

PHYSIKSOLYMPIAD LËTZEBUERG 2023

Halbfinale (DE)

02.02.2023

Anweisungen:

- Schreiben Sie Ihren vollständigen Namen und den Ihrer Schule auf jede Seite.
- Geben Sie deutlich an auf welche Frage Sie antworten.
- Erklären Sie Ihre Vorgehensweise und Zwischenrechnungen.
- Die Seiten sind zu nummerieren.

Formelsammlung

Kinematik (GGBB)

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$$

$$v = at + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

Kräfte

$$F = ma$$

$$F_f \leq \mu N$$

Arbeit, Energie, Leistung

$$W = Fd \cos \theta$$

$$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{pes} = mgh$$

$$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$$

$$P = \frac{W}{t} = Fv$$

Impuls

$$p = mv$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Kalorimetrie

$$Q = mc\Delta\theta$$

$$Q = mL$$

Ideales Gas

$$p = \frac{F}{A}$$

$$pV = nRT = Nk_B T$$

$$E_K = \frac{3}{2}k_B T$$

Schwingungen und Wellen

$$T = \frac{1}{f}$$

$$c = f\lambda$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Elektrizität

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$U = \frac{W}{q}$$

$$E = \frac{F}{q}$$

$$U = RI$$

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

Elektromagnetismus

$$F = qvB \sin \theta$$

$$F = BIL \sin \theta$$

Kreisbewegung

$$v = \omega r$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Gravitation

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$g = \frac{F}{m}$$

Quantenphysik

$$E = hf$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

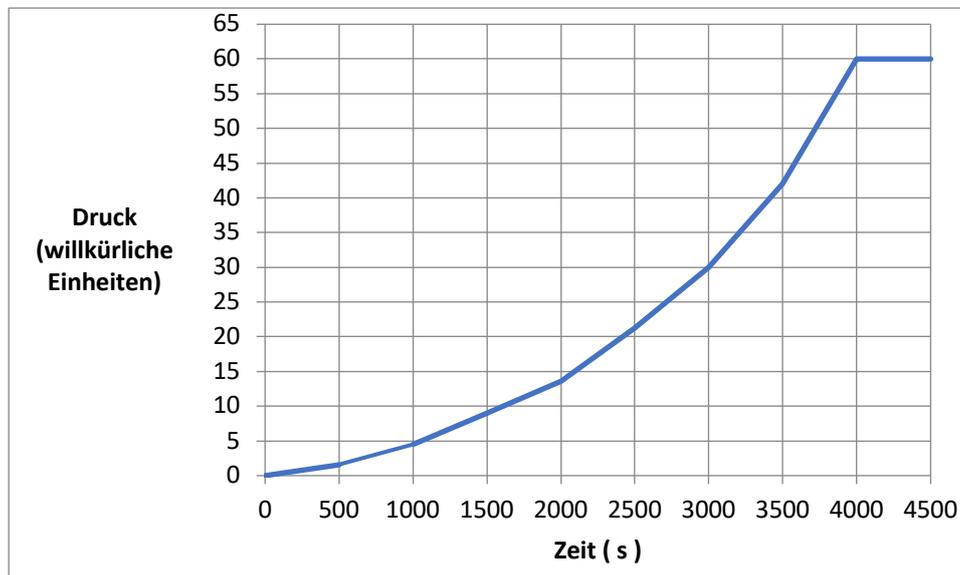
Optik

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

$$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$$

Frage 1: Raumsonde (20 Punkte)

Beim Eintritt in die Atmosphäre eines unbekannten Planeten sinkt eine Sonde geradewegs auf die Oberfläche hinab. Auf dem Weg dorthin hat sie den atmosphärischen Druck als Funktion der Zeit aufgezeichnet, wie im folgenden Diagramm dargestellt:



Leider ist die Kalibrierung des Druckmessers verloren gegangen und die Einheiten der Druckachse sind nicht bekannt. Ihr Auftrag, sollten Sie ihn annehmen, besteht darin, diese fehlende Kalibrierung zu kompensieren.

Die Atmosphäre besteht zum größten Teil aus Kohlendioxid mit einer Molmasse von 44 g/mol. Die von der Sonde gemessene Oberflächentemperatur beträgt $T_s = 400$ K. Das Gravitationsfeld g_s an der Oberfläche beträgt 9,9 N/kg. Der Radius R des Planeten beträgt 5000 km.

