令和３年度入学者選抜試験問題

工 学 部

（高分子・有機材料工学科，化学・バイオ工学科，
情報・エレクトロニクス学科，
機械システム工学科，システム創成工学科）

理　　科
（物　理）

前　期　日　程

注 意 事 項

1　試験開始の合図があるまで，この問題冊子の中を見てはいけません。

2　この問題冊子の本文は，1ページから6ページまでです。

3　解答は，物理専用の解答用紙を使用してください。

4　問題は3問からなっています。**解答は問題番号と一致した解答用紙**に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には，計算過程も記入してください。

5　すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は，採点できないことがあります。

6　試験終了後，問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

問題訂正　物理

第２問　４ページ　上から４行目

（誤）およびS_3を閉じた。

（正）およびS_3を閉じ，じゅうぶん時間がたった。

問題訂正　化学

第２問　５ページ　上から６行目

（誤）$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$

（正）$CO_2 + H_2 \rightleftarrows CO + H_2O$

補足説明　化学

第６問　１４ページ　上から１２行目の文末に以下を追加

「ただし，環は平面であるとして考えること。」

第1問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1), (2), ･･･, (13) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。なお，重力加速度の大きさをg〔m/s^2〕とする。

[A] 図1のように，なめらかな水平面の上に，傾きの角θのなめらかな斜面を持つ質量M〔kg〕の台がある。質量m〔kg〕の小物体を台の斜面上の点Oから静かにはなすと，小物体は斜面上をすべりおりはじめた。そのとき，台が動かないように，台の左側面に水平に大きさF〔N〕の力を加えた。なお，水平方向右向きにx軸，鉛直方向上向きにy軸をとる。

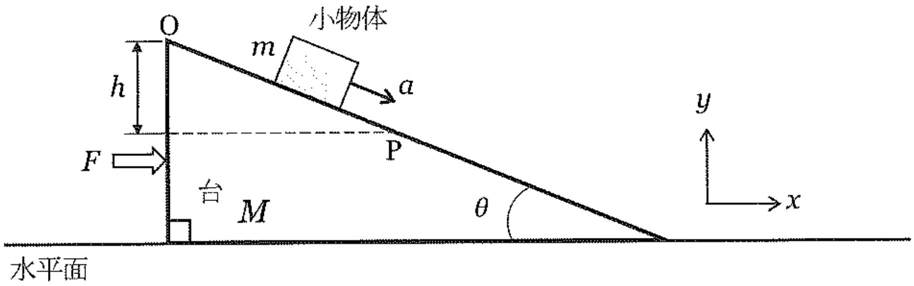

図1

(1) 小物体が斜面をすべりおりるときの加速度の大きさa〔m/s^2〕を，θ, gを用いて表せ。

(2) 小物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさN〔N〕を，θ, g, mを用いて表せ。

(3) 台に加えた力の大きさFを，θ, Nを用いて表せ。

つぎに，台の左側面に加える力Fを0にして小物体を点Oから静かにはなすと，小物体は斜面上をすべりおり，台は左向きに動いた。小物体が点Oからy軸方向に距離h〔m〕だけ下がった斜面上の点Pに達したとき，小物体の速度のx成分の大きさはv_x〔m/s〕，y成分の大きさはv_y〔m/s〕であり，台の水平方向の速さはV〔m/s〕であった。

(4) 運動量保存の法則を用いて，小物体の速度のx成分の大きさv_xを，m, M, Vを用いて表せ。

(5) 小物体の速度のy成分の大きさv_yを，θ, v_x, Vを用いて表せ。

(6) 小物体が点Oから点Pまで運動した間の全体の力学的エネルギー保存の法則を，g, h, m, v_x, v_y, M, Vを用いて表せ。

(7) M=2mのとき，台の水平方向の速さVを，θ, g, hを用いて表せ。

[B] 図 2 のように，質量m_A〔kg〕の小球 A を，なめらかな水平面からの高さh〔m〕の点 O から，速さv_x〔m/s〕で，水平方向に投げ出した。小球 A を投げ出すと同時に，質量m_B〔kg〕の小球 B を水平面上のある点 P から速さv_B〔m/s〕で鉛直方向に投げ上げたところ，小球 A と小球 B は水平面から高さ$\frac{h}{2}$の点 Q で弾性衝突した。衝突後，小球 A と小球 B はそれぞれ水平面から角α上方に速さv'_A〔m/s〕，角α下方に速さv'_B〔m/s〕で進んだ。なお，水平方向右向きにx軸，鉛直方向上向きにy軸をとる。

