物　理

Ⅰ　問いに答え，空所を埋めよ。 ウ ， エ は選択肢{　　}の中から適切なものを選び，その記号を答えよ。（配点 60）

ばね定数 k，自然長 ℓ の軽いばねがある。重力加速度の大きさを g とする。

（１）　図１のように天井からばねをつるし（図１(a)），その下端に質量 m の小球をつなげたところ，小球にはたらく力がつり合い，ばねが伸びた状態で小球は静止した（図１(b)）。

問１　ばねの自然長からの伸びを g, k, m を用いて表せ。

この状態から小球に外力を加えて鉛直下向きにゆっくり引っ張り，問１で求めた伸びと同じ距離だけ下げ，その位置で小球を静止させた（図１(c)）。図１の(b)から(c)の過程で小球にされた仕事の総和は０であるが，その内訳を考察しよう。

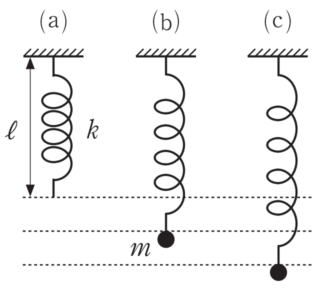

図１

問２　この過程で重力が小球にした仕事を g, k, m を用いて表せ。

問３　この過程でばねの弾性力，および外力が小球にした仕事は，それぞれ問２で求めた値の何倍になるか，以下の選択肢から１つずつ選んで答えよ。

$$\left\{\ \frac{5}{2},\ 2,\ \frac{3}{2},\ 1,\ \frac{1}{2},\ 0,\ -\frac{1}{2},\ -1,\ -\frac{3}{2},\ -2,\ -\frac{5}{2}\ \right\}$$

次に，図１(c)の状態において小球を静かにはなしたところ，小球は鉛直方向に振動を始めた。小球をはなした時刻を $t = 0$ とする。

問４　小球が振動の中心にあるときのばねの長さを表す図を，図１の(a),(b),(c)から１つ選び，その記号を答えよ。

問５　振動している小球の速さの最大値を g, k, m を用いて表せ。

問６　小球の速さが問５で求めた値になる５回目の時刻を k, m を用いて表せ。

（２）　図２のように，点Ｏを中心とする十分に広い水平な円板があり，円板に垂直な細い軸が点Ｏを通っている。（１）のばねと小球を円板上に置き，ばねの他端は点Ｏの軸に固定した。ばねは軸から離れる方向にのみ伸び縮みできる。小球と円板の間の静止摩擦係数を μ とする。ばねと円板の間の摩擦は無視できるとする。

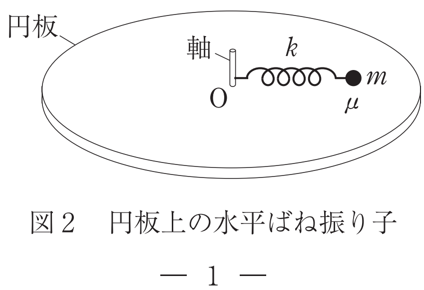

図２　円板上の水平ばね振り子

はじめ，円板は静止している。点Oからある距離に小球を置いて静止させた。ここでは小球にはたらく静止摩擦力として点Oと小球を結ぶ線上の方向のみを考える。小球が円板から受ける垂直抗力の大きさは $\boxed{\text{ア}}$ である。円板上で小球が静止できる点Oからの最長の距離は g, k, m, ℓ, μ を用いて $\ell + \boxed{\text{イ}}$ と表される。

次に，小球を点Oからの距離が ℓ より長く，上記の最長距離より短い位置に置いて静止させた。このとき小球にはたらく静止摩擦力は $\boxed{\text{ウ}}$ ｛a：点Oから離れる，b：点Oへ向かう｝向きである。このときの小球の点Oからの距離を r とする。ばねの伸びは $r - \ell$ となる。

