令 和 4 年 度

前 期 日 程

物　　　　理

教育学部・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 8 ページからなる。解答用紙については，医学部は解答用紙 3 枚，その他の学部は解答用紙 4 枚である。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，解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
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 題である。教育学部・工学部・応用生物科学部の受験生は 4 題すべてに解答すること。
   医学部の受験生は，問題 $\boxed{1}$，$\boxed{2}$，$\boxed{3}$ に解答すること。
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：$\frac{1}{3}$，教・工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1に示すように密度 ρ_0〔kg/m^3〕の液体に浮いている，円柱形の「うき」について考える。うきの下端には細い糸を介しておもりを取り付けてある。うきは一様な密度 ρ_f〔kg/m^3〕($\rho_f < \rho_0$)の素材でできており，十分に細長く，その長さを ℓ〔m〕，底面積を S〔m^2〕とする。おもりは一様な密度 ρ_w〔kg/m^3〕($\rho_w > \rho_0$)の素材でできており，その体積を V〔m^3〕とする。液体を入れている容器の大きさは，うきとおもりの大きさに比べて十分に大きく，おもりは容器の底から十分に離れているものとする。糸の伸縮，体積，質量は無視できるものとし，空気の密度，空気や液体による抵抗，液体の表面張力，液面の波立ちは無視する。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

いま，うきの上端は液面より上にあり，鉛直に立った状態で静止している。

問 1　おもりが受ける浮力の大きさ b_w〔N〕を求めよ。

問 2　うきとおもりからなるこの系について，系に作用する重力と浮力のつり合いを考えることで，うきの上端から液面までの距離 h〔m〕を求めよ。

次に，この静止状態から，おもりを手でつまんでゆっくりと x〔m〕だけ引き下げた。このとき，手がおもりに加えている力の大きさを f_r〔N〕とする。ただし，うきの上端は液面より上にあるとする。

問 3　f_r を求めよ。

その後，静かに手をはなしたところ，糸はゆるむことなく，またうきの下端が液中から飛び出すこともなく，上下に周期 T〔s〕の単振動を始めた。

問 4　T を求めよ。

再びうきが鉛直に立っている静止状態について考える。うきが安定して立つための条件，すなわち，うきを傾けても元に戻る条件は，おもりの体積 V がある一定値 V_0〔m^3〕より大きいことである。この条件について考えよう。以下では，うきが鉛直に立った静止状態における上端から液面までの距離 h を用いてよい。

問 5　図 2 に示すように，上端から液面までの距離 h を保ったまま，うきを鉛直方向からわずかに角度 θ〔rad〕だけそっと傾けたとき，うきが受ける浮力の作用点 C の位置を，うきの上端からの距離 c〔m〕として求めよ。なお，物体が受ける浮力の作用点は，その物体の各部分にはたらく浮力の合力が作用する点である。

