前期日程

令和７年度個別学力試験問題

物　　理

（理　工　学　部）

解答時間　　90分

配　　点　　200点

注意事項

1. 解答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. 問題は $\boxed{1}$ から $\boxed{4}$ まであります。
3. 問題中の物理量は特にことわらない限り国際単位系(SI)を使って表されています。
4. 受験番号を解答用紙の所定の欄に記入してください。
5. 解答は解答用紙の指定された解答欄に記入してください。
6. 問題冊子及び解答用紙の印刷不鮮明，ページの落丁及び汚損等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。
7. 問題冊子及び計算用紙は持ち帰ってください。

1 **図1—1**に示すように，箱に車輪を取り付けた台車を考える。図のように箱の天井の点Aを支点とし先端が質量mのおもりで他は質量を無視できる棒振子を設置した。支点では摩擦はなく，振子は鉛直面内を自由に回転でき，空気抵抗はないものとする。振子の長さはl_0で，鉛直軸からの傾き角は反時計まわりを正，時計まわりを負とする。支点Aから長さl_1の位置で棒に糸を接続し，糸の反対側を天井に固定した。そのとき，図に示すように，振子の傾き角は$\theta_1(>0)$，糸の天井からの角度の大きさはϕ_1であった。振子の傾き角は十分小さく，糸は伸びないとし，糸の張力をT，重力加速度の大きさをg，円周率をπとする。以下の問いに答えなさい。

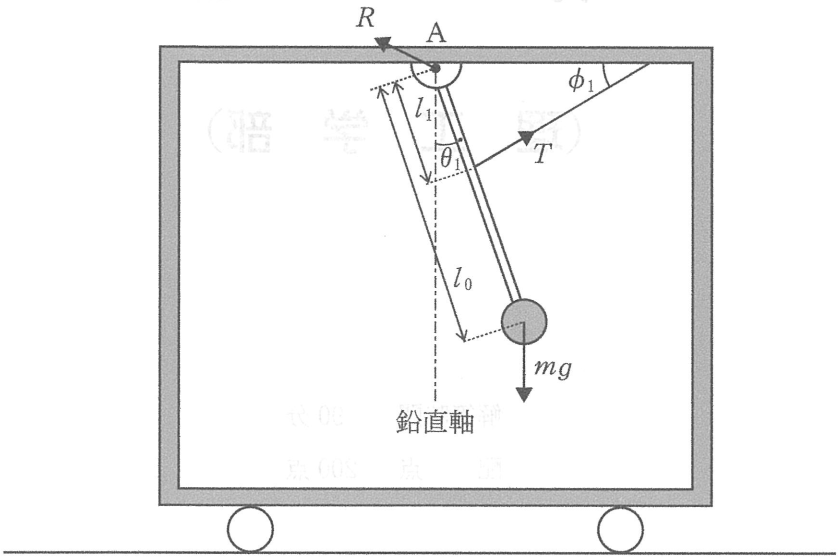

図1—1

問 1 台車の車輪が動かないように固定し，台車を静止させた。

(1) このときの支点Aまわりの力のモーメントのつり合いを表す式をT，m，g，l_0，l_1，θ_1，ϕ_1のうち，必要なものを用いて示しなさい。

(2) 支点Aで支える力Rの水平成分と垂直成分をそれぞれ，R_xおよびR_yとする。振子に働く力の水平成分と垂直成分のつり合いの式をそれぞれT，m，g，R_x，R_y，θ_1，ϕ_1のうち，必要なものを用いて示しなさい。

問 2 続いて，台車を一定の加速度で右向きに動かした。その加速度の大きさをaとする。以下では，箱の中から観測しているとする。

(3) このときの糸の張力Tをm，g，a，l_0，l_1，θ_1，ϕ_1のうち，必要なものを用いて求めなさい。

(4) このときの支点Aで支える力Rの水平成分R_xと垂直成分R_yをT，m，g，a，θ_1，ϕ_1のうち，必要なものを用いて求めなさい。

問 3　台車が**問 2** で示した一定の加速度で移動中，突然糸が切れ，**図 1 — 2** の実線に示す状態になった。この後，振子は破線で示す位置 B まで振れ，周期 τ で往復運動を始めた。ただし，このときの振れ角は十分小さいとする。おもりに加わる重力と台車の加速度による慣性力の合力を f とし，f と鉛直軸のなす角の大きさを ϕ_2 とする。以下の各問いに答えなさい。

