広島大学

物理

問題

2018年度入試

【学部】 総合科学部、教育学部、理学部、医学部、歯学部、薬学部、工学部、生物生産学部

【入試名】 前期日程

【試験日】 2月25日

1 図１のように，なめらかな水平面上に，一端が固定されたばね定数kのばねが置かれている。ばねの他端には質量mの物体Aがつけられている。はじめ，ばねは自然長になっており，物体Aは静止している。図のように水平方向にx軸をとり，紙面に向かって右向きを正とする。物体Aのはじめの位置を $x=0$ とする。

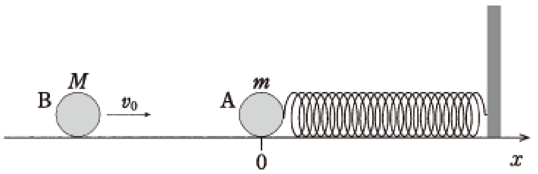


図１

質量M $(M>m)$の物体Bを，速度v_0 $(v_0>0)$で物体Aに衝突させた。物体Aと物体Bは弾性衝突し，衝突直後，両物体は右方向に進み，その後，物体Aと物体Bはばねが最も縮んだ後に再衝突を起こした。ばねは弾性力がフックの法則に従う範囲で伸縮し，また，ばねの質量，および物体の大きさは無視できるものとする。

はじめの衝突の瞬間を時刻 $t=0$ とし，再衝突の起きる時刻をt_1とする。はじめの衝突から再衝突が起きるまでの間，物体Aは単振動を行った。以下の問いに答えよ。必要であれば，円周率πを用いよ。

ばねの一端は，動かない壁に固定されている。

問１　はじめの衝突直後の物体A，物体Bの速度をそれぞれv_A，v_Bとする。

(ア)　はじめの衝突前後で成り立つ運動量保存の法則を表す式を書け。

(イ)　v_A，v_Bを，m，M，v_0を用いて表せ。また導き方も示せ。

(ウ)　はじめの衝突直後の物体Aと物体Bの速度の比 $\dfrac{v_B}{v_A}$ を，物体Aと物体Bの質量比 $p=\dfrac{M}{m}$ を用いて表せ。

