物　　　　　理

Ⅰ　空所を埋め，問いに答えよ。（配点 60）

図 1 のように水平な床の上に質量 M の台車 A が置かれている。台車には先端に質量 m の物体 B を取り付けた長さ L の軽い棒が摩擦のない回転軸を通して取り付けられている。台車 A は左右に動くことができるが，車輪が床から離れることはないものとする。また，鉛直下向きから反時計まわりに測った棒の回転角を θ とし，重力加速度の大きさを g とする。

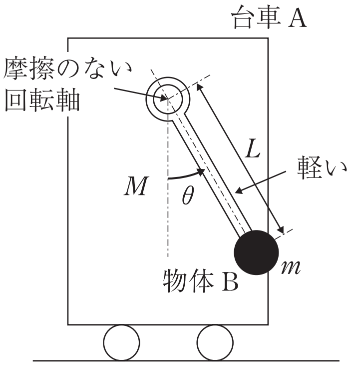

図 1

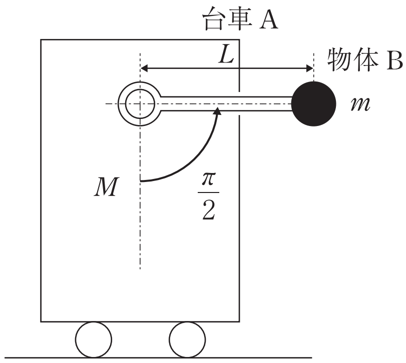

図 2

（1）　はじめに**台車を床に固定した**。この状態で物体 B をわずかに持ち上げて静かに手をはなすと物体 B は最下点付近で周期 $\boxed{\text{ア}}$ の単振動を始めた。

次に，図 2 のように物体 B を $\theta = \dfrac{\pi}{2}$ となるまで持ち上げ，静かに手をはなしたところ，物体 B は $\theta = 0$ を中心とする振動を始めた。このとき物体 B が最下点（$\theta = 0$）を通過する速さは $\boxed{\text{イ}}$ であり，棒から物体 B にはたらく力の大きさは $\boxed{\text{ウ}}$ である。

（2）　台車 A の**固定を解除し**，床の上を摩擦なく移動できる状態にした。この状態で物体 B を $\theta = \dfrac{\pi}{2}$ まで持ち上げ静かに手をはなした。物体 B が最下点を通過するときの台車 A の速さは物体 B の速さの $\boxed{\text{エ}}$ 倍となる。

（3）　図 3 のように台車 A を右向きに**一定の加速度で**移動させた。このとき物体 B を $\theta = -\dfrac{\pi}{3}$ まで持ち上げて静かにはなすと，物体 B は台車 A に対して静止した。台車 A から見たとき物体 B には重力の他に慣性力がはたらくことに注意すると，このときの台車 A の加速度の大きさは g を用いて $\boxed{\text{オ}}$ と書け，物体 B にかかる重力と慣性力を合わせた合力の大きさは m と g を用いて $\boxed{\text{カ}}$ と書ける。この合力はみかけの重力とみなせる。

さらに物体 B を $\theta = -\dfrac{\pi}{3}$ からわずかに持ち上げ静かにはなしたところ，物体 B は単振動を始めた。単振動の周期は $\boxed{\text{キ}}$ となる。

次に物体 B を $\theta = 0$ の位置にして台車 A に対して静止させた状態から静かにはなした。

すると物体Bは時計回りに回転し始めた。$\theta = -\frac{\pi}{3}$ を通過するときの物体Bの台車Aに対する速さを $\bar{v}$，$\theta = -\frac{\pi}{3}$ を基準としたときの $\theta = 0$ における物体Bのみかけの重力方向の高さ（図4参照）を h とすると，h は L を用いて $\boxed{\quad ク \quad}$ と書け，$\theta = 0$ のときと $\theta = -\frac{\pi}{3}$ のときの間の力学的エネルギー保存の法則は

$$\boxed{\quad カ \quad} \times \boxed{\quad ク \quad} = \frac{1}{2}m\bar{v}^2$$

と書ける。これより $\bar{v}$ は $\boxed{\quad ケ \quad}$，$\theta = -\frac{\pi}{3}$ のときに棒から物体Bにはたらく力の大きさは $\boxed{\quad コ \quad}$ となる。

