Associazione per l'Insegnamento della Fisica

32ª Edizione

Olimpiadi di Fisica 2018

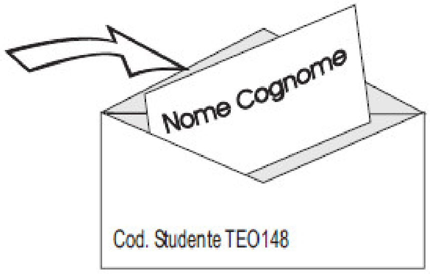
Nationaler Wettbewerb
Theorieteil
Freitag 13. April 2018
Liceo Statale "Medi"
Senigallia (AN)

Bitte noch nicht umblättern!
Warte, bis du grünes Licht bekommst!

Anleitung:

Zeit: 4 Stunden

1. Sobald Du die Erlaubnis hast, die Arbeit zu beginnen, schreibst Du Deinen **NAMEN und FAMILIENNAMEN auf das Kärtchen**, das Du zusammen mit den Blättern und den Umschlägen (groß und klein) erhalten hast. Gib das beschriftete Kärtchen in den kleinen Umschlag und verschließe ihn gut! 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.**

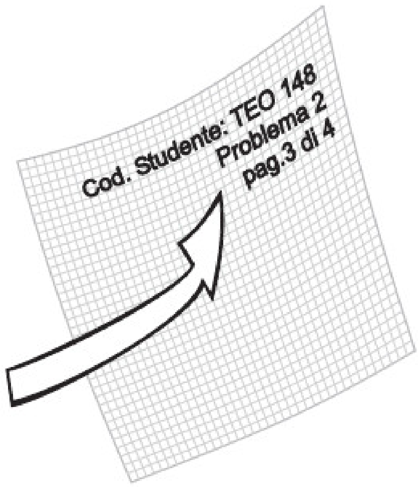


2. Lies den Text der vier Probleme genau durch!

3. Du musst für **jedes Problem ein eigenes Blatt verwenden!**

4. Schreibe auf jeder Seite oben rechts deutlich:
   - Deinen **Schüler-Kenncode**
   - 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 4



Der Nationale Wettbewerb wird unterstützt von

Comune di Senigallia

Ministero dell' Istruzione dell'Università e della Ricerca

Liceo Statale "Medi" Senigallia

Einige physikalische Konstanten:

Diese gerundeten Werte mit einem relativen Fehler kleiner als 10^{-5} sind als **exakt** anzusehen!

Konstante	Symbol	Zahlenwert	Einheit
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	c	$2,9979 \cdot 10^8$	$\mathrm{ms^{-1}}$
Elementarladung	e	$1,60218 \cdot 10^{-19}$	C
Elektronenmasse	m_e	$9,1094 \cdot 10^{-31}$ $= 5,1100 \cdot 10^2$	kg $\mathrm{keVc^{-2}}$
Protonenmasse	m_p	$1,67262 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3827 \cdot 10^2$	kg $\mathrm{MeVc^{-2}}$
Neutronenmasse	m_n	$1,67493 \cdot 10^{-27}$ $= 9,3955 \cdot 10^2$	kg $\mathrm{MeVc^{-2}}$
Elektrische Feldkonstante	ε_0	$8,8542 \cdot 10^{-12}$	$\mathrm{F\ m^{-1}}$
Magnetische Feldkonstante	μ_0	$1,25664 \cdot 10^{-6}$	$\mathrm{H\ m^{-1}}$
Planck'sches Wirkungsquantum	h	$6,6261 \cdot 10^{-34}$	Js
Universelle Gaskonstante	R	$8,3145$	$\mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$
Avogadro-Konstante	N	$6,0221 \cdot 10^{23}$	$\mathrm{mol^{-1}}$
Boltzmann-Konstante	k	$1,38065 \cdot 10^{-23}$	$\mathrm{J\,K^{-1}}$
Faraday-Konstante	F	$9,6485 \cdot 10^4$	$\mathrm{C\,mol^{-1}}$
Stefan-Boltzmann-Strahlungskonstante	σ	$5,6704 \cdot 10^{-8}$	$\mathrm{W\,m^{-2}K^{-4}}$
Gravitationskonstante	G	$6,674 \cdot 10^{-11}$	$\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$
Normaldruck	p_0	$1,01325 \cdot 10^5$	Pa
Normaltemperatur ($0°C$)	T_0	$273,15$	K
Molares Volumen eines Idealen Gases bei Normalbedingungen (p_0, T_0)	V_m	$2,2414 \cdot 10^{-2}$	$\mathrm{m^3mol^{-1}}$
Atomare Masseneinheit	u	$1,66054 \cdot 10^{-27}$	kg

