令 和 7 年 度

後 期 日 程

物　　　　理

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。解答用紙は 4 枚である。落丁，乱丁，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. 解答用紙は持ち帰らないこと。
6. 問題冊子は持ち帰ること。
7. 大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

ー問 題 訂 正ー

「物理」

（後期日程：工学部・応用生物科学部）

問題訂正が３箇所あります。

１３時００分開始　物理（後期日程）

●問題訂正　５ページ 大問$\boxed{3}$

下から９行目（問３と問４の間の説明文の１行目）

（誤）・・・～距離 d[m]～・・・

（正）・・・～距離 d[cm]～・・・

●問題訂正　５ページ 大問$\boxed{3}$

下から７行目（問３と問４の間の説明文の３行目）

（誤）・・・～波長をλ_2[m] ～・・・

（正）・・・～波長をλ_2[cm]～・・・

●問題訂正　５ページ 大問$\boxed{3}$

下から４行目（問５の問題文の１行目）

（誤）・・・～距離 L[m]～・・・

（正）・・・～距離 L[cm]～・・・

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

図のように，すべり台 AB と，長さ L〔m〕で水平な床 BC が，点 B でなめらかに接続している。さらに床 BC は，地面となす傾斜角 θ〔rad〕の斜面 CD に点 C で接続している。ただし，すべり台 AB，床 BC ならびに斜面 CD はすべてなめらかなものとする。点 D は斜面 CD と地面が接続する点であり，CD 間の距離は a〔m〕である。大きさの無視できる質量 M〔kg〕の物体をすべり台の高さ H〔m〕から初速度 0 ですべらせたとき，物体が点 B を通過し点 C から水平方向にとびだし，最初に落下した斜面 CD 上の点を P とする。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

問 1　点 C における物体の速さ v_C〔m/s〕を，M，g，H，L のうち必要なものを用いて表せ。

問 2　点 C を原点とし，斜面 CD に沿って下向きを正とする x 軸をとり，その垂直方向上向きを正とする y 軸をとる。点 C から点 P に運動している物体の位置の x，y 座標を，g，θ，v_C および物体が点 C からとびだした瞬間から経過した時間 t〔s〕を用いてそれぞれ表せ。

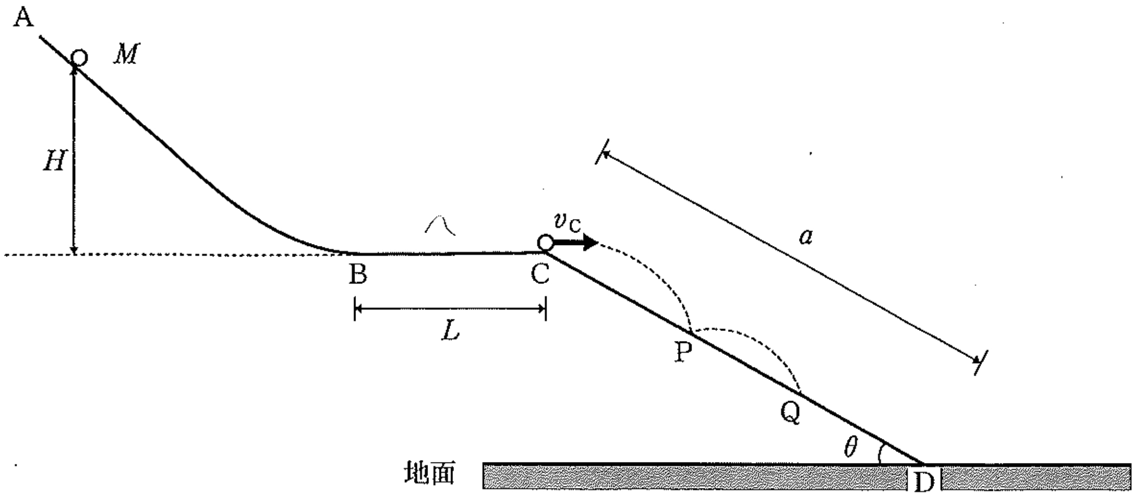
問 3　物体が点 C をとびだしてから点 P に落下するまでの時間 t_{CP}〔s〕を，g，θ，v_C を用いて表せ。

