1 等しい質量mをもった二つの物体A，Bを，自然の長さ ℓ_0，ばね定数kの質量が無視できる丈夫なばねで連結し，図1のようにBを下にして静かに水平面上に置いた。重力加速度をgとして，以下の問題に答えよ。なお，必要な場合には，解答欄内の余白を計算に使ってもよい。

I　物体A，Bとばねは，図1のようなつりあい状態にある。

問1　この時のばねの長さ ℓ_1 を求めよ。

問2　ばねに蓄えられている弾性力の位置エネルギーはいくらか。

問3　Bに働く垂直抗力はいくらか。

II　つぎに，鉛直上向きの一定の力$2mg$を働かせて物体Aを引っぱりあげると，Aは初速度0で運動を始める。

問4　図2は，Aが加速度aで運動していてBはまだ静止の状態にある状況を示したものである。このときのばねの長さをℓとして，Aに対するニュートンの運動方程式をかけ。

問5　このとき，Bに働いている垂直抗力はいくらか。求め方も示せ。

III　力を加えつづけていると，やがてBが動き始める。

問6　Bが動き出す瞬間のばねの長さ ℓ_2 はいくらか。

問7　Aに$2mg$の力を加えはじめてからBが動き出す瞬間までに，この力がAにする仕事Wはいくらか。

問8　Aに力を加えはじめてからBが動き出す瞬間までの，重力によるAの位置エネルギーの増加量ΔV_Aを求めよ。

問9　Aに力を加えはじめてからBが動き出す瞬間までの，ばねに蓄えられた弾性力の位置エネルギーの増加量ΔVはいくらか。

問10　Bが動き出す瞬間のAの速さをv_0とするとき，文字W，ΔV_A，ΔV等を使って，力学的エネルギーの変化とAに加えた力がした仕事との間になりたつ関係式を書け。

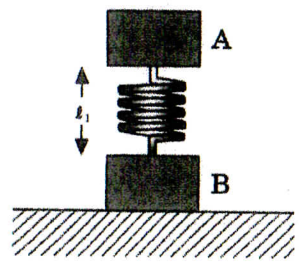

図1

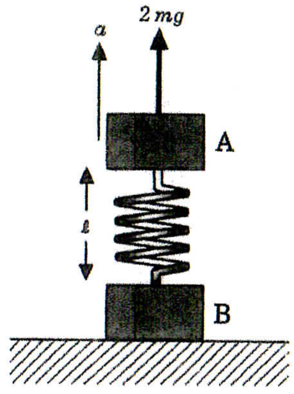

図2

2 音源とマイクロホンを準備した。マイクロホンは受けた音波（密度変化の波）の振幅 A $(A>0)$，振動数 f，位相を測定することができる（位相とは，t を時刻として波形を $A\sin(2\pi ft-\theta)$ と表したときの $2\pi ft-\theta$ のことである）。音源の所での波形は $A_1\sin(2\pi f_1 t)$ で表される。音速を V として，以下の問題に答えよ。

I　図1のように音源を $x=-L$ に，マイクロホンを原点に固定する。

問1　マイクロホンで測定した波形は $A_2\sin(2\pi f_1 t-\alpha)$ であった。α を L，f_1，V を用いて表せ。

II　図2のように，原点にマイクロホンを固定した状態で，音源が x 軸の正の方向に速さ u $(u<V)$ で動いている。時刻 $t=0$ に音源が $x=-L$ を通過した。

問2　時刻 $t=0$ に音源から出た音波が，マイクロホンに到達する時刻を求めよ。

問3　マイクロホンで測定した波形は $A_2\sin(2\pi f_2 t-\beta)$ であった。β を L，f_2，V を用いて表せ。

問4　時刻 $t=t_1$ に音源から出た音波が，マイクロホンに到達する時刻 t_2 を求めよ。ただし，時刻 $t=t_1$ で音源は x 軸の負の領域にあるものとせよ。

問5　時刻 $t=t_1$ に音源から出た音波の位相と，時刻 $t=t_2$ にマイクロホンが受けた音波の位相を比べることにより f_2 と f_1 の関係を求めよ。

解答の際には計算の過程を簡潔に記せ。

III　図3のように，2台の音源をそれぞれ $x=-L$ と $x=L$ に固定した。それぞれの音源が単独に音を出したとき，原点に置いたマイクロホンで測定した波形はどちらも同じで，$A_2\sin(2\pi f_1 t-\alpha)$ であった。