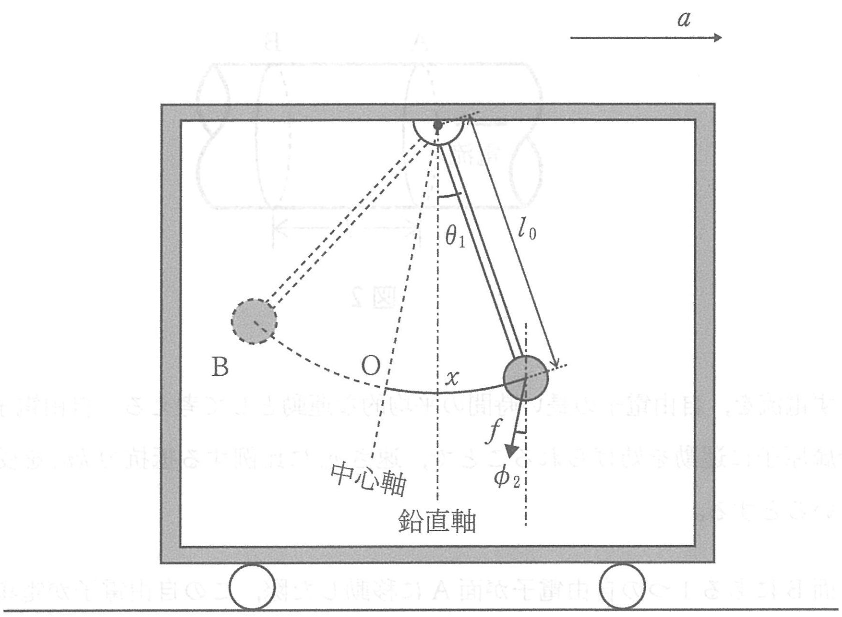

図 1 — 2

(5)　$\tan\phi_2$ の大きさを m，g，a，l_0，π のうち，必要なものを用いて求めなさい。

(6)　図に示すように周期 τ の往復運動の中心軸とおもりの円運動の円弧との交点 O からおもりまでの円弧に沿った距離を x とする。おもりの円運動の接線方向に作用する力 F を $F = Kx$ と表したとき，比例係数 K の値を m，g，a，l_0，π のうち，必要なものを用いて求めなさい。

(7)　おもりの振動の周期 τ を m，g，a，l_0，π のうち，必要なものを用いて求めなさい。

2 図2に示すように太さが一様な金属の導体に，時間によって変化しない一定の直流電流が流れている。この電流により導体中の距離 L 離れた面Aと面Bの間に電位差 V が生じている。電流は自由電子の運動により生じており，また自由電子は一様に分布して断面に対して垂直に運動している。自由電子の電気量を $-e(e>0)$，質量を m とする。

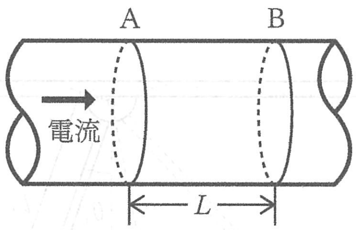

図2

問 1 まず電流を，自由電子の長い時間の平均的な運動として考える。自由電子は熱運動している金属原子に運動を妨げられることで，速さ v_a に比例する抵抗力 kv_a を受けて等速運動をしているとする。

(1) 面Bにある1つの自由電子が面Aに移動した際，この自由電子が電場よりされた仕事の大きさを L，V，e，m，k の中から必要なものを用いて表しなさい。

(2) 速さ v_a を L，V，e，m，k の中から必要なものを用いて表しなさい。

(3) 1つの自由電子が1秒間に電場よりされた仕事の大きさを L，V，e，m，k の中から必要なものを用いて表しなさい。

問 2 つぎに，自由電子の運動をより短い時間で観察すると，電場により加速されるが，金属原子と衝突して速度を失っていることがわかる。ここで，全ての自由電子は一定の時間間隔 T で金属原子と衝突し，衝突により速さは0に戻ると仮定する。

(4) 電場により自由電子が受ける加速度の大きさを L，V，e，m，T の中から必要なものを用いて表しなさい。

(5) 金属原子に衝突する直前の自由電子の速さ v_b を L，V，e，m，T の中から必要なものを用いて表しなさい。

問 3 定常電流状態では，**問1，2**で述べたように自由電子は電場より仕事をされるが，衝突により運動エネルギーを失うことで運動エネルギーは増加していないとみなすことができる。

(6) 金属原子に衝突する直前の自由電子の速さ v_b を L，V，e，m，k の中から必要なものを用いて表しなさい。

次のページにも問題があります。

3 **図3―1**のように，弦を滑車に通し，質量Mのおもりを用いて張った。ただし，弦はどこも均質でその密度は位置によらず一定であるとする。また，弦を伝わる波の速さは，弦を張る力の$\frac{1}{2}$乗に比例するものとする。2つの支点PとQの間の距離をlとするとき，以下の問いに答えなさい。

