令 和 7 年 度

理　　　科

物　　理	1ページ～ 9ページ	
化　　学	10ページ～21ページ	
生　　物	22ページ～32ページ	

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは，中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は，物理(その1～その3)，化学(その1～その4)，生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

   解答を始める前に，自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお，受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。
4. 解答は，必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は，計算用紙として利用してもよい。

物　　　理

1 以下のⅠ，Ⅱにある(　ア　)から(　シ　)に適切な数式，数値，または語句を入れよ。必要ならば，設問中で指定された物理量のほか，プランク定数 h を用いよ。

Ⅰ．

(1) 電子は，質量が m で負電荷 $-e$(e は電気素量)をもつ粒子であるが，同時に波(物質波)としての性質ももつ(電子の二重性)。真空中で陰極に留まっていた電子が，陰極に対して陽極に電圧 V を加えたとき，陰極を離れ，速さ v で陽極に到達したとする。このとき，陽極に到達した電子の持つ運動量の大きさ p は，e，m，V を用いて，$p=$(　ア　)となる。また，陽極に到達した電子の物質波としての波長 λ は，e，m，V を用いて $\lambda=$(　イ　)と表される。

(2) X 線は光と同様に真空中を光の速さ c で進む電磁波であるが，同時に粒子(X 線光子)としての性質ももつ(光の二重性)。波長 λ の X 線は，エネルギー $E=$(　ウ　)をもつ X 線光子としてふるまう。図 1 は，波長 λ の入射 X 線が，静止している質量 m の電子にあたり，入射方向に対して角度 θ の方向に X 線が散乱し，角度 φ の方向に速さ v で電子がはね飛ばされることを示している。この様子は，X 線光子が電子と弾性衝突した状況とみなせる。粒子の衝突前後では，エネルギー保存の法則が成り立ち，衝突後の X 線光子のもつエネルギー E' は，c，m，v，λ を用いて $E'=$(　エ　)となる。

また，衝突前後では運動量保存の法則も成り立つ。衝突前の X 線光子のもつ運動量の大きさを p_{a}，衝突後の X 線光子のもつ運動量の大きさを p_{b} とすると，衝突後の電子の運動量の大きさ p は，p_{a}，p_{b}，θ を用いて $p=$(　オ　)と表される。また，p は，θ 方向に散乱した X 線の波長を λ' とすると，λ，λ'，θ を用いて，$p=$(　カ　)と表される。

一方，(　エ　)の関係式より，p は，c，m，λ，λ' を用いて $p=$(　キ　)と表すことができる。波長 λ と波長 λ' の差を $\Delta\lambda=\lambda'-\lambda$ とすると，$\Delta\lambda$ は

非常に小さく$\dfrac{\lambda'}{\lambda}+\dfrac{\lambda}{\lambda'}\fallingdotseq 2$と近似できる。この近似式と(　カ　)，(　キ　)より，c，m，θを用いると，$\Delta\lambda=$(　ク　)が導かれる。X線が電子に衝突して散乱し，波長が変化する現象は，コンプトン効果と呼ばれる。

Ⅱ.

放射能をもつ一定量の原子核は，放射性崩壊によって時間とともに一定の割合で減少する。時間$t=0$で放射能を持つ原子核の数をN_0とすると，$t=t$のときまでに崩壊する原子核の数は，半減期をTとして，(　ケ　)と表せる。放射性セシウム原子核${}^{137}_{55}\mathrm{Cs}$の半減期は30.08年である。半減期を30年として計算すると，放射性セシウム原子核N_0個のうち90年後に(　コ　)%が残っている。なお，放射性セシウム原子核の放射性崩壊はβ崩壊である。β崩壊過程では原子核内の中性子1個が(　サ　)と(　シ　)に変わる。このときに放出される(　シ　)の流れがβ線である。

