2018年度

理　　　科

		〔問題ページ数〕	〔解答用紙枚数〕
RA	物　　理	6 ページ	3 枚

3月12日(月)
【後 期 日 程】

理　学　部（物理学科，生物科学科，創造理学コース）
工　学　部
農　学　部

13：30～14：50

注 意 事 項

試験開始前

1 監督者の指示があるまで，問題冊子，解答用紙に手を触れてはいけません。

2 監督者の指示に従い，自分の選択した科目の問題冊子，解答用紙であるかどうかを確かめ，全部の解答用紙に受験番号を記入しなさい。

3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

4 はじめに，問題冊子，解答用紙を確かめ，枚数の不足や，印刷の不鮮明なもの，ページの落丁・乱丁があった場合は，手をあげて監督者に申し出なさい。

5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。

6 問題は，声を出して読んではいけません。

7 各問ごとの配点は，比率(%)で表示してあります。

試験終了後

8 問題冊子は，必ず持ち帰りなさい。

1 図1のように壁と小球1を質量の無視できるバネでつなげ，水平面上に置いた。小球1の質量をm，バネ定数をk，重力加速度の大きさをgとする。小球1は左右にだけ動くとし，小球1の大きさは無視してよい。また小球1と床の間の摩擦は無視してよい。小球1の位置座標をxとし，右向きを正の方向にとる。バネが自然長における小球1の位置を$x=0$とする。このとき，以下の問いに答えよ。(配点30％)

問1　小球1を$x=-A\,(A>0)$から静かに離したところ，小球1は周期Tの単振動をした。Tをm，k，Aから必要なものを用いて表せ。

問2　次に図2のように，バネを壁から外し，質量$2m$の小球2につなぎ，小球2が壁に接するように置いた。小球2と床の間の摩擦，および小球2の大きさは無視してよい。小球1を$x=-A$から静かに離したときの運動を考える。

(1) はじめ，小球2は壁に接したまま，小球1だけが右に動いた。図3のように小球1が$x=-\frac{1}{2}A$の位置に来たとき，小球2が壁から受ける抗力の大きさをm，k，Aから必要なものを用いて表せ。

(2) 小球2が壁から離れるときの小球1のx座標をx_0とする。x_0を求めよ。また，このときの小球1の速度をv_0とする。v_0をm，k，Aから必要なものを用いて表せ。

(3) 小球2が壁から離れたあとは，バネは周期的に伸縮しながら全体として右に進んでいった。小球2が壁に衝突することはなかった。このとき，小球1と小球2の運動量の和をm，v_0を用いて表せ。

(4) 小球2が壁から離れたあと，ある時刻にバネの長さが自然長になった。このときの小球1の速度をv_0を用いて表せ。答えは2通りあるため，両方とも書くこと。

(5) 小球2が壁から離れたあと，ある時刻にバネの長さが最大になった。このときのバネの長さは自然長よりもBだけ伸びていた。BをAを用いて表せ。

問3　図4のように，小球2の代わりに，物体3をバネにつなぎ，物体3が壁に接するように置いた。物体3と床の間には摩擦力が働き，その動摩擦係数をμ'，静止摩擦係数をμとする。物体3の質量はMとし，大きさは無視してよい。前問と同様に，小球1を$x=-A$から静かに離したときの運動を考える。