Weitere Daten, die nützlich sein könnten

Diese gerundeten Werte mit einem relativen Fehler kleiner als 10^{-5} sind als **exakt** anzusehen!
Zur Vereinfachung - falls nicht anders angeführt - sind diese Daten bei allen Temperaturen ohne wesentliche Fehler verwendbar, auch wenn sie nur für eine bestimmte Temperatur angegeben sind.

Mittlere Fallbeschleunigung	g	$9,8067$	$m\,s^{-2}$
Dichte von Wasser (bei $4°C$)	ρ_w	$1,00000 \cdot 10^3$	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Dichte von Wasser (bei $0°C$)	$\rho_{w,0}$	$0,99987 \cdot 10^3$	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei $20°C$)	c_w	$4,182 \cdot 10^3$	$\mathrm{J\,kg^{-1}K^{-1}}$
Dichte von Eis (bei $0°C$)	$\rho_{E,0}$	$0,917 \cdot 10^3$	$\mathrm{kg\,m^{-3}}$
Eis: spezifische Schmelzwärme	σ_s	$3,344 \cdot 10^5$	$\mathrm{J\,kg^{-1}}$
Wasser: spezifische Verdampfungswärme (bei $100°C$)	σ_v	$2,257 \cdot 10^6$	$\mathrm{J\,kg^{-1}}$
Atommasse von Neon	m	$20,1797$	u

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 benötigt 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.

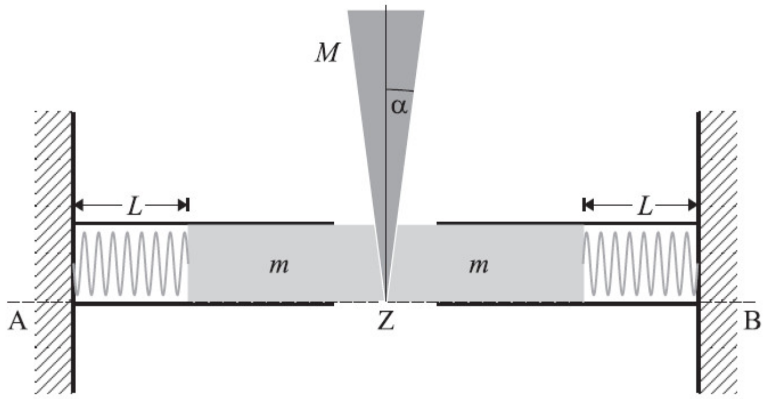
Ausarbeitung:

PROGETTO OLIMPIADI
Segreteria delle Olimpiadi Italiane di Fisica
e-mail: segreteria@olifis.it
WEB: www.olifis.it

Übersetzung: Matthias Ratering und Klaus Überbacher, Realgymnasium Meran

P1 Keil — 100 Punkte

Ein Keil hat die Masse $M = 0,500\,\mathrm{kg}$. Sein Querschnitt ist ein gleichschenkliges Dreieck mit dem halben Öffnungswinkel $\alpha = 7,5°$. Er liegt auf zwei Kolben, von denen jeder eine Masse $m = 0,200\,\mathrm{kg}$ hat. Die Kolben können sich in zwei waagrechten Führungen bewegen. Die Teile der Kolben, die in Kontakt mit dem Keil sind, haben die gleiche Neigung wie die Keilflächen selbst. Jeder der beiden Kolben ist an einer idealen Feder (Federkonstante $k = 800\,\mathrm{Nm}^{-1}$) befestigt. Die Federn sind ihrerseits an senkrechten Wänden fixiert.
Wir vernachlässigen alle möglichen Formen von Reibung. Waagrecht wird die $x-$Achse festgelegt, die $y-$Achse zeigt senkrecht nach unten.
Am Anfang ist die Spitze Z des Keiles auf der Höhe der Linie AB und die Federn nehmen ihre Ruhelänge L ein. Die Kolben sind zunächst noch durch zwei Stopper fixiert (diese sind nicht in der Abbildung eingezeichnet).