問 6　力のモーメントについて考えることで，V_0 を求めよ。

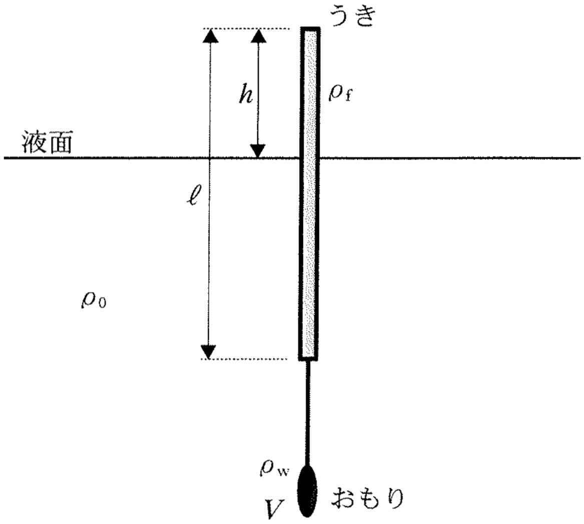

図 1

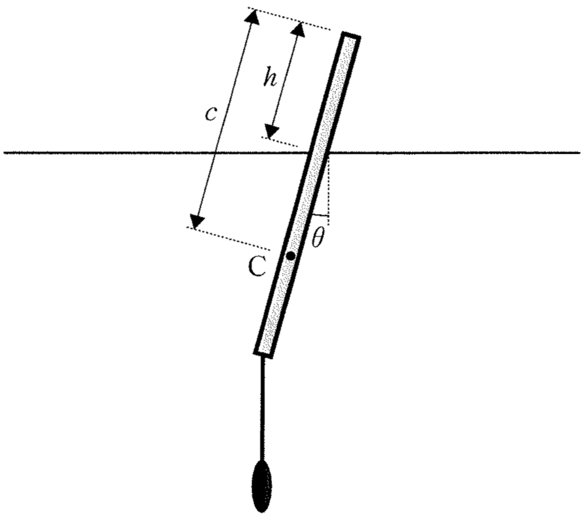

図 2

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

質量 m〔kg〕で正の電荷 q〔C〕をもつ荷電粒子の真空中の運動を考える。水平面を xy 面，鉛直上向きを z 軸とする。この空間には x 軸の正の向きに強さ E〔N/C〕の一様な電場が加えられている。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

図1のように，原点Oを中心とする半径 ℓ〔m〕の円と x 軸，y 軸の交点をそれぞれ点P，Qとする。

問 1　原点Oの電位を0Vとして，静電気力がする仕事から点Pと点Qの電位 V_P〔V〕，V_Q〔V〕をそれぞれ求めよ。

問 2　図1に示された円弧PQ上の点をRとする。ORが x 軸となす角度は θ〔rad〕である。直線ORに沿って荷電粒子を原点Oから点Rまで移動させたときの静電気力による位置エネルギーの変化 ΔU_{OR}〔J〕を求めよ。

