'14

前期日程

受験番号	見本

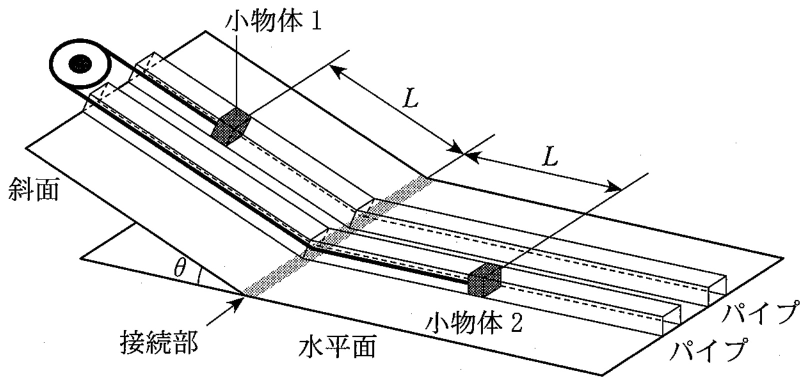
物　理　問　題

(理 工 学 部)

注　意　事　項

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。
2. この冊子のページ数は 9 ページです。問題，答案用紙に落丁，乱丁，印刷不鮮明の箇所等がある場合には申し出てください。
3. 解答は指定の答案用紙に記入してください。
4. 答案用紙を持ち帰ってはいけません。
5. 問題冊子と下書用紙は持ち帰ってください。

1 図のように，水平面からの角度θをもつ斜面がある。斜面と水平面は十分せまい接続部を介して滑らかに接続されている。斜面と水平面上に，互いに平行な2本の細いパイプが，接続部と直交するように設けられている。大きさが無視できる質量mの二つの小物体1と2が，滑らかに動く滑車に掛けられたひもで連結されている。滑車とひもの質量は無視できるものとする。小物体1と2は，水平面と斜面に設けられたパイプ内を運動し，水平面と斜面との接続部を滑らかに通過できる。また，ひもは常にパイプと平行でたるむことはなく，ひもとパイプとの摩擦は無視できるものとする。そのため，ひもが二つの小物体を引く力(張力)の大きさは等しくなっている。はじめ，ひもを張った状態で，小物体1を斜面上のパイプ内で接続部から距離Lの位置，小物体2を水平面上のパイプ内で接続部から距離Lの位置におき，静かに放したところ，小物体1は斜面から水平面側へ，小物体2はそれとは逆方向に，初速度の大きさ0で動き始めた。重力加速度の大きさをgとして，以下の(1)から(11)の問に答えなさい。



図

［Ｉ］ まず，二つの小物体とパイプとの間の摩擦が無い場合を考えよう。

小物体1が斜面を下り，小物体2が水平面上を移動するときの運動を考える。このときのひもの張力の大きさを T とする。

(1) 次の文章の空欄 $\boxed{(ア)}$ ， $\boxed{(イ)}$ にあてはまる式を，m，g，θ，T のうち必要なものを用いて表しなさい。

小物体1に作用する力のうち，パイプに沿った方向の成分を持つのは重力と張力である。これらの力の合力のパイプに沿った成分の大きさは $\boxed{(ア)}$ である。また，小物体2に作用する力のうち，パイプに沿った方向の成分を持つのは張力であり，その張力のパイプに沿った成分の大きさは $\boxed{(イ)}$ である。ひもで連結された2つの小物体は，同じ大きさの加速度で運動する。その加速度の大きさを a とすると，小物体1と2の運動方程式より，つぎの関係が成り立つ。

小物体1：$ma = \boxed{(ア)}$

小物体2：$ma = \boxed{(イ)}$

(2) 加速度の大きさ a と張力の大きさ T を求め，m，g，θ のうち必要なものを用いて表しなさい。

(3) 小物体1と2が運動を開始してから距離 L 移動し，接続部を通過するまでの時間 t_L を，L，g，θ を用いて表しなさい。

(4) 小物体1と2が接続部を通過する瞬間の，それらの速さ V_L を，L，g，θ を用いて表しなさい。

(5) 次の文章の空欄 $\boxed{(ウ)}$ ， $\boxed{(エ)}$ にあてはまる式を，m，g，θ，L を用いて表しなさい。ただし，重力による位置エネルギーの基準面は水平面にとりなさい。

小物体1と2の力学的エネルギーの和は，二つの小物体が運動を開始したときには $\boxed{(ウ)}$ ，接続部を通過したときには $\boxed{(エ)}$ である。

二つの小物体の運動を，解答欄のグラフに図示してみよう。ただし，二つの小物体が動き始めた時刻を $t = 0$ とし，グラフにおいて，t_L と V_L は(3)，(4)で求めた量である。

