

**Kandidatin / Kandidat**

Vorname und Name: .....

- Lösungen
- Beginnen Sie jede Aufgabe (nicht "Teilaufgabe") auf einem neuen Blatt.
  - Der Weg zum Resultat muss nachvollziehbar sein.
  - In allen numerischen Daten und Resultaten sind die korrekten Einheiten mit anzugeben und eine sinnvolle Präzision einzuhalten.
  - Endresultate bitte doppelt unterstreichen.
  - Textantworten und Begründungen müssen physikalisch stichhaltig, widerspruchsfrei und sprachlich korrekt formuliert sein.

- Bewertung
- Bei jeder Teilaufgabe steht die erreichbare Punktzahl in Klammern.
  - Die maximale Punktzahl beträgt 48 Punkte.
  - Die Benotung erfolgt gemäss der Formel:  
 $Note = 1 + \frac{Punktesumme}{(0.9 \cdot 49.5)} \cdot 5$ , wobei auf halbe Noten gerundet und keine Note über 6 gesetzt wird.

- Hilfsmittel
- Taschenrechner TI N'Spire CAS oder einfacheres Modell
  - DPK Formelsammlung

- Allgemeines
- Die Prüfungsdauer beträgt 4 Stunden.

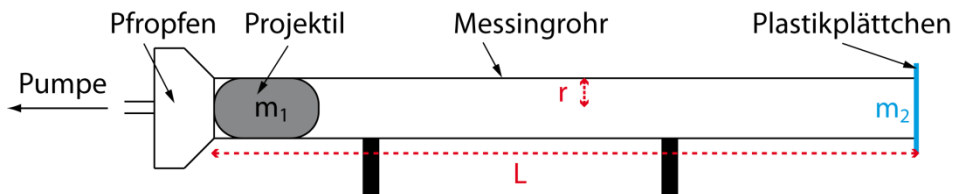
**Aufgaben**

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Total
mögliche Punktzahl	14	11.5	13.5	10.5	49.5
erreichte Punktzahl					

Note. ....

Im Jahr 2013 feierte das Gym Liestal sein 50 jähriges Bestehen. Am Tag der offenen Tür am 19.10.13 führten die Physiker unter dem Motto "Es wird scharf geschossen" eine kleine Show vor.

### 1. Die Vakuumkanone - (14P)



In ein  $L = 2.5$  m langes, horizontal montiertes Messingrohr ( $r = 1.225$  cm) wird auf der linken Seite ein passendes Projektil ( $m_1 = 32$  g) eingeführt, siehe Abbildung oben. Die rechte Seite des Rohrs wird mit einem dünnen Plastikplättchen ( $m_2 = 3.0$  g) verschlossen und anschliessend das Rohr von links mit einer Vakuumpumpe evakuiert. Sobald der Gummipfropfen der Pumpe aus dem Rohr gezogen wird, strömt von links Luft ein und das Projektil wird stark beschleunigt. Es durchschlägt das Plastikplättchen und trifft nach  $s = 7.3$  m auf eine Zielscheibe.

Hinweis: Die Teile 1 und 2 sind weitgehend unabhängig voneinander lösbar. Die Werte wurden tatsächlich so am Gym Liestal mit der jeweils angegebenen Genauigkeit gemessen.

#### Teil 1: Mechanische Aspekte

- Wir betrachten die Flugphase ohne Luftwiderstand. Das Projektil schlägt im Ziel  $\Delta y = 8.0$  cm unter dem Punkt ein, auf den gezielt wurde. Bestimmen Sie daraus die horizontale Geschwindigkeit  $v_1$ . (1.5P)
- Beschleunigungsphase: Wir nehmen an, dass nach dem Ziehen des Gummipfropfens links vom Projektil Luft so schnell nachströmt, dass dort  $p_{\text{links}} = 1.0$  bar herrscht und vernachlässigen die Reibung im Rohr. Rechts vom Geschoss herrscht in guter Näherung  $p_{\text{rechts}} = 0$  bar. Berechnen Sie die Beschleunigung des Projektils und die Geschwindigkeit  $v_2$  am Ende des Rohrs. (2.5P)
- Austrittsphase: Nach der Beschleunigung im Rohr trifft das Projektil auf das Plastikplättchen. Wir nehmen vereinfachend an, dass es sich um einen vollständig unelastischen Stoss handelt. Wie gross ist die Geschwindigkeit  $v_3$  des Projektils nach dem Stoss? (1P) (Ersatzwert  $v_3 = 100$  m/s)
- Flugphase mit Luftwiderstand: Beim Flug wirkt auf das Projektil (gleicher Querschnitt wie das Rohr) der Luftwiderstand ( $c_w = 0.45$ ). Berechnen Sie ausgehend von  $v_3$ 
  - die vereinfachend als konstant angenommene Stärke des horizontal bremsend wirkenden Luftwiderstands,
  - die als konstant angenommene Bremsbeschleunigung während des Fluges, sowie
  - die Endgeschwindigkeit  $v_4$  beim Aufprall und
  - die Durchschnittsgeschwindigkeit  $v_5$  während des Fluges.

