平成19年度

物　　　　理

医学部・工学部・応用生物科学部

問題冊子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで，問題冊子を開かないこと。
2. 本冊子は8ページからなる。乱丁，落丁，印刷不鮮明などの箇所があった場合には，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は，4枚の解答用紙のそれぞれ指定の欄すべてに必ず記入すること。
4. 解答は，解答用紙の指定箇所に記入すること。
5. 問題は，大問で4題ある。工学部・応用生物科学部への受験生は4題すべてに解答すること。医学部への受験生は，問題 $\boxed{1}$，$\boxed{3}$，$\boxed{4}$ に解答すること。<u>解答しない $\boxed{2}$ の解答用紙には，全紙にわたり大きく╳印を1つ記すこと</u>。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。
7. 問題冊子は持ち帰ること。
8. 各大問ごとに，満点に対する配点の比率を表示してある。

$\boxed{1}$ 次の文を読み，問 1 から問 5 に答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

図のように，質量 m〔kg〕の小球が，自然長 L〔m〕のゴムで固定点 A につながった状態で，傾斜角 30° の十分に長い滑らかな斜面上に載せられている。小球の直径は無視できるほど小さく，常に斜面上を動く。ゴムの質量は無視することができるほど十分に小さく，自然長 L〔m〕より x〔m〕だけ長くなったとき kx〔N〕の復元力が働く。また，ゴムがたるんだ状態では小球の運動を妨げないものとする。ここで重力加速度は g〔m/s^2〕，円周率は π とする。以下の文章の $\boxed{\text{ア}}$ ～ $\boxed{\text{ケ}}$ を L, m, g, π のうち必要な記号および数値を用いて表せ。ただし，問 4 では，数値の有効数字を 3 桁，$\pi = 3.14$ とし，必要であれば，$\sqrt{3} = 1.73$ を使ってよい。

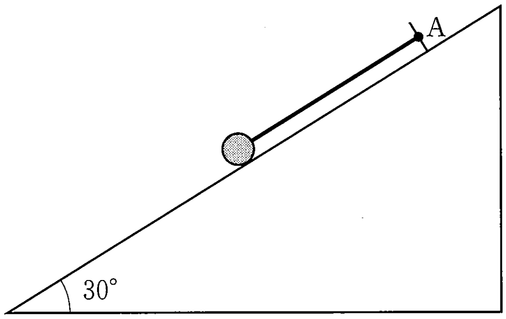
問 1　小球が釣り合って静止したとき，ゴムの長さは $l = \frac{5}{4}L$〔m〕となっていた。このことから $k = \boxed{\text{ア}}$〔N/m〕であることが分かった。

問 2　小球を斜面下方向に引っ張り，ゴムの長さを $l + \frac{L}{2}$〔m〕とした後，解放した。小球はゴムの長さが L〔m〕になるまでは単振動と同じ運動をした。この単振動の周期 T は $\boxed{\text{イ}}$〔s〕となり，小球を解放してからゴムの長さがはじめて l〔m〕に戻るまでの時間 t_1 は $\frac{T}{\boxed{\text{ウ}}}$〔s〕，小球を解放してからゴムの長さがはじめて L〔m〕になるまでの時間 t_2 は $\frac{T}{\boxed{\text{エ}}}$〔s〕となった。また，ゴムの長さが L〔m〕になった時，小球の速度は $\boxed{\text{オ}}$〔m/s〕であった。

問 3　その後，小球は斜面上を運動し，最高点(固定点 A との距離が最小となる点)に到達した後に，下がり始めた。小球を解放してから，小球がはじめて最高点に到達するまでの時間 t_3 は $t_2 + \boxed{\text{カ}}$〔s〕で，固定点 A から最高点までの距離は $\boxed{\text{キ}}$〔m〕であった。

問 4　小球が解放されてから，再び同じ場所に戻ってくる(ゴムの長さが $l + \frac{L}{2}$〔m〕となる)までの時間は $2t_3$〔s〕であるが，もしゴムの代わりにばね定数 k〔N/m〕のばねを用いれば，その時間は $\boxed{\text{ク}}$ %だけ短くなる。

