

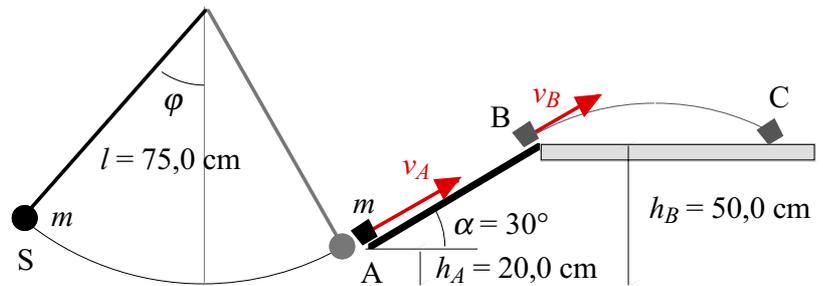
Bemerkungen: - Die Prüfung dauert 4 Stunden  
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.  
- Daten, Formeln und formale Lösungen müssen auf dem Lösungsblatt stehen.  
- Die Lösungswege mit dem CAS-Taschenrechner müssen dokumentiert werden.  
- Die Darstellung der Lösungen wird bewertet.

Hilfsmittel: - Formelsammlung und Grafikrechner mit Anleitungsbuch.

Bewertung: - Bei jeder Aufgabe sind 10 Punkte möglich, Note 6 für 50 Punkte.

### 1. Aufgabe: Kugelspiel

Ein Würfel mit der Masse  $m$  wird bei A ( $h_A = 20,0$  cm) mit der Geschwindigkeit  $v_A$  gestartet und gleitet auf der schiefen Bahn hinauf zu B ( $h_B = 50,0$  cm). Von B fliegt der Würfel mit der Geschwindigkeit  $v_B$  schief nach oben. Nach dem schiefen Wurf landet der Würfel bei C ( $h_C = h_B$ ) in einem Sandbecken.



Gestartet wird der Würfel durch ein Pendel mit der gleichen Masse  $m$  und der Länge  $l = 75,0$  cm. Dieses wird um den Winkel  $\varphi$  ausgelenkt und stösst vollkommen elastisch auf den Würfel.

(Die Reibung des Würfels kann vernachlässigt werden. Bei A wird er durch eine kleine Schwelle festgehalten; diese spielt für den Versuchsablauf keine Rolle. Die Skizze ist nicht massstäblich.)

- Wie weit (Starthöhe  $h_S$  und Startwinkel  $\varphi_S$ ) muss das Pendel ausgelenkt werden, damit der Würfel den Punkt B gerade erreicht? Beschreiben Sie das Verhalten des Pendels nach dem Stoss.
- Wie gross ist die Geschwindigkeit  $v_B$ , wenn das Pendel maximal ( $\varphi_S^* = 90^\circ$ ) ausgelenkt wird? Wie gross ist dann die Wurfweite  $x_W$  (horizontale Distanz zwischen B und C)?
- Formulieren Sie die Gleichungen für  $v_A$ ,  $h_S$ ,  $\varphi_S$  und  $x_W$  sowie für die Gleitzeit  $t_{AB}$  und für die Wurfdauer  $t_{BC}$  in Abhängigkeit von  $v_B$  sowie von  $h_B$ ,  $h_A$ ,  $\alpha$  und  $l$ .
- Wie verhalten sich die Gleitzeit  $t_{AB}$  von A bis B und die Wurfdauer  $t_{BC}$  von B bis C bei zunehmender Geschwindigkeit  $v_B$ ? (Antwort in deutschen Sätzen.)
- Bei welcher Geschwindigkeit  $v_B$  ist die Gesamtzeit  $t = t_{AB} + t_{BC}$  minimal? Wie gross sind dann die Wurfweite und der Auslenkwinkel beim Start?

### 2. Aufgabe: Wetterballon

Moderne Wetterballons steigen bis in 25 km Höhe. Sie bestehen aus einem stark dehnbaren und sehr leichtem Latexgewebe. Häufig lässt man solche Ballons kurz vor Sonnenaufgang aufsteigen.