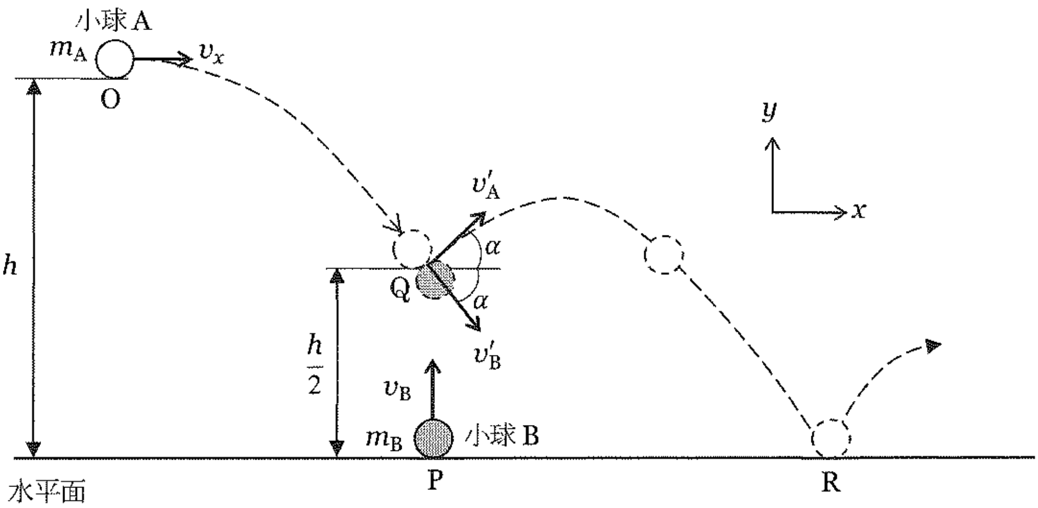

図 2

(8) 小球 A が，小球 B と衝突する直前の速度のy成分の大きさv_y〔m/s〕を，g, hを用いて表せ。

(9) 小球 B を投げ上げたときの速さv_Bを，g, hを用いて表せ。

(10) 点 Q で小球 A と衝突する直前の小球 B の速さが 0 であることを示せ。

(11) 小球 A と小球 B が衝突する前後の運動量保存の法則をx軸方向とy軸方向について，それぞれα, m_A, m_B, v_x, v_y, v'_A, v'_Bの中から適切な記号を用いて表せ。ただし，衝突は非常に短い時間に起きるものとする。

(12) 角αを測定したところ$\alpha = 45°$であった。小球の質量の比$\frac{m_B}{m_A}$を求めよ。

点 Q で衝突した小球 A は，点 R で水平面と衝突して，はね返り係数eではね返った。

(13) 小球 A が点 R で衝突後，はね返った直後の速度のy成分の大きさv_R〔m/s〕を，e, g, h, v'_Aを用いて表せ。ただし，$\alpha = 45°$とする。

第２問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1), (2), ･･･, (14) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。なお，重力は無視する。

[A] 真空中に，電圧を変えられる直流電源，同じ形状で物質の種類も同じ４枚の金属板A，B，C，D，３つのスイッチS_1, S_2, S_3を図１のように接続した。金属板A，B，Dは固定されているが，金属板Cはばねに接続されておりC-D間の距離は変化する。なお，金属板C，Dは常に平行に保たれていて，金属板A-Bおよび金属板C-Dは平行板コンデンサーとしてはたらく。

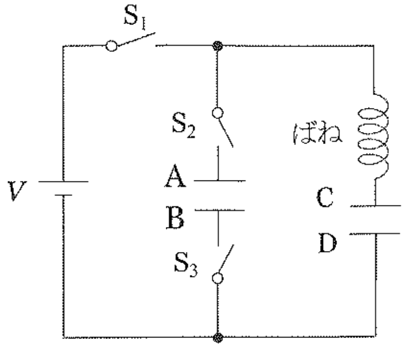

図１

はじめ，スイッチS_1, S_2, S_3はすべて閉じており，電源の電圧は０であった。すべての金属板には電荷は蓄えられておらず，ばねは自然長で，金属板C-D間の距離は ℓ_0〔m〕であった。