(1) 物体3が動き出すためにはAとしてA_0より大きくとる必要がある。A_0をm，M，k，g，μ，μ'から必要なものを用いて表せ。

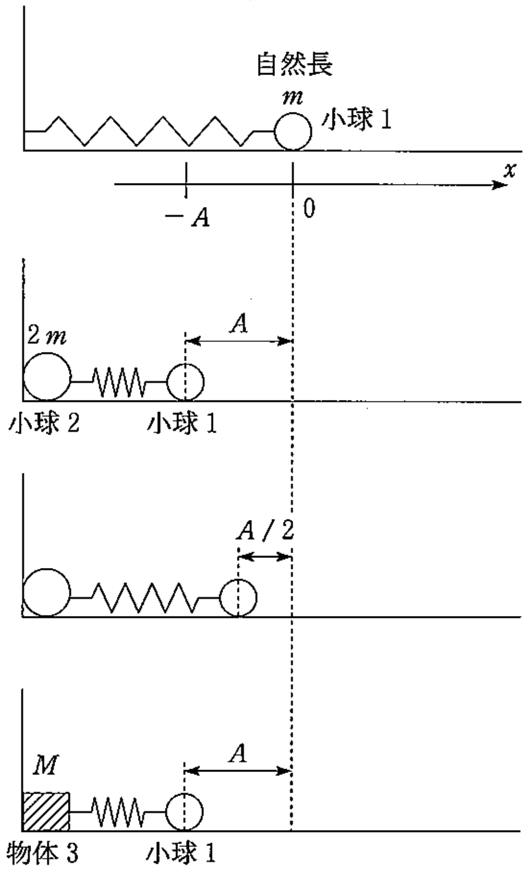
(2) AをA_0より大きくしたとき，物体3は左方向に進むことなく，右にLだけ進んで静止した。そして物体3が静止したあと，小球1は単振動をした。この単振動の振幅をA，L，m，M，k，g，μ，μ'から必要なものを用いて表せ。

図 1

図 2

図 3

図 4



2 空気中に図のように2枚の金属板が距離dで平行に置かれていて，直流電源によって電位差を与えられるようになっており，下の金属板はアース(接地)されている。電子がいくつか付着した球形の油滴が上の金属板の穴から落下してくる。油滴の半径や付着した電子の数は油滴によって異なる。金属板間での油滴の運動は顕微鏡を使って観察でき，油滴の速さを測定することができるが半径を測定することはできない。半径r，電荷$-q(q>0)$の油滴について以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさをgとする。(配点35％)

問1 油滴に関して次の問いに答えよ。ただし，スイッチは開いていて金属板間の電位差は0とする。

(1) 油滴の密度をρとして，油滴に働く重力の大きさを求めよ。

(2) 油滴の密度を$0.78\,\mathrm{g/cm^3}$，空気の密度を$1.3\,\mathrm{kg/m^3}$とすると，油滴に働く重力の大きさは，油滴に働く浮力の大きさの何倍になるかを単位に注意して求めよ。

以下の問いでは油滴の密度をρとし油滴に働く浮力は無視してよい。

問2 油滴は一定の速さで金属板間を落下した。油滴には速さvと半径rに比例する空気による抵抗力が働く。この抵抗力の大きさをkrvとするとき，油滴の速さを求めよ。ただし，スイッチは開いていて金属板間の電位差は0とする。

問3 スイッチを閉じて金属板間に電位差を与えた。金属板間の電場が一様だとして次の問いに答えよ。

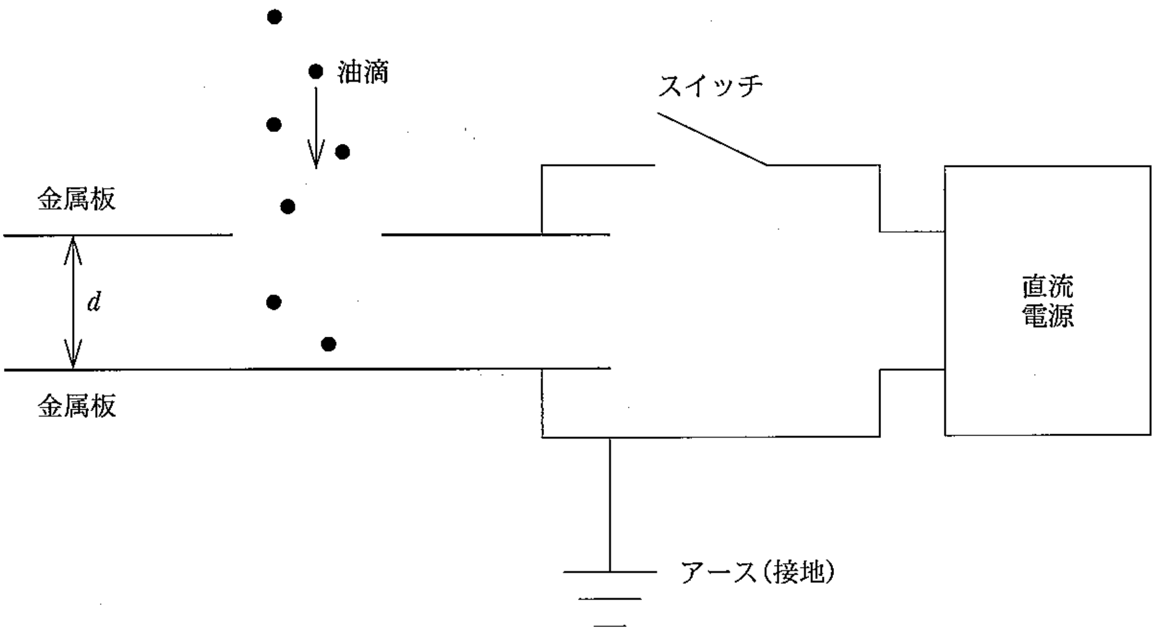
(1) 上の金属板の電位を$V(V>0)$としたとき，油滴は上昇し，しばらくすると一定の速さv_1になった。v_1を求めよ。

