

物 理

医学部・工学部・応用生物科学部

問 題 冊 子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 問題冊子は、7 ページからなる。乱丁、落丁、印刷不鮮明などの箇所があった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は、6 枚の解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに記入すること。
4. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は、大問で 4 題ある。工学部・応用生物科学部の受験生は 4 題全てに解答すること。医学部の受験生は、問題

1

3

4

 に解答すること。解答しない

2

 の解答用紙には、全紙にわたり大きく×印を 1 つ記すこと。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子は持ち帰ること。
8. 大問ごとに、満点に対する配点の比率を表示してある。

1 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

図のように、床にばね定数 k [N/m] のばねが一端を固定されて置かれており、他端には質量 m [kg] の小球が固定されず接して置かれている。ばねが自然長のときの小球の位置を点 O とする。点 O から距離 d [m] 離れた点に半径 r [m] の円弧状斜面 PQ を持つ台が水平な床の上に固定されており、円弧状斜面は点 P で床となめらかにつながっている。円弧の中心角は ϕ ($\phi < \frac{\pi}{2}$) である。ばねの質量は無視できるほど小さく、小球の直径も十分小さく回転を考慮しなくてよいとする。また OP 間の床と小球の間には摩擦力が働くが、それ以外の床、円弧状斜面と小球の間には摩擦力は働かないとする。重力加速度の大きさを g [m/s²] とし以下の問いに答えよ。

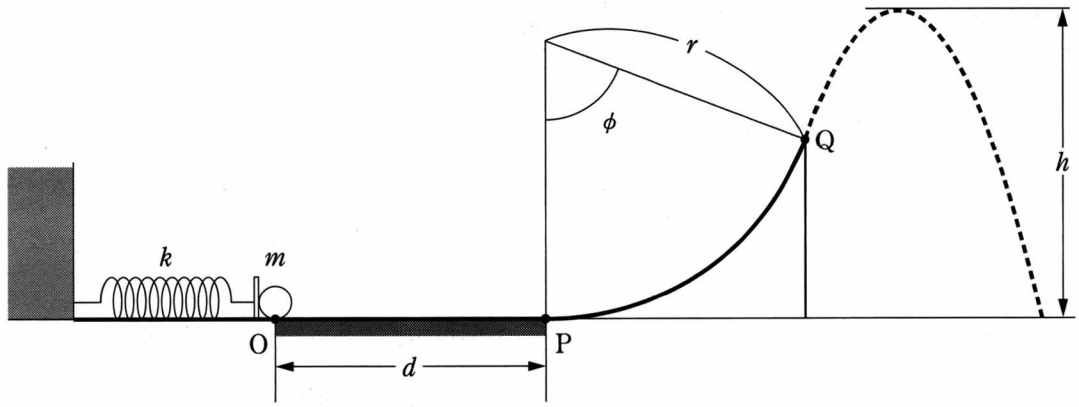
問 1 小球を押して、ばねを自然長から x_0 [m] だけ縮ませた後、静かに小球を放すと、ばねが自然長になった点 O で小球がばねから離れた。小球がばねから離れた直後の速さ v_0 [m/s] を求めよ。

問 2 小球が点 P を通過するためには x_0 にはどのような条件が必要か。また点 P を通過する時の速さ v_1 [m/s] を、 x_0 を用いて表せ。ただし小球と床との動摩擦係数を μ' とせよ。

問 3 小球が点 Q を通過するためには v_1 にはどのような条件が必要か。また点 Q を通過する時の速さ v_2 [m/s] を、 v_1 を用いて表せ。

問 4 小球が点 Q において円弧状斜面から受ける垂直抗力の大きさ N [N] を、 v_2 を用いて表せ。

問 5 小球が点 Q を通過した直後に斜面から離れ、空中に飛び出した。この後小球が到達する最高点の高さ h [m] は床から測ってどれだけか、 v_2 を用いて表せ。



☒

2 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 工・応生： $\frac{1}{4}$)

加速度計は、加速度運動をしている乗り物などの内部でその加速度を測定する装置であり、自動車のナビゲーションやエアバッグのための加速度検出に使われるほか、一部のゲーム機のコントローラにも内蔵されている。ここで、純粋に電氣的な方法で加速度計ができるかどうかを考えてみよう。

図1のように、長さ L [m] の導体棒が前後方向に平行に固定された宇宙船を考える。導体棒は帯電していない。宇宙船内には外部からの電氣的・磁氣的な力や重力の影響はないものとする。この宇宙船が前方に向かって正の加速度 a [m/s²] で等加速度運動を始めた。このとき宇宙船に固定された観測者からみると、すべての物体に慣性力と呼ばれる見かけの力が作用する。電子の質量を m [kg]、電気素量を e [C] とすると、導体棒に含まれるどの自由電子にも大きさ ① [N] の慣性力が作用する。この作用によって導体棒の自由電子が移動し、その結果、図1に示す導体棒の先端部 A の表面は ア の電荷を帯び、後端部 B の表面は先端部とは異符号の電荷を帯びるだろう。

