令和８年度入学試験問題（後期）

理　　科（物　理）

【注 意 事 項】

1. 試験開始の合図があるまで，この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には，$\boxed{1}$ から $\boxed{3}$ までの３問題が印刷されていて，合計７ページある。
   落丁，乱丁，印刷の不鮮明な箇所等がある場合には，申し出ること。
4. 解答用紙はＡ―１～Ａ―３を別に配付している。解答は，問題と同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. 解答用紙の指定された欄に，学部名および受験番号を記入すること。
6. 提出した解答用紙以外は，すべて持ち帰ること。

1　図1のように，質量 m で大きさが無視できる小球を糸につけた，長さ L の単振り子がある。糸を直線に張ったまま糸と鉛直下方向がなす初期角度 θ_0〔rad〕$\left(0 < \theta_0 < \dfrac{\pi}{2}\right.$，$\pi$：円周率$\left.\right)$の位置へ小球を動かし，静かにはなす。運動中の単振り子の糸が鉛直下方向となす角度を θ〔rad〕とし，θ_0 が十分に小さいときに常に成り立つ近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いて計算した単振り子の周期 T_A と，実験から得られた周期 T_B を考察する。ここで，θ_0 と θ について反時計回り方向を正，$\theta = 0$ の位置から弧に沿った小球の変位を $x = L\theta$，重力加速度の大きさを g とし，鉛直面内の小球の運動のみを考慮し，糸は伸び縮みせず常に直線を保ち，糸の質量，空気抵抗は無視できるものとする。

問 1　θ_0 が十分に小さいとき，小球の運動は単振動とみなせる。このとき，周期 T_A は

$$T_\mathrm{A} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad \text{(A)}$$

で表されることを，近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いて示しなさい。

問 2　θ_0，L，m をそれぞれ変えながら，周期 T_B の測定を行い，表1～3の実験結果を得た。図2は表1の実験結果をプロットしたものであり，$L = 0.50\ \mathrm{m}$ の場合に式(A)から計算される T_A も，実線として描かれている。

(1)　表2と表3の実験結果を，解答用紙のグラフにプロットしなさい。グラフには，式(A)から計算される T_A が，実線として描かれている。

(2)　実験結果から，θ_0 が十分に小さくない場合，θ_0，L，m がそれぞれ増えると，T_B がどのように変化するかを答えなさい。解答用紙に，「長くなる」，「短くなる」，「変わらない」のいずれかを記入すること。

(3)　式(A)を用いて T_A を計算した場合，θ_0，L，m がそれぞれ増えると，T_A がどのように変化するかを，(2)と同様に答えなさい。

問 3　図2から，$\theta_0 = \dfrac{\pi}{3}$ では T_B が T_A より長い。これは近似の影響だと考えられる。そこで，近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \theta$ を用いて導出した小球の速さを v_A，近似式を用いずに導出した小球の速さを v_B とし，「同じ角度 θ における」v_A と v_B の違いから，近似式を用いない場合の方が長い周期となることを確かめる。