1. Berechne in dieser Anfangssituation den Betrag der Kraft, den der Keil auf jeden einzelnen Kolben ausübt!

Nachdem wir die Stopper entfernt haben, lassen wir den Keil sehr langsam absinken, bis das System im Gleichgewicht ist.

2. Um wie viel wird jede Feder zusammengedrückt und um wie viel senkt sich der Keil?

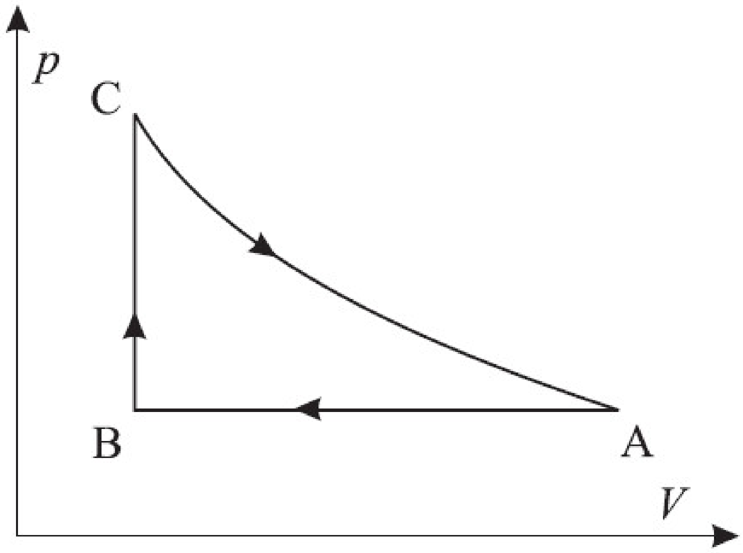
Der Keil wird wieder auf die anfängliche Höhe gebracht und dann fallen gelassen.

3. Berechne den Betrag der Kraft, die der Keil auf jeden einzelnen Kolben gleich nach dem Loslassen ausübt! Berechne die Kräfte, die die Feder und die Führung auf den Kolben ausüben!

4. Wir nehmen an, dass die Höhe des Keiles groß genug ist, damit er eine Schwingung ausführen kann.
   Zeige, dass es sich um eine harmonische Schwingung handelt! Berechne die Amplitude, die Periode und die maximale Geschwindigkeit des Keiles!

P2 Thermodynamische Zustandsänderung 40 Punkte

Ein System besteht aus einem zweiatomigen idealen Gas. Es durchläuft im Uhrzeigersinn einen reversiblen thermodynamischen Kreisprozess (siehe nachfolgende Abbildung),



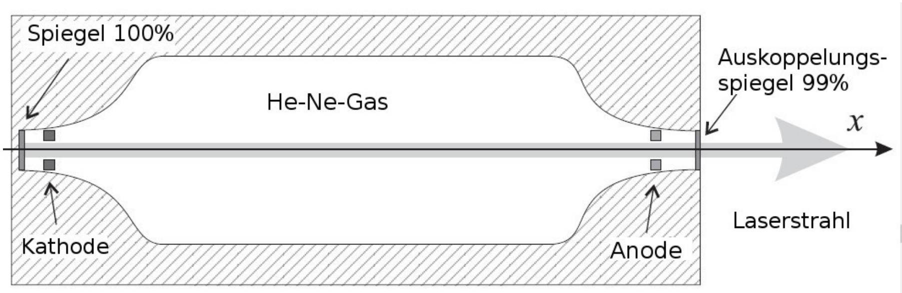
wobei die Zustandsänderung CA adiabatisch ist. p_A und V_A seien bekannt, weiters gilt $V_B = V_A/k$ mit $k > 1$.