円板を点Oを通る軸の回りに回転させ始め，その角速度をゆっくりと増加させた。小球も常に円板とともに同じ角速度で回転するとする。ある角速度に達したところで，距離 r にある小球は円板上を滑り出した。滑り出す直前に小球にはたらく静止摩擦力は $\boxed{\text{エ}}$ ｛a：点Oから離れる，b：点Oへ向かう｝向きである。

ここで円板の角速度を考察しよう。距離 r にある小球が滑り出す前に，小球にはたらく静止摩擦力が0になるときがある。このときの円板の角速度 ω_0 は k, m, ℓ, r を用いて次式となる。

$$\omega_0 = \sqrt{\boxed{\text{オ}}}$$

また，小球が滑り出す直前の円板の角速度 ω_1 は g, k, m, ℓ, μ, r を用いて次式となる。

$$\omega_1 = \sqrt{\boxed{\text{オ}} + \boxed{\text{カ}}}$$

以上の考察から，小球にはたらく静止摩擦力が円板の角速度 ω に対してどのように変化するのか考えよう。小球が滑り出すまでの静止摩擦力を $f(\omega)$ として，点Oから離れる向きを正とする。$f(\omega)$ は m, r, ω, ω_0 を用いて次式で表される。

$$f(\omega) = mr \times \left(\boxed{\text{キ}} \right)$$

問7　$\omega_1{}^2 = \dfrac{9}{4}\omega_0{}^2$ と設定する。上式で求めた $f(\omega)$ のグラフを描いてみよう。$\dfrac{f(\omega)}{mr}$ を縦軸に，ω^2 を横軸にして解答欄の図に実線で描け。横軸の範囲は0から $\omega_1{}^2$ とする。図3は解答欄と同じ図である。ここで，縦軸と横軸の1マスの幅はともに $\dfrac{\omega_0{}^2}{4}$ を表している。

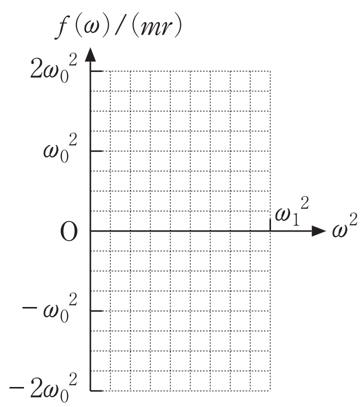

図3

Ⅱ 問いに答え，空所を埋めよ。 $\boxed{\text{エ}}$ は選択肢{　　}の中から適切なものを選んで答えよ。 $\boxed{\text{カ}}$ は語句で埋めよ。数値を問われているときは，有効数字２桁で答えよ。(配点 45)

図１のように，抵抗値 R〔Ω〕と r〔Ω〕の抵抗，電気容量 C〔F〕のコンデンサー，およびスイッチで構成された回路について考える。導線の抵抗は無視できるとする。

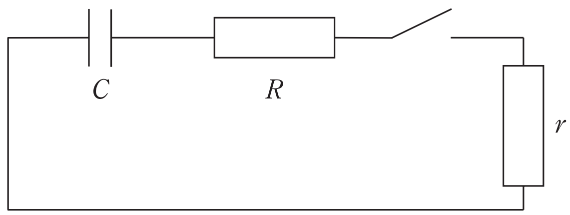

図１

（１） はじめスイッチは開いており，コンデンサーに Q_0〔C〕の電気量が蓄えられていた。

問１　コンデンサーの極板間の電位差を V_0〔V〕とする。V_0 を Q_0 と C を用いて表せ。

問２　コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを Q_0 と C を用いて表せ。

次に時刻 $t = 0$ においてスイッチを閉じたところ，コンデンサーが放電し，回路に電流が流れた。

スイッチを閉じた直後，コンデンサーが蓄えている電気量は Q_0 である。また，２つの抵抗は直列接続されており，コンデンサーの極板間の電位差と等しい電圧が加わる。よって，この瞬間に回路に流れる電流の大きさ I_0〔A〕は $I_0 = \dfrac{V_0}{\boxed{\text{ア}}}$ となる。