(6)　$0 \leqq t < t_L$，および $t_L < t < 2t_L$ の範囲で，時刻 t と，小物体1の速さとの関係を，解答欄のグラフに示しなさい。

(7)　$0 \leqq t < t_L$，および $t_L < t < 2t_L$ の範囲で，時刻 t と，小物体1のパイプに沿った移動距離との関係を，解答欄のグラフに示しなさい。なお，グラフの縦軸の L は，図中の L に対応する。

(8)　$0 \leqq t < t_L$，および $t_L < t < 2t_L$ の範囲で，時刻 t と，ひもの張力の大きさとの関係を，解答欄のグラフに示しなさい。なお，グラフ中に●(黒丸印)で示す点は，時刻 $t = 0$ での張力の大きさを表すものとする。

[II]　つぎに，パイプ内の下の面と小物体との間に摩擦力が働く場合を考えよう。パイプ内の下の面と小物体との間の動摩擦係数を μ' とする。

ひもを張った状態で，小物体1を斜面上のパイプ内で接続部から距離 L の位置，小物体2を水平面上のパイプ内で接続部から距離 L の位置におき，静かに放したところ，小物体は初速度の大きさ0で動き始めた。

(9)　小物体1が斜面を下っているときの，二つの小物体の加速度の大きさを g，θ，μ' を用いて表しなさい。

(10)　二つの小物体が，運動を開始してから接続部を通過するまでの時間を g，θ，L，μ' を用いて表しなさい。

(11)　次の文章の空欄 $\boxed{\text{(オ)}}$，$\boxed{\text{(カ)}}$ にあてはまる式を，m，g，θ，L，μ' のうち，必要なものを用いて表しなさい。ただし，重力による位置エネルギーの基準面は水平面にとりなさい。

小物体1と2が運動を開始してから接続部を通過するまでに，それぞれが摩擦力からされた仕事の和の大きさは $\boxed{\text{(オ)}}$ である。二つの小物体が接続部を通過するときの，それぞれの力学的エネルギーの和は $\boxed{\text{(カ)}}$ となる。

2 真空中に横幅 w[m]，奥行き l[m]の長方形極板 1， 2 があり，極板間隔を d[m]とする平行板コンデンサーを構成している。このコンデンサーと抵抗値 R[Ω]の抵抗器，スイッチ S，および起電力 V[V]の直流電源を使って図 1 のような回路を組んだ。なお，極板の横幅 w，および奥行き l は極板間隔 d に対して十分大きいものとし，真空の誘電率を ε_0[F/m]とする。また，図 1 に示すように，極板 1 の真ん中(対角線の交点)に原点 O をとり，長さ w の辺に平行右向きに x 軸を，極板 1 に垂直上向きに y 軸をとる。最初スイッチ S は開いており，極板は帯電していないものとする。この状態を初期状態とよぶものとし，以下の(1)から(14)の問に答えよ。

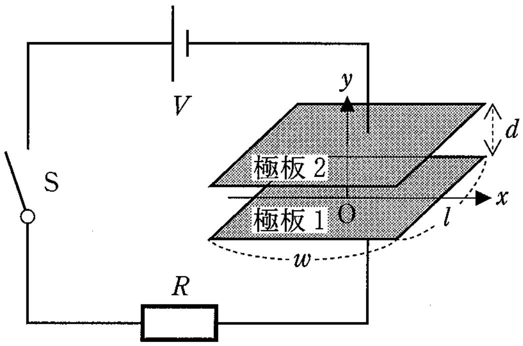


図 1

初期状態からスイッチ S を閉じ，十分時間が経過し，コンデンサーの充電が終了した。

(1) 抵抗器の両端間の電圧の大きさを求めよ。

(2) 極板間の電場(電界)の大きさ E[N/C]を求めよ。

(3) このコンデンサーの電気容量を d，l，w，ε_0 を用いて表せ。

(4) コンデンサーに蓄えられた電荷 Q_0[C]は電場の大きさ E を用いて $Q_0 = \boxed{} \times E$ と表される。空欄 $\boxed{}$ に入る適切な数式を求めよ。

次に，スイッチSを開いて，極板の電荷を全て取り除き，回路を初期状態に戻した。その後，横幅 $\frac{w}{2}$，奥行き l，厚さ d の直方体の形をした帯電していない誘電体を，図2のようにコンデンサーの左端から距離 $\frac{w}{6}$ 離れた位置に挿入した。それから，スイッチSを閉じ，十分に時間が経過した。誘電体の比誘電率は10であり，誘電体は極板間からはみ出ないものとする。