問 3　荷電粒子を図1のように円周に沿って点Rから点Pまで移動させたときの静電気力による位置エネルギーの変化 ΔU_{RP}〔J〕を求めよ。

図2のように z 軸上の原点Oから高さ h〔m〕の点Aに荷電粒子を置き静かにはなすと，荷電粒子は t〔s〕後に x 軸上の点Bを通過した。

問 4　荷電粒子が点Aから点Bに到達するまでに要する時間 t を求めよ。

問 5　OB間の距離 d〔m〕を求めよ。

問 6　荷電粒子が点Bを通過したときの運動量の大きさ p〔kg·m/s〕を求めよ。

問 7　図3の太線は荷電粒子の軌跡を表している。荷電粒子が点Aから点Bに移動する軌跡として適当なものを，図3の①～⑥の中から選び番号で答えよ。

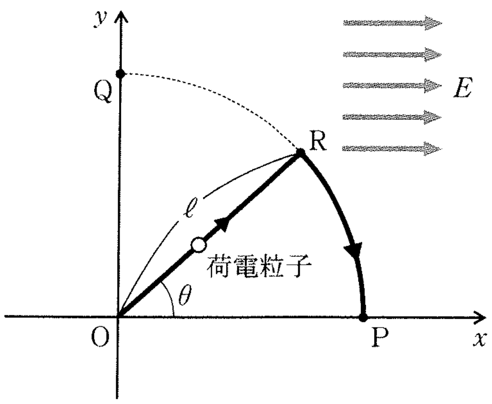

図 1

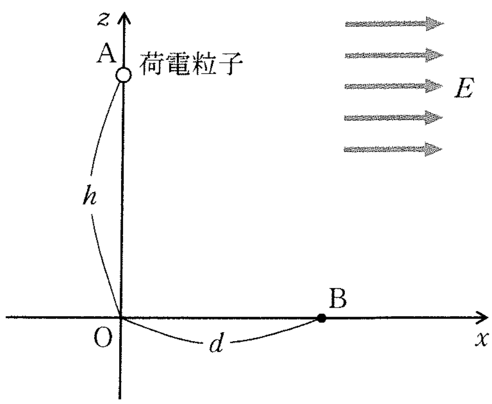

図 2

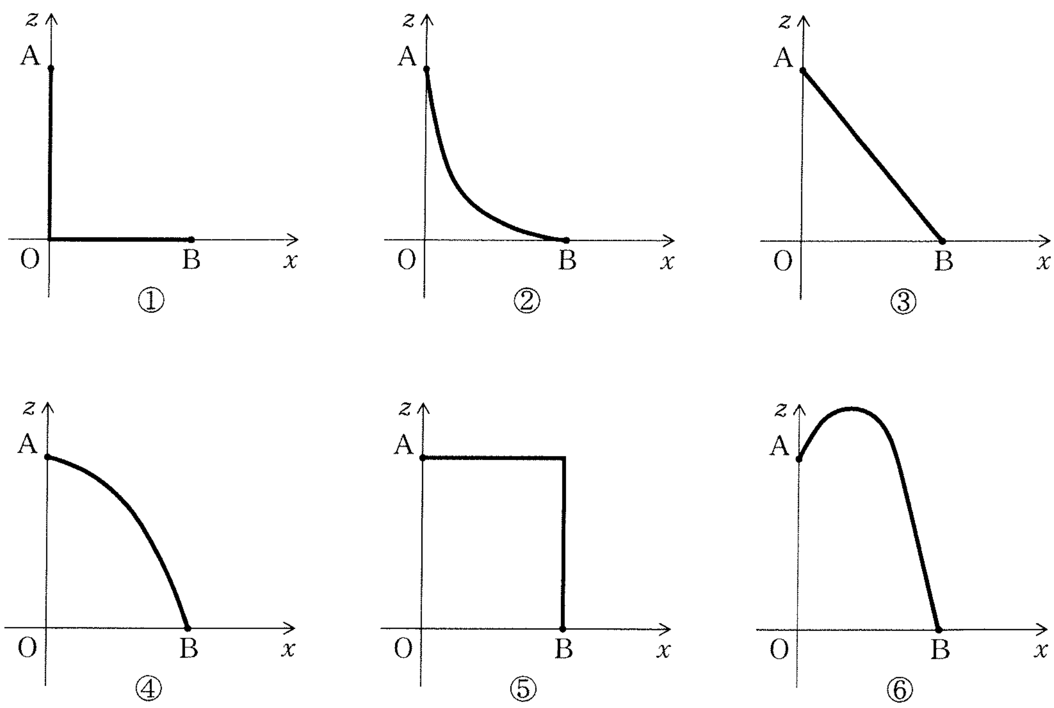

図 3

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

航空機の位置を検知するために利用されるレーダーの一種では，電磁波を航空機に照射し，反射して返ってくる波を，少し離して設置した二つのアンテナで検出し，その位相の差から，航空機の位置する方向を検知している。これと同様にして，船から届く汽笛の音波を検出し，汽笛を発した船の位置する方向を検知する方法について考える。

図1に示すように，紙面上方を北として，船の位置する方位角θ〔rad〕を定義し，$0 < \theta < \frac{\pi}{2}$の範囲で検知する。この検知には，東西方向に距離$d$〔m〕だけ離れた点P，Qそれぞれに，地面から同じ高さに設置した同じ性能のマイク1，2を利用する。このマイクにより，音波を電圧に変換して検出する。

無風の中，マイク1から十分に長い距離L〔m〕の位置に静止する船より，振動数f〔Hz〕の汽笛が，時刻t〔s〕が$t = 0$ sの時点から数秒間にわたり発せられた。汽笛の音波は，初期位相0 radの正弦波であり，平面波としてマイクに到達する。空気中の音速はV〔m/s〕で一定とし，障害物などに反射してからマイクに到達する音波の影響はないものとする。また，マイク間の距離dは音波の半波長よりも小さいとする。

問 1　汽笛の音波がマイク1，2それぞれに到達する時刻t_1〔s〕，t_2〔s〕を求めよ。

まず，特定の場合における汽笛について考えてみる。汽笛が$t = 1$ sにマイク1へ到達し，その際に検出された音波は図2の太線のとおりであった。図2の縦軸は，マイクで検出された音波の電圧である。

問 2　同時刻にマイク2で検出された音波の位相がマイク1で検出された音波に比べて$\frac{\pi}{2}$radだけずれているとき，マイク2で検出された音波を，図2に示す時刻の範囲内でグラフに描け。マイク1，2で検出された音波の振幅は同じとする。

次に，より一般の場合について，船の位置する方位角θを検知する方法について考える。

問 3　時刻$t (> t_1)$にマイク1で検出される汽笛の音波の電圧y_1〔V〕は，振幅をA〔V〕として正弦波の式 $y_1 = A\sin(at - bL)$ で表された。式中のa，bとして適切な式を示せ。また，それぞれの単位を括弧内に示すこと。