- 1) Wenden Sie das zweite Newtonsche Gesetz auf eine kleine Schicht der Atmosphäre mit der vertikalen Dicke Δy an und zeigen Sie, dass die Druckänderung Δp zwischen dem oberen und dem unteren Teil der Schicht wie folgt ist

$$\Delta p = \rho g \Delta y,$$

wobei ρ die Dichte der Atmosphäre und g das lokale Gravitationsfeld ist. (4)

- 2) a) Die obige Formel gibt die Druckänderung in Abhängigkeit der Höhe. Örtlich kann sie als ideales Gas behandelt werden. Wenden Sie das Gesetz für ideale Gase sowie die Steigung des Druck-Zeit Diagramms, um die Geschwindigkeit der Sonde v_s kurz vor dem Auftreffen auf die Oberfläche zu schätzen. (5)

b) Warum werden die Kalibrierungsdaten nicht benötigt? (1)

- 3) Schätzen Sie unter der Annahme, dass die Geschwindigkeit der Sonde während ihrer Reise durch die untere Atmosphäre konstant ist, die Temperatur der Atmosphäre in einer Höhe von 15 km über der Oberfläche. (4)

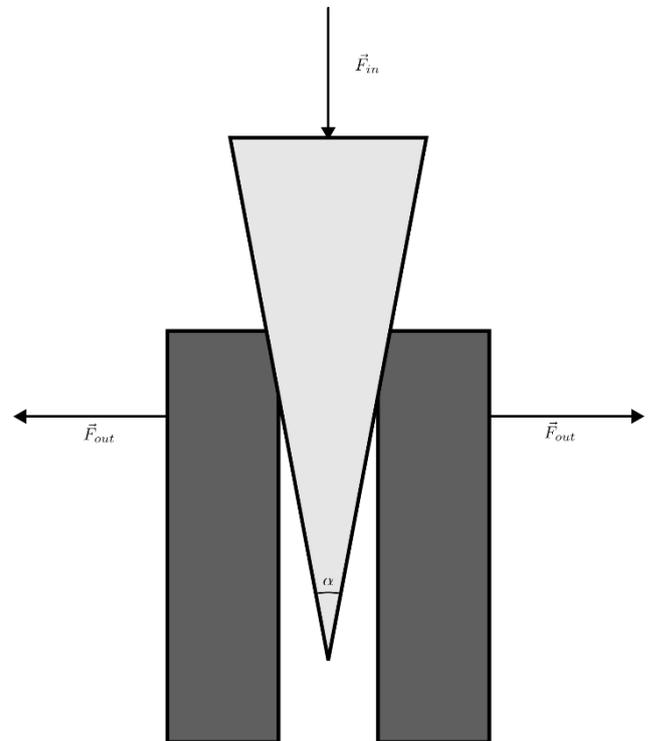
- 4) Es wurde angenommen, dass die Geschwindigkeit auf den letzten 15 km vor dem Auftreffen der Sonde auf die Oberfläche konstant ist. Diskutieren Sie wie sich die Temperatur, die Sie in 3) gerechnet haben, ändert im Falle wo
- a) die Sonde bereits vor dem Erreichen der 15 km Höhe v_s erreicht hat und (3)
 - b) die Sonde noch nicht vor der Höhe von 15 km v_s erreicht hat. (3)

Frage 2: Dynamik und Thermodynamik (20 Punkte)



1 - Spaltung von Steinen

Ein Marmorblock der Größe $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ muss in zwei Stücke gespalten werden. Dazu bohrt man alle 10 cm entlang einer Mittellinie Löcher mit einem Durchmesser von 2 cm und steckt Keile in die Löcher. Die Keile sind symmetrisch und haben einen Innenwinkel von $\alpha = 5^\circ$. Diese Keile werden mit einem Hammer eingeschlagen, bis sich der Marmor entlang der Linie der Löcher spaltet.



Untersuchen wir zunächst die Wirkung eines Keils in einer statischen Situation.

- Wir wenden eine Kraft \vec{F}_{in} auf den Spaltkeil, wie in der Zeichnung dargestellt an. Die Reibung zwischen Keil und Stein wird vernachlässigt. Geben Sie den Betrag der horizontalen Komponente der Kraft F_{out} , die der Keil auf den Marmor ausübt, an. Erläutern Sie Ihre Überlegung mithilfe einer sorgfältigen Zeichnung. (**Tipp:** Vernachlässigt man die Reibung sollte die Kontaktkraft zwischen Stein und Keil normal zur Kontaktfläche sein). (3)

In der Praxis ist die Situation dynamischer. Man schlägt den stationären Kallus der Masse $m_1 = 0,2\text{ kg}$ mit einem Hammer der Masse $m_2 = 2\text{ kg}$. Die Anfangsgeschwindigkeit des Hammers beträgt $v_2 = 10\text{ m/s}$.