(2) 上の金属板の電位を逆の符号の$-V$としたとき，油滴は下降し，しばらくすると一定の速さv_2になった。v_2を求めよ。

(3) 油滴の半径rをv_2-v_1を用いて表せ。

(4) 電荷qをv_1+v_2を用いて表せ。ただし，油滴の半径にはrを用いること。

(5) この装置を使って，電子1個の電荷の値を測定する方法を述べよ。ただし，kの値はわかっているものとする。



図

3 図1のように，断面積がSのシリンダーがある。シリンダーにピストンを取り付け，シリンダーの中に1モルの理想気体を閉じ込める。ピストンの質量は十分軽いため，無視できるとする。シリンダーの外には大気があり，大気の圧力をp_0，温度をT_0とする。シリンダーの底面から測ったピストンの高さがLであるとき，シリンダー内の気体の圧力と温度は大気と同じで，p_0とT_0であるとする。ピストンとシリンダーは断熱材でできているため，熱の出入りはない。断熱変化する気体の性質を用いて，ピストンの運動について考える。気体定数をR，理想気体の定積モル比熱をC_V，重力加速度の大きさをgとする。次の問題を読んで，$\boxed{(1)}$から$\boxed{(13)}$の中に適切な数式を入れよ。問4の$\boxed{(12)}$では，解答用紙にグラフの概略をかけ。（配点35％）

問1　シリンダー内にある1モルの理想気体の状態方程式$p_0V_0 = RT_0$について考える。ここで，V_0は図1の状態での気体の体積である。図2のように，ピストンの位置を底面の方向へ微小な距離xだけ移動させた。この場合，体積の微小な変化をΔVとすると，シリンダー内の体積は減少しているので，xを用いて，$\Delta V = \boxed{(1)}$と表される。体積がΔVだけ微小変化すると，シリンダー内の気体の圧力と温度も，それぞれΔp，ΔTだけ微小変化する。微小な変化の後でも状態方程式は成り立つため，$(p_0 + \Delta p)(V_0 + \Delta V) = R(T_0 + \Delta T)$の関係がある。この方程式について，微小変化する前の状態方程式を利用して気体定数を消去し，さらに，微小な変化量同士の積である$\Delta p \Delta V$に比例する項は十分小さいとして無視すると，$\dfrac{\Delta p}{p_0}$は$\dfrac{\Delta T}{T_0}$と$\dfrac{\Delta V}{V_0}$を用いて，$\dfrac{\Delta p}{p_0} = \boxed{(2)}$と表される。