導体棒の両端部分に現れた電荷は電場をつくり、自由電子はこの電場からの力と慣性力とを受ける。力を受けた自由電子が移動して電荷分布が変化すれば電場も変化する。自由電子がそれ以上移動しないようなつりあいの状態が実現したとき、導体棒内部の電場の大きさを E [N/C] と書けば、自由電子が電場から受ける力の大きさ ② は ① と等しくなる。このように自由電子が移動して導体表面の電荷にかたよりが生じるしくみは、静電場の中に置かれた導体に見られる イ の現象と似ている。ただし、 イ の現象では、慣性力ではなくて外部からの静電気力が自由電子の移動を引き起こす。

つりあいの状態が実現したときの電場の大きさは $E = \text{③}$ で与えられ、電場の向きは加速度の向きと ウ である。導体棒の両端 A と B の間の電位差 U [V] は、 $U = \text{④}$ で与えられる。この式を変形すれば、 $a = \text{⑤}$ となり、電位差 U を測定すれば宇宙船の加速度 a を算出できるはずである。有人ロケットで経験できる程度の加速度を $a = 10g$ (g は重力加速度)、導体棒の長さを $L = 10$ m として、 $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg、 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C、 $g = 9.8$ m/s² の物理定数を用いて、このときの U を計算すると、 ⑥ V になる。この値は微小であるが、今日の極めて高精度な電圧計を用いれば測定不可能な程度ではない。

そこで、この電位差 U を測定するために、図2のように細い導線を介して電圧計を導体棒の両端の点 a と b に接続することを考えてみる。ここで、導線は長方形 abcd の辺 ad と辺 dc に沿って配線され、点 b と点 c の間に電圧計が接続されている。辺 ab および辺 dc は加速度の方向と平行で、長さは L に等しい。導線も導体棒と同じ性質をもつ導体であることを考慮すれば、点 ad 間の電位差は ⑦ 、点 dc 間の電位差は ⑧ となり、点 bc 間の電位差は ⑨ となるだろう。以上のことから、電圧計にかかる電圧は ⑨ となるはずであ

る。したがって、少なくともこのような方法で測定された電圧値を U とみなして $a = \boxed{5}$ の式に代入しても、正しい加速度を算出することはできないと結論される。

問 $\boxed{ア}$ から $\boxed{ウ}$ にあてはまる適切な語を下の語群から選んで答えよ。また、 $\boxed{①}$ から $\boxed{⑨}$ にあてはまる適切な式または数値を答えよ。

語群	同じ	逆	正	静電誘導	電磁誘導	負	誘電分極	誘電体
----	----	---	---	------	------	---	------	-----

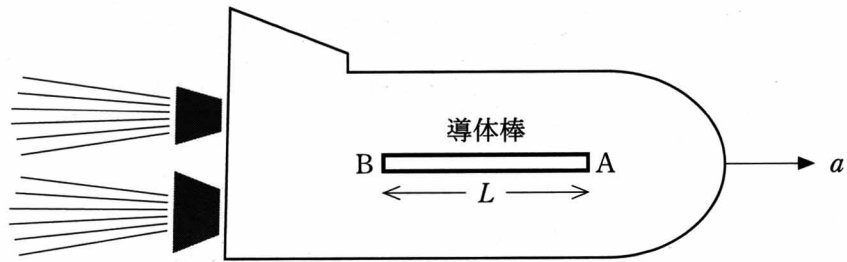


図1

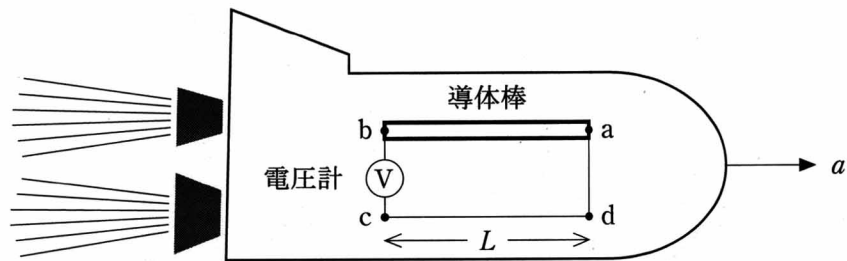


図2

3 次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

気体中を伝わる音波は気体の圧力と密度の変動をともなう。ある点での気体の圧力はある平均圧力を中心として振動する。このような、音波にともなう気体の状態変化を熱現象として考えてみよう。以下では気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ と書く。

