

1 次の(I), (II)にある問いに答えよ。ただし、以下で出てくるひもは伸び縮みせず、空気抵抗は無視できるものとする。また、重力加速度の大きさは  $g$  とする。

(I) 図1-1のように、質量の無視できるひもでつながれた質量  $m$  の小物体 A が、水平に置かれたなめらかな板の上で半径  $2R$  の等速円運動をしている。

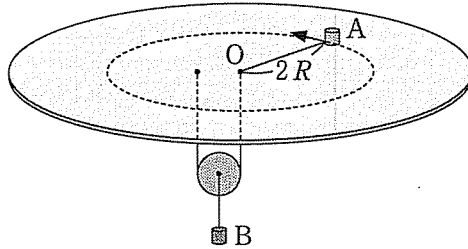


図 1-1

ひもは板の中心  $O$  に開けられた小さい穴を通り、質量  $M$  の動滑車を通して板の裏側につながれている。動滑車には質量  $M$  のおもり B がつるされている。動滑車の両側のひもはともに常に鉛直方向に向いており、中心  $O$  に開けられた穴とひもとの間の摩擦は無視できるものとして以下の問いに答えよ。

問 1 小物体 A の等速円運動の周期  $T$  を、 $m$ 、 $M$ 、 $R$ 、 $g$  の中から必要なものを用いて表わせ。

問 2 おもり B の下に、おもり B の位置を変えないように質量  $M_c$  のおもり C を手で支えながら取り付けた。その後、おもり C を手で支えながらゆっくりと鉛直方向に下げ、おもり C が振動ないように手をそつとはなしたところ、小物体 A は半径  $R$  の等速円運動をするようになった。おもり C の質量  $M_c$  を、 $m$ 、 $M$ 、 $R$ 、 $g$  の中から必要なものを用いて表わせ。ただし、必要ならば小物体 A の速さ  $v$  と円運動の半径  $r$  の間には「 $r \times v = \text{一定}$ 」の関係が成り立つことを用いてもよい。

問 3 問 2 において、おもり C を取り付けてから手をはなすまでの間に手が行った仕事を、 $m$ 、 $M$ 、 $R$ 、 $g$  の中から必要なものを用いて表わせ。

(II) 質量の無視できるひもにつながれた質量  $m$  の小物体 A が、図 1-2 のような円錐面上を運動する場合を考える。円錐は中心軸が鉛直になるように置かれており、頂角は  $2\theta$  である ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ )。ひもは小物体 A から円錐の頂点 P に開けられた小さい穴を通り、質量  $M$  のおもり B につながれている。

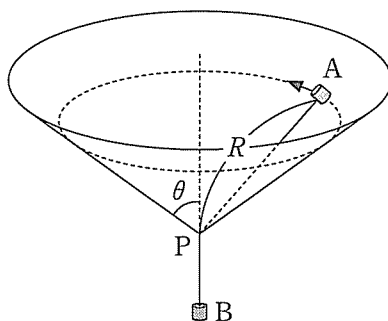


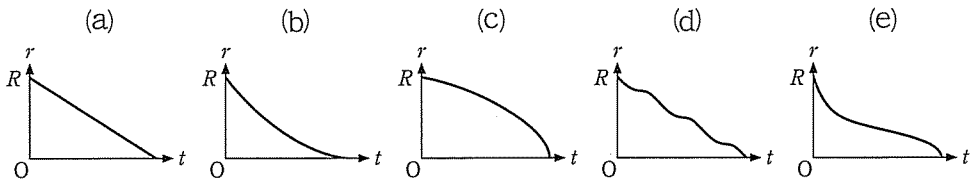
図 1-2

小物体 A と円錐面の間には動摩擦力がはたらき、その動摩擦係数を  $\mu'$  とする。小物体 A は、時刻  $t = 0$  では頂点 P から距離  $R$  の位置にあったが、その後、回転運動をしながら頂点 P にゆっくりと近づいた。摩擦力は十分に小さく、小物体 A が中心軸のまわりを一周する運動は水平な等速円運動とみなせるものとする。ひもと円錐面、ひもと頂点 P に開けられた穴の間の摩擦は無視できるものとして以下の問いに答えよ。

問 4 小物体 A と頂点 P の距離が  $r$  になったとき、小物体 A とおもり B がもつ力学的エネルギーの和  $E$  を、 $m$ 、 $M$ 、 $r$ 、 $R$ 、 $g$ 、 $\theta$ 、 $\mu'$  の中から必要なものを用いて表わせ。ただし、時刻  $t = 0$  における小物体 A とおもり B がもつ位置エネルギーの和を 0 とする。