その後，時刻 $t = \Delta t$〔s〕までに減少したコンデンサーの電気量の大きさを ΔQ〔C〕とする。Δt が十分小さく，この間電流が時間によらず一定値（$= I_0$）とみなせるならば，$\Delta Q = I_0 \times \boxed{\text{イ}}$ となる。

ここで，コンデンサーが蓄えている電気量 Q〔C〕が，その後も同じ割合 $\left(= \dfrac{\Delta Q}{\Delta t}\right)$ で減少し続ける仮想的な状況を考えよう。この場合，Q の時間変化は図２の破線のようになる。放電が終了して $Q = 0$ になる時刻を $t = \tau$〔s〕とすると，τ は R, r, C を用いて $\tau = \boxed{\text{ウ}}$ と表される。

このように求めた τ は時定数とよばれ，放電に要する時間の目安として用いられている。

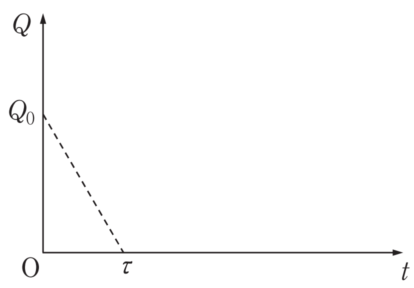

図２

現実には，放電にともないコンデンサーの極板間の電位差は徐々に低下し，電流の大きさはI_0から次第に減っていく。したがって，放電が終了するまでの実際の時間は，$\boxed{\text{　ウ　}}$から見積もられるτの値と比べて$\boxed{\text{エ}}${短くなる，同じになる，長くなる}。

問３　コンデンサーが放電するときのQとtの関係を表すグラフの概形として，もっともふさわしいものを図３の(a)～(f)から１つ選び記号を答えよ。

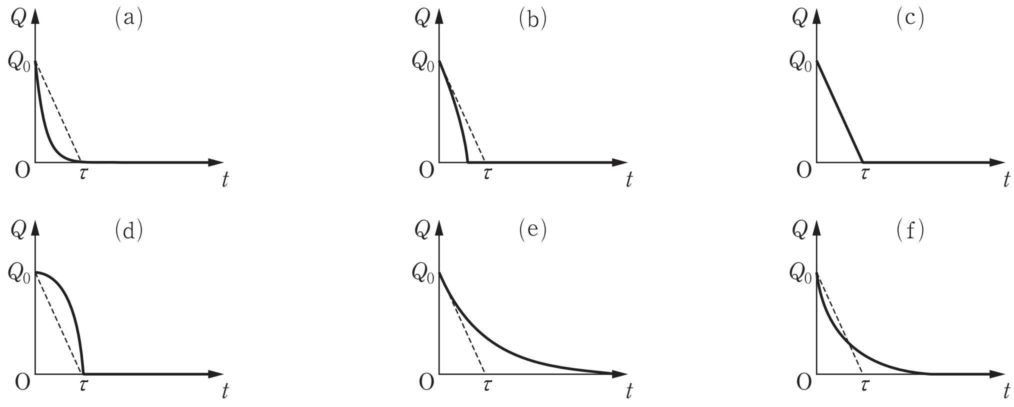

図３

放電の過程において２つの抵抗に流れる電流の大きさは常に等しいことから，rの抵抗での消費電力はRの抵抗での消費電力の$\boxed{\text{　オ　}}$倍の大きさをもつ。コンデンサーの静電エネルギーは，すべて２つの抵抗で発生する$\boxed{\text{　カ　}}$へと変換され，最終的にゼロとなる。

（２）　歩行時の摩擦などによって人が電気を帯びることがある（静電気）。このとき人体と地面は，図４(a)のように電荷を蓄えるコンデンサーとみなせる。その放電について（１）で調べた回路をもとに考察してみよう。図４(b)に示すように，人体と接地（アース）との間の電気容量を$C = 1.0 \times 10^{-10}$ F，人体の抵抗値を$R = 1.5 \times 10^{3}\ \Omega$とし，抵抗値$r$の外部抵抗を介して人体をアースに接続することを考える。