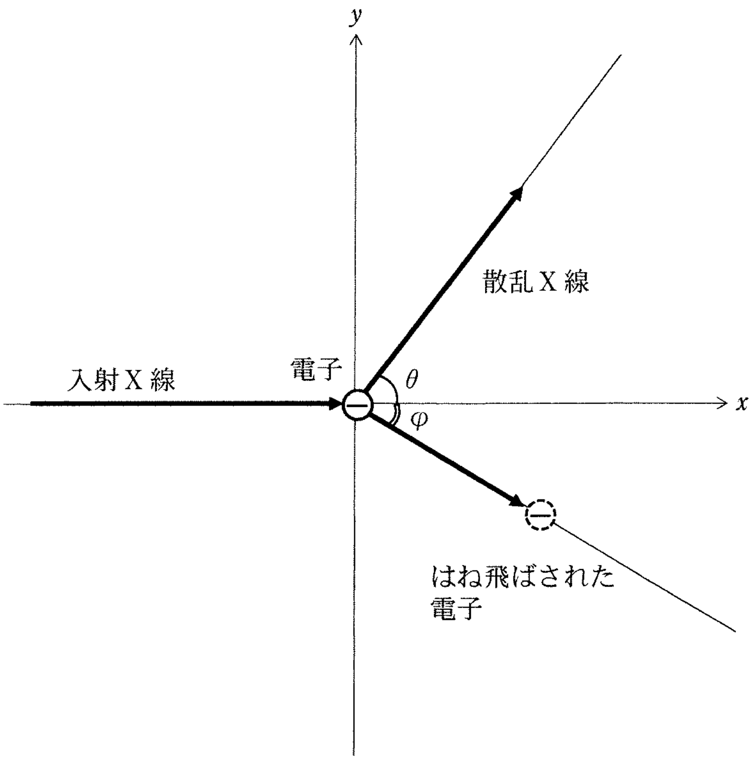

図1

2 図2のように，一辺の長さが 2ℓ の正方形の枠 abcd を導線で作り，辺 cd に抵抗値 $2R$ の抵抗 R_A を挿入し，辺 bc の中点 m と辺 ad の中点 n の間に抵抗値 R の抵抗 R_B を接続した(これを回路 abcd とする)。

水平面内に x 軸，y 軸をとる。領域 $0 \leqq x$ には，磁束密度の大きさが B で鉛直上向きの一様な磁場があり，領域 $x < 0$ の磁束密度はゼロである。

いま，回路 abcd を水平面($x < 0$)におき，辺 bc を x 軸に平行に保って x 軸の正方向に一定の速さ v で動かす。このとき，以下の問いに答えよ。ただし，辺 ab が y 軸($x = 0$)に達したときの時刻を $t = 0$ とする。また，導線の太さ，および抵抗のサイズは ℓ と比べて十分に小さく，回路を流れる電流が作る磁場の影響は無視できるものとする。回路 abcd と水平面との間には摩擦はないものとする。

問 1　$0 \leqq t \leqq \dfrac{\ell}{v}$ のとき，次の(1)〜(4)について，それぞれ，B，ℓ，R，t，v のうち必要なものを用いて記せ。

(1)　正方形の回路 abcd を貫く磁束

(2)　点 a を基準とする点 b の電位

(3)　cd 間を流れる電流の大きさ

(4)　mn 間を流れる電流の大きさ

問 2　$\dfrac{\ell}{v} \leqq t \leqq \dfrac{2\ell}{v}$ のとき，次の(1)，(2)について，それぞれ，B，ℓ，R，t，v のうち必要なものを用いて記せ。

(1)　正方形の回路 abcd が磁場から受ける力の x 成分

(2)　抵抗 R_A，および抵抗 R_B で消費される電力の和

問 3　$\dfrac{\ell}{v} \leqq t \leqq \dfrac{2\ell}{v}$ のとき，正方形の回路 abcd を一定の速さ v で動かし続けるためには，外部から力を加えて仕事をする必要がある。この仕事を B，ℓ，R，t，v のうち必要なものを用いて記せ。