問 5　次に小球を引っ張る距離を長くしてみたところ，ゴムの長さを$L+$ $\boxed{\quad ケ \quad}$ 〔m〕よりも長くして，小球を解放したら，小球は固定点 A に到達するようになった。



図

2 次の文を読み，問1から問6に答えよ。(配点比率　工・応生：$\frac{1}{4}$)

図1に示すように，長方形ABCDのコイルがある。辺AB，辺BCの長さをそれぞれl〔m〕，d〔m〕とする。またこの長方形コイルの抵抗をr〔Ω〕とする。

今この長方形コイルを右向きに一定の速さv〔m/s〕で移動させ，その途中にある幅$2d$〔m〕で長方形コイルの辺AB，辺CDに平行な領域を通過させる。この領域には一様な磁場(磁界)が紙面に垂直で表から裏へ向かってかかっている。その磁束密度をB_0〔Wb/m^2〕とする。自己誘導は無視できるものとして次の問いに答えよ。

問1　コイルの辺CDが磁場のかかった領域に到達したときの時刻を$t=0$とすれば，辺ABが領域を出るまでにかかる時間は$\frac{3d}{v}$〔s〕となる。この間の物理的状態は，(i) $0 \leqq t < \frac{d}{v}$，(ii) $\frac{d}{v} \leqq t < \frac{2d}{v}$，(iii) $\frac{2d}{v} \leqq t \leqq \frac{3d}{v}$ の三つの場合に分けて考えることができる。それぞれの場合にコイルに発生する誘導起電力V〔V〕を求めよ。ただし磁束Φ〔Wb〕が増加するときの誘導起電力を負とする。

問2　誘導起電力によって長方形コイルに流れる電流(誘導電流)I〔A〕の大きさと向きを問1で示した三つの場合に対して求めよ。ただし，向きは，A，Bおよび矢印を用いて表せ。電流の大きさが0の場合は，向きは「特定できない」と記せ。

問3　長方形コイルを一定の速さv〔m/s〕で移動させるためには外から力を加える必要がある。どの様な大きさの力F〔N〕を加えなければならないか。問1で示した三つの場合に対して答えよ。

問4　外力が単位時間あたりにする仕事(仕事率)P〔W〕は単位時間あたりに発生するジュール熱に等しいことを示し，コイルに発生するジュール熱を求めよ。

次に図2のように長方形コイルABCDを磁場(磁界)のかかった領域内の紙面上に固定し，紙面に垂直で表から裏へ向かう磁場をかける。この磁場を時間的に変化させると，長方形コイルを移動することにより発生した誘導電流(図1参照)と同じ誘導電流を発生させることができる。ただし，$t=0$での磁束を$\Phi=0$とする。次の問いに答えよ。

問5　磁束密度B〔Wb/m^2〕を時間的に変化させて誘導電流を測定した。ある一定の時間T〔s〕を考えたとき，誘導電流の値は，(a) $0 \leqq t < T$，(b) $T \leqq t < 2T$，(c) $2T \leqq t \leqq 3T$ の三つの場合と問2の(i)，(ii)，(iii)の三つの場合にそれぞれ一致した。$t=T$のときの磁束を$\Phi = B_1 ld$〔Wb〕とする。このときの磁束密度B_1〔Wb/m^2〕をB_0, v, d, Tを用いて表せ。

問 6　問5に示した誘導電流を発生させるには，磁束密度 B〔Wb/m^2〕はどの様な時間的変化になっていたか，グラフにより示せ。ただし横軸に時間，縦軸に磁束密度をとるものとする。