問２　ばねが最も縮んだとき，物体Aは，$x=L$ の位置にあった。Lをv_A，k，mを用いて表せ。また導き方も示せ。

問３　はじめの衝突から再衝突までの間の任意の時刻t $(0\leqq t\leqq t_1)$における物体A，物体Bの位置をx_A，x_Bとする。

(ア)　x_Aをv_A，m，M，k，tのうち必要なものを用いて表せ。

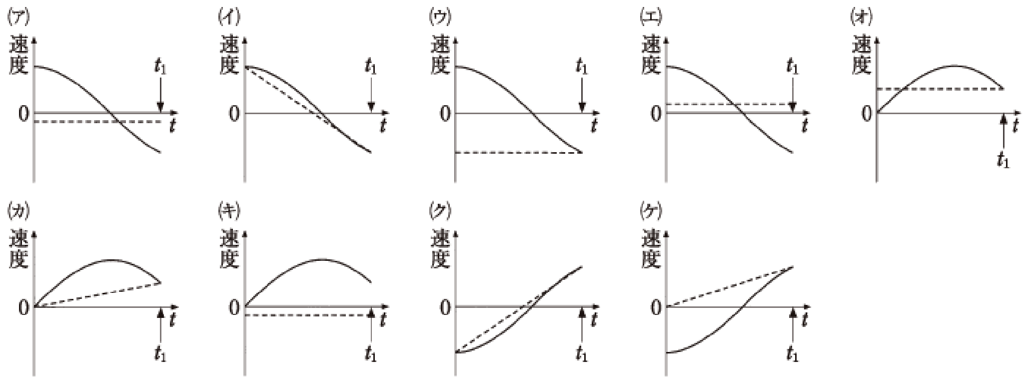
(イ)　x_Bをv_B，m，M，k，tのうち必要なものを用いて表せ。

問４　ばねが最も縮んだ後，物体Aと物体Bは，$x=\dfrac{L}{2}$ の位置で再衝突した。

(ア)　この場合の再衝突が起こる時刻t_1を，m，kを用いて表せ。また導き方も示せ。

(イ)　この場合の物体Aと物体Bの質量比 $p=\dfrac{M}{m}$ の値を求めよ。また導き方も示せ。

問５　問４の場合の物体A，物体Bの速度の時間変化を表すグラフとして正しいものを次の解答群の中から選び，記号で答えよ。ただし，物体Aの速度を実線，物体Bの速度を破線を用いて $0<t<t_1$ の範囲で示してある。



2 一様な磁束密度Bの磁界を発生させる磁石の間に図１のような堅い一巻きのコイルを設置した。磁界中のコイルは長方形であり，回転軸に平行な辺の長さはL_1，垂直な辺の長さはL_2である。コイルは図のように円筒状の整流子に接続されており，コイルと整流子は一体となって回転する。整流子は導体と円弧の部分でなめらかに接触しており，導体および導線を介して抵抗値Rの外部抵抗に接続されている。回転軸（整流子側）から見た概略図に示すように，長さL_1の辺の一方に対して，コイルの面に垂直な向きに力を加え続け，力の大きさFを時間とともに調整しながら一定の角速度ωでコイルを回した。次の問いに答えよ。ただし，図中の矢印の向きに流れる電流を正の方向とし，コイルの回転軸は磁界に対して垂直である。また時刻 $t=0$ においてコイルの面は磁界と平行である。以下，円周率をπとする。

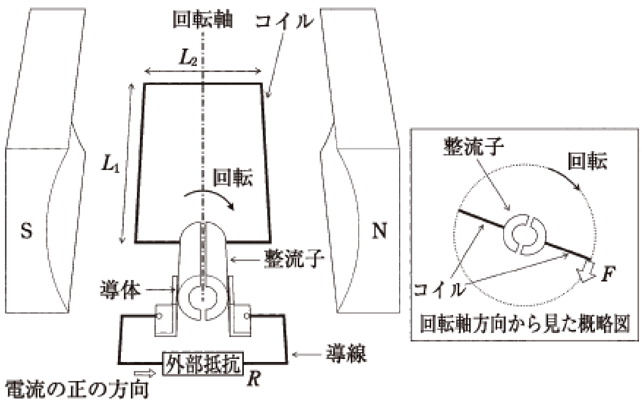
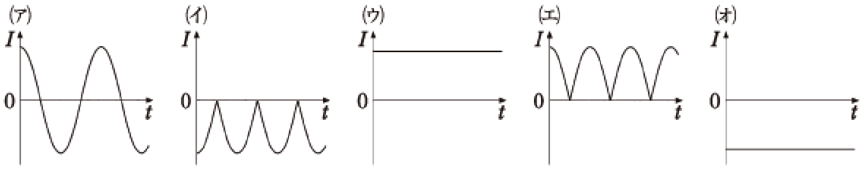


図１

回転軸は，長さL_2の２つの辺の中点を通っている。磁石は，コイルに対して十分大きいものとする。

問１　任意の時刻tにおけるコイルを貫く磁束を求めよ。

問２　外部抵抗に流れる電流Iと時刻tの関係に関して最も適切に表したグラフを次の解答群の中から選び，記号で答えよ。



問３　時刻 $t=\dfrac{\pi}{4\omega}$ におけるコイルの誘導起電力の大きさを求めよ。また導き方も示せ。必要に応じて，十分短い時間$\varDelta t$について成り立つ以下の近似式を用いよ。

$$\frac{\sin\omega(t+\varDelta t)-\sin\omega t}{\varDelta t}\fallingdotseq\omega\cos\omega t,$$

$$\frac{\cos\omega(t+\varDelta t)-\cos\omega t}{\varDelta t}\fallingdotseq-\omega\sin\omega t$$

