quad (1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$$

$$[\mathbf{A2}] \quad \sin(x) \approx x \quad [\mathbf{A3}] \quad \tan(x) \approx x \quad [\mathbf{A4}] \quad \cos(x) \approx 1 - \frac{1}{2}x^2$$

$$[\mathbf{A5}] \quad e^x \approx 1 + x \quad [\mathbf{A6}] \quad \ln(1+x) \approx x$$

Trigonometrische Formeln:

$$[\mathbf{T1}] \quad \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \sqrt{\frac{1 - \cos(\alpha)}{2}}$$

$$[\mathbf{T2}] \quad \sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \sin\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \cos\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$$

$$[\mathbf{T3}] \quad \sin(\alpha) - \sin(\beta) = 2 \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)$$

$$[\mathbf{T4}] \quad \sin(\alpha) \sin(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

Mittelwerte

$$[\mathbf{M1}] \quad \langle \sin(a_1 x + \varphi_1) \sin(a_2 x + \varphi_2) \rangle = \frac{1}{\Delta x} \int_{x_0}^{x_0 + \Delta x} \sin(a_1 x + \varphi_1) \sin(a_2 x + \varphi_2) dx = 0$$

mit Δx viel größer als der Perioden der Sinusfunktionen

$$[\mathbf{M2}] \quad \langle \sin^2(x) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{x_0}^{x_0 + \Delta x} \sin^2(x) dx = \frac{1}{2}$$

¹Wenn x ein Winkel ist, muss er in Radian angegeben werden!

Lies diesen Text aufmerksam und in aller Ruhe durch!

MERKE: Auf **keines** der Blätter darfst du deinen Namen schreiben. Nur auf das Kärtchen, das in den kleinen Umschlag kommt, schreibst du deinen Namen!

Schreibe auf alle Blätter den eigenen **Schüler-Kenncode (Codice Studente)**, der auf dem kleinen farbigen Umschlag steht - sowohl auf alle zusammenfassenden Blätter als auch auf alle karierten Blätter, die du verwendest.

Zusammen mit dem Text erhältst du für jedes Problem ein **zusammenfassendes Blatt**, auf dem du zu jedem Problem deine Antworten zusammenfasst. Die numerischen Werte müssen mit der richtigen Anzahl an Ziffern (signifikante Stellen!), abhängig von den vorgegebenen Daten, angegeben werden. Falls notwendig, gib die Einheit an!

ES IST WICHTIG, dass du alle Ergebnisse (formale und numerische) auf das entsprechende zusammenfassende Blatt schreibst, da es die Grundlage für die Bewertung deiner Arbeit ist.

Verwende für jedes Problem ein anderes kariertes Blatt und beginne immer damit, rechts oben deinen Schüler-Kenncode einzutragen.

Auf die karierten Blätter müssen die detaillierten Lösungen angegeben sein, wobei du umfangreichen Text eher vermeiden und stattdessen bevorzugt Gleichungen, Symbole, Zahlen und Diagramme verwenden sollst.

Auf jede Seite der karierten Blätter, die eine Lösung enthält, schreibst du rechts oben die Nummer des Problems, die Seitenzahl und die gesamte Zahl der Seiten, die du für die Lösung dieses Problems benötigst hast, wie es auf dem Deckblatt steht!

Zum Schluss ein nützlicher Hinweis: Nicht immer ist für die Lösung einer Frage die Lösung der vorangegangenen Frage notwendig!

Wichtig für numerische Daten: Der relative Fehler der numerisch angegebenen Daten muss mit 0,1% angenommen werden, egal, wie viele Stellen vorgegeben sind, außer es wird explizit anders angegeben! Bei den in der Tabelle angegebenen Konstanten kann der Fehler hingegen vernachlässigt werden. Die daraus folgenden numerischen Ergebnisse müssen mit der entsprechenden Anzahl an signifikanten Stellen angegeben werden.

Ausarbeitung:



PROGETTO OLIFIS
Segreteria dei Campionati Italiani di Fisica
E-mail: segreteria@olifis.it - WEB: www.olifis.it



Diese Unterlagen können unter Angabe der Quelle weiterverwendet werden, außer für kommerzielle Zwecke.