いま 1 mol の理想気体が、体積 $V_a[\text{m}^3]$ 、圧力 $p_a[\text{Pa}]$ 、温度 $T_a[\text{K}]$ の状態(図1に示した p - V 図の点 a の状態)にある。この気体がわずかに圧縮を受けて、体積 $V_b[\text{m}^3]$ 、圧力 $p_b[\text{Pa}]$ 、温度 $T_b[\text{K}]$ の状態(図1の点 b の状態)になった。この圧縮過程 $a \rightarrow b$ はごく短時間であったため、気体に対する熱の出入りはないものとする。

この圧縮過程における気体の平均圧力 p は $p = \frac{1}{2}(p_a + p_b)$ である。同様に、平均体積 V は $V = \frac{1}{2}(V_a + V_b)$ である。また、圧縮による体積変化の大きさ ΔV と圧力増加の大きさ Δp は $\Delta V = V_a - V_b$ と $\Delta p = p_b - p_a$ である。

問1 圧縮過程 $a \rightarrow b$ による気体の内部エネルギーの変化 $\Delta U_{ab}[\text{J}]$ を求め、 p 、 V 、 Δp 、 ΔV のうち適切なものを用いて書け。ただし、この過程での圧力および体積の変化は十分に小さいものとし、 p - V 図において $a \rightarrow b$ の過程を表す曲線 ab は、直線とみなして取り扱うこと。

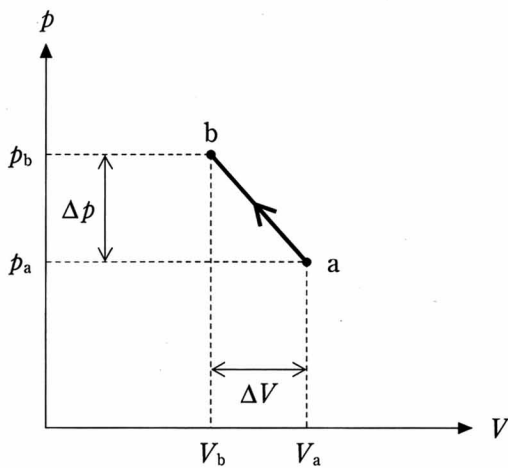


図1

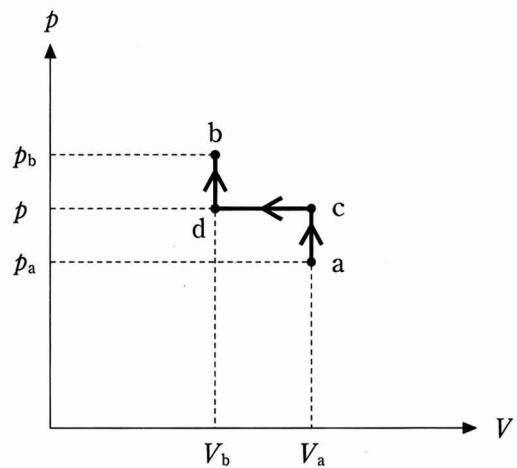


図2

気体の状態を a から b へ移す別の過程として、図2に示すような過程 $a \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow b$ を考えることもできる。ここで、状態 c および d の体積はそれぞれ V_a および V_b に等しく、圧力はどちらも平均圧力 p に等しい。過程 $a \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow b$ によって気体に加えられる熱量 $Q_{acdb}[\text{J}]$ は、 $a \rightarrow c$ 、 $c \rightarrow d$ 、 $d \rightarrow b$ のそれぞれの過程にともなう温度変化、 $\Delta T_{ac}[\text{K}]$ 、 $\Delta T_{cd}[\text{K}]$ 、 $\Delta T_{db}[\text{K}]$ 、および定積モル比熱 $C_v[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ と定圧モル比熱 $C_p[\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})]$ を用いて、次式のように表すことができる。

$$Q_{acdb} = [\text{ア}] \cdot \Delta T_{ac} + [\text{イ}] \cdot \Delta T_{cd} + [\text{ウ}] \cdot \Delta T_{db} \quad \dots\dots \textcircled{1}$$

温度変化 ΔT_{ac} , ΔT_{cd} , ΔT_{db} を求め、式①に代入して整理すると

$$Q_{acdb} = C_v \cdot [\text{エ}] + C_p \cdot [\text{オ}] \quad \dots\dots \textcircled{2}$$

となる。また、過程 $a \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow b$ において気体が外にした仕事 W_{acdb} [J] は

$$W_{acdb} = [\text{カ}] \quad \dots\dots \textcircled{3}$$

に等しい。

問 2 (1) 式①の(ア), (イ), (ウ)には, C_v と C_p のどちらがあてはまるか答えよ。

(2) 温度変化 ΔT_{ac} , ΔT_{cd} , ΔT_{db} , および式②の(エ), (オ)にあてはまる式を, p , V , Δp , ΔV , R のうち適切なものを用いて書け。

