物理

「解答上の注意」

問題に単位の指定がない場合，用いられる記号はＳＩ（国際単位系）単位に従っているものとする。各問いに対する解答では｛　｝内に記号が示されている場合には，その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は，各問いの指示に従って解答せよ。

第１問

図１のように水平な床と鉛直方向に原点 O を通る回転軸をとり，長さ L の透明な円筒を床に置く。回転軸に円筒の一端を固定し，ばね定数 k のばねをこの一端につなげる。ばねの反対の端には質量 m のおもり１をつなぐ。回転軸からおもり１までの距離を x とする。力を加えないときおもり１は $x = x_0$ の位置であった。重力の影響はなく，円筒の内側はなめらかであるものとする。以下の問いに答えよ。

問１　おもり１を回転軸に向かっておしこみ静かに離すと，おもり１は単振動をした。このときの単振動の周期 T を求めよ。

問２　おもり１を回転軸から x_0 の距離に静止させたのち，円筒を回転軸の周りに角速度 ω_0 で回転させたところ，おもり１は円筒の中を移動し回転軸から長さ x_1 の距離を保った。このときの角速度 ω_0 を求めよ。ただし，ω_0 は正であるとする。｛ m, x_0, x_1, k ｝

円筒の回転を止め，おもり１を距離 x_0 に再び静止させた。次に，図２のように伸びない軽い糸で質量 m' のおもり２とおもり１を結んだ。円筒の角速度を少しずつ増加させたところ，どちらのおもりも円筒の中で回転軸から遠ざかる方向に移動した。角速度が ω_1 のとき，おもり１とおもり２はたるみなく糸で結ばれ，おもり２が距離 L の位置に届いた。

問３　糸の長さを求めよ。｛ $m, m', \omega_1, x_0, k, L$ ｝

おもり２が距離 L の位置に届いた直後，おもり１の根元で糸が切れおもり２が飛び出した。糸が切れた後も角速度は ω_1 を保った。このとき，円筒の中でおもり１は単振動をした。

問４　糸が切れた後，おもり１にはたらく復元力 F は $F = -K(x - x_2)$ の形でかける。K と x_2 を求めよ。ただし $k > m\omega^2$ である。｛ m, ω_1, x_0, k ｝

問５　おもり１が振動する周期を求めよ。｛ m, ω_1, x_0, k ｝

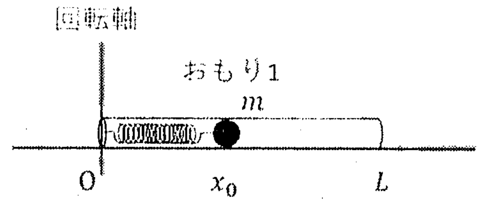

図１

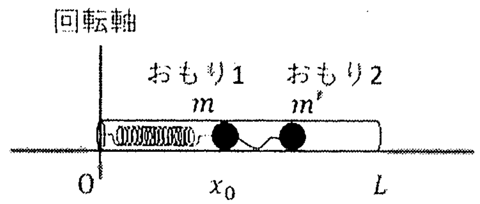

図２

第２問

図３に示すように，磁束密度 B の鉛直上向きの一様な磁場の中に，平行導線を距離 L だけへだてて水平に固定する。導体棒 ab を平行導線と直交するように置き，外から力を加えて矢印の方向に速さ v で動かす。図の cd 間には，スイッチ S，抵抗値 R の抵抗，電気容量 C のコンデンサーが直列に接続されている。ただし，平行導線と導体棒の電気抵抗は無視でき，初期状態ではコンデンサーに電荷はない。時刻 $t=0$ でスイッチ S を閉じると回路 abcd に電流が流れ始めた。以下の問いに答えよ。

問１　導体棒 ab に発生する起電力を求め，a, b 端のどちらが高電位となるか答えよ。

問２　$t=0$ のときコンデンサーに流入する電流 i_0 を求めよ。

問３　$t>0$ においてコンデンサーに流入する電流を i，コンデンサーに蓄えられた電気量を Q として，回路 abcd で成立するキルヒホッフの第２法則（電圧則）をあらわす式を書け。

充分時間が経過すると，コンデンサーに流入する電流 i はゼロになった。この状態を状態 A と呼ぶことにする。

問４　状態 A においてコンデンサーに蓄えられた電気量 Q_A を求めよ。

問５　次の文中の（ ア ）～（ ウ ）にはいる適切な数式を答えよ。

$t=0$ から状態 A になるまでに，導体棒 ab に生じた起電力による電位差を電荷が移動するのに必要な仕事 W_e は（　ア　）である。一方，状態 A でコンデンサーに蓄えられた静電エネルギー W_C は（　イ　）である。したがって，エネルギー保存の法則より，$t=0$ から状態 A になるまでに抵抗で発生したジュール熱 W_R は（　ウ　）となる。$\{B, C, L, R, v\}$