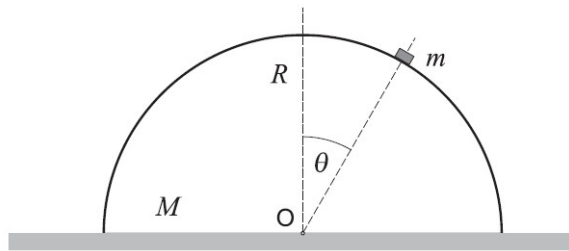
Übersetzung: Johann Baldauf, RG Brixen und Klaus Überbacher, RG Meran



Teilchen auf einer Halbkugel

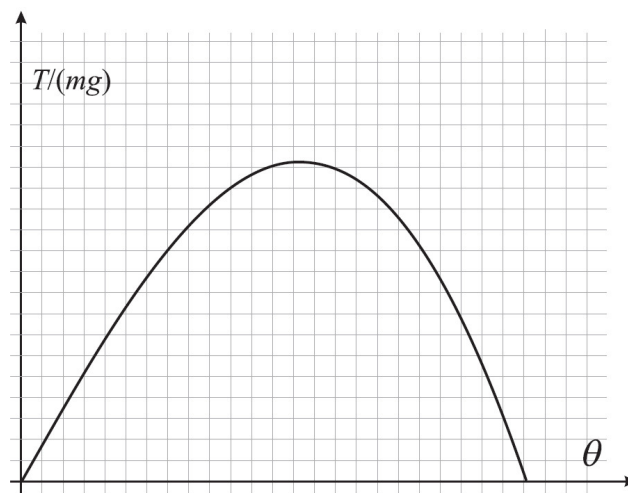
100 Punkte

Eine Halbkugel mit Masse M und Radius R wird auf einer ebenen Fläche platziert. Ein Teilchen mit der Masse m und mit einer Ausdehnung, die im Vergleich zur Halbkugel vernachlässigbar ist, kann auf dieser rutschen. Alle Reibungskräfte können vernachlässigt werden. Die Position des Teilchens wird durch den Winkel θ bestimmt (siehe Skizze).



Die Halbkugel wird durch ein horizontales, nicht dehnbares Seil mit vernachlässigbarer Masse festgehalten. Das Seil ist an einem Punkt der Basis der Halbkugel befestigt. Das Teilchen wird in die Position θ_0 gebracht. Danach lässt man es mit der Anfangsgeschwindigkeit null hinunterrutschen, in Richtung des Punktes, an dem das Seil befestigt ist. Während der gesamten Bewegung bleiben Seil, Zentrum der Halbkugel und Teilchen immer in der gleichen senkrechten Ebene.

1. Trage skizzenhaft die beschriebene Situation auf und zeichne eine Freischnittsskizze der Masse m mit den Kräften, die auf sie wirken.
2. Wie groß ist θ_0 , wenn sich das Teilchen im Punkt mit $\theta_1 = 60^\circ$ von der Halbkugel löst?
3. Das Teilchen wird nun in den Punkt mit $\theta_0 \approx 0$ gebracht. Drücke die Seilspannung T in Funktion des Winkels θ zwischen 0 und θ_{dist} aus. θ_{dist} ist dabei der Winkel, bei dem sich das Teilchen in dieser neuen Situation von der Kugel löst.
4. Die Abbildung zeigt den Graphen von $T/(mg) = f(\theta)$. Vervollständige ihn, indem Du die Skala auf jeder Achse angibst. Bestimme die Nullstellen und die Koordinaten des Maximums von $f(\theta)$.



Jetzt wird das Teilchen mit einem Faden (nicht dehnbar und von vernachlässigbarer Masse) im höchsten Punkt der Halbkugel befestigt. Der Faden hat eine gegebene Länge, die kleiner als $\pi R/2$ ist. Das Teilchen wird durch den gespannten Faden in reibungsfreiem Kontakt zur Oberfläche der Halbkugel festgehalten. Zu einem bestimmten Zeitpunkt wird das Seil, das die Halbkugel gehalten hat, entfernt und an der Basis der Halbkugel wird eine horizontale Kraft $\vec{F}$ ausgeübt. Die Kraft liegt dabei in der vertikalen Ebene, die sowohl den Faden als auch das Teilchen enthält. Der Betrag der Kraft ist anfänglich null und wächst mit der Zeit.

5. Zeichne das Diagramm der Kräfte, die auf das Teilchen wirken, bevor die Kraft $\vec{F}$ zu wirken beginnt. Diskutiere dann qualitativ, unter welchen Bedingungen sich das Teilchen von der Halbkugel lösen kann

und unter welchen Bedingungen es auf der Halbkugel nach oben aufzusteigen beginnt. Zeichne diese beiden Situationen.