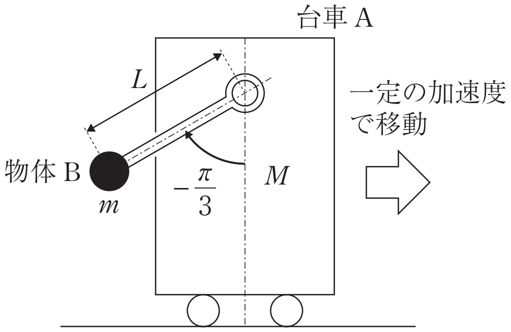

図3

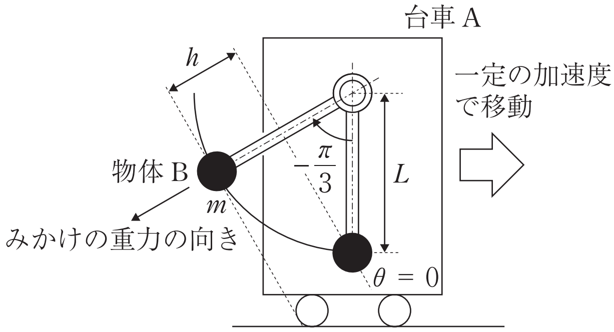

図4

（4） 図5のように静止した台車Aと物体Bを用意した。そして，台車Aを右向きに（3）とは異なる一定の加速度で移動させた。台車Aの加速度の大きさ a は十分に大きく，物体Bは $\theta = -\frac{\pi}{2}$ にまで到達したが，ちょうどそのとき台車Aが壁に衝突し，台車Aは急停止した。急停止後，台車Aははね返されることなく静止を続けた。衝突の直前と直後で台車Aから見た物体Bの速度は変わらず，衝突後も物体Bは回転を続け，最上点（$\theta = -\pi$）まで到達した。

問1 台車Aが急停止したときの台車Aから見た物体Bの速さを v とする。物体Bが最上点を越えて回転するためには v はある値 v' より大きくなくてはならない。v' を g と L を用いて表せ。

問2 物体Bが最上点を越えて回転するためには，a はある値 a' より大きくなくてはならない。図6を参考にして，g を用いて a' を表せ。

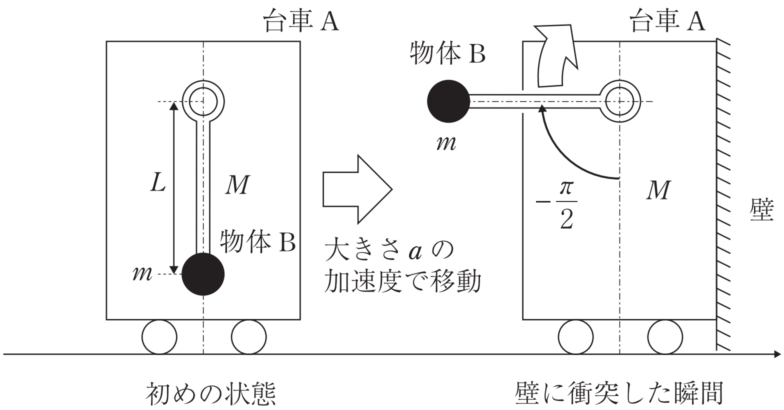

図5

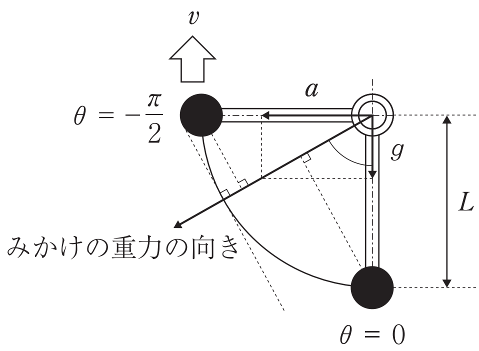

図6

Ⅱ　問いに答え，空所を埋めよ。（配点 45）

発電所から家庭に送られてくる電流は交流である。その交流電源のしくみを考察しよう。図1のようにn巻きのコイルが，磁束密度の大きさがBである一様な磁場（磁界）の中で回転できるように置かれている。コイルは1辺の長さがℓの正方形であり，内部抵抗と自己インダクタンスは無視できるとする。コイルの回転軸（図1の点線）は磁場に対して垂直である。コイルはリングを介して端子p，qと接続されており，端子p，qの間には抵抗値Rの抵抗が取り付けられている。