問 4　時刻$t (> t_2)$にマイク2で検出される汽笛の音波の電圧y_2〔V〕を表す正弦波の式を，a，b，d，t，A，L，θを用いて示せ。なお，マイク2に到達する音波の振幅はAであった。

問 5　マイク 1，2 で検出される汽笛の音波の電圧 y_1，y_2 が 0 となるすべての時刻をそれぞれ T_1〔s〕，T_2〔s〕とする。これら T_1，T_2 を，a，b，d，L，θ と正の整数 m の中から必要なものを用いて答えよ。なお，汽笛の音波がマイク 1，2 それぞれにはじめて到達する時刻 t_1，t_2 は T_1，T_2 に含めない。

問 6　問 5 で求めた時刻 T_1，T_2 において，正の整数 m の値が同じ場合の時刻の差 $T_2 - T_1$ と，船の位置する方位角 θ の関係式を導き，a，b，d，T_1，T_2，θ を用いて表せ。

問 7　問 6 で求めた $T_2 - T_1$ の値を用いると，空気中の音速 V とマイク間の距離 d が既知であれば，船とマイクの間の距離や汽笛の正確な振動数が不明であっても，船の位置する方位角 θ を検知できる。その理由を，これまでの結果を用いて説明せよ。

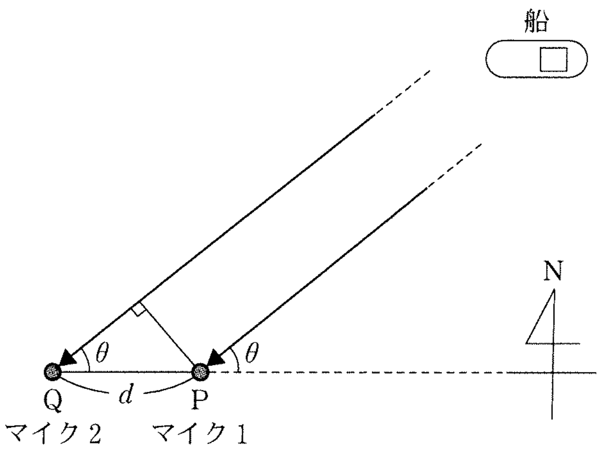

図 1

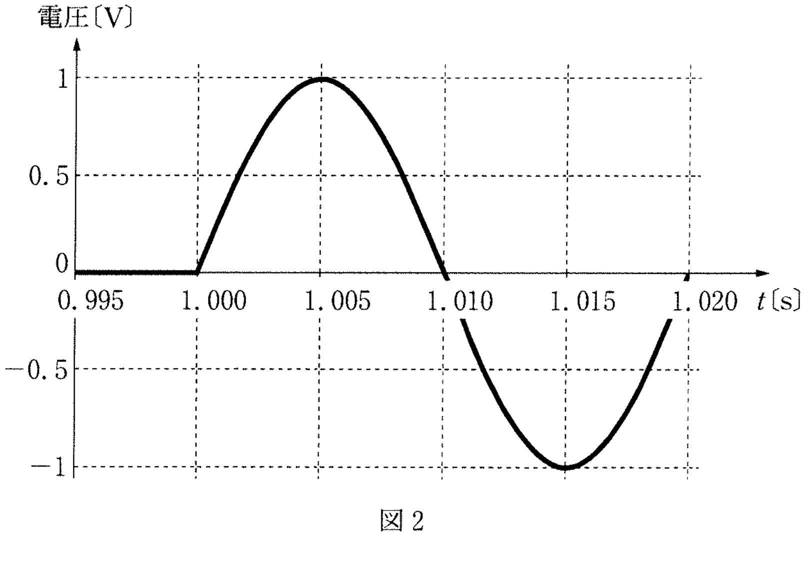

図 2

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

(I) 理想気体では物質量が同じであれば，内部エネルギーは温度で決まる量であり，圧力や体積が異なっていても温度の等しい状態の内部エネルギーは同一である。このことから，1 mol の理想気体に対する p–V 図(図 1)に示す状態 a(温度 T〔K〕)から状態 b(温度 T'〔K〕)への内部エネルギーの変化 ΔU_{ab}〔J〕は，定積モル比熱 C_V〔J/(mol·K)〕を用いて，