6. Bestimme die Mindestkraft $\vec{F}$, die erforderlich ist, damit sich das Teilchen von der Halbkugel löst.
7. Bestimme die minimale Kraft $\vec{F}$, die erforderlich ist, damit das Teilchen beginnt, entlang der Halbkugel aufzusteigen.



Auswirkungen von Schwerkraft und Beschleunigungen auf einen Leiter 100 Punkte

Die Punkte eines isolierten Leiters liegen aufgrund der Anwesenheit von Gravitationsfeldern oder einer Drehbewegung möglicherweise nicht alle auf demselben elektrischen Potential. Dieser sehr kleine Effekt, der normalerweise zu vernachlässigen ist, wird in diesem Problem analysiert.

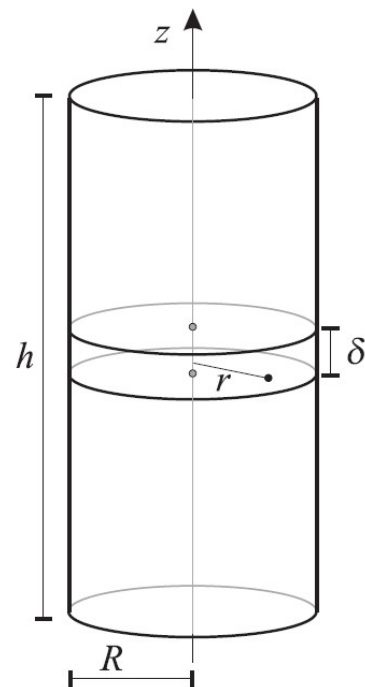
Wir betrachten einen isolierten, insgesamt neutralen, leitenden Zylinder mit dem Radius $R = 5\text{ cm}$ und Höhe $h = 1\text{ m}$, welcher vertikal und ruhend aufgestellt sind. Ein zylindrisches Koordinatensystem könnte im Zuge der Problemstellung hilfreich sein: Die z -Achse soll mit der Achse des Zylinders zusammenfallen; mit r bezeichnet man den Abstand von dieser Achse, wie in der Abbildung ersichtlich.

Bei der Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit gehen wir vom Drude-Modell aus: Man nimmt an, dass der elektrische Leiter durch ein Gitter aus ruhenden positiven Ionen und einem Gas aus Leitungselektronen gebildet wird.

Die Fernwirkung zwischen Ionen und Elektronen wird vernachlässigt und es wird angenommen, dass das Elektronengas sich ähnlich verhält wie ein Ideales Gas. In Abwesenheit eines elektrischen Feldes ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der Leitungselektronen null; in Gegenwart eines elektrischen Feldes wird auf die Elektronen eine Kraftwirkung ausgeübt, die ihnen eine von null verschiedene Drift-Geschwindigkeit verleiht, welche wiederum mit einem Stromfluss verbunden ist.

Im ersten Teil des Problems wollen wir die Wirkung des Gravitationsfeldes $\vec{g}$ auf die Leitungselektronen betrachten.

Ein solches Feld würde dazu neigen, die Leitungselektronen nach unten zu ziehen. Um die Bedingung eines elektrostatischen Gleichgewichts aufrechtzuerhalten (Driftgeschwindigkeit ist Null), muss die Existenz eines elektrischen Feldes innerhalb des Leiters zugelassen werden.



1. Drücke das innere elektrische Feld $\vec{E}$ als Funktion der Erdbeschleunigung $\vec{g}$, der Elementarladung e und der Elektronenmasse m aus.
2. Bestimme einen Ausdruck für die maximale Potentialdifferenz ΔV_{max} ($= \Delta \varphi_{max}$) zwischen zwei Punkten des Leiters und berechne den Wert von ΔV_{max} .
3. Bestimme die elektrische Ladungsdichte im Leiterinneren.
4. Gibt es Bereiche auf der Oberfläche des Leiters, wo die Oberflächenladungsdichte nicht null ist? Wie groß ist die Gesamtladung auf der Oberfläche?

Man betrachtet nun denselben Zylinder, der sich mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω um seine Achse dreht. Wir vernachlässigen nun das Gravitationsfeldes. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Leitungselektronen gemeinsam mit dem Zylinder mit derselben Winkelgeschwindigkeit rotieren und vernachlässigen die

magnetischen Effekte aufgrund des Vorhandenseins rotierender elektrischer Ladungen. Im weiteren Verlauf der Problemstellung werden alle gesuchten Größen im Bezugssystem des Labors (Laborsystem) bestimmt.