図2はリング側からコイルの回転の様子を見たものである。時刻$t=0$においてコイルの面は磁場に対して垂直であり，辺abが下側であった。コイルを一定の角速度ωで図2の向きに回転させた。ここでコイルの各頂点をa，b，c，dとし，q−a−b−c−d−pの向きを誘導起電力と電流の正の向きとする。a−b−c−dの向きに右ねじを回したとき，ねじが進む向きの磁束線がコイルを貫く場合の磁束Φを正とする。

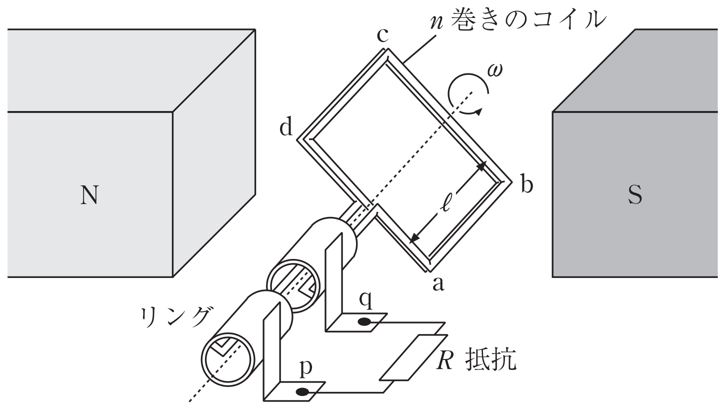

図1

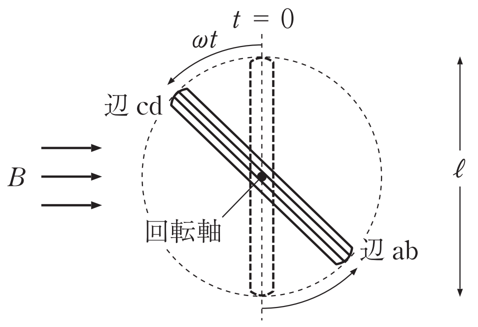

図2

問1　コイルを貫く磁束Φが変化すると，その変化を妨げるようにコイルに誘導起電力が発生する。微小時間Δtの間に図1のn巻きのコイルを貫く磁束が$\Delta\Phi$だけ変化したとする。コイルに発生する誘導起電力を表せ。

問2　コイルの辺abが図1のように下側から上側に向かうとき，コイルを電池とみなすと，端子pと端子qではどちらの電位が高いか，選んで答えよ。

問３　時刻 t におけるコイルを貫く磁束 $\Phi(t)$ を求め，そのグラフを縦軸に磁束，横軸に時刻として解答欄に示せ。ここで時刻の目盛として，コイルが１回転する時間を T とし，時刻の範囲は０から $2T$ とする。解答欄の図の破線は磁束の最大値と最小値に対応しているが，それらの値は記入しなくてよい。

Δt を微小時間として，時刻 t から $t + \Delta t$ の間の磁束の変化量 $\Delta\Phi = \Phi(t + \Delta t) - \Phi(t)$ を求めると

$$\Delta\Phi = \boxed{\quad ア \quad} \times \Delta t \sin \omega t$$

となる。ここで $\sin(\omega\Delta t) \fallingdotseq \omega\Delta t$，$\cos(\omega\Delta t) \fallingdotseq 1$ の近似を使った。

問１の式と上の $\Delta\Phi$ の式を用いてコイルに生じる誘導起電力を求めると $\boxed{\quad イ \quad} \times \sin \omega t$ となる。コイルの誘導起電力により抵抗の両端に電位差が生じ電流が流れる。