問 5 問 4 において、小物体 A と頂点 P の距離が  $r$  になったとき、十分に短い時間  $\Delta t$  における力学的エネルギー  $E$  の変化量  $\Delta E$  を、 $m$ 、 $M$ 、 $r$ 、 $R$ 、 $g$ 、 $\theta$ 、 $\mu'$ 、 $\Delta t$  の中から必要なものを用いて表わせ。

問 6 小物体 A と頂点 P の距離  $r$  と時刻  $t$  の関係を表すグラフとして最も適当なものを以下の(a)~(e)の中から 1 つ選び、その理由を説明せよ。



2 次の[1]～[5]の文中にある空欄 (1) ～ (19) に入る適切な数式または記号を答えよ。ただし、空欄 (2) , (11) , (12) は [B→D]または[D→B]で答えよ。なお、解答欄には解答のみを記せ。

[1] 図2-1のように、それぞれ抵抗値  $R_1, R_2, R_3, R_x$  の4つの抵抗  $R_1, R_2, R_3, R_x$ 、電圧  $V$  の電池  $V$ 、BD 間に検流計  $G$  を接続した回路がある。この回路において、検流計  $G$  を流れる電流が0の場合は抵抗値の間に  $R_x =$  (1) の関係が成り立つ。検流計  $G$  を流れる電流が0のとき、抵抗  $R_2$  を抵抗値の少し大きい抵抗に交換すると、検流計  $G$  には (2) の向きに電流が流れる。

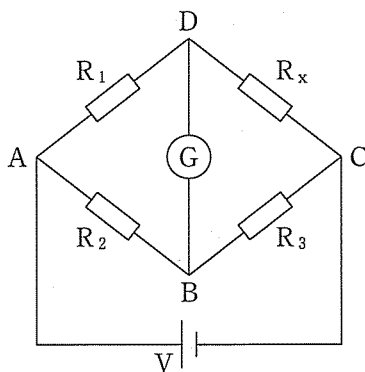


図 2-1

[2] 図2-1において、抵抗  $R_1, R_2$  はそれぞれ抵抗値  $R_1[\Omega], R_2[\Omega]$  の抵抗、抵抗  $R_3$  は抵抗値  $R_3[\Omega]$  を  $1\Omega$  から  $999\Omega$  まで  $1\Omega$  刻みで変えられる可変抵抗、抵抗  $R_x$  の抵抗値  $R_x[\Omega]$  は未知であるものとする。可変抵抗  $R_3$  の抵抗値  $R_3[\Omega]$  を変えて未知の抵抗値  $R_x[\Omega]$  を求めようとしたところ、抵抗値  $R_3[\Omega]$  が  $15\Omega$  と  $16\Omega$  のときとは検流計  $G$  を流れる電流の向きが逆であった。これより、 $R_x[\Omega]$  は (3)  $[\Omega] < R_x <$  (4)  $[\Omega]$  の範囲にあることがわかる。

次に、抵抗  $R_2$  を次表にある A~H の 8 種類の抵抗に交換し、それぞれで同様に  $R_3[\Omega]$  を変えて  $R_x[\Omega]$  を求めようとした。ただし、8 種類のいずれでも、 $R_3[\Omega]$  を変えても検流計 G を流れる電流が 0 になることはなかった。

	A	B	C	D	E	F	G	H
抵抗値 $[\Omega]$	$\frac{R_2}{100}$	$\frac{R_2}{50}$	$\frac{R_2}{10}$	$\frac{R_2}{5}$	$5 R_2$	$10 R_2$	$50 R_2$	$100 R_2$

A~H の 8 種類の抵抗を、交換前の抵抗値  $R_2[\Omega]$  の場合と比べて  $R_x[\Omega]$  が精度良く求まったものと悪かったものにグループ分けすると、精度が悪かったもののグループは { (5) } である。逆に、最も精度良く求まったのは (6) に交換した場合である。

- [3] 図 2-2 のように、回路 I には電圧  $V$  の電池、抵抗値  $R$ ,  $R_0$  の 2 つの抵抗、電気容量  $C$  のコンデンサー、スイッチ S が接続され、回路 II には電圧  $V$  の電池、抵抗値  $R$  の抵抗、インダクタンス  $L$  のコイル、スイッチ S が接続されている。回路 I, II とも初めスイッチ S は開いており、回路 I のコンデンサーには電荷はないものとする。スイッチ S を閉じる時刻を  $t = 0$  とし、それぞれの回路における電圧や電流の時間変化を考える。