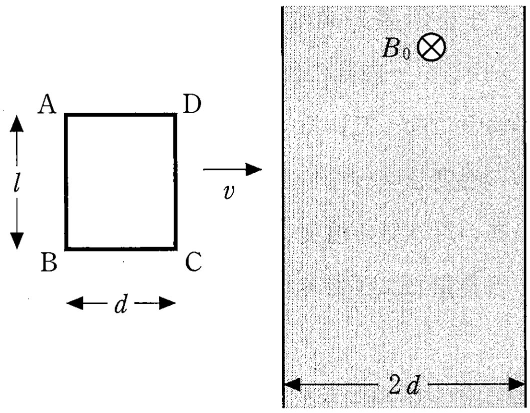


図 1

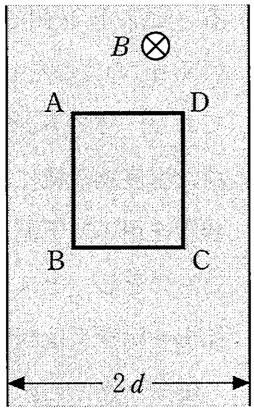


図 2

◇M4(824—24)

3 次の文を読み，問 1 から問 7 に答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

単原子分子からなる理想気体 N〔mol〕を入れたピストン付きの断面積 S〔m^2〕のシリンダーがある。ピストン側を下向きにしてシリンダーを鉛直方向に固定し，自然長 l_0〔m〕，ばね定数 k〔N/m〕のばねをピストンにとりつける。シリンダー内部には小さなストッパーがとりつけられており，ピストンがそれ以上に上がらないようになっている。また，シリンダーの上面に設置された温度調節機によりシリンダー内の気体の温度をゆっくりと上げ下げすることができる。この装置を用いて下記の実験を行った。実験のあいだ外気の温度 T_0〔K〕，圧力 p_0〔$\mathrm{N/m^2}$〕は変化しないものとし，ピストン，ばね，ストッパーの質量および熱容量は無視でき，シリンダーの温度調節機を除き系は断熱的であるとする。

まず，図 1 に示すように，自然長の状態にあるばねを台の上に置かれた質量 M〔kg〕の物体にとりつけ，ピストンが動かないよう糸で固定した。このとき，ピストンはシリンダー上面から L_0〔m〕の位置にあり，気体の温度は T_0〔K〕，圧力は p_0〔$\mathrm{N/m^2}$〕であった(状態 0)。次に，温度調節機により気体の温度をゆっくりと下げていき，気体の圧力をゆっくりと減少させた。温度が T_1〔K〕となったとき，台をはずし物体をつりあいの位置に静止させた後，ピストンを固定していた糸を切ったところ，図 2 に示すようにばねは伸び，長さが l〔m〕となったが，ピストンは静止したまま動かなかった(状態 1)。さらに，気体の温度を下げていき，温度が T_2〔K〕となったとき，図 3 に示すようにピストンはストッパーに当たり，物体は上昇しなくなった。このとき物体は状態 0 での位置から h〔m〕だけ上がっていた(状態 2)。ここで気体の冷却を止め，ばねから物体をとりはずした。その後気体の温度はゆっくり上がり，図 4 に示すように T_3〔K〕になったとき，ピストンが下がりはじめた(状態 3)。気体の温度はやがて T_0〔K〕となり，ピストンはシリンダー上面から L_0〔m〕の位置に戻った(状態 0′)。

気体定数を R〔J/(mol·K)〕，重力加速度を g〔$\mathrm{m/s^2}$〕として以下の問いに答えよ。ただし，N〔mol〕の理想気体の熱容量は，気体の体積が一定のとき $\frac{3}{2}NR$，圧力が一定のとき $\frac{5}{2}NR$ である。解答は $M, g, k, N, R, p_0, S, L_0, l_0, h$ のうちから必要な記号を用いて表せ。

問 1　状態 1 でのばねの長さ l〔m〕および気体の圧力 p_1〔$\mathrm{N/m^2}$〕を求めよ。

問 2　状態 2 でのシリンダーの上面からストッパーまでの距離 L_2〔m〕を求めよ。

問 3　各状態(0，1，2，3)における温度 T_0, T_1, T_2, T_3 を求めよ。

問 4　状態 0 から状態 2 までに物体とばねが得た位置エネルギー ΔE〔J〕を求めよ。

問 5　状態 0 から状態 2 まで変化し，気体の温度が T_0 から T_2 に下がるとき，気体から熱として奪われるエネルギーとばねに蓄積される位置エネルギーの和 E〔J〕を求めよ。