Beim Start bei 976 mbar Luftdruck habe ein mit Helium gefüllter Ballon einen Radius von 2,50 m. Seine totale Masse (mit Helium und Instrumente) ist 45,9 kg, die Masse der Messinstrumente ist 34,1 kg. Die Lufttemperatur sei konstant  $0^\circ\text{C}$ ; für den Luftdruck gilt:  $p = p_1 \cdot e^{-h/H}$  ( $p_1 = 976$  mbar,  $H = 7800$  m).

- Welche Masse hat der leere Ballon ohne Messinstrumente?
- Mit welcher Kraft muss man den Ballon beim Start festhalten? Wie könnten Sie das tun?
- Sobald der Ballon losgelassen wird, wirkt der Luftwiderstand. Mit welcher maximalen Geschwindigkeit beginnt der Ballon zu steigen? Der Ballon darf als Kugel betrachtet werden.
- Der Ballon dehnt sich bis sein Radius 4,00 m beträgt. Von dieser Höhe an bleibt sein Volumen konstant und der Innendruck wird grösser als der Luftdruck. Ab welcher Höhe geschieht dies?
- Stellen die Auftriebskraft und die totale Gewichtskraft in Funktion der Höhe grafisch dar.
- Wie hoch kann der Ballon insgesamt steigen?
- Weshalb lässt man den Ballon kurz vor Sonnenaufgang steigen?

### 3. Aufgabe: Kreisprozess

In einem Zylinder mit beweglichem Kolben befindet sich ein unbekanntes Gas. Es wird ein Kreisprozess durchgeführt. Dabei wird bei verschiedenen Lagen des Kolbens der Druck und im Anfangszustand die Temperatur gemessen (Tabelle).

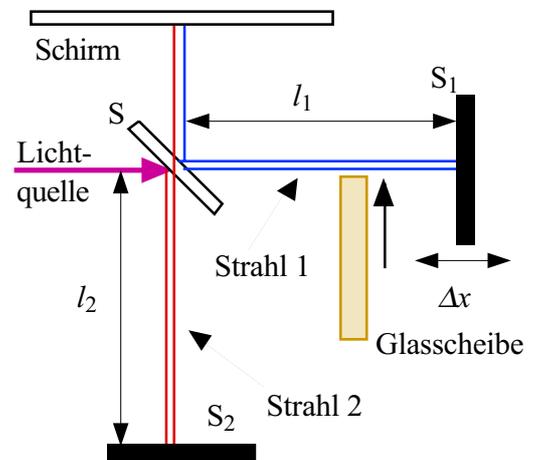
|    | $V$<br>dm <sup>3</sup> | $p$<br>bar | $T$<br>K |
|----|------------------------|------------|----------|
| 1  | 8,0                    | 1,0        | 300      |
| 1b | 4,0                    | 2,0        |          |
| 2  | 2,0                    | 4,0        |          |
| 3  | 2,0                    | 5,0        |          |
| 4  | 3,0                    | 5,0        |          |
| 4b | 4,0                    | 3,0        |          |

- Wie gross sind die Stoffmenge und die Anzahl Teilchen des eingeschlossenen Gases? Ergänzen Sie die Tabelle.
- Zeichnen Sie das  $p(V)$ -Diagramm für den Kreisprozess. Verbinden Sie (wie ein Anfänger) die Messpunkte geradlinig und bestimmen Sie mit diesem Diagramm die Nutzarbeit des Kreisprozesses.
- Der Kreisprozess von Position 1 bis 2, 2 bis 3, 3 bis 4 und 4 bis 1 kann durch vier spezielle Teilprozesse angenähert werden. Beschreiben Sie diese 4 Teilprozesse in Worten.
- Bestimmen Sie für die Teilprozesse von 1 bis 2 und von 4 bis 1 die günstigste Näherung für den Druck in Abhängigkeit vom Volumen. Verwenden Sie dazu Ihren Taschenrechner (PowerReg). Begründen Sie mit der erhaltenen Regressionsgleichung, dass Ihre obigen Vermutungen stimmen. Berechnen Sie den Druck bei 4b genauer.
- Welches Gas befindet sich vermutlich im Zylinder? Wie gross ist seine Masse?
- Bestimmen Sie die Nutzarbeit des modifizierten Kreisprozesses und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aus Aufgabe b.
- Bestimmen Sie den Wirkungsgrad des modifizierten Kreisprozesses und vergleichen Sie diesen mit dem theoretischen Wirkungsgrad einer Stirlingmaschine.