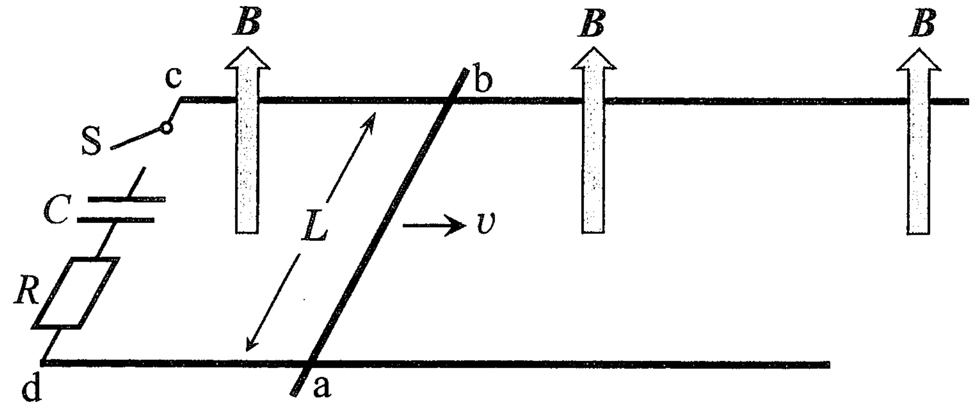

図３

第3問

両端を閉じた長さ $2L$，断面積 S のシリンダー内部に，なめらかに動く厚さの無視できる壁を取り付け，A 室および B 室に区切る（図4）。このシリンダーおよび壁は断熱材で作られており，A 室内の気体はヒーターにより加熱できるものとする。A 室およびB 室のそれぞれに，温度 T_0 の単原子分子理想気体 1 mol を封入すると，壁はシリンダーの中央に静止した（状態1）。次に A 室内の気体を加熱したところ，A 室内の気体の圧力が P_1 に上昇し，壁がシリンダーの中央より d（$< L$）だけ右に移動し静止した（状態2）。A 室内の気体が吸収した熱量 Q と壁の移動量 d の関係を求めたい。気体定数を R として，以下の問いに答えよ。

問1　状態1における気体の圧力 P_0 を求めよ。$\{T_0,\ R,\ S,\ L\}$

問2　加熱後，状態2における A 室内の気体の温度 T_1，および B 室内の気体の温度 T_2 を求めよ。$\{T_0,\ L,\ d,\ P_0,\ P_1\}$

問3　$\dfrac{P_1}{P_0}$ を求めよ。なお，単原子分子理想気体の断熱変化では，$\gamma = \dfrac{5}{3}$ として PV^{γ} = 一定 の関係が成り立つことが知られている。$\{L,\ d\}$

問4　状態1から状態2への変化で，A 室内の気体の内部エネルギーの変化 ΔU_A，および B 室内の気体の内部エネルギーの変化 ΔU_B を求めよ。$\{T_0,\ R,\ L,\ d\}$

問5　A 室内の気体が B 室内の気体に行なった仕事 W を使って，ΔU_A および ΔU_B をあらわせ。$\{Q,\ W\}$

問6　d を使った数式で Q をあらわせ。$\{T_0,\ R,\ S,\ L,\ d,\ W\}$

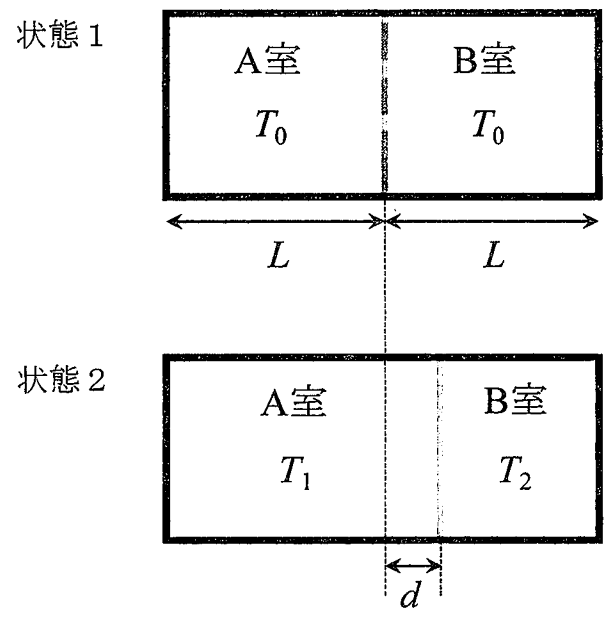

図4

第４問

図５のように，ガラス基板に細い溝（刻線）を等間隔 d で多数刻んだもの（回折格子）に光源からの平行光を垂直に入射し，光の回折実験を行った。光の干渉パターンはスクリーン上で観測する。回折格子からスクリーンまでの距離を L とする。以下の問に答えよ。