問４　スイッチを閉じる前，コンデンサーに$Q_0 = 5.0 \times 10^{-7}$ C の電気量が蓄えられていたとする。このときのコンデンサーの極板間の電位差を求めよ。

問５　$r = 0$として，スイッチを閉じた。このときの時定数τの値を求めよ。

人体に蓄えられた静電気が放電する際，痛みを感じることがあるが，電荷をゆっくり放電させて電流の大きさを抑えることで，ショックを和らげることができる。

問６　時定数τの値が1.0×10^{-4} s より大きくなるような，rの範囲を示せ。

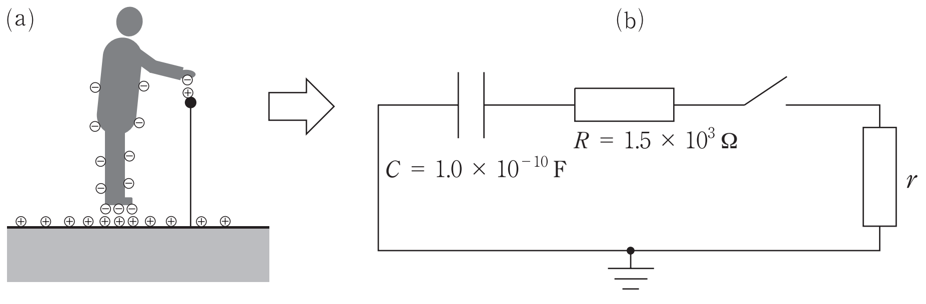

図４

$\boxed{\text{Ⅲ}}$ 空所を埋め，問いに答えよ。$\boxed{\quad\text{ア}\quad}$，$\boxed{\quad\text{イ}\quad}$，$\boxed{\quad\text{エ}\quad}$ は数値で答えよ。$\boxed{\text{オ}}$ と $\boxed{\text{カ}}$ は選択肢{　　}の中から適切なものを選んで答えよ。（配点 45）

空気とガラスの屈折率（絶対屈折率）をそれぞれ1.0，1.5とし，真空中の光の速さを 3.0×10^{8} m/s とする。

（1） 真空中からガラスの中へ，真空中での波長が 6.0×10^{-7} m の光が入射した。ガラスの中での光の速さは $\boxed{\quad\text{ア}\quad}$ であり，ガラスの中での光の振動数は $5.0 \times 10^{\boxed{\text{イ}}}$ Hz である。

（2） 図1に示すように，空気中で，厚さが一定で十分に厚い2枚の平面ガラスA, Bを片側で接触させた。接触位置を原点Oとし，ガラスBの上面に沿って水平に x 軸をとり，その面に垂直に y 軸をとる。Oから距離 L だけ離れた位置に厚さ D の薄い紙をはさむ。真上から波長 λ の光を当てて，上から反射光を観察すると，干渉縞が見えた。x 軸上の位置 x にある点Pでの空気層の厚さを d とし，Pの直上のガラスAの下面の点をQとする。

