物　　理

学　部	学　科(クラス)	配　点
理工学部	理工学科(化学クラス)	550 点
	理工学科(数理・物理クラス，材料科学クラス，電気電子・情報通信クラス，機械知能航空クラス，社会基盤・環境工学クラス，データサイエンス応用オープンクラス)	300 点
	理工学科(情報系クラス)	200 点
農 学 部	食料農学科，生命科学科，地域環境科学科，動物科学・水産科学科	300 点
獣医学部	共同獣医学科	200 点

注　意　事　項

1. 問題は，$\boxed{1}$ から $\boxed{5}$ までの計 5 問です。
2. $\boxed{1}$ から $\boxed{5}$ までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は，(5 の 1)から(5 の 5)までの計 5 枚です。解答は，すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 必ず解答用紙のすべてに，**本学の受験番号**を記入しなさい。
5. 印刷不鮮明およびページの落丁・乱丁等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
7. 試験終了後，問題冊子および計算用紙は持ち帰りなさい。

1 図1のように，大きさの無視できる質量 m の小球Aを点Pから水平方向に対して角 θ の向きに速さ v_0 で打ち出した。小球Aが最高点に達したときに，点Pから水平方向に距離 L，高さ H に位置する点Qで水平な台の上にのった。その後，小球Aは台の上を水平方向右向きに直進し，台の上に静止している大きさの無視できる質量 M の小物体Bに衝突した。小球Aと小物体Bの運動について，以下の問い(1)〜(8)に答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g とし，空気抵抗は無視できるとする。

(1) 小球Aを打ち出してから最高点に達するまでの時間 t を v_0，θ，g を用いて表せ。

(2) 台の高さ H を v_0，θ，g を用いて表せ。

(3) 距離 L を v_0，θ，g を用いて表せ。

(4) $\tan\theta$ を H，L を用いて表せ。

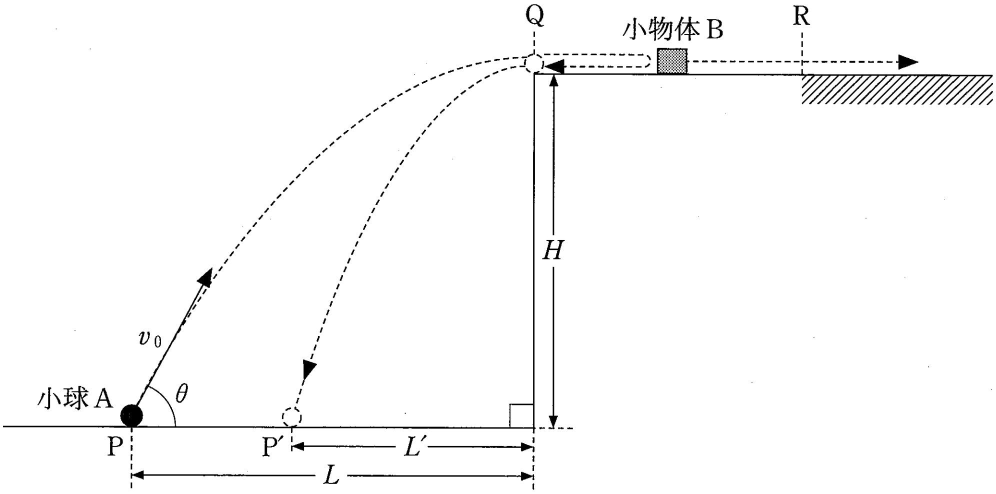


図1

◇M6(751—65)

小球Aと小物体Bが衝突した直後の小球Aの速度をv，小物体Bの速度をVとする。小物体Bは台の上を水平方向右向きに直進し，点Rから始まる粗い水平面上をしばらく進んだ後，静止した。なお，小球Aと小物体Bの間の反発係数(はねかえり係数)を$e(0 < e < 1)$とし，小物体Bと粗い水平面との間の動摩擦係数をμ'とする。点Qと点Rの間はなめらかな水平面とし，摩擦は生じないとする。速度は水平方向右向きを正とする。