問４　外部抵抗での消費電力の時間平均を求めよ。また導き方も示せ。

問５　このコイルを一定の角速度ωで回すのに必要な力Fの最大値$F_{\max}$を求めよ。また導き方も示せ。

図２のように，３つの導体球Ａ，Ｂ，Ｃを水平に置いた直線状のレールに乗せ，ＡとＣはレールに固定した。一方，Ｂはレール上を摩擦無しで転がらずに動くことができる。レールに平行にx軸をとり，ＡからＣへの方向をx軸の正の向きとする。Ａ，Ｂ，Ｃの導体球に，それぞれ$2Q$，Q，$8Q$（$Q>0$）の電気量を与え，ＡとＣから受ける静電気力がつりあう位置に導体球Ｂを静止させた。このときのＡとＢの間隔はa，ＢとＣの間隔は$2a$であった。このときのＢの位置を $x=0$ とする。導体球Ｂの質量をmとし，３つの導体球の大きさに比べてaは十分大きく，導体球は互いに点状に見えるものとする。クーロンの法則の比例定数をkとする。以下の問いについてm，k，Q，a，x，π（円周率）のうち，必要なものを用いて答えよ。

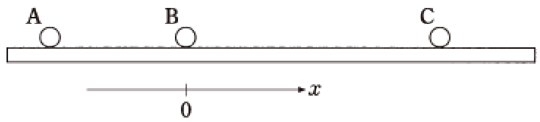


図２

問６　Ｂが座標x（$-a<x<a$）にあるときに，ＡからＢが受ける静電気力の大きさ，およびＣからＢが受ける静電気力の大きさをそれぞれ求めよ。

問７　Ｂをつりあいの位置からわずかにずれた座標 $x=x_0$（$0<x_0<a$）に置いて静かに放したところ，Ｂは振動を始めた。x_0がaに比べて十分小さいとき，Ｂの運動は単振動とみなせる。Ｂの振動の周期を答えよ。また導き方も示せ。必要に応じて，$|y|$が１に比べて十分小さいときに成り立つ近似式 $(1+y)^n\fallingdotseq1+ny$（$n$は実数）を用いよ。

3 光の屈折，および音に関する次の文章の空欄［ア］～［セ］にあてはまる適切な式を答えよ。ただし，［ア］，［イ］，［ケ］，［コ］については，空欄直後の括弧の中の選択肢Ａ～Ｃから適切なものを選んで答えよ。

屈折率 n_1，厚さ d_1 の平面ガラス板１と屈折率 n_2，厚さ d_2 の平面ガラス板２を図１のように重ねて置いた。下の平面ガラス板２の下面の点Ｓには点光源が置いてある。この点光源をほぼ真上の空気中から見たとき，点光源がどのように見えるかを考えよう。空気の屈折率は１とし，$1<n_1<n_2$ とする。