### 4. Aufgabe: Interferometer

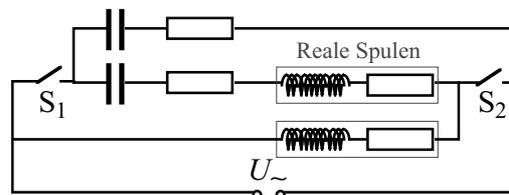
Das Licht einer weiss leuchtenden Gasentladungsröhre kann mit einem Prisma oder mit einem Gitter in rotes, grünes und violettes Licht zerlegt werden.

- Wie unterscheidet sich das Spektrum mit dem Prisma von demjenigen mit dem Gitter grundsätzlich? Vergleichen Sie die beiden Spektren in Worten.
- Das rote Licht ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ ) wird an einem Gitter mit 800 Linien pro cm gebeugt. Wie weit ist auf einer Wand mit dem Abstand 2,50 m vom Gitter das erste Nebenmaximum vom Hauptmaximum entfernt?
- Erläutern Sie das dargestellte Interferometer in Worten.
- Mit dem Interferometer soll die Wellenlänge des roten Lichtes überprüft werden. Dazu wird das grüne und das violette Licht mit einem Filter ausgeblendet. Dann wird Spiegel  $S_1$  verschoben, bis auf dem Schirm die rote Linie deutlich zu sehen ist. Wie weit muss Spiegel  $S_1$  weiter verschoben werden, bis die rote Linie erst mals wieder deutlich zu sehen ist?
- Die Entladungsröhre wird ohne Filter verwendet und Spiegel  $S_1$  verschoben, bis auf dem Schirm eine weisse Linie zu sehen ist. Wird der Spiegel weiter verschoben, ändert sich die Linienfarbe auf dem Schirm. Bei einer Verschiebung um 945 nm wird die Linie auf dem Schirm rot. Welche Wellenlängen haben das grüne und das violette Licht der Spektralröhre? Wie weit muss Spiegel  $S_1$  verschoben werden, bis die Linie erst mals wieder weiss wird?
- Eine Glasscheibe ( $d = 1,435 \text{ mm}$ ,  $n = 1,494$ ) wird in den Strahlengang geschoben (siehe Bild). Wird dadurch das rote Licht ausgelöscht, oder ist es voll sichtbar? (Antwort mit Begründung.)



### 5. Aufgabe: Wechselstromschaltung

Eine Wechselstromschaltung besteht aus zwei gleichen Kondensatoren, zwei gleichen realen Spulen und zwei gleichen Widerständen. Die realen Spulen sind als ideale Spulen in Serie mit einem Ohm'schen Widerstand dargestellt ( $\text{---} \text{---} \text{---}$ ). Der Ohm'sche Widerstand der Spulen ist gleich gross wie die zwei übrigen Widerstände.