(5) 速度vおよび速度Vをv_0，θ，m，M，eを用いて表せ。

(6) 小物体Bが点Rを通過してから静止するまでの時間と移動距離をV，μ'，gを用いて表せ。

一方，小球Aは小物体Bと衝突した後，水平方向左向きに進み，点Qから空中へ飛び出し，点Pと同じ高さで点Qから水平距離L'にある点P′に落下した。

(7) 小球Aが小物体Bと衝突後，水平方向左向きに進むための条件として適切なものを，以下の(ア)～(エ)から選び，記号で答えよ。

(ア) $M < em$　　(イ) $M > em$　　(ウ) $m < eM$　　(エ) $m > eM$

(8) 距離L'をL，m，M，eを用いて表せ。

2 〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕の文章を読み，問い(1)〜(7)に答えよ。

〔Ⅰ〕 -35 ℃ の氷 5.0×10^2 **g** を1気圧のもとで加熱したとき，加えた熱量に対して図2のように温度が変化した。

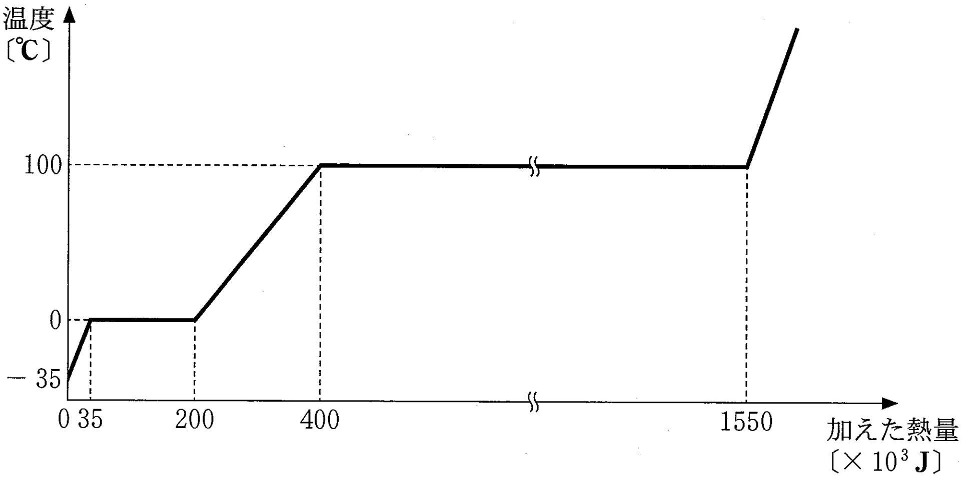


図2

(1) 次の文章の空欄 $\boxed{(ア)}$ 〜 $\boxed{(ウ)}$ に入る適切な語句を答えよ。

物体を構成する原子や分子の $\boxed{(ア)}$ の激しさをあらわす物理量を温度といい，温度の異なる物体が接触したときに高温の物体から低温の物体に移動する $\boxed{(ア)}$ のエネルギーの量を熱量という。

氷が水になるのに必要な熱を $\boxed{(イ)}$ ，水が蒸発するのに必要な熱を蒸発熱という。また， $\boxed{(イ)}$ や蒸発熱のように水の状態が変化することに伴って出入りする熱のことを $\boxed{(ウ)}$ という。

(2) 図2より水の比熱〔**J/(g・K)**〕を求め，有効数字2桁で答えよ。

(3) 図2より水の蒸発熱〔**J/g**〕を求め，有効数字2桁で答えよ。

〔II〕 単原子分子の理想気体 1 **mol** の熱機関のサイクルを考える。この熱機関内の気体は，体積 V〔**m**^{3}〕と圧力 p〔**Pa**〕のグラフで表すと，図 3 のように A→B→C→A の順に状態変化する。ここで，状態変化 B→C は断熱変化とし，それぞれの状態の体積と圧力を$(V,\ p)$で表すと，状態 A は$(V,\ p_L)$，状態 B は$(V,\ p_H)$，状態 C は$(8V,\ p_L)$である。ただし，気体が外部にする仕事の符号は，気体が膨張する場合を正とし，収縮する場合を負とする。