問１ 光源に波長 λ の単色可視光線を発するレーザーを用いたところ，スクリーンの原点 O から数えて１番目の明線が点 P で観測された。このとき，この回折光と入射光のなす角度 θ，波長 λ と刻線間の距離 d の間に成立する関係式を求めよ。

問２ OP 間の距離 y_1 を求めよ。また，２番目の明線と点 O との距離 y_2 も求めよ。ただし，$L >> y_1, y_2$ とし，$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ と近似する。$\{L, \lambda, d\}$

問３ この実験で 1 mm 当たり 20 本の刻線が刻まれた回折格子に波長 $\lambda = 5.32 \times 10^{-7}$ m のレーザー光を入射した。このとき $L = 1$ m のスクリーン上に現れる点 O から１番目の明線の位置は $y_1 = \boxed{(\ ア\ )} \times 10^{\boxed{(\ イ\ )}}$ m と計算される。（ ア ），（ イ ）に当てはまる数字を答えよ。（ ア ）の有効数字は３桁で答えること。

問４ レーザー光の代わりに単スリットを通した十分明るい白色光を回折格子に入射したところ，（ ウ ）の明るい帯が観測された。また，点 O から数えて１番目の帯の幅に比べて２番目の帯の幅は（ エ ）倍になった。（ ウ ）に入る適切なものを次の (A)～(C) から選び，（ エ ）に入るべき数字を答えよ。ただし，問2の近似条件は成り立っている。

(A) 点 O に近い方から　赤 → 紫　の順の虹色

(B) 点 O に近い方から　紫 → 赤　の順の虹色

(C) 白色光

問５ 実際には図６のような反射型回折格子が使われることが多い。図のようにこの回折格子に波長 λ の平行光を角度 α で入射させた。このとき，反射角 α の方向に対応するスクリーン上の点 O から数えて１番目の明線が反射角 β の方向に対応する点 P に観測された。このとき，$\alpha, \beta, d, \lambda$ が満たすべき関係式を求めよ。その際，導出過程も記述せよ。ただし，$\beta > \alpha > 0$ とする。

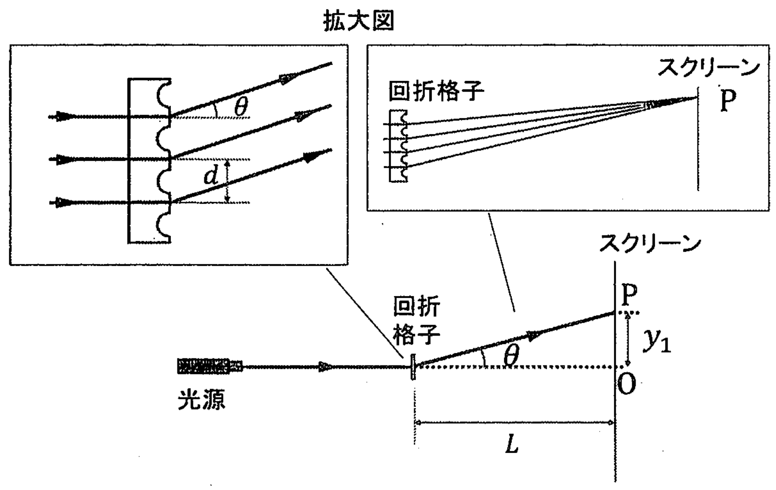

図５

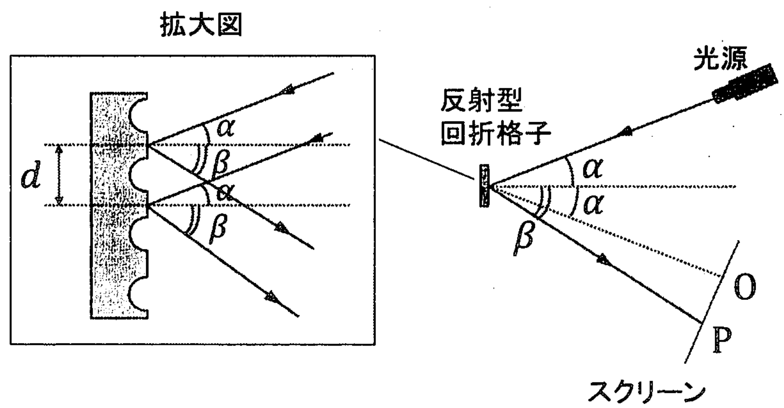

図６