物体が点 P に落下し，1 回バウンドしたのち落下した斜面 CD 上の点を Q とする。なお，物体と斜面 CD の間における反発係数を e とする。

問 4　t_{CP} と，点 P でバウンドしてから斜面 CD 上の点 Q に落下するまでの時間 t_{PQ}〔s〕の間に成り立つ関係式を示せ。

問 5　物体が点 C よりとびだしてから点 P でバウンドし，その後斜面 CD 上の点 Q に落下するまでにかかる時間 t_{CQ}〔s〕を，e，g，θ，v_C を用いて表せ。

問 6　点 P で 1 回バウンドした物体が，次に点 D に落下した。このときの H を，M，e，g，θ，a，L のうち必要なものを用いて表せ。



図

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

図1のように，真空中に面積 S〔m^2〕で同じ形状を持つ金属極板AとBが極板間隔 d〔m〕で向かい合わせに配置された平行板コンデンサーを考える。このコンデンサーの極板間に極板Bから距離 x〔m〕を隔てて，平行に金属極板と同じ形状の質量 m〔kg〕の金属板Pを置く。ただし，極板と金属板の端面での電場の乱れはなく，電気力線は極板間のみに限られるものとする。真空の誘電率を ε_0〔F/m〕とし，重力は無視する。また，金属板Pの厚さも無視する。

問1 スイッチが開いているとき，極板A，B間の電気容量 C〔F〕を答えよ。

問2 スイッチを閉じた後，金属板Pに電気量 Q〔C〕の正電荷を帯電させた。AP間の電気容量 C_A〔F〕とBP間の電気容量 C_B〔F〕を求めよ。また，極板AとBに誘導される電気量 Q_A〔C〕，Q_B〔C〕をそれぞれ求めよ。

問3 問2において，コンデンサーに蓄えられる静電エネルギー U〔J〕を，S，d，x，ε_0，Q を用いて表せ。

問4 金属板Pを電気量 Q で帯電させたまま，外力を加えながら金属板Pを x から微小距離 Δx〔m〕だけ極板Aにゆっくり近づける。微小距離だけ極板Aに近づけている間の金属板Pにはたらく外力は一定とみなして，金属板Pにはたらく静電気力 F〔N〕を求めよ。ただし，金属板Pは，極板A，Bと平行を保ちながら，極板に対し垂直方向のみにしか動かないものとする。また，$|\Delta x|$ は d に比べて十分に小さく，$(\Delta x)^2$ は無視できるものとし，静電気力 F の向きは極板BからAを正とする。

次に，図2のように，金属板Pに電気量 Q の正電荷を帯電させたまま，金属板Pを自然長 $\frac{d}{2}$〔m〕，ばね定数 k〔N/m〕の絶縁体のばねで極板Aと接続する。金属板Pは，極板A，Bと平行を保ちながら，極板に対し垂直方向のみにしか動かないものとする。また，ばねの質量，ばねによる電気容量の変化は無視できるものとする。