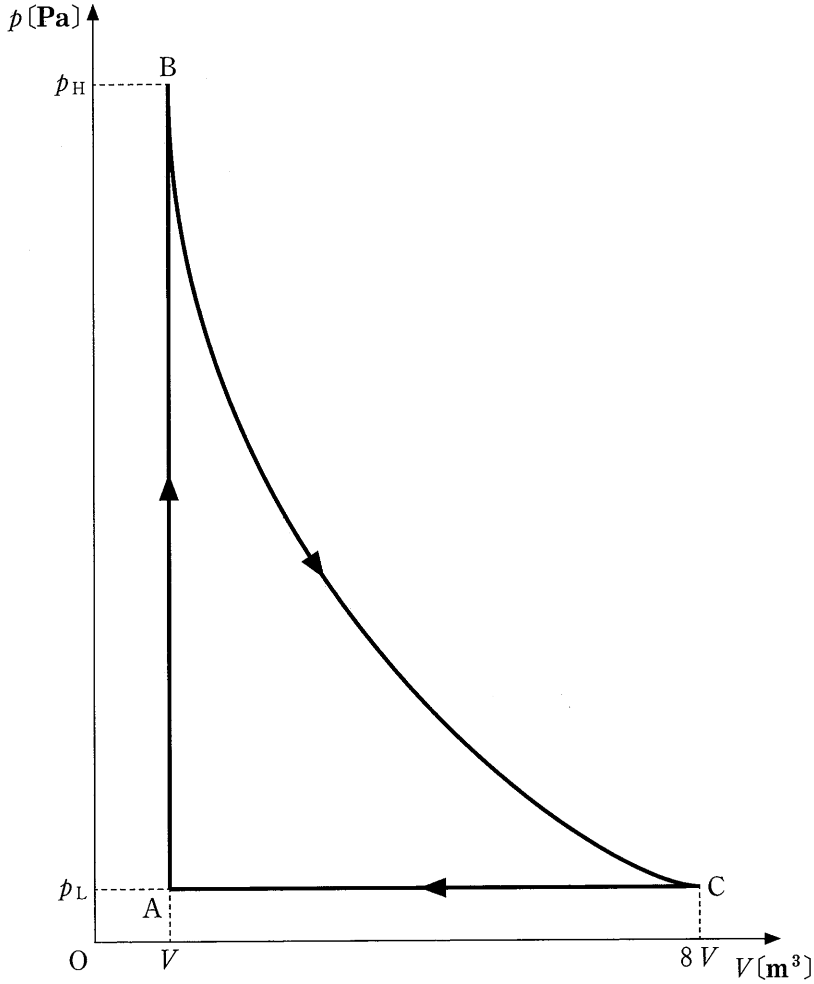


図 3

(4) 状態変化 A→B，状態変化 B→C，状態変化 C→A の各過程において気体が吸収する熱量 Q〔J〕，気体の内部エネルギーの増加量 ΔU〔J〕，および気体が外部にする仕事 W〔J〕をそれぞれ p_{H}，p_{L}，V のうち必要なものを用いて表せ。

(5) この1サイクルの変化で熱機関が外部にする仕事 W'〔J〕を p_{H}，p_{L}，V を用いて表せ。

(6) この1サイクルでの熱効率 e を p_{H}，p_{L} を用いて表せ。

(7) ポアソンの法則（$pV^{\gamma}=$ 一定，γ は比熱比）より $\dfrac{p_{\mathrm{H}}}{p_{\mathrm{L}}}$ を求めよ。ただし，単原子分子理想気体の比熱比を $\dfrac{5}{3}$ とする。