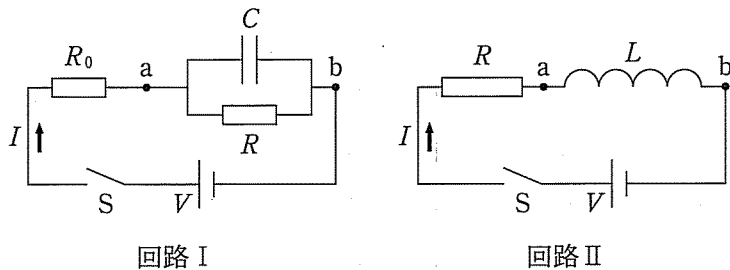
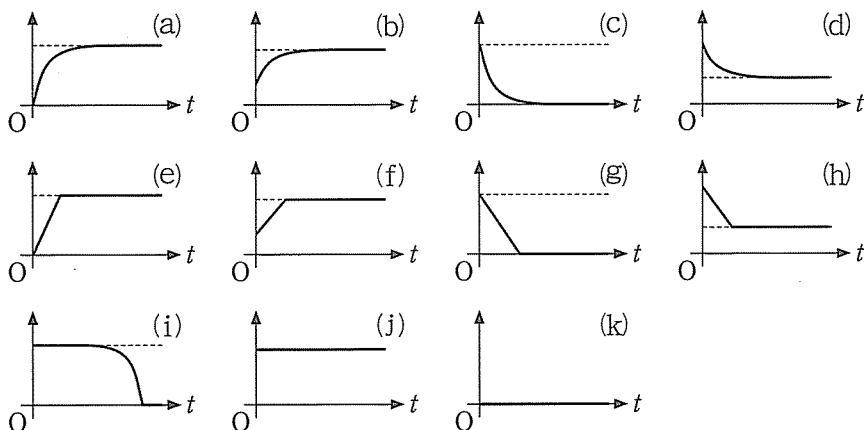


図 2-2

次の(a)~(k)のグラフでは、横軸を時間とし、原点Oは両軸の物理量とも0をとる点とする。これらのグラフの中で、回路Iを流れる電流 $I$ の時間変化を表すものとして最も適当なグラフは (7) である。また、回路Iの点bに対する点aの電位 $V_a$ の時間変化を表すグラフは (8) である。一方、回路IIを流れる電流 $I$ の時間変化を表すグラフは (9) , 点bに対する点aの電位 $V_a$ の時間変化を表すグラフは (10) である。



[4] 図2-3の回路Ⅰ，Ⅱには，電圧 $V$ の電池，スイッチ $S$ ，検流計 $G$ ，抵抗値 $R_1, R_2, R_3$ の3つの抵抗に加え，回路Ⅰでは抵抗値 $R_C$ の4つ目の抵抗と電気容量 $C$ のコンデンサーが接続され，回路Ⅱでは抵抗値 $R_L$ の4つ目の抵抗とインダクタンス $L$ のコイルが接続されている。回路Ⅰ，Ⅱとも初めスイッチ $S$ は開いており，回路Ⅰのコンデンサーには電荷はないものとする。これら2つの回路において，回路Ⅰのスイッチ $S$ を閉じると，検流計 $G$ には (1) の向きにしばらく電流が流れ，時間が経つと検流計 $G$ を流れる電流は0になった。同様に，回路Ⅱのスイッチ $S$ を閉じると，検流計 $G$ には (2) の向きにしばらく電流が流れ，時間が経つと検流計 $G$ を流れる電流は0になった。

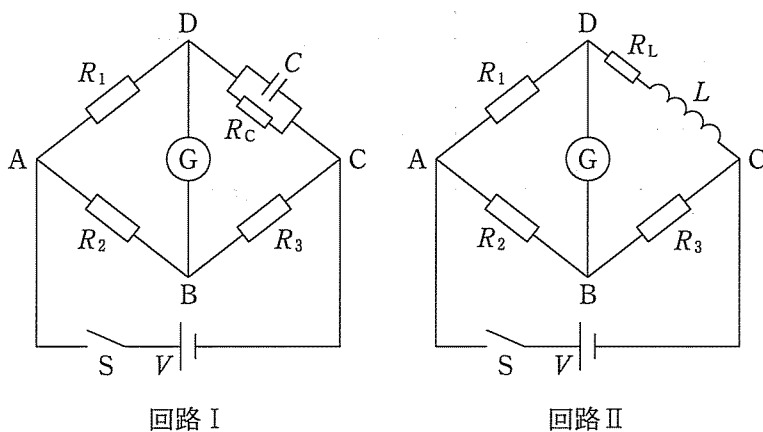


図2-3

[5] 図2-4において、回路Iには角周波数 $\omega$ 、点bに対する点aの電位  $V = V_0 \sin \omega t$  の交流電源、抵抗値  $R$  の抵抗、インダクタンス  $L$  のコイルが接続されている。回路Iを流れる電流を図の矢印の向きを正として  $I = I_0 \sin(\omega t + \phi)$  とすると、

$$V_0 \sin \omega t = RI_0 \sin(\omega t + \boxed{(13)}) + \boxed{(14)} \sin(\omega t + \boxed{(15)})$$