問5 金属板Pを $x=\frac{d}{3}$ の距離に静止させてから手を放す。その後の金属板Pの運動が単振動であるための Q の条件を求めよ。

問6 問5において，金属板Pが単振動しているときの角振動数 ω〔rad/s〕を求めよ。

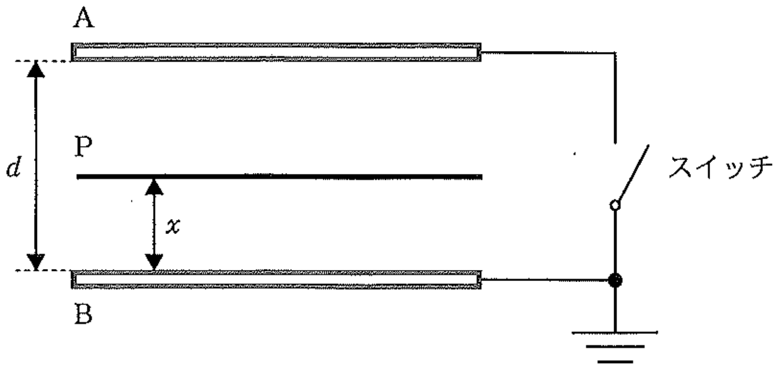


図 1

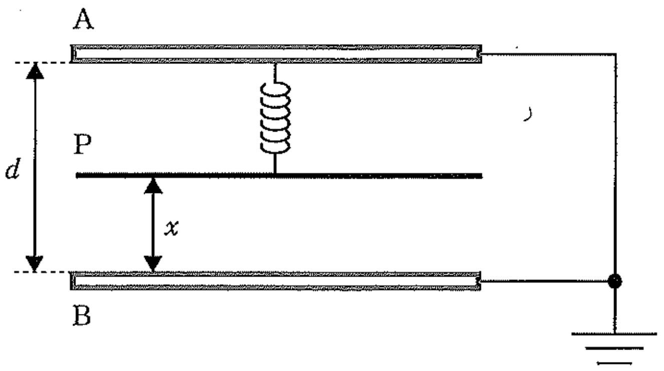


図 2

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

大きさが無視できる小球Sを水面上の原点Oに置き，一定の周期，振幅で上下に振動させ，周波数 $f_1 = 5\,\mathrm{Hz}$，波長 $\lambda_1 = 2\,\mathrm{cm}$ の水面波を発生させた。図1の破線は，小球Sの位置の波が山となった時刻の水面波の山の波面を示している。軸の目盛りは1 cmである。実験に用いる水槽は十分大きく，反射波は無視できる。また，小球Sの振動による波以外の水面波は発生しないこととする。

問1 x 軸の負の方向へ小球Sが速さ $v = 0.05\,\mathrm{m/s}$ で移動しているとき，水面上に発生する水面波の波面として最も適切なものを図2の(ア)～(カ)のうちから選べ。図中の黒丸は移動する小球Sの位置を示し，破線は図1と同じく小球Sの位置の波が山となったある時刻の水面波の山の波面を示している。軸の目盛りは1 cmである。

問2 x 軸の負の方向へ小球Sが速さ $v = 0.1\,\mathrm{m/s}$ で移動している。図1と同じく小球Sの位置の波が山となった時刻における水面波の山の波面の概略を解答用紙に描くとともに，図を説明せよ。描く波面の数は小球Sより近い方から3つとする。解答用紙の黒丸は移動する小球Sの位置を示す。解答用紙の目盛りは1 cmである。

問3 x 軸の負の方向へ小球Sが速さ $v = 0.05\,\mathrm{m/s}$ で移動しているとき，水面波の観測者Pが，小球Sの右側を x 軸の正の方向へ速さ $v_{\mathrm{P}} = 0.01\,\mathrm{m/s}$ で移動している。観測者Pが観測する水面波の周波数 f_{P}〔Hz〕を求めよ。

図3のように，大きさが無視できる小球 $\mathrm{S_1}$ と $\mathrm{S_2}$ を原点Oを挟んで x 軸方向に距離 d〔m〕の水面上にそれぞれ置き，同一の周期，振幅，初期位相で上下に振動させ，水面波を発生させた。発生した水面波の周波数を f_2〔Hz〕，波長を λ_2〔m〕とする。

問4 $f_2 = 5\,\mathrm{Hz}$，$\lambda_2 = 2\,\mathrm{cm}$，$d = 2.5\,\mathrm{cm}$ のとき，$\mathrm{S_1}$ と $\mathrm{S_2}$ を結ぶ x 軸上の $-d < x < d$ の領域で発生する節線(振動を弱めあう点を結ぶ線)の本数を求めよ。

問5 図4のように，原点Oから角度 θ〔rad〕$(0 < \theta < \frac{\pi}{2})$，距離 L〔m〕の位置にある点Qが干渉による節線上の点となっていた。$\cos\theta$ を，λ_2，d および負でない整数 m $(m = 0, 1, 2, \cdots)$ を用いて表せ。ただし，d は L に対して十分小さく d^2 は無視できるものとし，$|h|$ が1より十分小さい $(|h| \ll 1)$ ときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+h} \fallingdotseq 1 + \frac{1}{2}h$ を用いて答えよ。