1. Berechne p_C in Funktion von p_A und k!
2. Bestimme den Wirkungsgrad η des Kreisprozesses in Funktion von k!
3. Die Funktion $\eta(k)$ ist für $k > 1$ monoton wachsend.
   Bestimme mit einem Fehler kleiner als $0,05$ den Wert von k, für den der Wirkungsgrad η gleich 24% ist.
4. Bestimme, in welchem Zustand oder in welchen Zuständen des Kreisprozesses die Entropie des Systems maximal ist und wo sie minimal ist! Berechne den Wert $S_{max} - S_{min}$ in Funktion von k und der Stoffmenge, ausgedrückt in mol (n)!

P3 Doppler-Verbreiterung 60 Punkte

Laserlicht kann nie monochromatisch sein. Es ist immer auf einen kleinen Wellenlängenbereich verteilt, dessen Breite von vielen Faktoren abhängt. Diese Aufgabe untersucht nur einen dieser Faktoren, den klassischen Dopplereffekt, der durch die thermische Bewegung der Gasatome, die das Licht aussenden, zustande kommt. Andere Effekte werden vernachlässigt. Wir nehmen daher an, dass das ausgesandte Licht für unbewegte Atome monochromatisch sei und zwar mit einer Wellenlänge λ_0.

Die Abbildung zeigt das Schema eines He-Ne-Lasers. Das System soll sich bei einer Temperatur von 300 K im thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Das Licht wird von Neon-Atomen erzeugt, die sich im Inneren der optischen Kavität befinden. Dieser Hohlraum dient zur Verstärkung der Strahlung, die sich in einer einzigen Richtung ausbreitet (nämlich jene, in die der Strahl ausgesandt wird). Aufgrund der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Gasatome wird die von einem Atom emittierte Strahlung von einem außenstehenden Beobachter wegen des Dopplereffektes im Vergleich zu anderen Atomen mit einer leicht unterschiedlichen Wellenlänge gesehen. Dadurch wird die Spektrallinie bei $\lambda_0 = 632,816\,\mathrm{nm}$ verbreitert.
Lege die $x-$Achse wie in der Abbildung dargestellt fest!



1. Aus der kinetischen Gastheorie wissen wir, dass die mittlere quadratische Geschwindigkeit gleich $v_{qm} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{3kT/m}$ ist.
   k ist die Boltzmann-Konstante, m die Masse eines Teilchens, T die absolute Temperatur der Gasatome.
   Berechne den mittleren quadratischen Wert der Komponente v_x der Geschwindigkeit der Neon-Atome. Neon ist einatomig!

Um die Verbreiterung der Spektrallinie zu beurteilen, müssen wir die Verteilung der Komponente v_x der Geschwindigkeit der Neon-Atome kennen. In einem sehr einfachen Modell nehmen wir an, dass die Geschwindigkeit über das ganze Intervall zwischen $-v_0$ und $+v_0$ homogen verteilt sei.
Unter "Geschwindigkeitsverteilung" verstehen wir eine Funktion $h(v)$, sodass $h(v)\mathrm{d}v$ den Anteil an Atomen darstellt, dessen Geschwindigkeit im Intervall v und $v + \mathrm{d}v$ liegt.

2. Im Fall des zuvor beschriebenen, einfachen Modells hat die Verteilungsfunktion $h(v_x)$ einen konstanten Wert im Inneren des Intervalles $[-v_0; +v_0]$ und den Wert 0 außerhalb. Berechne den Ausdruck dieser Konstanten in Abhängigkeit von v_0!

Für eine gegebene Geschwindigkeitsverteilung ist der Mittelwert der Funktion $f(v)$ folgendes Integral:

$$\langle f \rangle = \int f(v)\, h(v) \mathrm{d}v$$

3. Bestimme die Breite des Intervalles der Geschwindigkeitsverteilung der Atome, so dass der quadratische Mittelwert von v_x gleich dem Wert ist, den wir in Punkt 1 ermittelt haben!

4. Berechne mit diesem einfachen Modell die Breite des Intervalls der Wellenlängen, die der Laser emittiert!

In einem etwas genaueren Modell nimmt man an, dass die Komponente v_x der Geschwindigkeit der Atome nach dem Maxwell-Boltzmann-Gesetz verteilt ist:

$$h(v_x) = h_0\, exp\left(-\frac{mv_x^2}{2kT}\right)$$

wobei $exp(x) \equiv e^x$ und h_0 eine geeignete Konstante sind.