が成り立つことから  $I_0 = \boxed{(16)}$  ,  $\tan \phi = \boxed{(17)}$  となる。

回路IIは、角周波数 $\omega$ 、電圧  $V = V_0 \sin \omega t$  の交流電源、抵抗値  $R_1, R_2, R_3, R_x$  の4つの抵抗、インダクタンス  $L_3, L_x$  の2つのコイル、BD間を流れる交流電流を検出(測定)できる検出器  $\tilde{G}$  が接続された回路である。検出器  $\tilde{G}$  に流れる電流が0の場合、抵抗値  $R_x$  とインダクタンス  $L_x$  それぞれには、他の  $R_1, R_2, R_3, L_3$  との間に  $R_x = \boxed{(18)}$  ,  $L_x = \boxed{(19)}$  の関係が成り立つ。

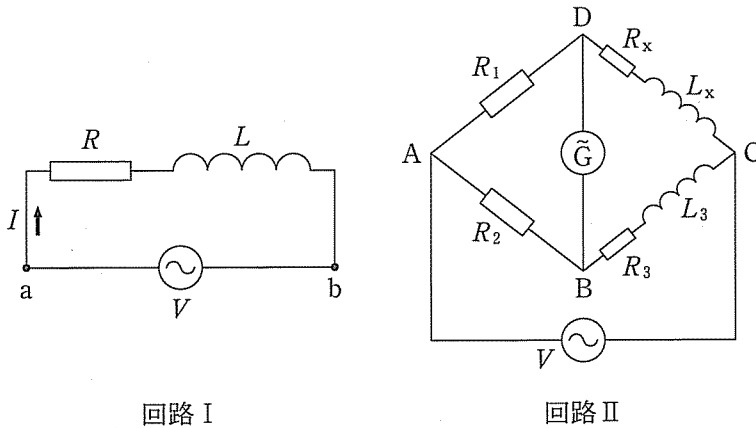


図2-4



3 次の[1]～[7]の文中にある空欄 (1) ～ (24) に入る適切な数式を答えよ。なお、解答欄には解答のみを記せ。

[1] 図3-1のように、音源Sは固定されており、音源が発する音の振動数を  $f$ 、音の速さを  $V$  とする。このとき、音の波長は (1) である。観測者Pが音源Sに向かって速さ  $u$  で近づいているとき、観測者Pが観測する音の振動数は (2) となる。ただし、音の速さ  $V$  は観測者の速さ  $u$  に比べて十分に大きいものとする。

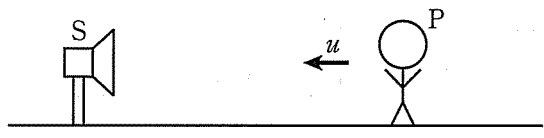


図3-1

以下で出てくる音源  $S'$  が発する音の振動数も  $f$  であり、また、音の速さ  $V$  は音源、観測者、反射板の速さに比べて常に十分に大きいものとする。

[2] 図3-2のように、音源  $S'$  が静止している観測者Pに向かって速さ  $v$  で近づいているとき、観測者Pが観測する音の振動数は (3) である。

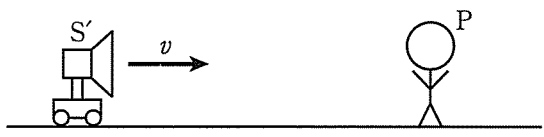


図3-2

- [3] 図3-3のように、音源S、観測者P、反射板Rはこの順に一直線上にある。音源Sと観測者Pはともに静止しており、反射板Rが観測者Pに速さ $w$ で近づいているとき、反射板Rが受ける音の振動数は  , 観測者Pが観測する反射板Rで反射された音の振動数は  である。また、観測者Pが、音源Sから直接届く音と反射板Rで反射された音によるうなりを観測したとき、そのうなりの周期は  となる。