3 〔Ⅰ〕～〔Ⅲ〕の文章を読み，問い(1)～(10)に答えよ。

〔Ⅰ〕 図4に示すとおり，直線上で観測者と反射板が静止しており，その間で振動数f〔Hz〕の音源が観測者に向かって速さv_S〔m/s〕で移動している。空気中の音の速さをV〔m/s〕として，以下の問いに答えよ。

(1) 観測者が音源から直接受け取る音の振動数〔Hz〕を，f，V，v_Sを用いて表せ。

(2) 観測者は，反射板で反射された音も観測する。その振動数〔Hz〕を，f，V，v_Sを用いて表せ。

(3) 観測者は，音源から直接届く音と，反射板で反射された音の両方を受け取り，うなりを観測する。1秒当たりのうなりの回数を，f，V，v_Sを用いて表せ。

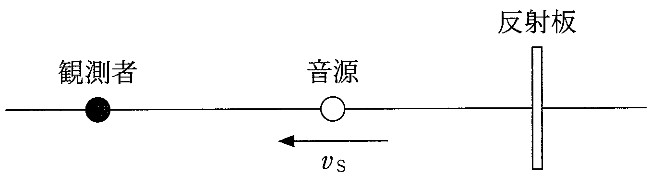


図4

◇M6(751—70)

〔II〕 図5に示すとおり，格子定数 2.0×10^{-5} **m** の透過型回折格子から 1.0 **m** 離して，回折格子と平行にスクリーンを設置した。この回折格子に波長 5.0×10^{-7} **m** の位相がそろった平行光線を垂直にあてたとき，スクリーンに複数の明るい線(明線)が映し出された。

(4) 次の文章の $\boxed{}$ に入る最も適切な用語を答えよ。

スクリーン上の複数の明線は，光の回折と $\boxed{}$ という波に特有の現象の結果として生じている。

(5) 図5において，スクリーン中央の明線Oと隣り合う明線Pとの間隔〔**m**〕を，有効数字2桁で求めよ。ただし，回折格子は多数のスリットからなり，各スリットを通過してスクリーン上の任意の一点に至る光は，互いに平行とみなせるとする。また，回折格子から明線Oに至る光と明線Pに至る光がなす角を θ とするとき，$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ が成り立つとする。

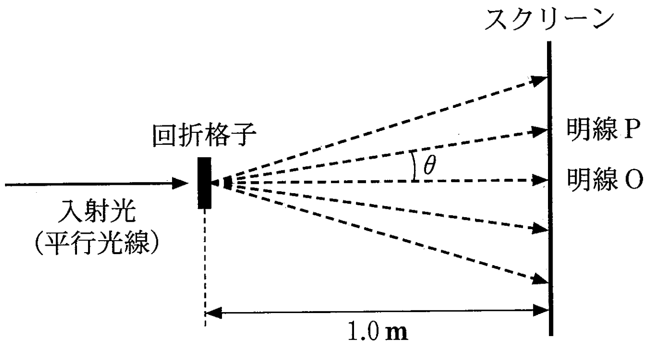


図5

(6) 格子定数を小さくした場合，および入射する光の波長を短くした場合，明線の間隔はそれぞれどのように変化するか，正しい組み合わせを下の表の(ア)～(ケ)から選び，記号で答えよ。

	格子定数を 小さくした場合	入射光の波長を 短くした場合
(ア)	広くなる	広くなる
(イ)	変わらない	広くなる
(ウ)	狭くなる	広くなる
(エ)	広くなる	変わらない
(オ)	変わらない	変わらない
(カ)	狭くなる	変わらない
(キ)	広くなる	狭くなる
(ク)	変わらない	狭くなる
(ケ)	狭くなる	狭くなる