(3) 式③の(カ)にあてはまる式を, p , V , Δp , ΔV , R のうち適切なものを用いて書け。

ところで, a から b への状態変化にともなう内部エネルギーの変化は, 変化の道筋によらない。したがって, 図 1 の過程 $a \rightarrow b$ による ΔU_{ab} と, 図 2 の過程 $a \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow b$ による内部エネルギーの変化は等しくなければならない。つまり, 次式が成り立つといえる。

$$\Delta U_{ab} = Q_{acdb} - W_{acdb} \quad \dots\dots \textcircled{4}$$

いま, 気体を断熱的にわずかに圧縮したときに生じる圧力増加 Δp と体積圧縮の割合 $\Delta V/V$ との比を B と書こう。式④に問 1 の結果と式②と③とを代入して整理すると,

$$B = \frac{\Delta p}{(\Delta V/V)} = \frac{C_p}{C_v} p \quad \dots\dots \textcircled{5}$$

となることが分かる。ここで B と書いた量は, 圧縮に対する気体の「かたさ」のようなものを表すので, 気体を伝わる音波の速さ(音速) v_s [m/s] は $v_s = \sqrt{B/\rho}$ で与えられることが知られている。ここで, ρ [kg/m³] は気体の密度である。

問 3 気体 1 mol の質量を M [kg] とし, 温度 T [K] での理想気体における音速 v_s を M , T , C_v , R を用いて表せ。

問 4 ヘリウムを分子量 4.00 の単原子分子理想気体とみなし, 上の問いで導いた音速の式を用いて, 1 気圧, 300 K におけるヘリウムの音速を算出せよ。ただし, 気体定数を 8.31 J/(mol·K) とし, 必要なら次の近似値を使ってよい。($\sqrt{2} \doteq 1.41$, $\sqrt{8.31} \doteq 2.88$)

4

次の文を読み、以下の問いに答えよ。(配点比率 医： $\frac{1}{3}$ ，工・応生： $\frac{1}{4}$)

コウモリは、自分の発する超音波の反響を手がかりにして、障害物や獲物を探知する。コウモリと獲物となるガが同一直線上を等速度運動している場合を考えよう。いま、図のようにコウモリが正の速度 v [m/s] で飛びながら、前方を速度 u [m/s] で逃げるガに向かって一定の振動数 f_0 [Hz] の超音波を短い時間 Δt_0 [s] の間だけ発射した。空気は静止しているものとし、空気中の音速を V [m/s] とする。また、コウモリとガの大きさは考えないものとする。特に指定のない限り、各問の解答はここに与えられた量 (v , u , V , f_0 , Δt_0) を用いて表せ。

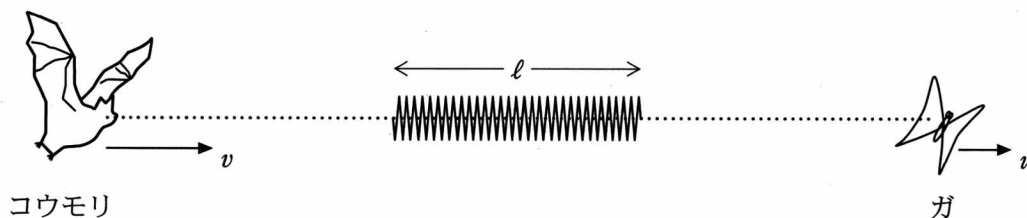
問 1 空気中を伝わってガに向かう超音波の先端から後端までの長さ ℓ [m] を求めよ。

問 2 コウモリの超音波がガに当たっている時間 Δt_1 [s]，およびガが観測する超音波の振動数 f_1 [Hz] を求めよ。

問 3 コウモリは、ガに当たって返ってくる反射波を観測する。

- (1) コウモリに反射波が当たっている時間 Δt_2 [s] と Δt_0 との比 $r = \Delta t_2 / \Delta t_0$ を求めよ。
- (2) コウモリが観測する反射波の振動数 f_2 [Hz] と f_0 との比 $s = f_2 / f_0$ を r を用いて表せ。

- 問 4 (1) 超音波の先端がコウモリから発せられてからガに達するまでに要する時間を T_1 [s]，超音波の先端がガに達したときのコウモリとガの間の距離を L_1 [m] とする。 T_1 を、 L_1 , v , u , V のうち適切なものを用いて表せ。
- (2) 超音波の先端がコウモリから発せられてからガで反射してコウモリに達するまでの経過時間を T [s] とし、超音波の先端がコウモリに達したときのコウモリからガまでの距離 L [m] を求めよ。



図