物　理

物理　問題　I

図１のように自然の長さ L，ばね定数 k の軽いばねの右端に質量 m の小物体 A，左端に質量 $3m$ の小物体 B をそれぞれつないで水平でなめらかな床の上に静止させた。右向きを正として x 軸をとり，小物体 B が静止している位置を原点 O（$x = 0$）とし，小物体 A，B はともに x 軸に沿って運動するとして，以下の問いに答えよ。

まず，小物体 B が動かないようにストッパーで固定した場合を考える。小物体 A に x 軸の負の向きに力を加え，ばねの長さを自然の長さから ΔL（>0）だけ縮めた後，静かに手をはなした。手をはなした時刻を 0，手をはなした後，ばねが初めて自然の長さになったときの時刻を t_1 とする。

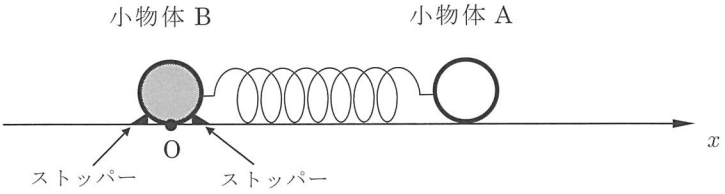


図１

問１．時刻 t_1 を求めよ。

問２．時刻 t_1 における小物体 A の速度を，L，k，m，ΔL の中から必要なものを用いて表せ。

問３．時刻 0 から t_1 の間に小物体 A が受けた力積は，この間にばねから小物体 A に加えられた平均の力を $\bar{F}$ として $\bar{F}t_1$ で表される。このときの $\bar{F}$ を，L，k，m，ΔL の中から必要なものを用いて表せ。

次に，図２のようにストッパーを外した場合を考える。小物体 B を原点 O の位置で動かないように手で押さえ，小物体 A に x 軸の負の向きに力を加え，ばねの長さを先ほどと同様に自然の長さから ΔL だけ縮めて 2 つの小物体から同時に静かに手をはなした。2 つの小物体の重心を G としたとき，G の位置はその後の運動では手をはなす直前から変化しなかった。手をはなした時刻を 0，手をはなした後，ばねが初めて自然の長さになったときの時刻を t_2 とする。

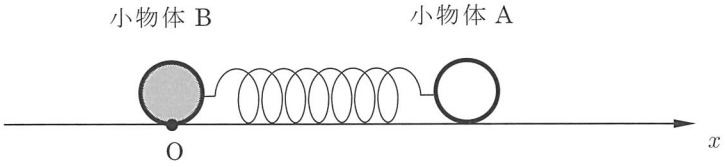


図２

問４．時刻 t_2 における重心 G の位置を，L，m，ΔL の中から必要なものを用いて表せ。

問５．重心 G からみた，時刻が 0 から t_2 に変化したときの小物体 A の変位の大きさ Δx_A を，L，m，ΔL の中から必要なものを用いて表せ。

問６．重心 G からみた，時刻 t_2 における小物体 A の速度を，L，k，m，ΔL の中から必要なものを用いて表せ。

問７．手をはなした後，重心 G からみると小物体 A は振幅が Δx_A の単振動を行う。この単振動の角振動数を，k，m，Δx_A の中から必要なものを用いて表せ。

問８．時刻 t_2 は時刻 t_1 とは異なる。t_2 を，t_1 を用いて表せ。

物理　問題　Ⅱ

図のように，音源 X，観測者 A，音源 Y が左から順に一直線上に位置している。これらはすべてその直線上を運動し，2 つの音源はともに振動数 f の音を出すものとする。風が吹いていない状態（風速 0）の音速を V とし，風，音源，観測者の速さは音速よりも小さいものとして，以下の問いに答えよ。

問 1．風速が 0 の状態で，音源 X だけから音が出ていて，その音を観測者 A が観測する。
（1）音源 X が速さ v で，静止した観測者 A に近づく。観測者 A が観測する波長，振動数をそれぞれ求めよ。
（2）観測者 A が速さ v で，静止した音源 X に近づく。観測者 A が観測する波長，振動数をそれぞれ求めよ。

風が速さ v で吹いている状態で，音源 X から出る音を下の（a）～（d）の条件で観測者 A が観測する。

条件　（a）風が速さ v で音源 X から観測者 A に向かって吹いていて，音源 X が速さ v で，静止した観測者 A に近づくとき
（b）風が速さ v で音源 X から観測者 A に向かって吹いていて，観測者 A が速さ v で，静止した音源 X に近づくとき
（c）風が速さ v で観測者 A から音源 X に向かって吹いていて，音源 X が速さ v で，静止した観測者 A に近づくとき
（d）風が速さ v で観測者 A から音源 X に向かって吹いていて，観測者 A が速さ v で，静止した音源 X に近づくとき

（3）（a）～（d）の条件の中で観測者 A が観測する振動数が（1）の振動数と同じになる条件を 1 つ選び，記号で答えよ。
（4）（a）～（d）の条件の中で観測者 A が観測する振動数が（2）の振動数と同じになる条件を 1 つ選び，記号で答えよ。

問 2．次の文は，問 1 で得られた結果をもとにした考察である。[1] ～ [4] にあてはまる速度として最も適切なものを，下の選択肢（ア）～（オ）の中から 1 つずつ選び，記号で答えよ。同じ記号を複数回選んでも良い。