- Vernachlässigen Sie die Wechselwirkung mit dem Marmor. Wie hoch sollte die Geschwindigkeit v' des Keiles sein, wenn man annimmt, dass der Hammer am Keil hängen bleibt (vollkommen unelastischer Stoß). (3)
- Der sich bewegende Keil und der Hammer werden dann auf einer Strecke von $d = 1\text{ mm}$ durch den umgebenden Marmor abgebremst. Berechnen Sie die seitliche Kraft, die der Keil dabei auf den Marmor ausübt. (3)

Marmor spaltet sich, wenn er mit einer Kraft von 10 MN pro m^2 Abschnitt/Fläche unter Spannung gesetzt wird.

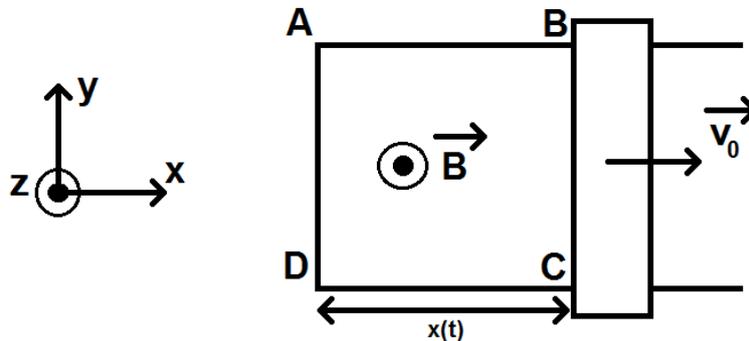
- In der zu ursprünglich beschriebenen Situation stellen man sich vor, dass jeder Keil gleichzeitig mit einem Hammer mit der gleichen Geschwindigkeit geschlagen wird. Schätzen Sie die Geschwindigkeit ein, die nötig ist, um dieses Stück Marmor zu spalten. (5)

Man könnte sich vorstellen, das gleiche Ergebnis zu erzielen, indem man Löcher durch den Block bohrt und Dynamit einfügt, um den Stein zu spalten. Angenommen, man würde die Löcher nach dem Einsetzen des Dynamits dicht verschließen.

- 5) Wie hoch müsste der Druck innerhalb der Löcher sein, um den Stein zu spalten? (3)
- 6) Angenommen, das Dynamit erhöht die Anzahl eingeschlossenen Gasmoleküle um den Faktor 100. Berechnen Sie die Temperatur, auf die das Gasgemisch erhitzt werden muss, um den Stein zu spalten. (3)

Frage 3: Elektromagnetismus (20 Punkte)

Wir betrachten das folgende Schema:

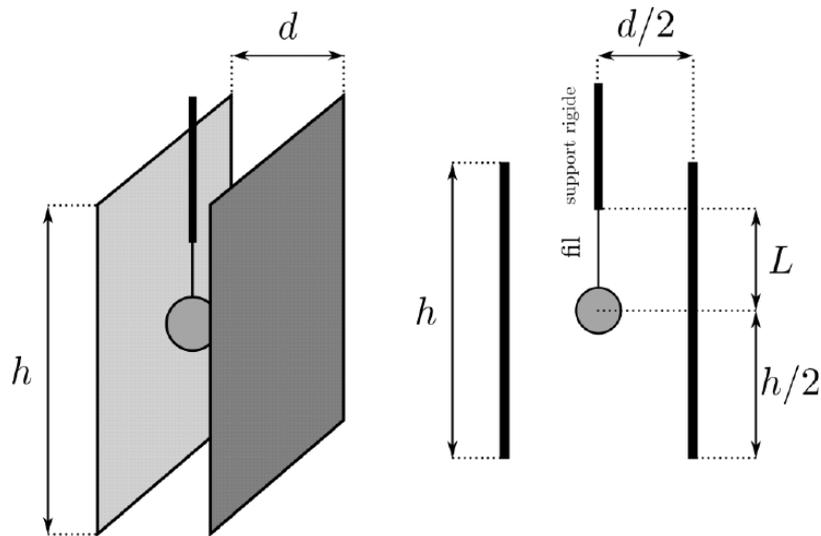


Ein Stromkreis besteht aus einer festen horizontalen Schiene BADC ohne elektrischen Widerstand und einem beweglichen Leiter BC mit der Länge l , der Masse m und dem Widerstand R , der reibungsfrei entlang der x -Achse rollen/gleiten kann. Ein Magnetfeld B , entlang der z -Achse gerichtet, durchsetzt die Fläche ABCD des Stromkreises. Wir geben dem Leiter zum Zeitpunkt $t = 0$ eine Geschwindigkeit v_0 in Richtung der x -Achse. (Abbildung!)