問 6　状態 2 から状態 0′ まで変化し，気体の温度が T_2 から T_0 まで上がるとき，気体が熱として得るエネルギー E'〔J〕を求めよ。

問 7　$E' - E$ を求め，$E' - E = \Delta E$が成立することを示せ。

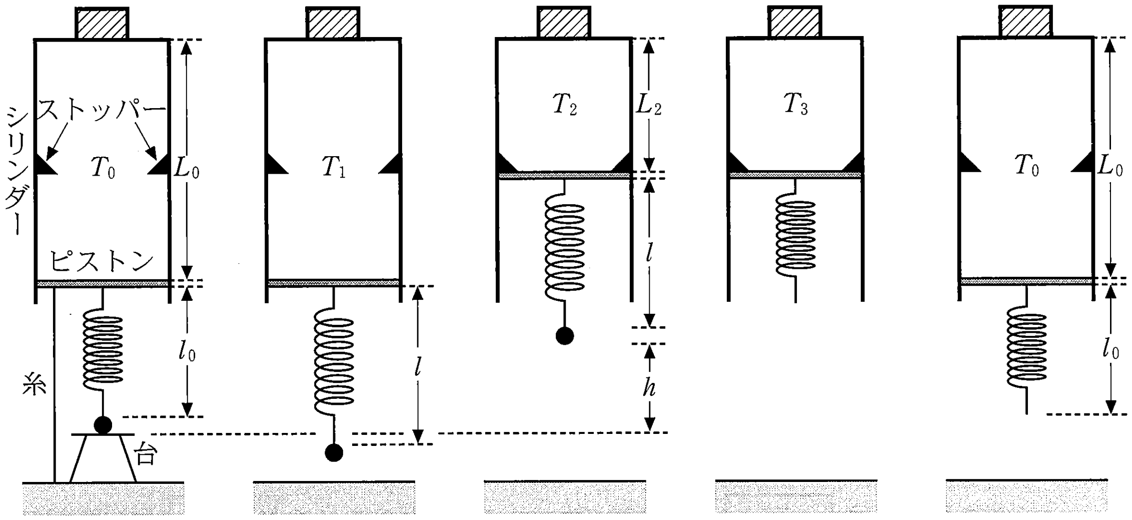


図 1　状態 0　　図 2　状態 1　　図 3　状態 2　　図 4　状態 3　　図 5　状態 0′

4 次の文を読み，問1から問4に答えよ。(配点比率　医：$\frac{1}{3}$，工・応生：$\frac{1}{4}$)

図のように，質量を無視できるばね定数k〔N/m〕のばねの左端を壁に固定し，右端に台車をつなぎ，なめらかで水平な床の上に置いた。この台車には振動数f〔Hz〕の音を出す音源が積まれており，音源を含めた台車全体の質量はm〔kg〕である。この台車を，図のように音源がAからBの位置となるまで，距離r〔m〕だけ壁に直交する方向に水平に引っ張り，静かに離したところ周期T〔s〕の単振動を始めた。ばねが自然長にあるときの音源の位置を原点とし，台車を引っ張る方向が正となるようにx軸をとる。また，空気中の音速をV〔m/s〕，台車を離した瞬間の時刻t〔s〕を$t=0$，円周率をπとする。このとき，以下の問いに答えよ。ただし，壁は低く音の反射の効果は無視でき，風は吹いていないものとする。

問1　時刻t〔s〕の音源の位置x〔m〕，その位置における音源の運動速度u〔m/s〕をt, r, T, πのうち必要な記号を用いて表せ。

問2　ドップラー効果に関する以下の文章の $\boxed{\text{ア}}$ から $\boxed{\text{エ}}$ に入る式を$u, V, f, \Delta t$のうち必要な記号を用いて表せ。