$$\Delta U_{\mathrm{ab}} = C_V(T' - T) \qquad (1)$$

と表すことができる。

問 1　図 1 に示す状態 a，b とは別の状態 c(状態 a と同じ体積をもち，状態 b と同じ温度である状態)を考えることで式(1)を導け。

(II) 理想気体 1 mol の状態を図 2 のように A→B→C→A と変化させる。それぞれの状態変化の過程では，

A→B：外部との間で熱の出入りが無視できる
B→C：圧力を一定に保つ
C→A：体積を一定に保つ

ように変化させる。状態 A，B，C の圧力，体積，温度をそれぞれ(p_1〔Pa〕，V_1〔$\mathrm{m^3}$〕，T_{A}〔K〕)，(p_2〔Pa〕，V_2〔$\mathrm{m^3}$〕，T_{B}〔K〕)，(p_2〔Pa〕，V_1〔$\mathrm{m^3}$〕，T_{C}〔K〕)とする。また，定積モル比熱を C_V〔J/(mol·K)〕，定圧モル比熱を C_p〔J/(mol·K)〕，比熱比を $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$，気体定数を R〔J/(mol·K)〕で表す。

問 2　過程 A→B で気体が外部からされる仕事 W_{AB}〔J〕を式(1)を用いて求め，その答えを C_V，C_p，T_{A}，T_{B}，T_{C} の中から適するものを用いて表せ。

問 3　過程 B→C で気体が得る熱量 Q_{BC}〔J〕と，過程 C→A で気体が得る熱量 Q_{CA}〔J〕を，C_V，C_p，T_{A}，T_{B}，T_{C} の中から適するものを用いて表せ。

問 4　過程 B→C→A で，気体が外部からされる仕事 W_{BCA}〔J〕を求めよ。これと前問の答えとを合わせて考えると，定積モル比熱 C_V，定圧モル比熱 C_p，気体定数 R との間の関係式を見いだすことができる。その関係式を導出せよ。仕事 W_{BCA} は，C_V，R，T_{A}，T_{B}，T_{C} の中から適するものを用いて表せ。

問 5　図 2 に示すサイクルの熱効率 e を，γ，$\frac{p_1}{p_2}$，$\frac{V_2}{V_1}$ を用いて表せ。

問 6　図2のサイクルを逆向きに，すなわち A→C→B→A の順に変化させると，どのようなはたらきをする機関となるか。これが熱力学第2法則に反しないための条件を含めて，解答欄に100文字以内で述べよ。

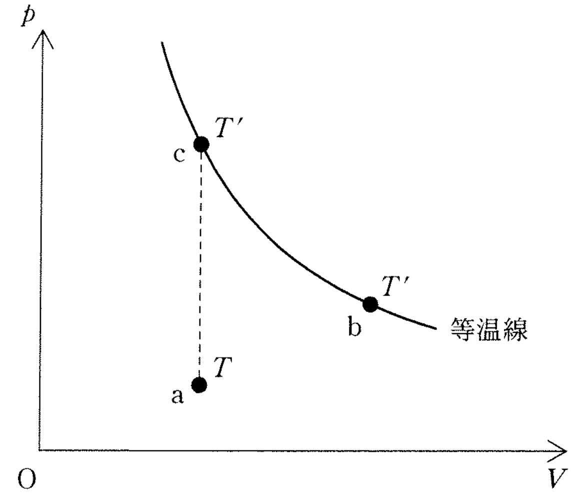

図1

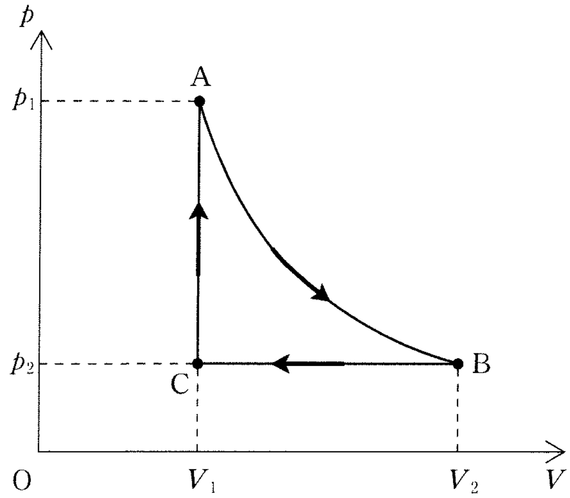

図2