- 1) Zeigen Sie, dass die Geschwindigkeit $v(t)$ des beweglichen Leiters abnimmt. Erläutern Sie Ihre Argumentation. (4)
- 2) Erstellen Sie den Ausdruck für die Beschleunigung des beweglichen Leiters in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Leiters und der Stärke des Magnetfelds B . (6)
- 3) Stellen Sie den ungefähren Verlauf der Änderung von v in Abhängigkeit von t grafisch dar. Begründen Sie diese Darstellung kurz. Wird der Fahrer vollständige Ruhe erreichen? (4)
- 4) In welcher Form wird die anfängliche kinetische Energie im Laufe der Zeit dissipiert? (1)
- 5) Wie steil müsste die Schiene sein, damit die Geschwindigkeit des Fahrers im Laufe der Zeit konstant bleibt? (5)

Frage 4: Elektrisches Pendel (20 Punkte)

Betrachten wir einen ebenen Kondensator, der aus zwei parallelen, vertikalen Platten besteht, die sich nicht bewegen können. Diese Platten sind durch einen Abstand d getrennt. Die Platten haben eine Höhe h und eine Fläche $A \gg d^2$. In diesem Problem wird angenommen, dass der Luftwiderstand vernachlässigt werden kann.



Ansicht des ebenen Kondensators und Ausgangsposition der Metallkugel.

TEIL A: Kondensator (3 Punkte)

- 1) Wie verändert sich die Kapazität C des Kondensators, wenn man den Abstand d zwischen den Platten verdoppelt? (1)
- 2) Wenn die Luft zwischen den Platten einen einheitlichen spezifischen elektrischen Widerstand ρ hat, wie hoch ist dann der Widerstand zwischen den Platten? (1)
- 3) Wie verändert sich die im Kondensator gespeicherte Energie, wenn man die Spannung U die an die Platten angelegt wird verdoppelt? (1)

TEIL B: Konstante Spannung (17 Punkte)

Eine Metallkugel mit Masse M und Ladung q hängt nun an einem Draht, der mit einer starren Halterung verbunden ist. Wenn der Kondensator nicht geladen ist, befindet sich die Kugel in der Mitte des Kondensators (in einer Entfernung von $d/2$ von jeder Platte und in einer Höhe $h/2$ über dem Boden der Platten). Wenn hingegen eine Spannung U zwischen den Platten angelegt wird, wird der Draht einen Winkel θ_0 mit der Vertikalen bilden, wenn sich die Kugel im Gleichgewicht befindet.

- 1) Zeigen Sie, dass der Ausdruck dieses Winkels in Abhängigkeit von den gegebenen Mengen wie folgt geschrieben werden kann. (4)

$$\theta = \arctan\left(\frac{qU_0}{Mgd}\right)$$

Die Metallkugel wird nun leicht angehoben, so dass sie sich in einem Winkel θ mit der Senkrechten befindet, wobei θ kaum größer als θ_0 ist. Dann lässt man die Kugel los.

- 2) Zeigen Sie, dass man die Periode der Schwingungen dieser harmonischen Bewegung in Abhängigkeit von den bekannten Größen und den Grundkonstanten wie unten angegeben ausdrücken kann. (6)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos(\theta_0)}{g}}$$

Hilfe: Wenn das Pendel einem elektrischen Feld \vec{E} ausgesetzt ist, das zusätzlich zum Schwerkraftfeld \vec{g} besteht, kann man davon ausgehen, dass die Schwingung in einem effektiven Feld stattfindet. $g_{new} = \frac{F_T}{M}$, wobei F_T die Spannung im Faden ist. \vec{g}_{new} ist kollinear zu \vec{F}_T .

- 3) Wie ist das Verhältnis zwischen dieser Periode und der Periode, die das Pendel hätte, wenn keine Spannung zwischen den Platten vorhanden ist? (1)

Wenn die Kugel im Gleichgewicht ist, wird der Faden nun abgeschnitten.

- 4) Was ist die Bewegung der Kugel? (1)
- 5) Wie hoch ist der maximale Wert von U_0 so dass die Kugel beim Verlassen des Kondensators keine Platte berührt? Drücken Sie Ihre Antwort in Abhängigkeit von den gegebenen Größen und den Fundamentalkonstanten aus. (4)
- 6) Wie lange würde die Kugel brauchen, um den Kondensator zu verlassen? (1)