Begründen Sie, weshalb  $v_5$  deutlich grösser als  $v_1$  ist. (4P)

**Teil 2: Sonstige Aspekte**

- e. Die Geschwindigkeit kann auch mit einer Radarpistole gemessen werden, die auf dem Dopplereffekt beruht. Wir gehen wieder von  $v_3$  aus und nehmen an, dass die Radarpistole Mikrowellen der Frequenz  $f_1 = 3.0$  GHz aussendet.

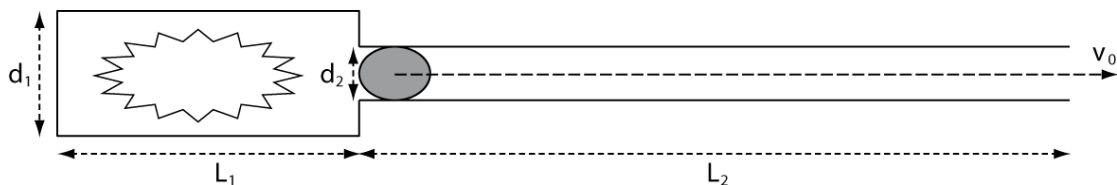
Welche Frequenz  $f_2$  würde ein Beobachter messen, der auf dem Projektil mitfliegt? (1P)

- f. Die Wellen werden vom Projektil ("bewegte Quelle") reflektiert und von der Pistole gemessen. Welche Frequenz  $f_3$  misst die Pistole und wie gross ist die (relativ kleine) Frequenzverschiebung  $\Delta f = f_3 - f_1$ ? (2P)

- g. Jetzt wenden wir zum Spass die Heisenbergsche Unschärferelation auf den Schuss an. Die Ortsunschärfe beim Verlassen des Rohres beträgt  $\Delta y_1 = 1.0$  mm, da das Projektil etwas Spiel im Rohr hat. Wie gross ist die Impulsunschärfe  $\Delta p_y$ . Um welche Strecke  $\Delta y_2$  streuen also die Treffer auf der Zielscheibe um den Mittelpunkt mindestens? (2P)

**2. Die Kartoffelkanone - (11.5P)**

Allseits beliebt am Gym ist die Kartoffelkanone (nach einer von R. Ugolini importierten Idee aus den USA), die wir hier ohne Berücksichtigung des Luftwiderstands betrachten wollen.



Hinweis: Die Teile 1 bis 3 sind unabhängig voneinander lösbar.

**Teil 1: Kinematik**

- a. Schiesst man senkrecht nach oben, so bleibt die Kartoffel (graues Oval) 6.0 s in der Luft. Berechnen Sie daraus die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$ . (1P) (Ersatzlösung 30 m/s)
- b. Der Abschussort auf dem Balkon über der Mensa befindet sich 11.5 m über dem Niveau des Fussballplatzes. Welche (horizontale) Schussweite erwartet man bei einem Abschusswinkel von  $35^\circ$  gegen die Horizontale nach oben? (2P)

**Teil 2: Die Explosion**

Nach dem Zünden verbrennt Methanol explosionsartig. Im Folgenden wollen wir herausfinden, welcher Druck dabei entsteht. Die Hauptursache für den Druckanstieg ist ein Temperaturanstieg.