風が速さ v で吹いているとき，風と同じ速度で移動する観測者 B から音源 X と観測者 A をみる。音源 X から観測者 A に向かう向きを正とする。まず，問 1（3）の条件について，観測者 B からみた音源 X の相対速度は [1]，観測者 A の相対速度は [2] となる。[1]，[2] は問 1（1）で風速が 0 のときの音源 X と観測者 A の速度にそれぞれ等しい。次に，問 1（4）の条件について，観測者 B からみた音源 X の相対速度は [3]，観測者 A の相対速度は [4] となる。[3]，[4] についても同様に，問 1（2）で風速が 0 のときの音源 X と観測者 A の速度にそれぞれ等しい。

これらの結果から，風があるときに風とともに動く観測者 B からみた音源 X と観測者 A の相対速度が，風がないときの音源 X と観測者 A の速度にそれぞれ等しいとき，観測者 A が観測する振動数は風があるときもないときもどちらも同じになることがわかる。このことは，一般に音源 X と観測者 A がともに動いている場合にも成り立つ。

問 2 の選択肢　（ア）$-2v$　（イ）$-v$　（ウ）0　（エ）v　（オ）$2v$

問 3．音源 X に加えて音源 Y からも音を出した。運動によって音源 X，観測者 A，音源 Y の順序は変わらないものとする。
（1）風速が 0 の状態で，観測者 A，音源 X が静止していて，音源 Y が速さ v で観測者 A に近づくときに，観測者 A が観測するうなりの周期を求めよ。
（2）音源 X から観測者 A に向かう向きを正として，風，音源 X，観測者 A，音源 Y のそれぞれの速度が右の選択肢①～⑧のように変化した。問 3（1）と同じ周期のうなりを観測者 A が観測する選択肢を 2 つ選び，番号で答えよ。

問 3（2）の選択肢

選択肢	風の速度	音源Xの速度	観測者Aの速度	音源Yの速度
①	v	0	0	$-v$
②	v	$-v$	$-v$	$-2v$
③	v	v	v	0
④	v	v	v	$2v$
⑤	$-v$	0	0	$-v$
⑥	$-v$	$-v$	$-v$	$-2v$
⑦	$-v$	v	v	0
⑧	$-v$	$-v$	$-v$	0

物理　問題　Ⅲ

電気力線は目に見えない電場の様子を視覚的に表す仮想的な線である。その性質として，①電気力線は正電荷から出て負電荷に入る，②電気力線の各点での接線の方向はその点での電場の方向と等しい，③電気力線は電場が強い所ほど密である，等がある。

一般的には，電場の強さが E〔N/C〕の所で，電場の方向と垂直な断面を通る電気力線の 1 m^2 あたりの本数を E〔本/m^2〕と定めているが，電気力線は仮想的な線であるので本数の定義を変更してもよい。ここでは，電荷 Q〔C〕($Q > 0$) の点電荷から Q〔本〕出ていく（$Q < 0$ の場合には $-Q$〔本〕入っていく）と定義を変更してみよう。

このように定義した電気力線を，変更前との区別を明確にするために括弧つきで「電気力線」と表す。この変更により，電場の強さが E〔N/C〕の所での，電場の方向と垂直な断面を通る「電気力線」の 1 m^2 あたりの本数も変わる。その本数を ρE〔本/m^2〕のように係数 ρ を用いて表す。クーロンの法則の比例定数を k〔N・m^2/C^2〕として，以下の問いに答えよ。

この「電気力線」と電場の関係を調べよう。電荷 Q〔C〕($Q > 0$) の点電荷を中心とする半径 r〔m〕の球面を考える。点電荷から出た「電気力線」はすべてこの球面と垂直に出ていく。

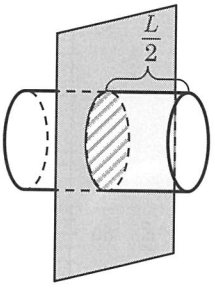
問１．この球面を貫く 1 m^2 あたりの「電気力線」の本数を，k，Q，r の中から必要なものを用いて表せ。

問２．この球面上における電場の強さを，k，Q，r の中から必要なものを用いて表せ。

問３．係数 ρ を，k を用いて表せ。

この「電気力線」に関しても，一般に，大きさのある物体に電荷が分布している場合に，Q〔C〕の帯電体からは Q〔本〕出ていくことがいえる。

これを利用して，一様に正に帯電した十分に広くて薄い平板のまわりの電場を求めてみよう。図のように，高さ L〔m〕，底面の面積が A〔m^2〕の仮想的な円柱を横向きにとり，円柱の内部にこの平板の一部が含まれ，円柱の２つの底面が平板と平行になるようにする。平板から左右の底面までの距離はそれぞれ $\frac{L}{2}$〔m〕であった。平板のまわりの電場の方向は平板と垂直であり，したがって円柱の側面と平行である。平板 1 m^2 あたりの電荷を σ〔C/m^2〕($\sigma > 0$)，円柱の右側の底面の位置での電場の強さを E_0〔N/C〕とする。



問４．円柱の右側の底面を貫く「電気力線」の本数を，ρ，L，A，E_0 の中から必要なものを用いて表せ。

問５．円柱の内部に含まれる電荷から出ていく「電気力線」はすべて，円柱の表面を貫いて出ていく。その本数を，ρ，L，σ，A の中から必要なものを用いて表せ。

問６．円柱の右側の底面の位置での電場の強さ E_0 を，k，L，σ の中から必要なものを用いて表せ。