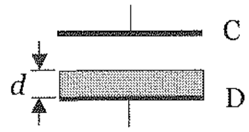

図２

真空の誘電率を ε_0〔F/m〕，それぞれの金属板の面積をS〔m^2〕，金属板A-B間の電気容量を C_{AB}〔F〕，ばねのばね定数をk〔N/m〕とする。また，ばねの電気抵抗と自己インダクタンスは無視できる。

まず，ばねが振動しないように注意しながらゆっくりと直流電源の電圧をV〔V〕まで変化させた。その結果，金属板A，Cにはそれぞれ，Q_A〔C〕，Q_C〔C〕の電荷が蓄えられ，金属板C-D間の距離は ℓ_1〔m〕に変化した。

(1) 電気量Q_Aを，C_{AB}, Vを用いて表せ。

(2) 金属板C-D間の電気容量C_{CD}〔F〕を，ε_0，ℓ_1，Sを用いて表せ。

(3) 金属板C-D間に蓄えられている静電エネルギーU〔J〕を，C_{CD}，Q_Cを用いて表せ。

次に，すべてのスイッチS_1, S_2, S_3を開いた。

(4) 金属板Cに外力を加え，金属板C-D間の距離を$\Delta\ell$〔m〕だけゆっくりと広げると，金属板C-Dに蓄えられている静電エネルギーはΔU〔J〕だけ変化する。このとき，金属板C-D間にはたらく引力F_{CD}〔N〕は，$F_{CD}=\Delta U/\Delta\ell$として求まる。$F_{CD}$を，$\varepsilon_0$，$Q_C$, Sを用いて表せ。

(5) 金属板C-D間の距離がℓ_1のとき，金属板Cにはたらくばねの弾性力と金属板間にはたらく引力F_{CD}のつり合いの式を，k, ℓ_0，ℓ_1，F_{CD}を用いて表せ。

(6) 金属板C-D間の電圧V_{CD}〔V〕を，ε_0, k, ℓ_0，ℓ_1, Sを用いて表せ。

(7) 図２のように，金属板C, Dと同じ面積で厚さがd〔m〕，比誘電率が ε_r の誘電体を金属板C-D間にばねが振動しないようにゆっくり挿入し，金属板Dに完全に重ねた。このときの金属板C-D間の距離をℓ_2〔m〕として，金属板C-D間の静電容量C'_{CD}〔F〕を，ε_0, ε_r, d, ℓ_2, Sを用いて表せ。

(8) 誘電体を挿入する前後での金属板C-D間にはたらく力を考慮して，金属板C-D間の距離ℓ_2を，ε_r, d, ℓ_1の中から必要な記号を用いて表せ。

次に，金属板A, Bを回路から取り出し，それらをじゅうぶんな時間接触させたのち，回路の元の位置に戻した。これらの操作の間，金属板A, B間でのみ電荷が移動した。続いて，C-D間の距離をℓ_1に固定した後，金属板C-D 間に挿入された誘電体を取り除いた。最後に，スイッチS_1を開いたままスイッチS_2および S_3を閉じた。

(9) 金属板A-B間の電位差 V_{AB}〔V〕を，C_{AB}，C_{CD}，Q_Cを用いて表せ。

[B] 図3に示すように，一辺の長さがa〔m〕の正方形の1巻きのコイルとR〔Ω〕の抵抗が接続されたICカードがある。カードリーダーには，コイルより大きい，x軸，y軸を辺とする長方形の領域に，紙面の裏から表の向きに磁束密度B〔T〕の一様な磁場（磁界）が存在する。いま，ICカードをx軸方向に一定の速さv〔m/s〕でカードリーダーの上方を移動させた。このとき，ICカードはxy面内にあり，コイルの一辺はx軸に平行であった。コイルがつくる磁場およびコイルの抵抗は無視する。また，ICカードのコイル以外の部分が磁場から受ける影響も無視する。