- c. Vorüberlegung 1: Wie viele Mol Luft (ideales Gas unter Normalbedingungen) befinden sich im Rohr hinter der Kartoffel ( $d_1 = 6.0 \text{ cm}$ ,  $L_1 = 40 \text{ cm}$ ) (1P)?
- d. Vorüberlegung 2: Wie gross ist die molare Wärmekapazität  $C_V$  von Luft bei konstantem Volumen? (Ersatzwert  $C_V = 30 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ) (1P)
- e. Wie gross ist die Wärmekapazität der Luftmenge aus Teil c? (0.5P)
- f. In der Formelsammlung finden Sie den Heizwert von Methanol. Wie viel Energie wird bei der Verbrennung von 20 mg Methanol freigesetzt? Mit dieser Energie wird im Wesentlichen die Luft aus Teil c erwärmt. Um wie viel  $^\circ\text{C}$  erwärmt sich diese Luft? (1.5P)
- g. Dies geschieht sehr schnell, also adiabatisch. Auf welchen enormen Wert  $p_2$  (in bar) erhöht sich der Druck, wenn wir von  $p_1 = 1.0 \text{ bar}$  und  $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$  ausgehen? (1P) (Ersatzlösung 20 bar)
- h. Durch diesen Druck wird die Kartoffel beschleunigt. Sie schiebt sich dabei um die Strecke  $L_2 = 70 \text{ cm}$  bei einem Durchmesser von  $d_2 = 3.0 \text{ cm}$  vor. Auf welchen Wert  $p_3$  sinkt dadurch der Druck adiabatisch, bevor die Kartoffel das Rohr verlässt? (1.5P)

**Teil 3: Die Zündung**

Das Zünden der Kartoffelkanone geschieht elektrisch durch einen Zündfunken, der mit einem Piezoelement erzeugt wird.

- i. Um einen Schuss abzufeuern, drückt man den Piezo mit einer mittleren Kraft von  $F = 80 \text{ N}$  eine Strecke von  $s = 0.10 \text{ mm}$ . Welche Arbeit wird dabei verrichtet und steht somit zur Erzeugung eines Funkens zur Verfügung? (1P)
- j. Wir nehmen an, dass dabei eine Spannung von 20 kV entsteht. Wie gross ist die getrennte Ladungsmenge  $Q$ ? Drücken Sie diese auch in Anzahl Elektronen aus. (1P)

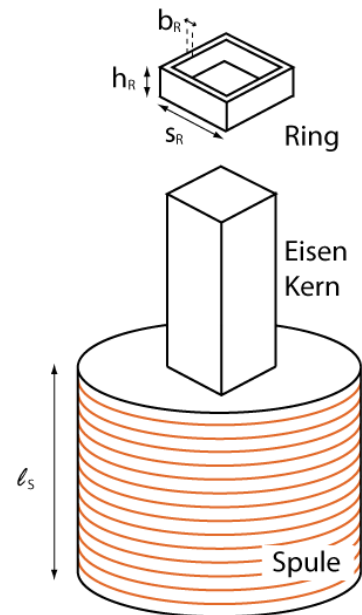
### 3. Thomsonring - (13.5P)

Auf dem Eisenkern ( $\mu_r = 200$ ) einer Spule wird ein quadratischer Aluminiumring platziert. Beim Einschalten des Stromes fliegt der Ring nach oben in die Luft.

Die verwendete Spule hat den Radius  $r_s = 4.00$  cm und die Länge  $l_s = 6.00$  cm. Der Draht der Spule hat eine Querschnittsfläche von  $A_D = 5.00 \cdot 10^{-2}$  mm<sup>2</sup> und den spezifischen Widerstand  $1.69 \cdot 10^{-8}$   $\Omega$ m.

Beim Aluminiumring messen Sie die Seitenlänge  $s_R = 2.50$  cm, die Höhe  $h_R = 4.00$  mm und die Dicke  $b_R = 1.50$  mm.

Leider ist die Beschriftung auf der Spule unleserlich und Sie wissen nicht wie viele Windungen die Spule hat. Um dies herauszufinden messen Sie deshalb bei einer Gleichspannung  $U = 20.0$  V den Strom  $I = 392$  mA.



- Bestimmen Sie den Ohm'schen Widerstand der Spule. (1P)
- Welche Länge hat der verwendete Draht und wie viele Windungen hat die Spule? (1.5P)
- Bestimmen Sie die Induktivität der Spule. (1P) (Ersatzlösung:  $L = 8.00$  H)

Um das eigentliche Schuss-Experiment durchzuführen legen Sie eine Wechselspannung von  $U_{\text{eff}} = 230$  V und  $f = 50.0$  Hz an. Der Aluminiumring springt nach oben.