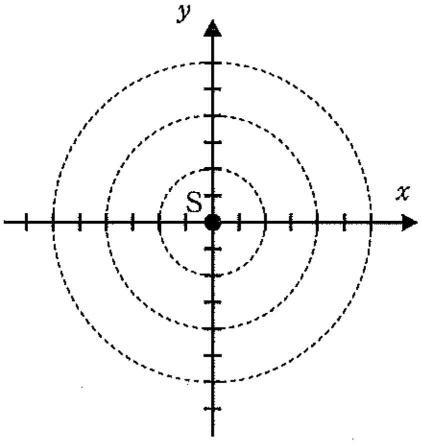


図 1

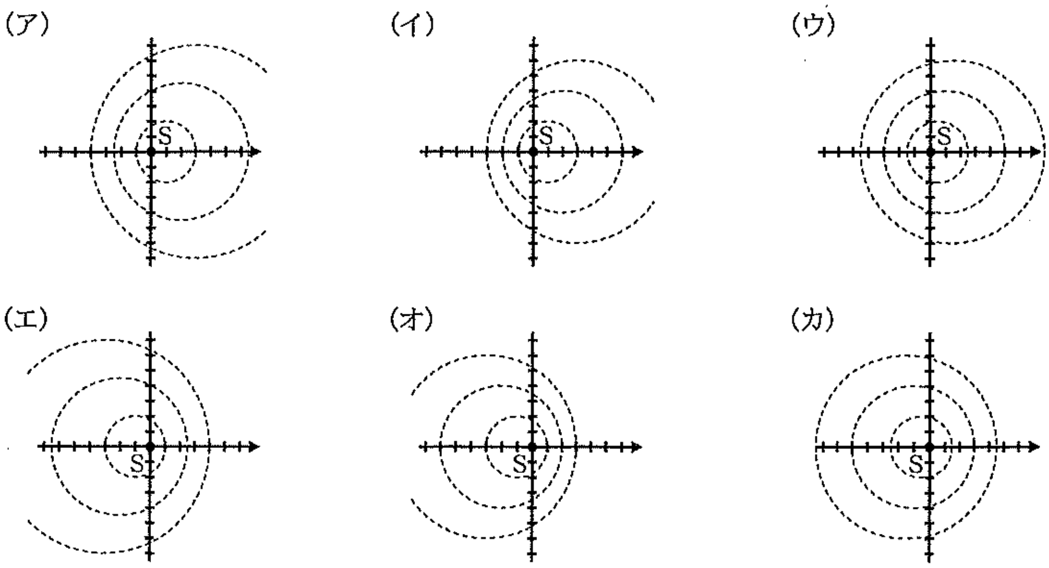


図 2

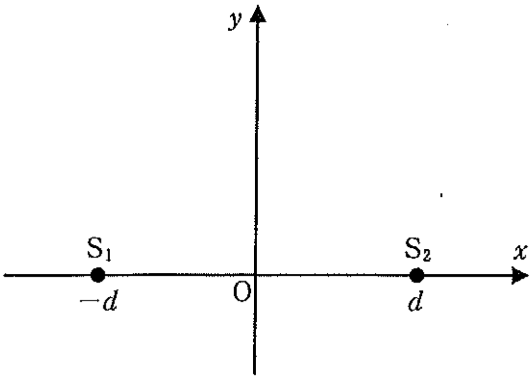


図 3

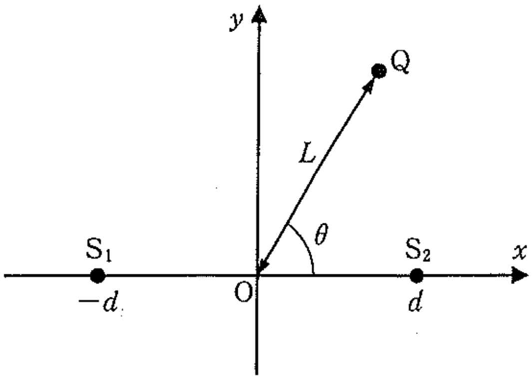


図 4

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

図のように，断熱壁からなる一辺の長さが L〔m〕の立方体の容器に，N 個の単原子分子からなる理想気体が封入されている。気体分子は質量 m〔kg〕の質点として取り扱うことができるとし，気体分子の運動から理想気体の性質を考察する。以下の問いでは，ボルツマン定数を k〔J/K〕とする。