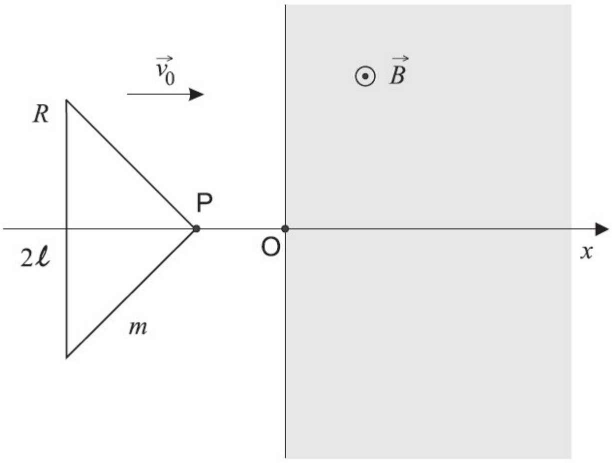
5. Berechne analytisch und zeichne schematisch die Funktion der Verteilung $I(\lambda)$ des vom Laser emittierten Lichtes, wobei $I(\lambda)\mathrm{d}\lambda$ den Anteil der Photonen darstellt, die eine Wellenlänge im Intervall λ und $\lambda + \mathrm{d}\lambda$ haben.

6. Berechne mit Hilfe dieses Modelles die Breite (*) des Intervalls der Wellenlängen, die der Laser emittiert!

   (*) Die Breite ist der Abstand der Wellenlängen, für die die Verteilung den halben Wert des Maximums hat!

P4 Dreieckige Leiterschleife 100 Punkte

Die Leiterschleife hat die Form eines gleichschenkligen Dreiecks (siehe Abbildung). Die größte Seite hat eine Länge von $2l$. Die Masse beträgt m, der elektrische Widerstand ist R. Die Induktivität der Leiterschleife und die mechanische Reibung können vernachlässigt werden.
Im ersten Teil der Aufgabe wird die Leiterschleife in einer waagrechten Ebene mit einer konstanten Geschwindigkeit von $\vec{v_0}$ verschoben. Sie startet von weit außerhalb Richtung einer Halbebene, in der ein vertikales, homogenes Magnetfeld $\vec{B}$ wirkt, das so gerichtet ist, wie es die Abbildung darstellt.



Die Position der Leiterschleife wird durch die Koordinate x des Punktes P bezüglich des Ursprungs O angegeben. Zur Zeit $t = 0$ zieht die Spitze P der Leiterschleife am Ursprung O ($x = 0$) vorbei. Für die Bewegung der Leiterschleife in der Halbebene $x < 0$ sind daher die Zeiten t negativ.

1. Bestimme die in die Leiterschleife induzierte Stromstärke in Abhängigkeit von der Zeit und zeichne den Graphen dieser Funktion!
2. Bestimme in Abhängigkeit der Position x die äußere Kraft, die auf die Leiterschleife wirken muss, damit die Bewegung gleichförmig mit einer Geschwindigkeit v_0 bleibt! Berechne die gesamte Arbeit, die diese Kraft verrichtet!
3. Überprüfe, dass die abgegebene Energie durch Joulesche Wärme mit der Arbeit der äußeren Kraft übereinstimmt!

Im zweiten Teil wird das Experiment wiederholt, aber die Leiterschleife startet aus großer Entfernung mit einer Geschwindigkeit v_0, ohne dass danach eine äußere Kraft wirkt.

4. Erkläre, warum die Geschwindigkeit der Spule nie negativ werden kann!

Wenn die Leiterschleife in die Halbebene $x > 0$ eintritt, also nur teilweise im Magnetfeld ist, dann ist die Geschwindigkeit durch folgende Gleichung gegeben:

$$v = v_0 - \frac{4B^2}{3Rm} x^3$$

5. Überprüfe, dass dieses Gesetz der Geschwindigkeit die Bewegungsgleichung (zweites Gesetz der Dynamik) mit den richtigen Anfangsbedingungen erfüllt.
6. Bestimme, für welche Werte der Geschwindigkeit v_0 die Leiterschleife die Position $x = 2l$ erreicht und berechne die Energie, die in diesem Fall durch Joulesche Wärme abgegeben wird.