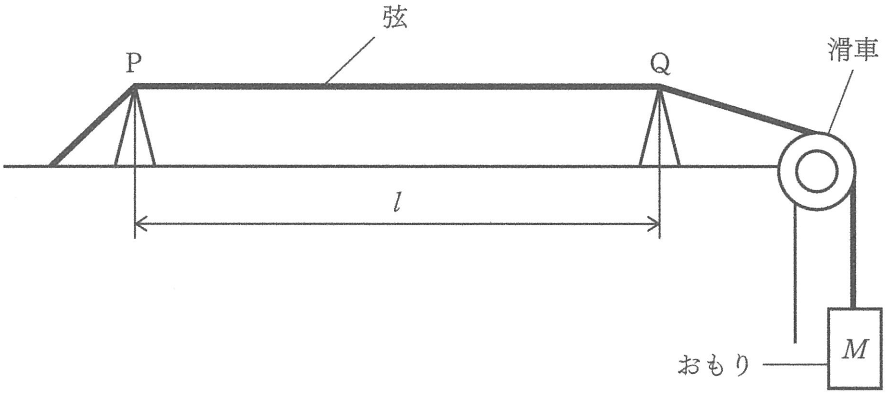

図3―1

問 1 この弦を弾くと，PQ間に振動数fの基本振動が観測された。以下の設問(1)から(4)に答えなさい。

(1) この弦に伝わる波の速さをlとfを用いて表しなさい。

(2) つぎに，弦のある点を指で軽く触れながら弦を弾くと，PQ間に3個の腹が観測された。この波の振動数をfを用いて表しなさい。

(3) さらに，質量M'のおもりにかえて，設問(2)と同様にして弦を弾くと，PQ間に3個の腹が観測されて，振動数が$2f$になった。このときの弦に伝わる波の速さをlとfを用いて表しなさい。

(4) 上の設問(3)のおもりの質量M'と元のおもりの質量Mの比$\frac{M'}{M}$を求めなさい。ただし，分数になる場合は約分すること。

問 2 つぎに，弦に定常波が生じる仕組みを考える。**図3―2**に示すようなPQ間を進むある波S_1について，点Pから$x\,(0 \leqq x \leqq l)$だけ離れた点の時刻tにおける変位y_1がつぎのように表されるものとする。

$$y_1 = A\sin\left(\frac{\pi n x}{l} - ct\right)$$

ただし，πは円周率であり，$A > 0$，$c > 0$，$n > 0$は定数である。なお，nは自然数とし，この波の速さをvとする。以下の設問(5)から(7)までの文章中と数式内にある空欄①から⑦までを，適切な数およびπ，c，l，nの中から必要なものを用いた数式で答えなさい。

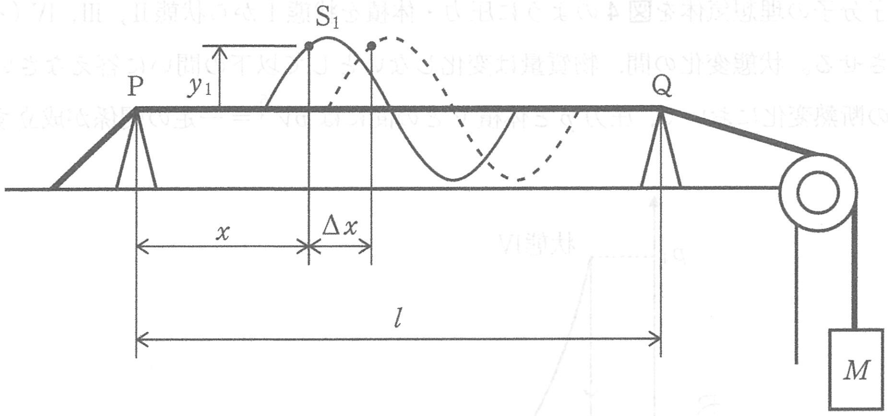

図3—2

(5)　時間が$\Delta t > 0$だけ経過すると，波S_1は$\Delta x > 0$だけ進み，**図3—2**の破線のような状態になった。このとき，時刻$t + \Delta t$での点$x + \Delta x$の変位y_1'は，$\Delta x = v\Delta t$より，

$$y_1' = A\sin\left\{\frac{\pi n x}{l} - ct + \left(\boxed{\text{①}}\ v - c\right)\Delta t\right\}$$