問 4　問 2 の(2)で求めた電力の和と問 3 で求めた仕事にはどのような関係があるか，簡潔に述べよ。

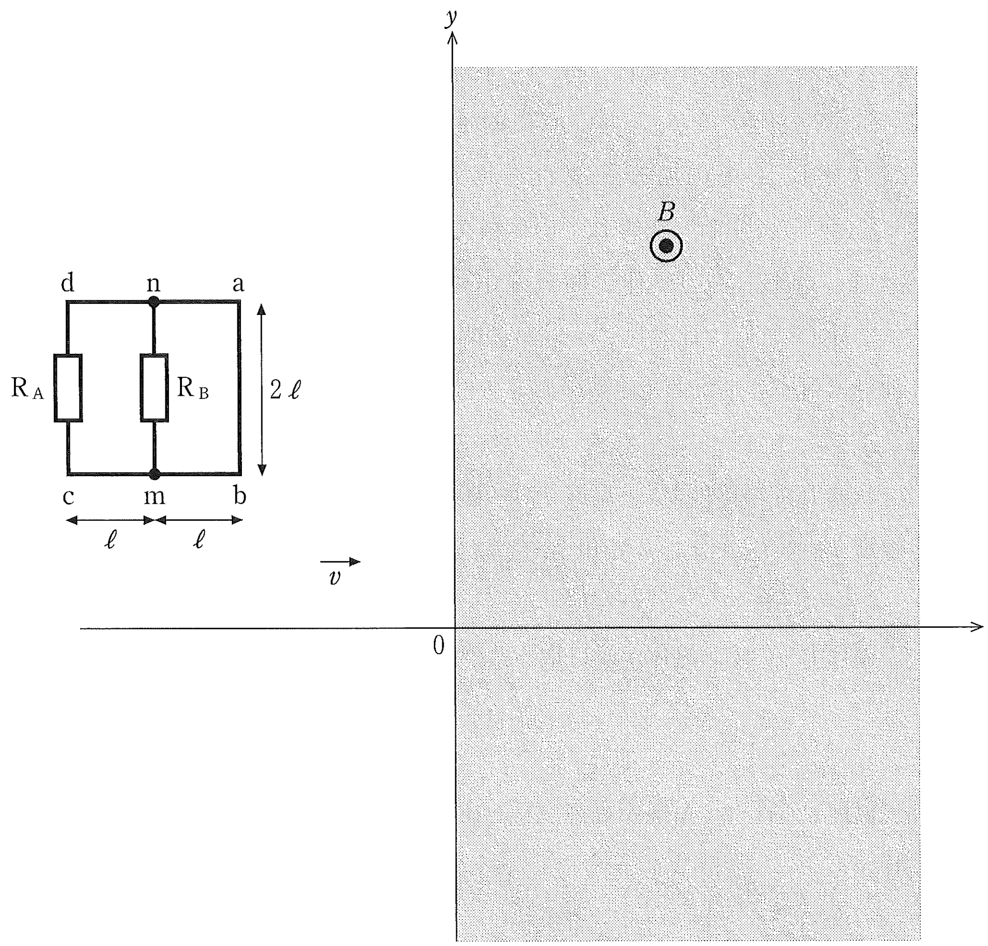

図 2

3 ピストンのついたシリンダーに1モルの単原子分子理想気体を閉じ込めた熱機関を考える。最初，気体の温度を T_A，体積を V_A としてこれを状態Aとした。この気体の状態を，図3に示すようにA→B→C→D→Aの経路でゆっくり変化させた。過程A→BおよびC→Dはともに断熱変化であり，過程B→CおよびD→Aはともに定圧変化である。状態AおよびDでの圧力を p_1，状態BおよびCでの圧力を p_2 とし，p_1 に対する p_2 の比を $\dfrac{p_2}{p_1} = \alpha (> 1)$ とする。また，状態B，Cでの温度をそれぞれ T_B，T_C とし，T_B に対する T_C の比を $\dfrac{T_C}{T_B} = \beta (> 1)$ とする。状態Bでの体積を V_B，気体定数を R として以下の問いに答えよ。なお，この気体の断熱変化においては，圧力 p，体積 V の間に，$pV^{\gamma} =$ 一定(ただし，比熱比 $\gamma = \dfrac{5}{3}$)の関係が成り立つ。ここで比熱比は，定積モル比熱に対する定圧モル比熱の比である。