問 1　次の文の(　ア　)から(　キ　)に入る適切な式を答えよ。

x 軸に垂直な壁 A に，ある気体分子が速度 $\vec{v}=(v_x,\ v_y,\ v_z)$，その大きさ v〔m/s〕で弾性衝突すると，衝突直後は速度 $\vec{v'}=($　ア　$)$ となる。このとき壁 A がこの分子から受ける力積の大きさは，(　イ　)〔N·s〕である。この衝突した分子が，次に壁 A に衝突するまでの時間は(　ウ　)〔s〕と表される。単位時間に壁 A に衝突する回数は(　エ　)回であるから，壁 A がこの分子 1 個から受ける平均の力の大きさは(　オ　)〔N〕である。

容器内には N 個の気体分子があるので，気体分子の速度の x 成分の二乗 v_x^2 の気体分子全体についての平均を $\overline{v_x^2}$ とすると，壁 A が N 個の気体分子から受ける力の大きさは，$\overline{v_x^2}$ を用いて(　カ　)〔N〕と表すことができる。気体分子の速さ v と速度の各成分 v_x，v_y，v_z には，気体分子の速度の y 成分および z 成分の二乗 v_y^2 および v_z^2 の気体分子全体についての平均 $\overline{v_y^2}$ および $\overline{v_z^2}$ を用いて $\overline{v^2}=\overline{v_x^2}+\overline{v_y^2}+\overline{v_z^2}$ の関係が成り立つ。また，すべての分子は特定の方向に偏ることなく不規則に運動していることから，$\overline{v_x^2}=\overline{v_y^2}=\overline{v_z^2}$ が成り立つ。これより，容器内の気体の圧力は，m，N，L，$\overline{v^2}$ を用いて(　キ　)〔Pa〕と表すことができる。

問 2　理想気体の状態方程式を用いて，気体分子 1 個の運動エネルギー ε〔J〕を絶対温度 T〔K〕を用いて表せ。

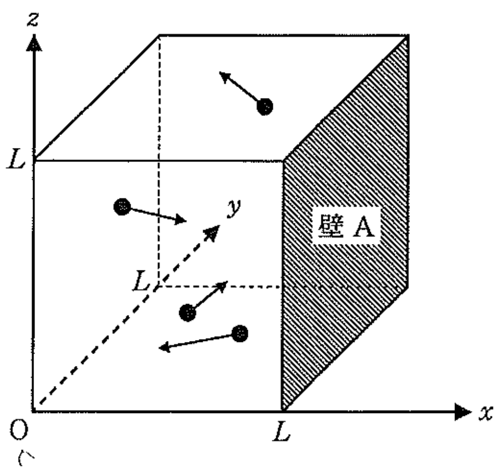
上記の気体分子の運動についての考察をもとに，気体の断熱圧縮について考えよう。すなわち壁 A を微小な距離 ΔL〔m〕だけ一定の速さ u〔m/s〕で x 軸に沿ってゆっくり移動させ，気体を圧縮する場合について考察する。ただし，ΔL は L に比べて十分に小さく，圧縮中に分子が壁 A に衝突する頻度は，圧縮前と同じであるとしてよい。

問 3　速度 $\vec{v}=(v_x,\ v_y,\ v_z)$ をもつ分子が速さ u で移動する壁 A と弾性衝突した際の，この分子の運動エネルギーの変化 $\Delta\varepsilon$〔J〕を，L，ΔL，m，u，v_x のうち必要なものを用いて表せ。ただし，u は v_x の大きさに比べて十分に小さく，u^2 の項は無視できるものとする。

問 4　壁 A の移動による気体の内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕を，L，ΔL，m，N，u，$\overline{v^2}$ のうち必要なものを用いて表せ。ただし，圧縮後もすべての分子は特定の方向に偏ることなく不規則に運動しているものとする。

問 5　次の文の(　ク　)，(　コ　)に入る適切な式と(　ケ　)に入る語句を答えよ。

問 1 での結果から，気体の内部エネルギーの変化は，気体の圧力 p〔Pa〕と L，ΔL を用いて，(　ク　)〔J〕と表すことができ，容器を圧縮する外力がした(　ケ　)に等しいことがわかる。また，圧縮による気体の温度上昇は，k，L，ΔL，m，N，u，$\overline{v^2}$ のうち必要なものを用いて(　コ　)〔K〕と表せる。



図