〔III〕 放射性物質であるセシウム137は半減期30年でベータ崩壊し，それに伴ってエネルギーが6.6×10^{5} $\mathbf{eV}$ の電磁波であるガンマ線を放出する。プランク定数を6.6×10^{-34} $\mathbf{J \cdot s}$，1 $\mathbf{eV}$ を1.6×10^{-19} $\mathbf{J}$，真空中の光速を3.0×10^{8} $\mathbf{m/s}$，$\log_{10} 2$ を0.30として，以下の問いに答えよ。

(7) このガンマ線の波長〔$\mathbf{m}$〕を，有効数字2桁で求めよ。

(8) このガンマ線のエネルギーは可視光線(波長約4×10^{-7} $\mathbf{m}$～8×10^{-7} $\mathbf{m}$)のおよそ何倍か，以下の(ア)～(カ)から最も近いものを選び，記号で答えよ。

(ア) 3×10^{-5} 倍	(イ) 3×10^{-3} 倍	(ウ) 3×10^{-1} 倍
(エ) 3×10^{1} 倍	(オ) 3×10^{3} 倍	(カ) 3×10^{5} 倍

(9) セシウム137の原子数がベータ崩壊によって10分の1に減少するのに要する時間は何年か，有効数字2桁で求めよ。

(10) ガンマ線の他に電磁波である放射線は何か，一つ答えよ。

4 〔Ⅰ〕と〔Ⅱ〕の文章を読み，問い(1)〜(8)に答えよ。

〔Ⅰ〕 図6のように，鉛直上向きの磁束密度 B〔**T**〕の一様な磁場の中に，水平とのなす角が θ〔**rad**〕となるよう設置された十分長い2本の導体レールが距離 l〔**m**〕を隔てて平行に敷かれており，導体レールの上端に抵抗値 R〔Ω〕の抵抗が接続されている。導体レール上に質量 m〔**kg**〕の導体棒をレールに垂直に置き，静かに放した。ただし，抵抗以外の電気抵抗および空気抵抗，回路によって生じる磁場の影響は無視できるとし，導体棒と導体レールの間の動摩擦係数を μ'，重力加速度の大きさを g〔**m/s**^{2}〕とする。

十分に時間がたち，導体棒が一定の速さ v〔**m/s**〕で導体レールに沿ってすべりながら運動している。このとき，以下の問いに答えよ。

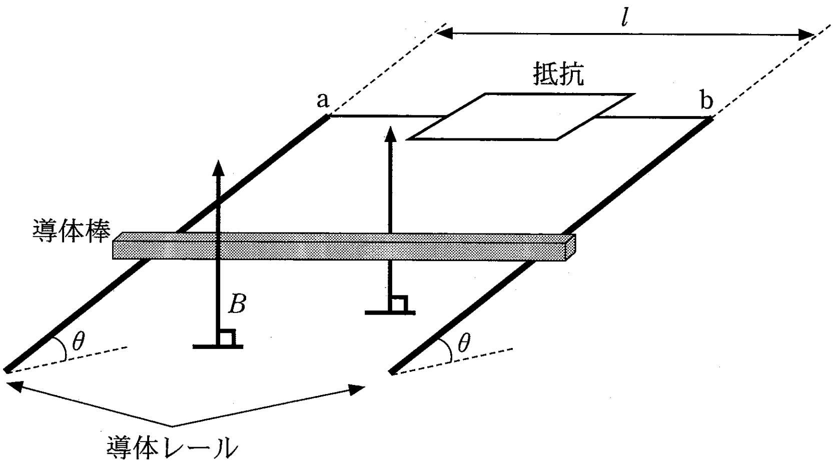


図6

(1) 抵抗に流れる電流の大きさ i〔**A**〕を，l，v，θ，B，R を用いて表せ。また，その電流の向きを図6のa，bを用いて，a→b または b→a で答えよ。