問４　時刻 t においてコイルに流れる電流を求めよ。

この式から電流は交流になっていることがわかり，各時刻の値は瞬時値とよばれる。

問５　時刻 t において抵抗で消費される電力を求めよ。さらにそのグラフを縦軸を電力，横軸を時刻として解答欄に示せ。時刻の範囲は０から $2T$ とする。ここで $\sin^2\theta = \dfrac{1}{2}(1 - \cos 2\theta)$ の関係を利用してもよい。解答欄の図では電力の最大値に対応する値を破線で描いているが，その値は記入しなくてよい。

問６　問５の図において，電力の平均値を電力の軸（縦軸）上に黒丸（●）で示せ。

問７　問５で求めた電力の最大値を P_{m} とおく。P_{m} を用いて電流の実効値を求めよ。

Ⅲ 空所を埋め，問いに答えよ。 $\boxed{\quad ア \quad}$ は語句で埋めよ。(配点 45)

図１にプランク定数の測定装置を示す。この装置は光源，回折格子，光電管から構成されている。回折格子を回転させることにより，光電管に入射する光の波長を連続的に変えることができる。その結果，白色光から特定の単色光を取り出し，光電管に入射させる。回折格子と光電管を使った可視光線の実験について考えてみよう。

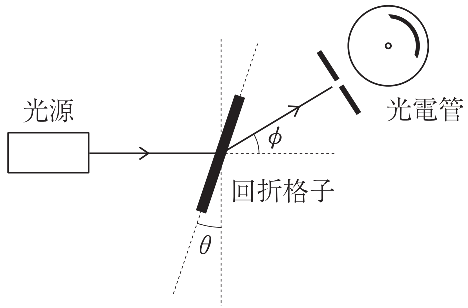

図１

（１） 図２に回折格子の拡大図を示す。回折格子の筋の部分で光が乱反射し，筋と筋の間の透明な部分がスリットの役目をする。隣りあうスリットの間隔のことを $\boxed{\quad ア \quad}$ といい，d とする。図２のように，回折格子に対して白色光が入射角 θ で入射する。図の下側から回折格子に入射する光（入射光）は互いに平行であり，その経路差①は $\boxed{\quad イ \quad}$ である。さらに，角度 ϕ をなす向きに光電管に向かう回折光は平行とみなせる。隣り合うスリットを回折した光の経路差②は $\boxed{\quad ウ \quad}$ である。したがって，入射光と角度 ϕ をなす向きに波長 λ の単色光の明線が現れる条件は，m を整数とすると，

$$\boxed{\quad ウ \quad} - \boxed{\quad イ \quad} = m\lambda$$

となる。この式の $m = 1$ のときに得られる波長 λ の単色光が，入射光と角 ϕ をなす方向の光電管に入射することになる。

問１ $d = 1.0 \times 10^{-6}\,\mathrm{m}$ で，$\phi = 35°$，$\theta = 5°$ のとき，得られる光の波長を求めよ。表１の三角関数表の値を利用せよ。

問２ $\phi = 35°$ で固定し，$\phi > \theta$ として，θ を０から次第に大きくすると，得られる光の波長はどう変化するか。｛　　｝から選んで解答欄に書け。選んだ理由も答えよ。

｛長くなる，短くなる，変わらない｝

以下の三角関数の公式を用いて考えてもよい。

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\cos\frac{\alpha+\beta}{2}\sin\frac{\alpha-\beta}{2}$$