- Bestimme das elektrische Feld $\vec{E}(r)$ im Inneren des Zylinders als Funktion der Elementarladung e , der Elektronenmasse m und der Winkelgeschwindigkeit ω .
- Finde einen Ausdruck für die durchschnittliche Ladungsdichte in einem zylindrischen Volumen, innerhalb und koaxial zum Leiter, mit Radius $r < R$ und Höhe z . Finde einen Ausdruck für die Punktladungsdichte an jedem Punkt des zylindrischen Leiters.
- Erkläre, warum es Bereiche auf der Oberfläche des Leiters geben muss, in denen die Oberflächenladungsdichte nicht null ist. Wie groß ist die Gesamtladung auf der Oberfläche?
- Bestimme die maximale Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten des Leiters als Funktion der Daten des Problems und berechne die Rotationsfrequenz f_1 , die erforderlich wäre, um eine maximale Potentialdifferenz von 1 V zu erzeugen.

Da innerhalb des Leiters eine Ladungsdichte vorhanden ist und weil diese Ladungen rotieren, erzeugen sie ein Magnetfeld $\vec{B}$. Wir wollen überprüfen, ob unter den Bedingungen, unter welchen wir gearbeitet haben, die Auswirkungen des Feldes $\vec{B}$ wirklich vernachlässigbar sind.

Wir betrachten nun, um Randeffekte vernachlässigen zu können, einen zentralen Teil mit der Höhe $\delta \ll h$ eines rotierenden Zylinders mit $R \ll h$, wie in der Abbildung gezeigt. Dieser Teil kann als insgesamt neutral betrachtet werden.

- Finde einen Ausdruck für das Feld $\vec{B}$ als Funktion des Abstands von der Zylinderachse und für das Verhältnis zwischen der Lorentzkraft aufgrund dieses Feldes und der Coulombkraft aufgrund des Feldes $\vec{E}(r)$. Berechne den maximalen Wert dieses Verhältnisses für die Frequenz $f = f_1$, die in Frage 8 bestimmt wurde.



Interferometrische Messungen

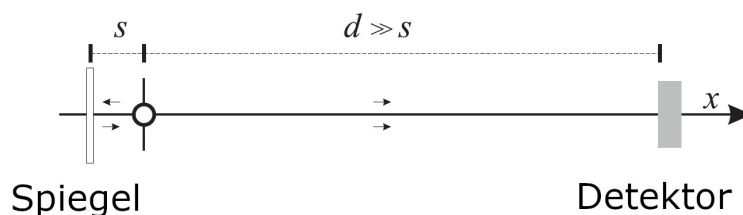
100 Punkte

Eine Quelle sendet eine monochromatische und isotrope elektromagnetische Welle aus. Entlang der x-Achse kann die Welle in sehr großer Entfernung als ebene Welle behandelt und durch ihr elektrisches Feld beschrieben werden.

$$E(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$$

mit $k = 2\pi/\lambda$ und $\omega = 2\pi/T$, wobei λ die Wellenlänge und T die Periodendauer der Welle ist. Die Zeit wird durch t dargestellt und φ_0 stellt eine Phasenverschiebung dar, die mit geeigneter Wahl der Nullpunkte von x und t gleich null gesetzt werden kann.

Man kann auch nur mit einer Quelle Interferenz erzeugen, wenn man diese in einem Abstand s vor einem ebenen Spiegel platziert, während sich im Abstand $d \gg s$ ein Detektor befindet, wie in der Abbildung gezeigt.



Für die gegebene Bedingung sind die Amplitude A der direkt auf den Detektor einfallenden Welle und diejenige der am Spiegel reflektierten Welle praktisch gleich groß. Der Detektor misst die über die Zeit gemittelte Leistung der empfangenen Strahlung pro Flächeneinheit. Diese Größe, welche proportional zum Quadrat des elektrischen Feldes der Welle ist, heißt **Bestrahlungsstärke** I und ist in unserem Fall gleichmäßig auf der Detektoroberfläche verteilt.