(2) 導体棒に流れる電流が磁場から受ける力の大きさF〔N〕を，i，l，Bを用いて表せ。

(3) 導体棒が2本の導体レールから受ける垂直抗力の合力の大きさN〔N〕を，g，m，θ，Fを用いて表せ。

(4) 導体レールに沿った方向における導体棒にはたらく力のつりあいの式を，g，m，θ，μ'，F，Nを用いて表せ。

(5) 導体棒の速さv〔m/s〕を，g，l，m，θ，μ'，B，Rを用いて表せ。

(6) 抵抗で消費される電力〔W〕を，i，Rを用いて表せ。

〔Ⅱ〕 図7のように，磁束密度B〔**T**〕の一様磁場の中に，面積S〔$\mathbf{m^2}$〕の長方形abcdからなる1回巻きのコイルが置かれている。コイルの辺adの中点と辺bcの中点を通り，磁力線に垂直な軸のまわりに，コイルを一定の角速度ω〔**rad/s**〕で回転させた。時刻$t=0$において，図7のようにコイルの面は辺abを下にして磁場に垂直になっているとし，このときコイルを貫く磁束の向きを正とする。誘導起電力はa→b→c→dの向きに誘導電流を流そうとする向きを正とする。コイルの導線の太さ，自己インダクタンスおよび内部抵抗は無視できるとする。必要であれば，微小時間Δtにおける三角関数の変化量を表す次式を利用してもよい。

$$\frac{\Delta(\sin\omega t)}{\Delta t}=\omega\cos\omega t,\quad \frac{\Delta(\cos\omega t)}{\Delta t}=-\omega\sin\omega t$$

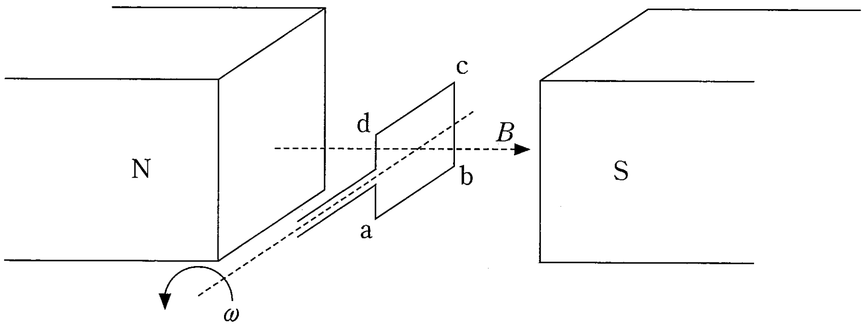
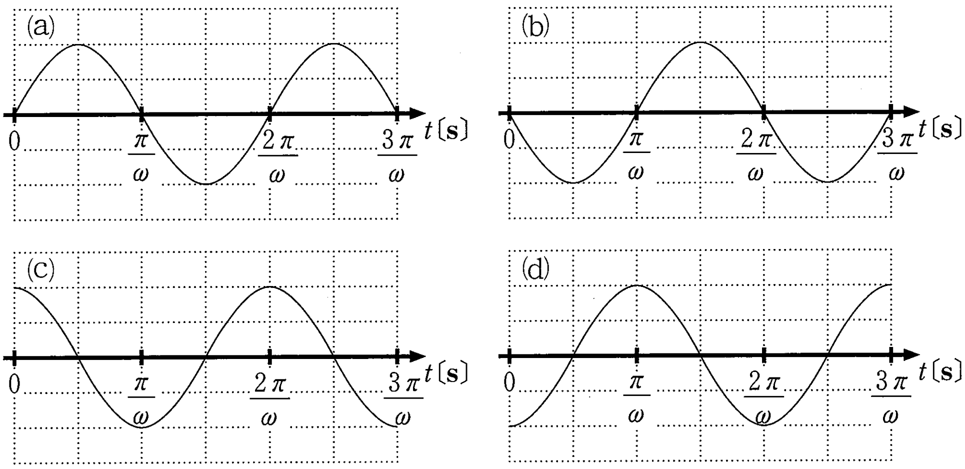