- Skizzieren Sie die Ersatzschaltungen für die vier Fälle, wenn 1) kein Schalter, wenn 2) nur Schalter  $S_1$ , wenn 3) nur Schalter  $S_2$  oder wenn 4) beide Schalter geschlossen sind.
- Wie wird der Gesamtwiderstand, die Gesamtinduktivität oder die Gesamtkapazität berechnet, wenn zwei gleiche Widerstände, zwei gleiche ideale Spulen oder zwei gleiche Kondensatoren in Serie geschaltet werden?
- Wird die Wechselspannung  $U_{\text{eff}} = 12,6 \text{ V}$  /  $f = 113 \text{ Hz}$  an die Schaltung gelegt und ist kein Schalter geschlossen, beträgt die Stromstärke  $I_{\text{eff}} = 30,0 \text{ mA}$ . Ist nur einer der beiden Schalter geschlossen (gleichgültig welcher), wird die Stromstärke doppelt so gross. Was ergibt sich daraus für die gegebene Frequenz sowie für den induktiven und den kapazitiven Widerstand?
- Berechnen Sie den Ohm'schen Widerstand  $R$  sowie den induktiven Widerstand  $R_L$  und den kapazitiven Widerstand  $R_C$  in Abhängigkeit vom Ohm'schen Widerstand  $R$ .
- Berechnen Sie die Kapazität  $C$  und die Induktivität  $L$  der einzelnen Bauteile sowie die Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung für die drei Schaltungen, bei welchen kein Schalter oder nur ein Schalter geschlossen ist.
- Berechnen Sie für die vierte Schaltung (beide Schalter geschlossen) den Gesamtwiderstand und die Phasenverschiebung. (Tipp: Verwenden Sie die Ergebnisse von Teilaufgabe d.)

### 6. Aufgabe: Natürliche Kernreaktoren in Oklo

Das Erz aus dem Abbauggebiet von Oklo (Gabun) ist "abgereichert":

Das Uran dieses Erzes hat nur einen Anteil von 0,717 % von  $^{235}\text{U}$  statt wie sonst heute üblich 0,720 %. (Der Rest sei  $^{238}\text{U}$ . Der Anteil von Uran  $^{234}\text{U}$  kann bei dieser Abschätzung vernachlässigt werden.)

Die näheren Untersuchungen - zum Beispiel von im Erz eingeschlossenem Xenon - haben ergeben, dass vor rund 1,8 Milliarden Jahren während einer Zeit von über 100'000 Jahren in "natürlichen Kernreaktoren" Uran  $^{235}\text{U}$  gespalten worden ist. Diese "Kernreaktoren" arbeiteten zyklisch: Die "Betriebsdauer" war jeweils nur rund eine halbe Stunde, dann wurden die Spaltungen für einige Stunden unterbrochen. Dabei spielte das Grundwasser eine wichtige Rolle.

- Das (stabile) Xenon  $^{136}\text{Xe}$  ist nicht direkt bei der Spaltung von Uran  $^{235}\text{U}$  entstanden. Weshalb sind die (direkten) Spaltprodukte einer Kernspaltung keine stabilen Kerne? Aus welchem Element kann Xenon  $^{136}\text{Xe}$  entstanden sein? Formulieren Sie eine mögliche Reaktionsgleichung für die Spaltung von  $^{235}\text{U}$ , bei der letztlich Xenon  $^{136}\text{Xe}$  entstehen kann.
- Heute "fehlen" im Abbauggebiet von Oklo rund 200 kg Uran  $^{235}\text{U}$ . Wie viel Kilogramm  $^{235}\text{U}$  sind vor rund 1,8 Milliarden Jahren in Oklo gespalten worden?
- Bei der Spaltung von Uran  $^{235}\text{U}$  wird rund 200 MeV Energie pro Nukleon freigesetzt. Schätzen Sie die in Oklo insgesamt "produzierte" Energie sowie die mittlere Leistung dieser natürlichen Kernreaktoren. Vergleichen Sie diese Leistung mit Leistungen in unserem Alltag.
- Im "normalen" Uran beträgt die Anreicherung von  $^{235}\text{U}$  heute 0,720 %. Wie gross war diese Anreicherung vor 1,8 Milliarden Jahren? Deuten Sie das Ergebnis. (Tip: Berechnen Sie die Anzahl  $^{235}\text{U}$ - und  $^{238}\text{U}$ -Atome in 1 kg Uran heute und damals.)
- Welche Rolle spielte das eindringende Grundwasser? Wie kam es zum "zyklischen Betrieb"?