表１

α〔°〕	$\sin\alpha$
5	0.09
10	0.17
15	0.26
20	0.34
25	0.42
30	0.50
35	0.57
40	0.64

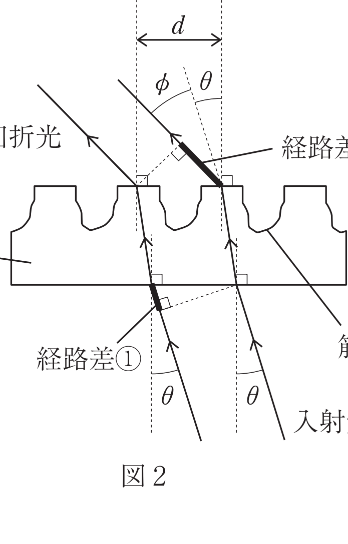

図２

（2） 光電効果は，図3に示す光電管を使った実験によって確かめることができる。光電管は，真空にしたガラス容器中に陽極Pと陰極Kを備えており，両電極間に電圧を加え，Kの金属表面に光をあてると，Kから光電子が飛び出し，Pに達することで電極間に光電流が流れる。照射する単色光の強さや振動数，電極間の電圧を変えて，光電流の変化を測定する。振動数νの可視光線の単色光を光電管にあてて，電圧Vと電流Iの関係を調べた結果を図4に示す。図4のV_0は阻止電圧であり，I_0は飽和したときの光電流である。

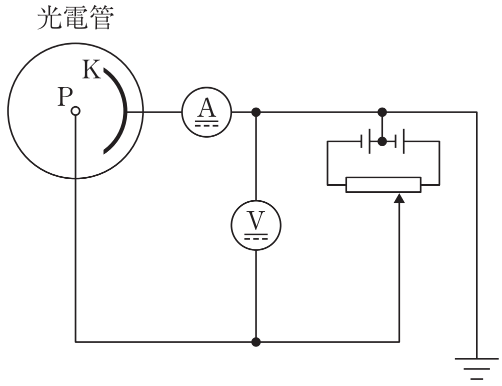

図3

問3　図4から，Kから飛び出した光電子の最大の運動エネルギーを求めよ。電気素量をeとする。

問4　νを変えずに単色光の強さを2倍にした。このとき図4のV_0とI_0はそれぞれどう変化するか。下から選んで解答欄に書け。

｛2倍になる，$\frac{1}{2}$倍になる，4倍になる，$\frac{1}{4}$倍になる，変わらない｝

図5に示すように，ある元素の金属を用いた陰極Kの場合について，照射する可視光線領域の3種類の単色光の振動数νとV_0との関係を調べた。その測定点を黒丸（●）で示す。この3点を通る直線を実線で示す。

問5　緑色，紫色，赤色の光の振動数をそれぞれ$\nu_{緑}$，$\nu_{紫}$，$\nu_{赤}$とするとき，これらの大小関係を正しく示しているものを下の(a)〜(f)のうちから1つ選べ。

(a)　$\nu_{緑} < \nu_{紫} < \nu_{赤}$　　(b)　$\nu_{緑} < \nu_{赤} < \nu_{紫}$　　(c)　$\nu_{紫} < \nu_{赤} < \nu_{緑}$

(d)　$\nu_{紫} < \nu_{緑} < \nu_{赤}$　　(e)　$\nu_{赤} < \nu_{緑} < \nu_{紫}$　　(f)　$\nu_{赤} < \nu_{紫} < \nu_{緑}$

問6　この金属の仕事関数は何Jか求めよ。$e = 1.6 \times 10^{-19}$ Cとする。

問7　図5の結果から，プランク定数を求めよ。

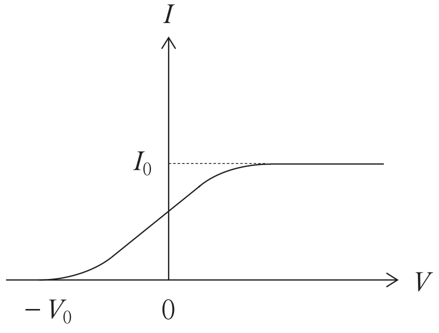

図4

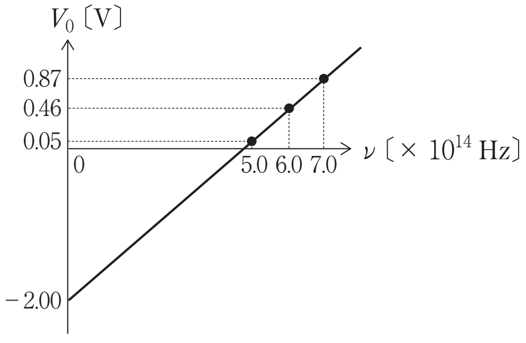

図5