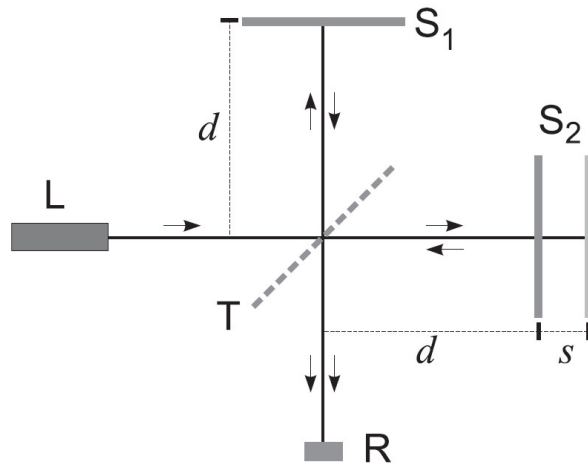
- Zeige, dass die Bestrahlungsstärke I als Funktion von s geschrieben werden kann:

$$I(s) = C \sin^2(2\pi s/\lambda)$$

wobei C eine geeignete Konstante ist.

Die nebenstehende Abbildung zeigt ein auf einem Tisch montiertes Interferometer, von oben gesehen.

L ist ein He-Ne-Laser, der einen Lichtstrahl der Wellenlänge $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ in Richtung eines halbdurchlässigen Spiegels T emittiert. Dieser ist von vernachlässigbarer Dicke und in einem Winkel von 45° zum Lichtstrahl platziert. Wenn Strahlung auf einen halbdurchlässigen Spiegel trifft, wird die Hälfte davon reflektiert und die Hälfte durchgelassen. Die beiden von T erzeugten Strahlen erreichen also die beiden Spiegel S_1 und S_2 , werden reflektiert, treffen erneut auf den Spiegel T und kommen wiederum halbiert an den Detektor (rivelatore) R. Die beiden auf den Detektor einfallenden Strahlen können als ebene Wellen (parallele Lichtstrahlen) behandelt werden.

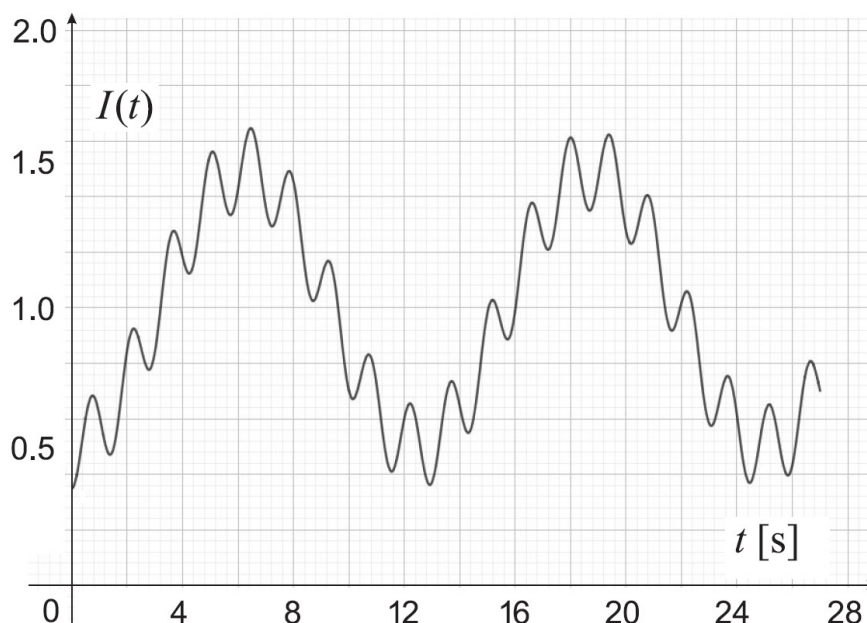


S_1 und S_2 haben zunächst den gleichen Abstand d von T. S_2 lässt sich um einen Abstand s verschieben, so dass der Abstand zu T gleich $d + s$ ist.

2. Zeichne den Graphen der Bestrahlungsstärke I auf dem Detektor R als Funktion der Zeit, während der Spiegel S_2 langsam mit konstanter Geschwindigkeit v so bewegt wird, dass sich s in $8,437 \text{ s}$ von 0 auf 2λ ändert.
3. Mit welchem relativen Fehler müsste man die Frequenz der empfangenen Strahlung messen können, um den Dopplereffekt aufgrund der Tatsache, dass sich der Spiegel S_2 bewegt, nachzuweisen?

Der Laser L wird durch eine Wasserstoffdampflampe ersetzt, die Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen emittiert. Geeignete Filter lassen nur zwei monochromatische Strahlungen durch.

Wie vorher wird der Abstand s ausgehend von 0 langsam erhöht, mit der gleichen Geschwindigkeit wie in Frage 2, so dass auf dem Detektor R die Bestrahlungsstärke mit der Zeit variiert. Die folgende Grafik zeigt die Funktion von $I(t)$ in willkürlichen Einheiten.