図7

(7) 時刻t〔**s**〕において，コイルを貫く磁束Φ〔**Wb**〕を，t，ω，B，Sを用いて表せ。

(8) コイルを貫く磁束〔Wb〕と誘導起電力〔V〕の時間変化の概形として適切なものを，それぞれ以下のグラフの(a)~(d)の中から選び，記号で答えよ。また，それぞれの最大値を，ω，B，S のうち必要なものを用いて表せ。グラフ中の π は円周率を表す。



5 図8のように，質量M〔**kg**〕の箱形の台が，摩擦のない水平な床の上に置かれている。台の上面も摩擦がなく水平になっており，その面に質量m〔**kg**〕の小物体が置かれている。小物体の両端には，ばね定数k〔**N/m**〕の軽いばねが取りつけられており，各ばねの他端は台の左右の端にそれぞれ固定されている。図8では，ばねは自然長の状態であり，台の重心G_1と小物体の重心G_2の水平方向の位置は一致しており，台も小物体も静止している。台と小物体の密度は均一であり，空気抵抗は無視できるとする。次の〔Ⅰ〕，〔Ⅱ〕，〔Ⅲ〕について，説明を読みながら，問い(1)～(6)に答えよ。

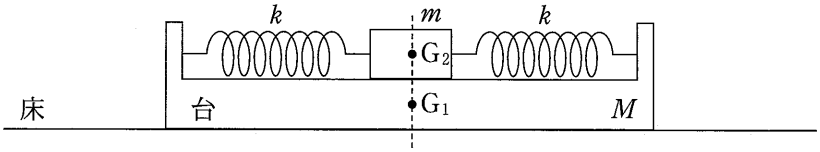


図8

〔Ⅰ〕 図8の状態から図9のように，小物体にだけ右向きに床に対して初速度v_0〔**m/s**〕($v_0 > 0$)を与えたところ，小物体が台に対して最も右側に移動した際に，図10のように小物体と台の速度は共に床に対してv_1〔**m/s**〕となり，台の重心G_1と小物体の重心G_2の水平方向距離はd_1〔**m**〕となった。

(1) v_1をm，M，v_0を用いて表せ。

(2) d_1をk，m，M，v_0を用いて表せ。

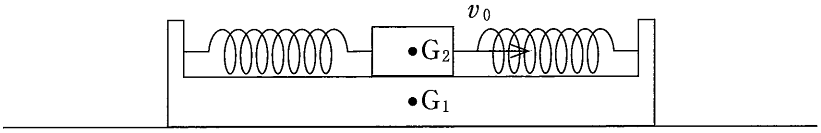


図 9

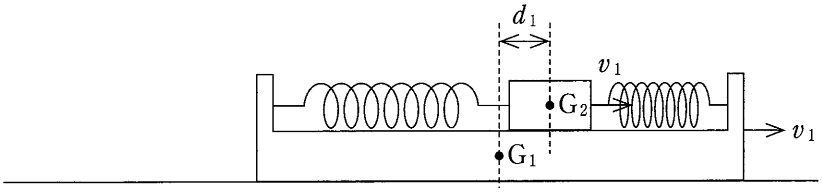


図 10

〔II〕 図 11 のように，床表面に x 軸をとり，右向きを正とする。はじめ，台の重心 G_1 の水平位置は $x = 0$ にある。台が動かないように手で押さえた状態で，図 11 のように，小物体の重心 G_2 を水平方向に $x = d_2$ の位置に動かした後，台と小物体から同時に手を離すと，小物体と台はそれぞれ水平方向に往復運動を始めた。