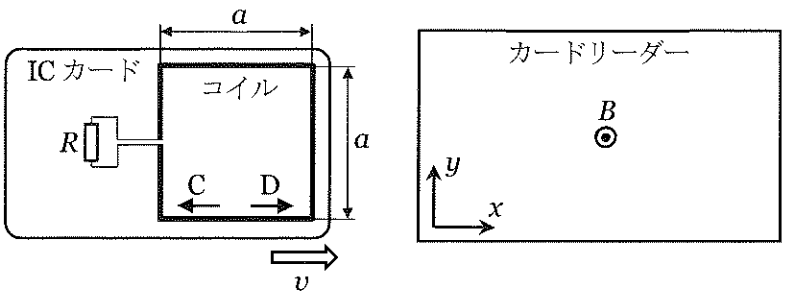

図3

(10) 磁場がある領域にコイルの一部が入ったとき，コイルに流れる電流の向きは，図3において(C, D)のどちらか答えよ。

(11) コイルが磁場のある領域に入り始めてから完全に入りきるまでの時間Δt〔s〕の間のコイルを貫く磁束の変化量$\Delta\Phi$〔Wb〕を，a，Bを用いて表せ。

(12) 時間Δtの間に抵抗の両端に生じる電圧の大きさV_R〔V〕を，a，v，Bを用いて表せ。

(13) 時間Δtの間にICカードに加えている外力の大きさF〔N〕を，a, B, R, V_Rを用いて表せ。

次に，ICカード全体をカードリーダーの磁場中に静置し，磁束密度Bを図4のように変化させた。

(14) 時刻0からT〔s〕の間に抵抗Rで発生するジュール熱q〔J〕を，a，B_0〔T〕, R, Tを用いて表せ。

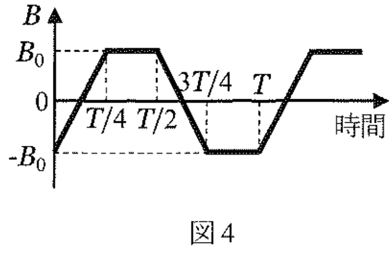

図4

第３問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1)，(2)，・・・，(14) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。

[A] 図１のように，断面積 S〔$\mathrm{m^2}$〕のシリンダーを鉛直に立て，質量 M〔kg〕のなめらかに動くピストンを置いた。シリンダー内には圧力 p_1〔Pa〕，温度 T_1〔K〕の単原子分子理想気体が入っていて，大気圧を p_0〔Pa〕とする。はじめ，ピストンの上面はシリンダーの上端と同じ位置にあり，ピストンの下面は底面からの高さ a〔m〕にあった。このとき，大気圧がピストンを押す力，理想気体がピストンを押す力，およびピストンにはたらく重力はつり合っている。なお，重力加速度の大きさを g〔$\mathrm{m/s^2}$〕とする。

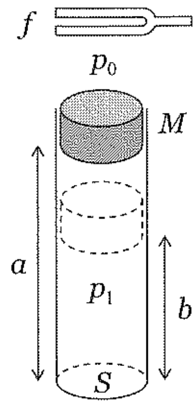

図1

(1) 理想気体の圧力 p_1 を，g, p_0, M, S を用いて表せ。

シリンダーの上部に振動数 f〔Hz〕の音を発するおんさを置いた。理想気体の温度を T_1 からゆっくり下げたところ，ピストンが下方に移動し，温度が T_2〔K〕になったときにピストン上部で気柱の固有振動が初めて起きた。このとき，図１の破線に示すように，ピストンの下面の底面からの高さは b〔m〕であった。ただし，大気中の音速は常に V〔m/s〕とし，音波はピストンの運動に影響を与えず，理想気体に伝わらないものとする。開口端補正は無視する。

(2) 音波の波長 λ〔m〕を，f, V を用いて表せ。

(3) 高さ b を，λ, a を用いて表せ。

(4) 温度 T_2 を，a, b, T_1 を用いて表せ。

(5) 温度が T_1 から T_2 まで変化する間に理想気体がされた仕事 W〔J〕を，a, b, p_1, S を用いて表せ。

(6) 温度が T_1 から T_2 まで変化する間に理想気体が放出した熱量 Q〔J〕を，a, b, p_1, S を用いて表せ。

その後，理想気体の温度を T_2 に保ったまま，シリンダーをゆっくりと水平まで傾けるとピストンはゆっくりと移動し，図２のようにピストンが静止した。同じおんさをシリンダーの開口部付近に動かしたところ，固有振動は起こらなかった。