問6　両方の音源が同時に音を出した。マイクロホンで測定する波形を求めよ。ただし，ここでは α はそのまま用いよ。

問7　次にマイクロホンの位置を x 軸の正の方向にすこしずらして測定したところ，振幅は0になった。このときのマイクロホンの x 座標を f_1，V を用いて表わせ。ただし，この位置は原点に最も近い振幅が0になる位置である。また，片側の音源だけが音を出しているとき，マイクロホンを少しぐらい動かしても，マイクロホンで測定する振幅は変化しないと考えてよい。

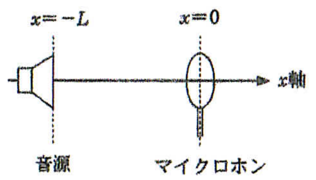

図1

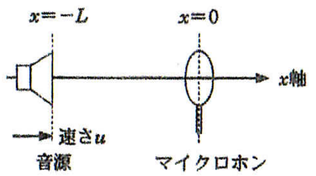

図2

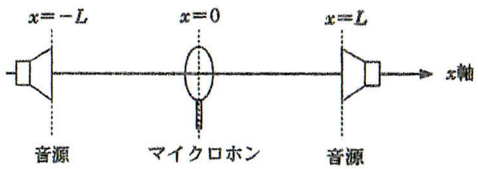

図3

3　図1のように鉛直上方にz軸をとる。$z<0$の領域に紙面に垂直で向こうむきに磁束密度Bの一様な磁場（磁界）がかかっている。スイッチSWがPS上についている質量mの長方形の回路PQRSを，図1のようにPQ, SRがz軸方向になるように紙面に沿って下端QRが磁場領域に接するようにおく。回路の太さや空気抵抗は無視してよいものとし，以下の問題に答えよ。選択式の解答には，解答用紙の正しいものを丸でかこめ。

I　最初にSWを開いて時刻$t=0$で静かに落とした。

問1　図2のように回路の落下の速さがvのときの，QR内にある正電荷qに磁場からかかる力の大きさFはいくらか。また，力の向きはQ→R，R→Qのいずれか。

問2　この力でQとRには＋と－（または－と＋）の電荷がたまる。この電荷によって生じた電場（電界）による力と磁場による力がつりあうところで，電荷移動はなくなる。このときのQR内の電場の強さEはいくらか。また，QR間の距離をdとしたとき，QR間の起電力Vはいくらか。

問3　重力加速度をgとしたとき，時刻tでの回路の落下の速さを求めよ。ただし，移動する電荷は充分に少なく，流れる電流は無視できる。

II　次に図3のように，SWを閉じて上と同様の実験を行なう。回路の抵抗をRとする。

問4　回路の落下の速さがvのときの回路に流れる電流Iを求めよ。

問5　この電流Iによって，回路が磁場から受ける力の大きさFと向きを求めよ。向きは次の中から選べ。（上，下，右，左，磁場方向，磁場と反対方向）

問6　やがて回路の落下の速さが一定になった。このとき，回路の上端PSは，まだ磁場領域の外にあった。このときの回路の落下の速さv_0を求めよ。

問7　その後，時刻$t=t_0$でPSが$z=0$に達した。この後の運動はどうなるか。次の中から選べ。（しだいに速くなる，等速運動を続ける，しだいに遅くなる）

問8　時刻t　$(t>t_0)$での回路の落下の速さを求めよ。v_0をそのまま使ってもよい。

問9　PQの長さをℓとしたとき，時刻t　$(t>t_0)$での回路の温度Tは何度か。ただし，時刻$t=0$での回路の温度をT_0，回路を構成する導体の単位質量あたりの比熱をcとし，回路は断熱されており熱の出入りはないものとする。計算過程も解答用紙に示せ。

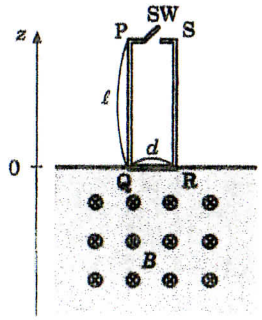

図1 (t=0)

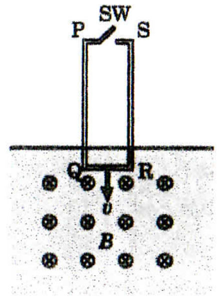

図2 (t>0)

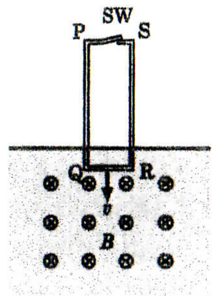

図3 (t_0>t>0)