問 1　状態Bでの体積 V_B と温度 T_B を求め，体積 V_B を V_A および α を用いて，温度 T_B を T_A および α を用いてそれぞれ表せ。

問 2　過程B→Cで，気体が受け取った熱量を求め，R，T_B および β を用いて表せ。

問 3　過程C→Dで，気体が外部にした仕事を求め，R，T_C および α を用いて表せ。

問 4　過程D→Aで，気体の内部エネルギーの変化を，増加する場合を正として求め，R，T_A および β を用いて表せ。

問 5　この熱機関1サイクルで，気体が外部にした仕事の総量を求め，R，T_A，α および β を用いて表せ。

問 6　この熱機関の効率(熱効率)を求め，α および β のうち必要なものを用いて表せ。

問 7　$T_A = 300.0\,K$，$T_B = 690.0\,K$ および $T_C = 1380\,K$ であるならば，この熱機関の効率の値はいくらか，有効数字 3 桁で求めよ。

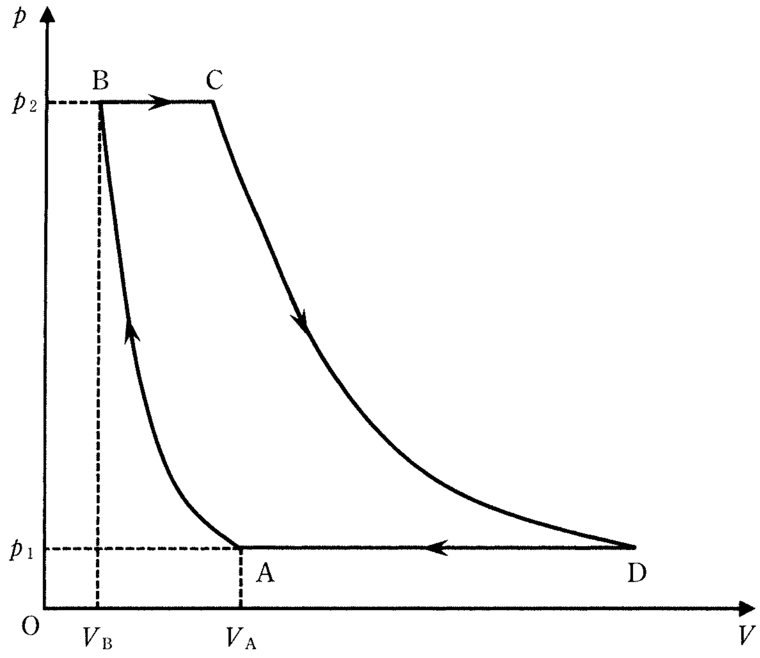

図 3

4

図4－1のように，直角三角形ABCを鉛直断面にもつ台が水平面に固定されている。直角三角形ABCは，AB間の長さが$5L$，AC間の長さが$3L$である。この台の斜面の点Oを原点とし，OBに沿ってx軸を，OPに沿ってy軸をとる。なお，図4－1においてx軸およびy軸を示す矢印の向きを正とする。

いま，原点Oから質量mの小球が初速度v_0で斜面に沿って動き出した。このときの小球の初速度v_0の向きとx軸とのなす角はθであった。xy平面上を運動する小球について，重力加速度の大きさをgとして以下の問いに答えよ。ただし，小球の運動はxy平面上に限られ，小球が原点Oを動き出してからx軸上のある点に到達するまで斜面から飛び出さないものとする。また，小球と斜面との間の摩擦はなく，空気抵抗の影響は無視できる。