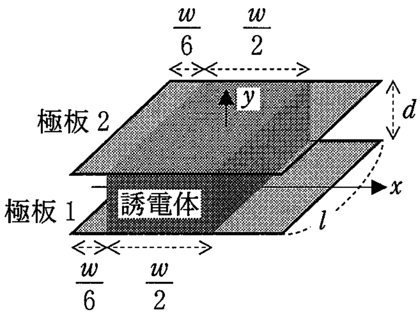


図 2

(5) 横軸を x 座標とし，縦軸をその x 座標での極板間の電場の大きさとしたグラフの概形として，最も適切なものを図4のグラフ群のA～Fから一つ選べ。

(6) 極板1を左から領域1 $(-\frac{w}{2} < x < -\frac{w}{3})$，領域2 $(-\frac{w}{3} < x < \frac{w}{6})$，領域3 $(\frac{w}{6} < x < \frac{w}{2})$ の3領域にわける。各領域に帯電した電荷はそれぞれ Q_0 の何倍になるか答えよ。

(7) 極板1に帯電した電荷の総量は Q_0 の何倍になるか答えよ。

(8) 図2の平行板コンデンサーの電気容量を d，l，w，ε_0 を用いて表せ。

次に，誘電体を取り除いて，回路を初期状態に戻した。その後，極板間に横幅 w，奥行き l，厚さ $\frac{d}{2}$ の直方体の形をした帯電していない導体を，図3のように導体の下面を極板1と平行にして，$\frac{d}{6}$ だけ離れた位置に挿入した。それから，スイッチSを閉じ，十分に時間が経過した。なお，導体は極板間からはみ出ないものとする。

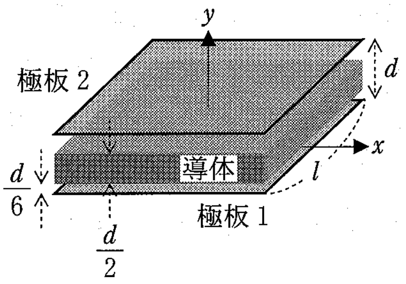


図 3

(9) 極板 1 に帯電した電荷を Q_1[C] とする。挿入した導体の上面，下面に現れる電荷をそれぞれ Q_1 を用いて表せ。

(10) 横軸を y 座標とし，縦軸をその y 座標での極板間の電場の大きさとしたグラフの概形として，最も適切なものを図 4 のグラフ群の G〜L から一つ選べ。また，横軸を y 座標とし，縦軸をその y 座標での電位としたグラフの概形として，最も適切なものを図 4 のグラフ群の M〜R から一つ選べ。ただし，極板 2 の電位を 0 V とする。

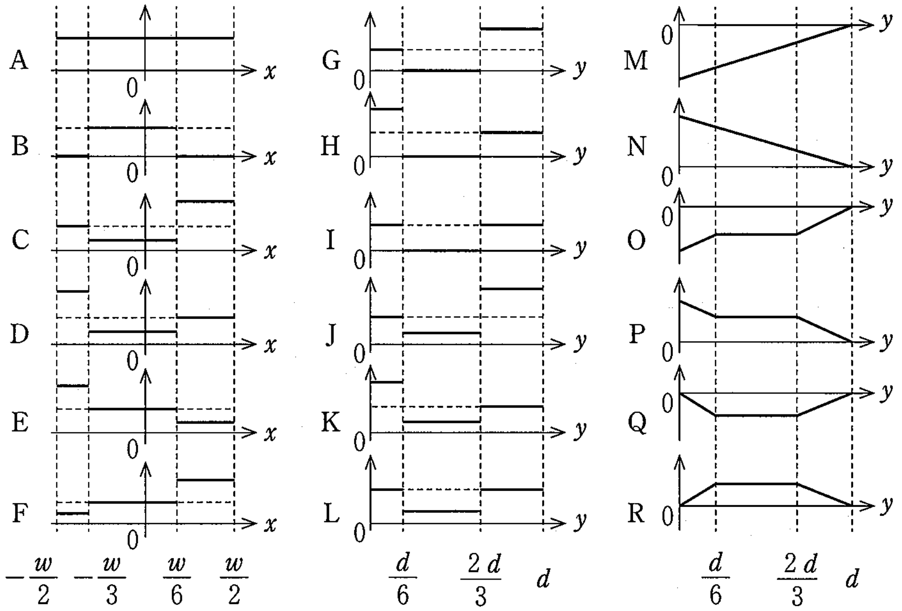
(11) 極板 1 と導体下面の間の電場の大きさを d, V を用いて表せ。

(12) Q_1 は Q_0 の何倍になるか答えよ。

(13) 図 3 の平行板コンデンサーの電気容量を d, l, w, ε_0 を用いて表せ。

最後に，導体を取り去り，回路を初期状態に戻したのち，図 3 の導体と形，大きさが同じで，比誘電率 10 の帯電していない誘電体を図 3 の導体と同じ位置に挿入した。その後，スイッチ S を閉じ，十分に時間が経過した。