問2　ピストンの位置を，図2のように微小な距離xだけ移動させた場合を考えたとき，シリンダー内の気体がされた仕事をWとすると，xを用いて，$W = \boxed{(3)}$と表される。このとき，気体の温度がΔTだけ微小変化したとすると，気体の内部エネルギーの変化ΔUは，$\Delta U = \boxed{(4)}$となる。熱力学第一法則より，気体に与えた熱量を一般的にQとすると，QはWとΔTを用いて，$Q = \boxed{(5)}$と表される。一方，ここで考えている変化は断熱変化であるので，$Q = \boxed{(5)} = 0$となる。この関係式から，ΔTは，xを用いて，$\Delta T = \boxed{(6)}$と表される。次に，$\boxed{(1)}$，$\boxed{(2)}$と$\boxed{(6)}$で得た関係式を利用すると，$\dfrac{\Delta p}{p_0}$はxに比例することがわかる。$L = \dfrac{V_0}{S}$，比熱比を$\gamma = \dfrac{C_V + R}{C_V}$とする。$L$と$\gamma$を用いると，$\dfrac{\Delta p}{p_0} = \boxed{(7)}$と表される。この関係式から，ピストンが$x$だけ変位したときのシリンダー内の圧力がわかる。この圧力をp_xとすると，$p_x = \boxed{(8)}$となる。

問 3　時刻tが$t \leqq 0$の場合，ピストンは静止しており，ピストンの変位は0である。図3のように，時刻$t = 0$でピストンの上に質量mの物体を初速度0で静かに置くと，その後ピストンは運動し始めた。ピストンが運動している間も，状態方程式は成り立っているものとする。mは十分小さいため，ピストンの変位は微小である。ピストンの位置が底面の方向へ距離xだけ変位したとき，ピストンに働く力の鉛直成分をF_xとする。鉛直下向きを力の正の方向とする。F_xをxを用いて表すと，$F_x = \boxed{(9)}$ となる。これより，ピストンは$x = x_0$を中心に，角振動数ωで単振動することがわかる。x_0とωを求めると，$x_0 = \boxed{(10)}$，$\omega = \boxed{(11)}$ と表される。

問 4　時刻tにおけるピストンの変位をtの関数として考え，$x(t)$と表す。振動の周期を$T = \dfrac{2\pi}{\omega}$とする。時刻が$0 \leqq t \leqq 2T$の範囲で，$x(t)$のグラフの概略を解答用紙の $\boxed{(12)}$ にかけ。また，$x(t)$をtの関数として式で表すと，x_0とωを用いて，$x(t) = \boxed{(13)}$ となる。

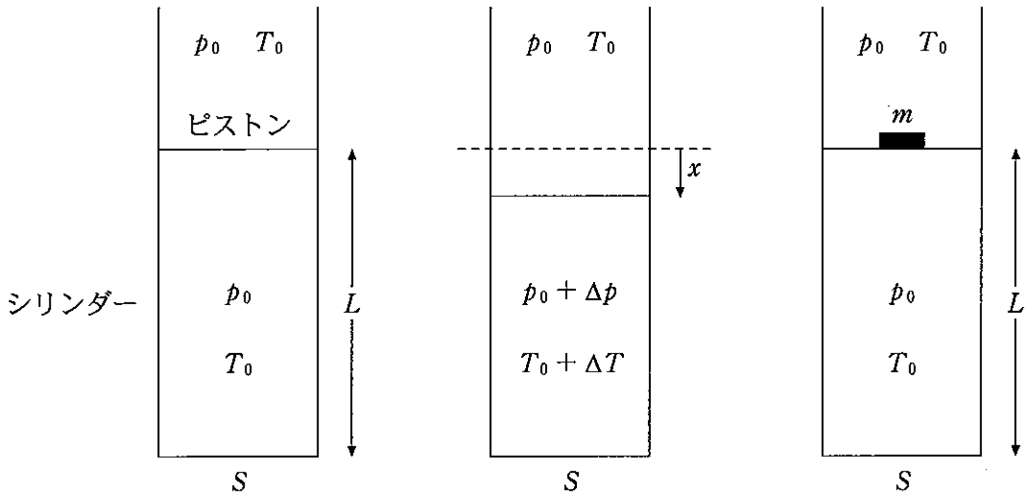


図 1　　図 2　　図 3