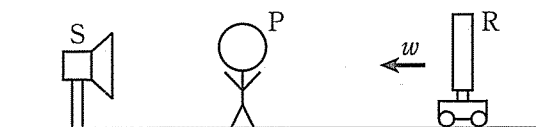


図3-3

- [4] 図3-4のように、音源S'、観測者P、反射板Rはこの順に一直線上にあり、観測者Pと音源S'はそれぞれ速さ $u$ 、 $v$ で互いに近づいている。一方、反射板Rは速さ $w$ で観測者Pから遠ざかっている。このとき、観測者Pが音源S'から直接受ける音の振動数は  である。反射板Rが受ける音の振動数は  であり、反射後の音の振動数は  である。反射板Rで反射した音を観測者Pが観測するとき、その音の振動数は  である。観測者Pが、音源S'から直接届く音と反射板Rで反射された音によるうなりを観測したとき、そのうなりの周期は  となる。

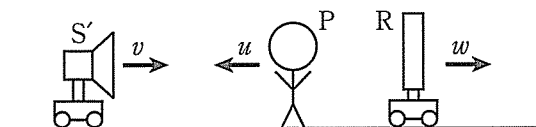


図3-4

[5] 図3-5のように、音源  $S'$  は、静止している観測者  $P$  に向かって加速度  $a$  で等加速度直線運動をしている。時刻  $t$  での音源  $S'$  の速さを  $at$  とし、その時の音源  $S'$  と観測者  $P$  との距離を  $L$  とする。時刻  $t$  に音源  $S'$  から発した音は時刻  に観測者  $P$  へ届く。時刻  $t$  の直後である時刻  $t + \Delta t$  での音源の速さは  である。時刻  $t$  と時刻  $t + \Delta t$  の間に音源  $S'$  が発した音波は  周期分であり、時刻  $t$  に発した音波の先端はその間に  だけ進むことがわかる。時間  $\Delta t$  を十分に小さい量にとり、その2乗した量  $(\Delta t)^2$  は  $\Delta t$  に対して無視できるものとする、音源  $S'$  も時刻  $t$  と時刻  $t + \Delta t$  の間に観測者  $P$  の方へ  だけ進む。これより、時刻  に観測者  $P$  に届く音の波長は  , 振動数は  であることがわかる。



図3-5

- [6] 図3-6のように、質量  $m$  の反射板  $R'$  にばね定数  $k$  のばねをつけて壁に設置し、ばねをつり合いの位置から  $l$  だけ伸ばして静かに手をはなすと反射板  $R'$  は単振動を始めた。空気による反射板  $R'$  への影響を無視すると、反射板  $R'$  の速さの最大値は  , 最小値は  である。反射板  $R'$ 、観測者  $P$ 、音源  $S$  はこの順に一直線上にあり、音源  $S$  と観測者  $P$  は静止しているものとする。音源  $S$  から出て反射板  $R'$  で反射された音を観測者  $P$  が観測するとき、その音の振動数の最大値は  , 最小値は  である。

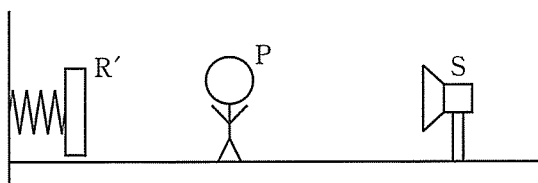


図 3-6

- [7] 図3-7のように、音源  $S$ 、観測者  $P$ 、反射板  $R$  は同一平面上にあるものとする。音源  $S$  と観測者  $P$  は静止しており、反射板  $R$  は左に向かって速さ  $w$  で直線上を進んでいるものとする。音源  $S$  からの音の反射板  $R$  への入射方向と反射板  $R$  の進行方向とのなす角が  $\theta$  ( $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ ) の時、反射板  $R$  が受ける音の振動数は  である。この音が反射板  $R$  で反射されて反射板  $R$  の進行方向からなす角  $\theta$  の方向にいる観測者  $P$  が観測する音の振動数は  である。

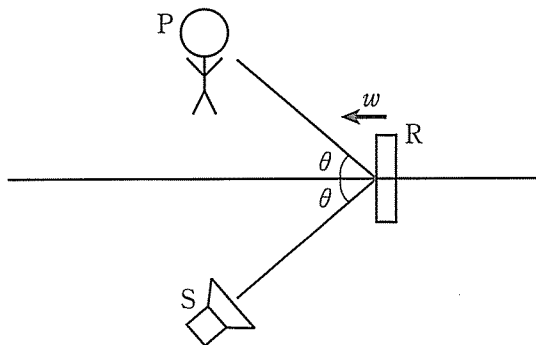


図 3-7