問 1　小球の加速度のx成分を求めよ。

問 2　小球の加速度のy成分をm，v_0，g，θのうち必要なものを用いて表せ。

問 3　小球の位置エネルギーが最大となるとき，小球の位置エネルギーをm，v_0，g，θのうち必要なものを用いて表せ。

問 4　原点Oから動き出した小球がある時刻にx軸上のQ点に到達した。OQ間の距離をm，v_0，g，θのうち必要なものを用いて表せ。

図4－2のように，図4－1の台の固定をはずし，水平面上を滑らかに動くことができるようにした。斜面上の直交座標の x 軸，y 軸は図4－1と同様である。また，水平面上に固定した直交座標として，x 軸と平行な X 軸，x 軸に垂直で水平面に対して平行な Y 軸を図4－2に示すように定義する。

いま，台が静止している状態で，原点Oから質量 m の小球が初速度 v_0 で斜面に沿って動き出したところ，小球が斜面上を運動している間，台は水平面上の直交座標に対して速度 V，加速度 A で運動した。このときの小球の初速度 v_0 の向きと x 軸とのなす角を θ，台の質量を M として，以下の問いに答えよ。ただし，X 軸および Y 軸を示す矢印の向きを正とする。また，小球の運動は xy 平面上に限られ，小球が原点Oを動き出してから x 軸上のある点に到達するまで斜面から飛び出さないものとする。また，小球と斜面および台と水平面との間の摩擦はなく，空気抵抗の影響は無視できる。

問 5　水平面上の直交座標に対する台の加速度の X 成分を求めよ。

問 6　水平面上の直交座標に対する台の加速度の Y 成分を M，m，v_0，g，θ のうち必要なものを用いて表せ。

問 7　斜面上の直交座標に対する小球の加速度の x 成分を求めよ。

問 8　斜面上の直交座標に対する小球の加速度の y 成分を M，m，v_0，g，θ のうち必要なものを用いて表せ。

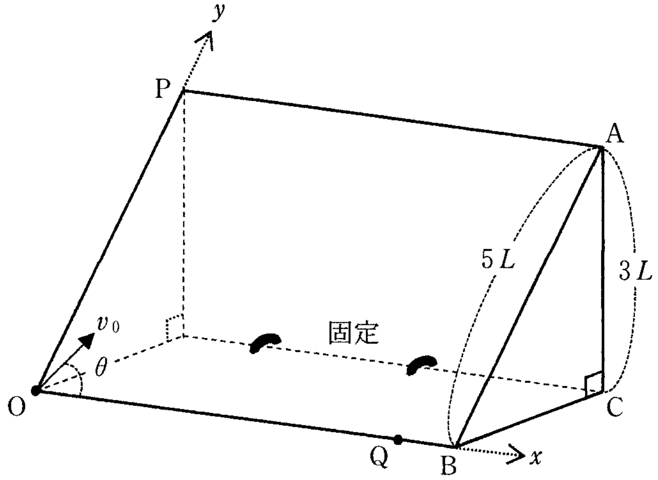

図 4 — 1

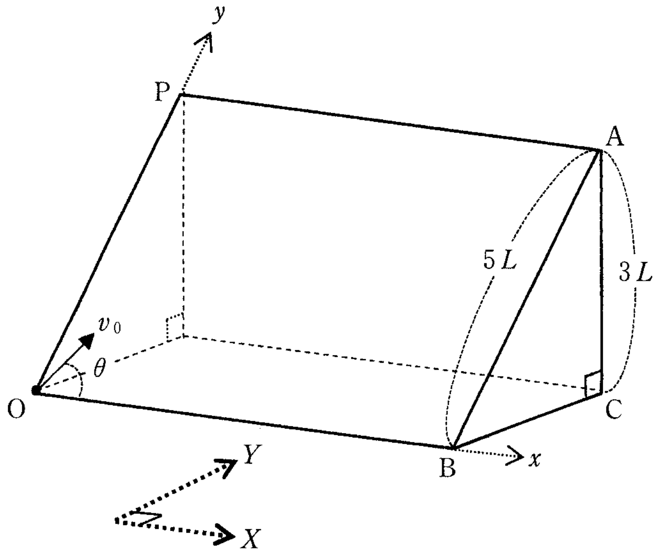

図 4 — 2