4. Führe die erforderlichen Messungen auf dem Diagramm durch und berechne die beiden von der Lampe emittierten gefilterten Wellenlängen.

Man nimmt an, dass die betrachteten Strahlungen durch Elektronenübergänge erzeugt werden: Die erste durch einen Übergang von Elektronen von einem Energieniveau $n_1 > 5$ auf das Niveau $n = 5$ und die zweite von diesem auf ein Niveau $n_2 < 5$.

5. Bestimme die Energieniveaus n_1 und n_2 , wenn Du annimmst, dass die Strahlung sich wie in Frage 4 zusammensetzt.

Tipp: Es kann hilfreich sein, die Tabelle mit den nützlichen mathematischen Formeln zu konsultieren.

_____ ■ _____

Physikalische Konstanten

Naturkonstanten [exakte Werte durch Definition vom 16.11.2018]

Konstante	Symbol	Zahlenwert	Einheit
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2,99792458 \cdot 10^8$	ms^{-1}
Elementarladung	e	$1,602176634 \cdot 10^{-19}$	C
Planck'sches Wirkungsquantum	h	$6,62607015 \cdot 10^{-34}$	Js
Boltzmann-Konstante	k	$1,380649 \cdot 10^{-23}$	JK^{-1}
Loschmidt'sche Zahl	N	$6,02214076 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}

weitere physikalische Konstanten:

Diese gerundeten Werte sind als **exakt** anzusehen!

Elektronenmasse	m_e	$9,1094 \cdot 10^{-31}$ $= 5,1100 \cdot 10^{-27}$	kg $keVc^{-2}$
Protonenmasse	m_p	$1,67262 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3827 \cdot 10^{-27}$	kg $MeVc^{-2}$
Neutronenmasse	m_n	$1,67493 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3955 \cdot 10^{-27}$	kg $MeVc^{-2}$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} = 1,25664 \cdot 10^{-6}$	Hm^{-1}
Elektrische Feldkonstante $1/(\mu_0 c^2)$	ε_0	$8,8542 \cdot 10^{-12}$	Fm^{-1}
Coulomb-Konstante $1/(4\pi\varepsilon_0)$	k_C	$c^2 \cdot 10^{-7} = 8,9876 \cdot 10^9$	mF^{-1}
Universelle Gaskonstante Nk_C	R	8,3145	$Jmol^{-1}K^{-1}$
Faraday-Konstante Ne	F	$9,6485 \cdot 10^4$	$Cmol^{-1}$
Stefan-Boltzmann-Strahlungskonstante	σ	$5,6704 \cdot 10^{-8}$	$Wm^{-2}K^{-4}$
Gravitationskonstante	G	$6,674 \cdot 10^{-11}$	$m^3kg^{-1}s^{-2}$
Normaldruck	p_0	$1,01325 \cdot 10^5$	Pa
Normaltemperatur $0^\circ C$	T_0	273,15	K
Volumen eines idealen Gases von einem Mol bei Normalbedingungen (p_0, T_0)	V_m	$2,2414 \cdot 10^{-2}$	m^3mol^{-1}
Atomare Masseneinheit	u	$1,66054 \cdot 10^{-27}$	kg

Weitere eventuell notwendige Daten

Diese gerundeten Werte sind ebenfalls als **exakt** anzusehen!

Der Einfachheit halber (außer es wird eigens darauf hingewiesen) können die Daten, die mit * gekennzeichnet sind und die sich auf eine bestimmte Temperatur beziehen, auch bei anderen Temperaturen verwendet werden, ohne größere Fehler zu machen.

Mittlere Fallbeschleunigung	g	9,80665	ms^{-2}
Dichte von Wasser (bei $4^\circ C$)*	ρ_W	$1,00000 \cdot 10^3$	kgm^{-3}
Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei $20^\circ C$)*	c_W	$4,182 \cdot 10^3$	$Jkg^{-1}K^{-1}$
Dichte von Eis (bei $0^\circ C$)*	$\rho_{E,0}$	$0,917 \cdot 10^3$	kgm^{-3}
spezifische Schmelzwärme von Wassereis	σ_S	$3,344 \cdot 10^5$	Jkg^{-1}
Wasser: spezifische Verdampfungswärme (bei $100^\circ C$)*	σ_V	$2,257 \cdot 10^6$	Jkg^{-1}
Grundniveau des Wasserstoffatoms (H) bzw. Ionisierungsenergie	E_0	-13,6 $= -2,19 \cdot 10^{-18}$	eV J