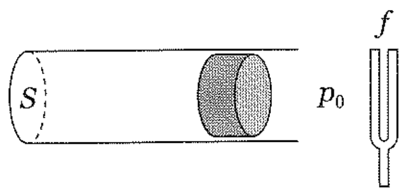

図2

(7) この間の理想気体の内部エネルギーの変化 ΔU〔J〕を求めよ。

続けて，シリンダーを水平にしたまま，理想気体の温度をさらに下げていくと，温度が T_3〔K〕になったときに初めて固有振動が起きた。開口端補正は無視する。

(8) 温度 T_3 を，p_0, p_1, T_2 を用いて表せ。

[B] 図 3 のように断面積 S〔m^2〕のピストン付きシリンダーを横向きに置く。シリンダー内には単原子分子理想気体が入っており，分子の数は N 個，分子 1 個の質量は m〔kg〕である。ピストンはシリンダー左端から距離 c〔m〕の位置にある。シリンダーと平行に x 軸をとり，ピストンの左の面は x 軸に垂直である。分子の x 軸方向の運動のみを考え，分子同士の衝突は無視する。

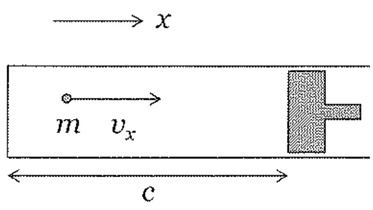

図3

はじめ，ピストンは固定されており，すべての分子が x 軸方向に同じ速さ v_x〔m/s〕で往復運動しているとする。

(9) 1 個の分子がピストンと弾性衝突をしたとき，分子がピストンに与える力積の大きさ A〔N·s〕を，m, v_xを用いて表せ。

(10) 1 個の分子が一度ピストンと衝突してから，次に再びピストンと衝突するまでの時間 Δt〔s〕を，c, v_x を用いて表せ。

(11) ピストンが分子 1 個から受ける力の大きさを，じゅうぶんに長い時間にわたって平均した値を F〔N〕とする。F を，$\Delta t, A$ を用いて表せ。

(12) 気体全体がピストンに及ぼす圧力 p〔Pa〕を，c, m, v_x, N, S を用いて表せ。

続いて，ピストンの固定をはずし，ピストンを外から押して，図 4 のようにゆっくりとした一定の速さ v_0〔m/s〕で x 軸の負の向きに距離 d〔m〕だけ動かした。d は c と比べて十分小さく，ピストンが動いている間の圧力の変化は無視でき，気体全体の状態は一様であるとする。

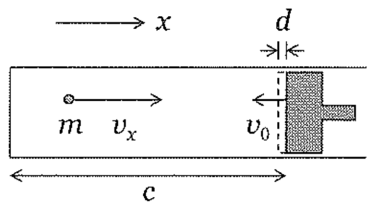

図4

x 軸の正の向きに速さ v_x で運動する分子がピストンと弾性衝突した直後の分子の速さを v_x'〔m/s〕とする。分子のピストンに対する相対速度の大きさは弾性衝突の直前と直後でそれぞれ $v_x + v_0$ と $v_x' - v_0$ であるから，$v_x' = \boxed{\text{ア}}$ である。よって，この衝突の前後において 1 個の分子の運動エネルギーは $\Delta E = \boxed{\text{イ}} + 2mv_0^2$〔J〕だけ増加する。ここで，$v_0$ が小さいため $2mv_0^2$ を無視すると，$\Delta E \fallingdotseq \boxed{\text{イ}}$ である。

また，ピストンが距離 d だけ移動するのにかかる時間 t_0〔s〕は $t_0 = d/v_0$ である。ここで，d が小さいので分子が往復にかかる時間 Δt は小問 (10) と同じで一定であるとみなすと，時間 t_0 の間に 1 個の分子がピストンに衝突する回数 Z は $Z \fallingdotseq t_0/\Delta t$ である。なお，分子の運動は非常に速いので，t_0 は Δt よりじゅうぶん大きい。

以上より，N 個の気体分子全体の運動エネルギーは時間 t_0 の間に $\boxed{\text{ウ}}$〔J〕だけ増加する。

(13) 空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ウ}}$ に当てはまる式を，c, d, m, v_x, v_0, N の中から適切な記号を用いて表せ。

一方，d が小さいので気体の圧力 p は小問 (12) と同じで一定であるとみなすと，気体がされた仕事 W'〔J〕は気体の体積変化 ΔV〔m^3〕を用いて $W' \fallingdotseq -p\,\Delta V$ と表せる。

(14) W' が $\boxed{\text{ウ}}$ に等しいことを示せ。