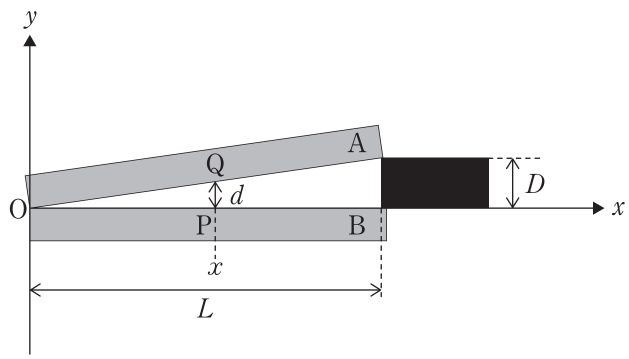

図1

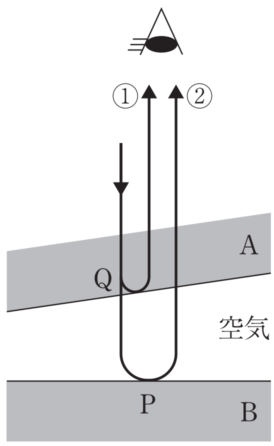

図2

図2に，ガラスAのQで反射する光①とガラスBのPで反射する光②をそれぞれ矢印（⟶）で示す。

問1　反射による光の位相の変化について正しい文章を以下から選び記号で答えよ。

(a) Qで反射する場合にのみ位相が反転する。

(b) Pで反射する場合にのみ位相が反転する。

(c) Qでの反射とPでの反射の両方で位相が反転する。

(d) Qでの反射とPでの反射のどちらでも位相は変化しない。

光①と光②の経路差は $2d$ となる。光①と光②とが干渉して弱め合う条件は，干渉の次数を $m(m = 0, 1, 2, \cdots)$ として

$$2d = \boxed{\quad\text{ウ}\quad}$$

と表され，この条件を満たすとき，上から観察すると暗線になる。

問２　暗線が見える位置 x が $\dfrac{mL\lambda}{2D}$ となることを示せ。

したがって，隣り合う暗線の間隔 Δx は $\dfrac{L\lambda}{2D}$ と書ける。$\lambda = 6.0 \times 10^{-7}$ m，$L = 30$ cm のとき，暗線の間隔が 1.0 mm であった。このときの D は $9.0 \times 10^{\boxed{\text{エ}}}$ m となる。

問３　青の単色光と赤の単色光をそれぞれ入射させた場合，Δx はどのような関係にあるか，以下の (a) から (c) の中から正しいものを選んで記号で答えよ。

(a)　青の単色光での Δx は赤の単色光での Δx よりも大きい。

(b)　赤の単色光での Δx は青の単色光での Δx よりも大きい。

(c)　どちらも同じ Δx となる。

問４　２枚のガラスの間を屈折率が 1.2 の液体で満たす。ガラスの間が空気の場合と比べて，Δx が何倍になるか有効数字２桁で答えよ。

（３）　図１のときと同じく，ガラスの間を空気だけにした。真上から波長 λ の光を当てて，ガラスＢの下から透過光を観察すると干渉縞が見えた。図３にガラスで反射せずに透過して進む光③を破線の矢印（‐‐‐▶）で示す。

問５　光③と干渉する光の最短経路を実線の矢印（──▶）で途中まで解答欄の図に示している。その続きの経路を実線で示せ。

（４）　図４に示すように，ガラスＡの位置を固定し，ガラスＢを水平に保ったまま y 軸の負の向きにゆっくり降下させた。上から観察すると，暗線の位置は x 軸の $\boxed{\text{オ}}$ {正，負}の向きに移動する。また，Δx は $\boxed{\text{カ}}$ {大きくなる，小さくなる，変化しない}。

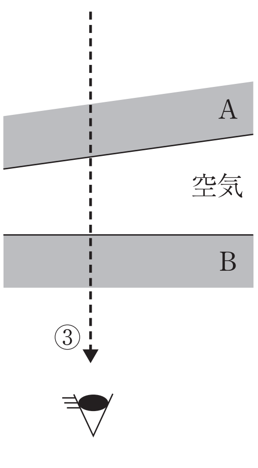

図３

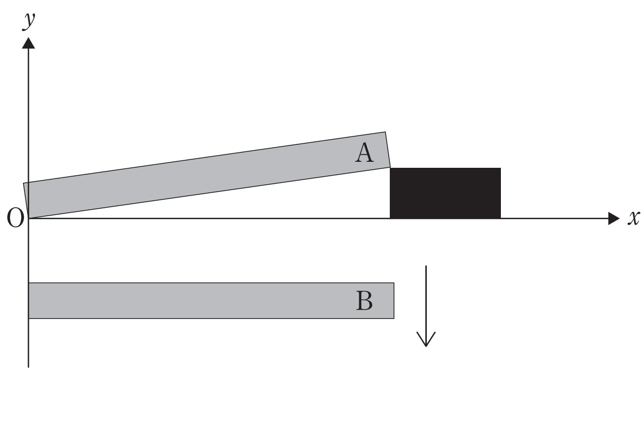

図４