となる。$y_1' = y_1$がΔtについて恒等的に成り立つためには，$\boxed{\text{①}}\ v - c = 0$であればよい。よって，この波の速さは$v = \boxed{\text{②}}$と表される。なお，この波の周期は$T = \boxed{\text{③}}$である。

(6)　つぎに，波S_1の反射波S_2について考える。波S_2の点Pからxだけ離れた点の時刻tにおける変位y_2をつぎのように表す。

$$y_2 = A\sin\left(\frac{\pi n x}{l} + ct\right)$$

2つの波S_1とS_2は，振幅と周期が同じで，波の進む向きが互いに逆である。よって，2つの波を合成してできる波S_3は定常波を形成する。実際，2つの波を重ね合わせると，点Pからxだけ離れた点の時刻tにおける波S_3の変位y_3はつぎのように表される。

$$y_3 = y_1 + y_2 = \boxed{\text{④}}\ A\sin\left(\frac{\pi n x}{\boxed{\text{⑤}}}\right)\cos(ct)$$

これは時間が経過しても進行しない定常波を表している。

(7)　ところで，この定常波の波長はnの値によって決まる。PQ間を3：4に内分する点に節の一つがある定常波のうち，2番目に長い波長λ_2をもつ波が観測されるのは，$n = \boxed{\text{⑥}}$のときであり，そのときの波長は$\lambda_2 = \boxed{\text{⑦}}$である。

4 単原子分子の理想気体を**図 4** のように圧力・体積を状態Ⅰから状態Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ（そしてⅠ）の順に変化させる。状態変化の間，物質量は変化しないとして以下の問いに答えなさい。ただし，この場合の断熱変化において，圧力 p と体積 V との間には $pV^{\frac{5}{3}}=$ 一定の関係が成立するものとする。

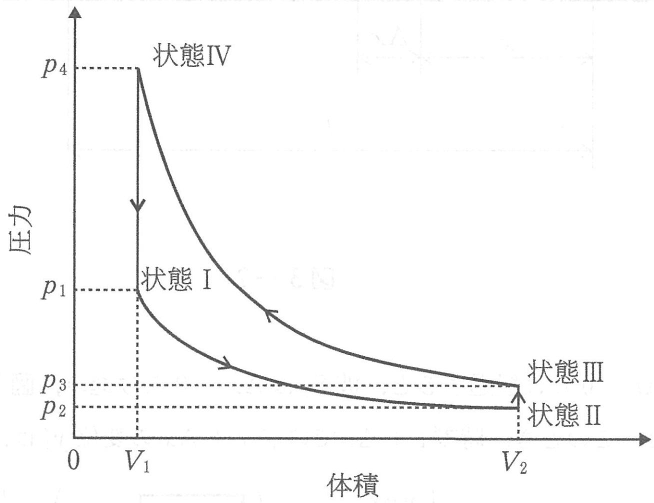

図 4

問 1 状態Ⅰにおける理想気体の圧力を p_1，体積を V_1，温度を T_1 とする。この気体が断熱膨張により圧力 p_2，体積 V_2 の状態Ⅱになったとする。

(1) 状態Ⅱの気体の温度 T_2 を V_1，V_2，T_1 を用いて表しなさい。

(2) この過程における内部エネルギーの増加 ΔU_{12} を p_1，V_1，V_2 を用いて表しなさい。

問 2 次に理想気体の体積は V_2 で一定のまま外部から熱を吸収し，圧力 p_3 になった（状態Ⅲ）。

(3) 状態Ⅲにおける理想気体の温度 T_3 を p_2，p_3，T_2 を用いて表しなさい。

(4) この過程で理想気体が外部から吸収した熱量 Q_{23} を p_2，p_3，V_2 を用いて表しなさい。

問 3 さらに理想気体は体積 V_1 まで断熱圧縮され，圧力は p_4 となった（状態Ⅳ）。その後，蓄えていた熱を外部に放出して状態Ⅰに戻った。

(5) 状態Ⅳの理想気体の温度 T_4 を p_1，p_4，T_1 を用いて表しなさい。

(6) 状態Ⅲから状態Ⅳの過程の間で理想気体が外部からされた仕事 W_{34} を p_4，V_1，V_2 を用いて表しなさい。

(7) 状態Ⅳから状態Ⅰの過程で理想気体が放出した熱量を Q_{41} とする。特別に $p_3=p_1$ の場合を考えれば，$\dfrac{Q_{41}}{W_{34}}$ は V_1，V_2 のみで表すことができる。このときの式を表しなさい。また V_1 が V_2 の $\dfrac{1}{8}$ に圧縮されるとしたとき，$\dfrac{Q_{41}}{W_{34}}$ の値を四捨五入して小数点以下第 2 位まで求めなさい。