(14) 極板 1 に帯電した電荷は Q_0 の何倍になるか答えよ。


A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
0
x
y
$-\frac{w}{2}$
$-\frac{w}{3}$
$\frac{w}{6}$
$\frac{w}{2}$
$\frac{d}{6}$
$\frac{2d}{3}$
d

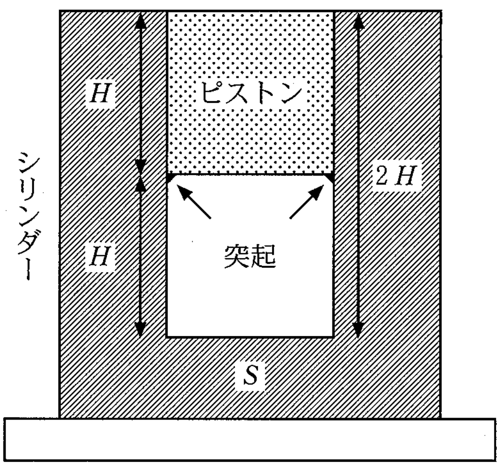
グラフ群

図4

3 太郎君は，圧力なべで料理をしたとき材料が煮立つとピーと音がするのを参考に，次のような実験を考えた。

図のように，熱容量が C_1[J/K]のシリンダーと，熱容量が C_2[J/K]のピストンで組み立てられた装置が水平な台の上に鉛直に置かれている。シリンダーは，穴の部分の断面積が S[m^2]，深さが $2H$[m]であり，その H[m]の深さの位置に体積の無視できる小さな突起がある。ピストンは，断面積が S[m^2]，長さが H[m]，質量が M[kg]であり，突起の部分で止まっている。熱容量の無視できるヒーターがシリンダーに埋め込まれており，この装置を加熱することができる。

ピストンの下の空間には，n[mol]の理想気体が閉じ込められており，ピストンの上側は圧力が p_0[Pa]の外気に接している。この理想気体の定積モル比熱を c_v[J/(mol·K)]とする。ピストンは気体をもらすことなく滑らかにシリンダー内を動くことができる。また，装置と外部との間の熱の移動，シリンダーやピストンの熱膨張，および気体の位置エネルギーの変化は無視できるものとする。ここで，気体定数を R[J/(mol·K)]とし，重力加速度の大きさを g[m/s^2]とする。



図

◇M21(449—125)

(1)　この理想気体の定圧モル比熱を c_v と R を用いて表せ。

最初，この装置，および気体の温度が T_1[K]であったとき，ピストンは突起の部分で止まっていた。ピストンの下の空間の気体の圧力を測ると，p_1[Pa]であった。

(2)　圧力 p_1 を求めよ。

次に，ヒーターに電流を流し，装置と気体全体の温度を均一に保ちながら，T_1 からゆっくりと温度を上げていった。温度が T_2[K]になったとき，ピストンが突起から離れた。さらに電流を流し続けると，ピストンは気体によって徐々に持ちあげられ，温度が T_3[K]になった直後，ピストンがシリンダー上部からはずれ，シリンダーから気体がもれ出た。

(3)　温度 T_2 を求めよ。

(4)　温度 T_3 を，T_2 を用いて表せ。

温度が T_1 から T_3 になるまでの間に，装置，気体はヒーターから熱を得て仕事をした。

(5)　以下の文中の(ア)〜(エ)に入る適当な数式を求めよ。ただし，ΔT_2[K]，ΔT_3[K]は $\Delta T_2 = T_2 - T_1$，$\Delta T_3 = T_3 - T_2$ とする。

温度が T_1 から T_3 になるまでの間にヒーターが装置と気体に与えた熱量の総計 Q[J]は，

$$Q = \boxed{\text{(ア)}} \times \Delta T_2 + \boxed{\text{(イ)}} \times \Delta T_3 \text{ と表される。}$$

また，温度が T_1 から T_3 になるまでの間の気体の内部エネルギーの変化量 ΔU[J]は，

$$\Delta U = \boxed{\text{(ウ)}} \times \Delta T_2 + \boxed{\text{(エ)}} \times \Delta T_3 \text{ と表される。}$$

(6)　温度が T_1 から T_3 になるまでの間に気体がした仕事 W[J]を，M，S，H，p_0，g を用いて表せ。