音源は加速度運動をしているが，十分に短い時間Δt〔s〕をとればその間の速度の変化は無視することができる。音源が観測者に近づいているとき，Δtの間に音源と音源から出た音の進む距離には $\boxed{\text{ア}}$ 〔m〕の差が生じ，この距離の中には $\boxed{\text{イ}}$ 個の波がつまっているので，その波長は $\boxed{\text{ウ}}$ 〔m〕と表される。従って，観測者が聞く音の振動数は $\boxed{\text{エ}}$ 〔Hz〕と表される。

問3　音源から振動数f_0〔Hz〕の音が出ているとき，この音を原点からl〔m〕だけ正の方向に離れたx軸上の観測者Cが聞いた。ただし，$l>r$とする。

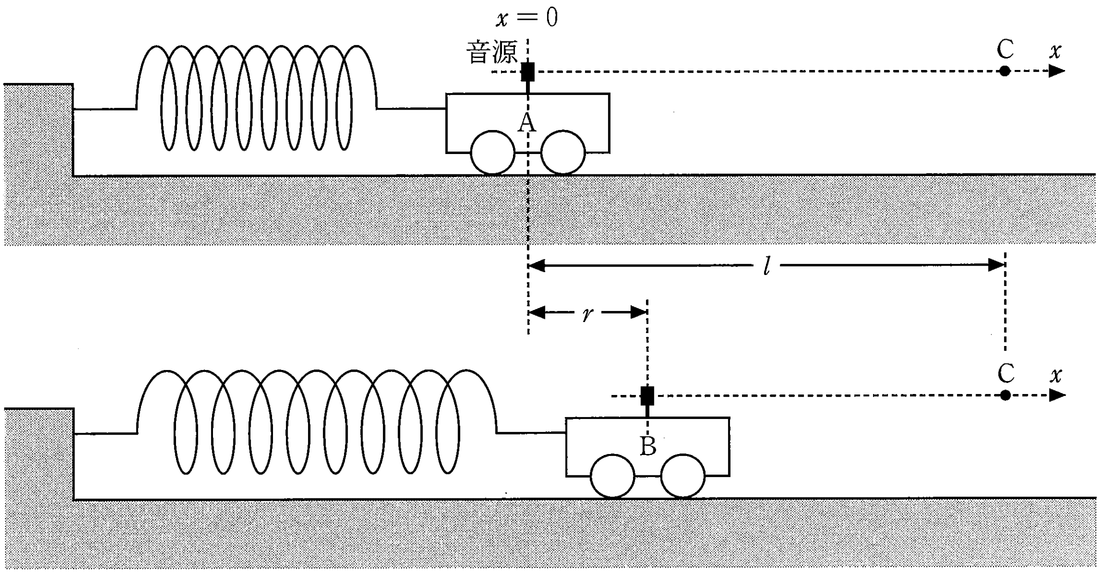
i）観測者Cが聞いた振動数が最初に最大となる音は，音源がどの位置x〔m〕にあるときに発せられたか。また，その音が発せられた時刻t〔s〕をTを用いて表せ。

ii）観測者Cが最初に振動数最大の音を聞いたときの音源の位置x〔m〕をr, T, V, l, πのうち必要な記号を用いて表せ。

iii）観測者Cが最初に振動数最大の音を聞いたときの音源の位置は，音源が観測者から最も近い位置にあるときであった。このとき，l〔m〕の満たすべき条件を求めよ。

iv）観測者Cが聞いた音の最大振動数f_{max}〔Hz〕をr, m, k, V, f_0のうち必要な記号を用いて表せ。

問 4　台車に積まれた音源を，時間とともに振動数を変化させることができる同じ質量の音源に交換した。観測者Cが常に一定の振動数 f_C〔Hz〕の音を聞くようにするためには，音源から出す音の振動数 f〔Hz〕を時間 t〔s〕とともにどのように変化させればよいか。f を r, m, k, V, t, f_C のうち必要な記号を用いて表せ。



図