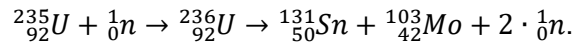
- Wie gross ist der Wechselstromwiderstand dieser realen Spule? Welcher Strom  $I_{\text{eff}}$  fliesst in der Spule? Wie gross ist das Magnetfeld im Inneren der (langen, dünnen) Spule? (2.5P)

Sie möchten verstehen, was energetisch beim Thomsonring passiert. Gehen Sie als Vereinfachung davon aus, dass das Magnetfeld (siehe Teil d) innerhalb von  $\Delta t = 2.50$  ms gleichmässig auf 0 T abnimmt.

- Wie gross ist die im Aluminiumring induzierte Spannung  $U_{\text{ind}}$ ? (1P) (Ersatzlösung 58.0 mV)
- Welcher Strom fliesst dann im Ring? Der spezifische Widerstand von Aluminium beträgt  $2.82 \cdot 10^{-8}$   $\Omega$ m. (2P)
- Wie gross ist die elektrische Leistung im Ring? Welche Energie erhält der Ring während der genannten Zeit  $\Delta t$ ? (1.5P)
- Welcher Teil der elektrischen Energie wird in Wärme, welcher (über den Umweg von magnetischer Energie) in potentielle Energie umgewandelt, wenn die Flughöhe 85.0 cm beträgt? (2P)
- Überlegen Sie sich, in welche Richtung die Lorentzkraft auf die Elektronen im Ring wirkt. Wie muss also das Magnetfeld verlaufen, damit der Ring überhaupt in die Höhe springen kann? (1P)

4. "Nuklearkanone" - (10.5P)

Die Physiker Huber und Dammer haben die verrückte Idee eine „Nuklearkanone“ zu konstruieren. Dabei soll die Energie einer Kernspaltung nutzbar gemacht werden, um ein Geschoss abzufeuern. Als Ausgangsmaterial der Kernspaltung soll Uran 235 verwendet werden. Eine mögliche Reaktionsgleichung ist



Durch die Kernspaltung entstehen die Isotope Zinn 131 ( $m_{\text{Sn}} = 130.916919 \text{ u}$ ) und Molybdän 103 ( $m_{\text{Mo}} = 102.913205 \text{ u}$ ).

Das Geschoss mit der Masse 2.00 kg soll mit einer Geschwindigkeit von 900 m/s abgeschossen werden.

- Welche Energie wird benötigt, um das Geschoss abzuschliessen? (1P)
- Welche Masse an Uran 235 wird benötigt, um diese Energie zu erhalten? (3P)

Zinn 131 zerfällt über drei  $\beta^-$  Zerfälle in das für den Menschen schädliche Jod 131.

- Formulieren Sie die entsprechende Zerfallsreihe. (1P)

Nach vielfältigen Schussversuchen sind 50.0 mg radioaktives Jod 131 entstanden, welches durch die beiden Physiker sicher in einem Bleibehältnis verstaut worden ist. Während der Ferien werden keine weiteren Schussversuche durchgeführt.

- Wie viel Jod 131 ist nach 2 Wochen noch vorhanden? (1P)
- Nach welcher Zeit sind 90 % der Ausgangsmenge zerfallen? (1P)

Richtig dosiert kann Jod 131 zur Radiotherapie der Schilddrüse verwendet werden. Der besondere Vorteil der Radiojodtherapie liegt darin, dass nur Schilddrüsenzellen Jod aufnehmen. Dazu wird eine bestimmte Menge Jod 131 in Kapselform verabreicht. Für einen Patienten, dessen Schilddrüsenmasse zu 30.0 g bestimmt wurde, werden Kapseln mit 0.800 ng radioaktivem Jod hergestellt.

- Wie gross ist die Anfangsaktivität einer dieser Kapseln? (1.5P)
- Welche Äquivalentdosis akkumuliert die Schilddrüse in den ersten 12 Stunden nach der Einnahme? (2P)

Viel Erfolg wünschen Ihnen U. Dammer und R. Huber