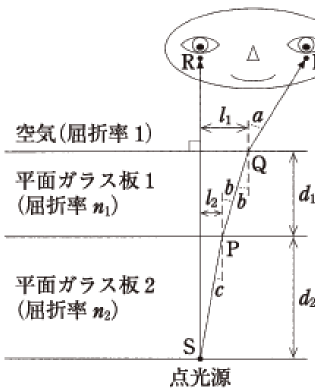


図１

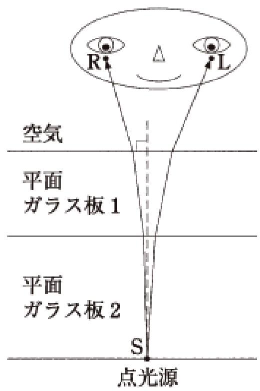


図２

点光源から出た光は図１のように右目がある点Ｒにはまっすぐ，左目がある点Ｌには途中，平面ガラス板１と平面ガラス板２の境界上の点Ｐ，および空気と平面ガラス板１の境界上の点Ｑで屈折して入るとする。点Ｑに金属片を置き，点光源からの光が左目に入らないようにし，点光源を右目だけで見た。このとき，点光源は点Ｒの真下方向に見える。次に点Ｑにあった金属片を点Ｒの真下に移動し，点光源からの光が右目に入らないようにした。点光源を左目だけで見たとき，点光源は［ア］（Ａ：直線LQ上，Ｂ：直線LP上，Ｃ：直線LS上）に見える。次に金属片を取り除き両目で点光源を見たとき，点光源は［イ］（Ａ：直線SRと直線LQの交点，Ｂ：直線SRと直線LPの交点，Ｃ：直線SRと直線LSの交点）に見える。

点光源が見える深さ（見かけの深さ）について考えよう。点光源が空気と平面ガラス板１の境界から深さ x のところに見えたとする。図１のように，平面ガラス板２と平面ガラス板１の境界面での光の入射角と屈折角をそれぞれ c，b とし，平面ガラス板１と空気の境界面での光の入射角と屈折角をそれぞれ b，a とする。ここで，a，b，c は十分小さい角度とする。空気と平面ガラス板１の境界におけるＲとＬへ向かう光線の隔たりを l_1 とし，同じく，平面ガラス板１と平面ガラス板２の境界での光線の隔たりを l_2 とする。

図１より，$\tan c$ と $\tan b$ は d_1，d_2，l_1，l_2 を用いて，$\tan c=$［ウ］，$\tan b=$［エ］と書ける。また，x と l_1 を用いると，$\tan a=$［オ］と書ける。一方，屈折の法則より，角度 a，b，c と屈折率の間には，$\dfrac{\sin a}{\sin b}=$［カ］，および，$\dfrac{\sin b}{\sin c}=$［キ］が成り立つ。十分小さい角度 θ に対する近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ を用いると，見かけの深さ x は d_1，d_2，n_1，n_2 を用いて，$x=$［ク］となる。

次に図２のように，視点を水平に少し移動させた。両目で点光源を見たとき，点光源の見かけの深さは［ク］と比べて，境界面での入射角と屈折角について上記近似式が成り立つもとでは［ケ］（Ａ：浅くなる，Ｂ：深くなる，Ｃ：変わらない）。さらに，ゆっくりと目と平面ガラス板１の距離を少しだけ長くした。両目で点光源を見たとき，点光源の見かけの深さは［ク］と比べて，境界面での入射角と屈折角について上記近似式が成り立つもとでは［コ］（Ａ：浅くなる，Ｂ：深くなる，Ｃ：変わらない）。

音源や観測者が移動する場合，観測者に聞こえる音の振動数は音源の振動数とは異なる。図３のように振動数 f〔Hz〕の音源が速さ u で観測者に近づく場合，音速 V は一定であることから，観測者に聞こえる音の振動数は［サ］となる。一方，図４のように振動数 f〔Hz〕の音源が固定されていて，反射板が速さ w で観測者に近づく場合は，反射板が受け取る音の振動数は［シ］となる。さらに，反射板が移動する音源となるため，観測者に聞こえる反射音の振動数は［ス］となる。音源から観測者に直接とどく音と反射板で反射されてから観測者にとどく反射音の振動数が異なることによって，うなりが生じる。単位時間（１秒）あたりのうなりの回数は［セ］と表される。なお，音源，観測者，反射板のある場所は無風であるとする。

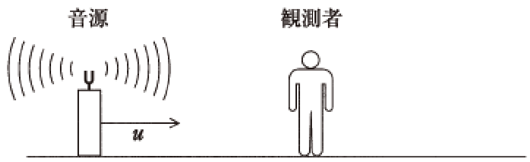


図３

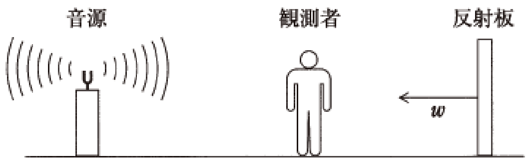


図４