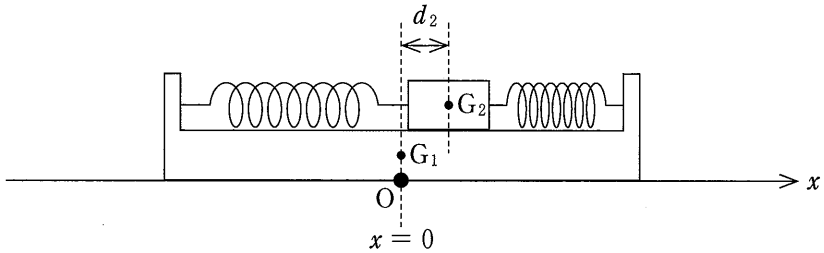


図 11

(3) 次の文中の空欄 $\boxed{\text{(ア)}}$ ～ $\boxed{\text{(カ)}}$ に入る適切な式を答えよ。なお，$\boxed{}$ はすでに $\boxed{}$ で与えられたものと同じものを表す。また，円周率を π とする。

右のばねの縮みの大きさをy〔m〕とするとき，台および小物体の床に対する加速度をそれぞれA〔m/s^2〕，a〔m/s^2〕とする。台と小物体の運動方程式はそれぞれ次式となる。

台の運動方程式；$MA =$ $\boxed{(ア)}$

小物体の運動方程式；$ma =$ $\boxed{(イ)}$

これより，台に対する小物体の相対加速度α〔m/s^2〕は，

$\alpha = a - A =$ $\boxed{(ウ)}$ y

となるので，これを変形すると，

$\boxed{(エ)}$ $\alpha =$ $\boxed{(イ)}$ …式(1)

となる。この式(1)は，静止している台に対して質量 $\boxed{(エ)}$ 〔kg〕の物体が弾性力 $\boxed{(イ)}$ 〔N〕により単振動するときの運動方程式に相当する。この単振動の角振動数をω〔rad/s〕とすると，

$-$ $\boxed{(エ)}$ $\omega^2 y =$ $\boxed{(イ)}$

となるので，

$\omega =$ $\boxed{(オ)}$

となり，周期T〔s〕は，

$T =$ $\boxed{(カ)}$

となる。よって，台と共に動く観測者から小物体を見ると，小物体は周期 $\boxed{(カ)}$ 〔s〕の単振動として観測される。

〔Ⅲ〕 図8の状態から台を床に対して大きさA_1〔$\mathbf{m/s^2}$〕の一定の加速度で右に移動させたら，小物体は台の上面のある位置を中心に単振動を始めた。図12に示すように，台の上面と平行にx'軸をとり，台の重心G_1のx'軸上の位置をx'軸の原点O′とし，右向きを正とする。また，小物体は，その重心G_2が$x' = -d_3$〔m〕($d_3 > 0$)の位置を中心に単振動するとする。

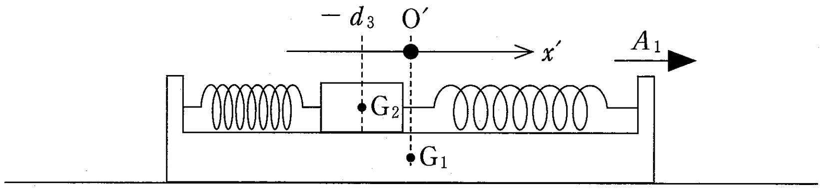


図12

(4) 「振動の中心位置では，ばねの復元力と慣性力がつり合っている」ということを利用して，d_3を求め，A_1，k，mを用いて表せ。

(5) 小物体が台に対して最も左側に移動した時のG_2のx'座標を$x'_{\min}$〔m〕とする。等加速度運動する台から見た小物体は「慣性力がした見かけの仕事の量だけ，力学的エネルギーが変化する」ということを利用して，$x'_{\min}$を求め，A_1，k，mを用いて表せ。

(6) 台と小物体を合わせた系の重心のx'座標をx'_{G3}〔m〕とする。G_2のx'座標が$-d_3$であるとき，x'_{G3}をd_3，m，Mを用いて表せ。