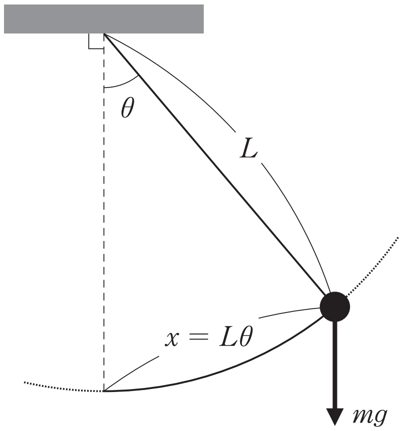


図 1

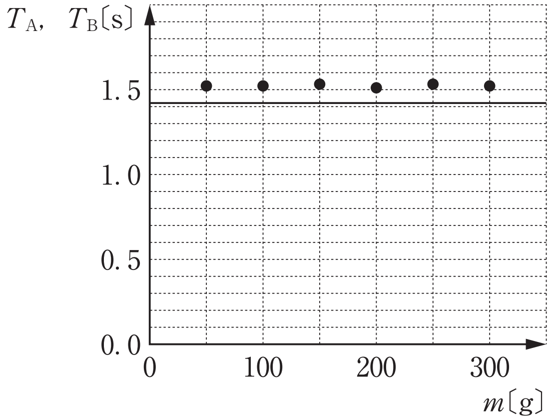


図 2

表 1 ：$\theta_0 = \dfrac{\pi}{3}$, $L = 0.50$ m に固定し，T_B の m による変化を調べた実験

m〔g〕	50	100	150	200	250	300
T_B〔s〕	1.52	1.52	1.53	1.51	1.53	1.52

表 2 ：$m = 100$ g, $L = 0.50$ m に固定し，T_B の θ_0 による変化を調べた実験

θ_0〔rad〕	$\dfrac{\pi}{36}$ (= 5°)	$\dfrac{\pi}{18}$ (= 10°)	$\dfrac{\pi}{9}$ (= 20°)	$\dfrac{2\pi}{9}$ (= 40°)	$\dfrac{\pi}{3}$ (= 60°)	$\dfrac{4\pi}{9}$ (= 80°)
T_B〔s〕	1.42	1.42	1.44	1.47	1.52	1.63

表 3 ：$\theta_0 = \dfrac{\pi}{3}$, $m = 100$ g に固定し，T_B の L による変化を調べた実験

L〔m〕	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
T_B〔s〕	0.68	0.97	1.36	1.67	1.94	2.15

⑴　近似式を用いた場合，小球の運動は，ばね振り子と同じ運動とみなせる。このときのばね定数kを，m，g，Lのうち，必要な記号を用いて表しなさい。

⑵　速さがv_Aの場合の小球の運動エネルギー$\dfrac{1}{2}mv_\mathrm{A}^2$を，弾性力による位置エネルギー$\dfrac{1}{2}kx^2$を用いて求め，$m$，$g$，$L$，$\theta_0$，$\theta$のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

⑶　速さがv_Bの場合の小球の運動エネルギー$\dfrac{1}{2}mv_\mathrm{B}^2$を，重力による位置エネルギーを用いて求め，$m$，$g$，$L$，$\theta_0$，$\theta$のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

⑷　運動中の単振り子が取りうるθの範囲を，θ_0を用いて表しなさい。

⑸　⑵と⑶の運動エネルギーから，⑷の範囲内の任意のθに対し，$v_\mathrm{A} \geqq v_\mathrm{B}$であることを示しなさい。必要があれば，$\theta^2 + 2\cos\theta$は偶関数($\theta$の正負を入れ替えても同じ値になる)，かつ$\theta > 0$において単調増加関数であることを用いなさい。

⑹　$v_\mathrm{A} = v_\mathrm{B}$が成り立つときの$\theta$を，$\theta_0$を用いて表しなさい。

以上より，⑹のθ以外では，⑷の範囲内の任意のθにおいて常に$v_\mathrm{A} > v_\mathrm{B}$であるため，近似式$\sin\theta \fallingdotseq \theta$を用いない場合の方が長い周期となる。

2 図1のように断熱材でできた高さ $2h$，断面積 S のシリンダーがあり，その内部は熱をよく伝える材料で作られた，なめらかに動くピストンによって仕切られている。ピストンの質量を m，断面積を S とし，ピストンはシリンダー高さの中央位置に固定されている。また，ピストンには開閉可能な栓が取り付けられており，初期状態では閉じられている。ピストン上側の空間には単原子分子からなる理想気体が圧力 p_0，物質量 n，温度 T_0 で封入されており，下側の空間には同じ単原子分子からなる理想気体が圧力 $3p_0$，物質量 $3n$，温度 T_0 で封入されている。

気体定数を R，重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えなさい。ただし，ピストンの厚さ，栓の質量，それらの熱容量，気体にかかる重力はすべて無視できるものとする。

問 1 ピストンを固定したまま栓を開き，十分に時間が経過したとき，気体の圧力は p_1 となった(図2)。なお，混合時の温度変化はないものとする。

(1) 図2の状態における気体の圧力 p_1 を，p_0，m，g，S のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

(2) 混合前後でシリンダー内の気体全体の内部エネルギーはどうなるか理由とともに説明しなさい。

問 2 図2の状態から栓を再び閉じ，ピストンの固定を外すと，十分な時間が経過した後，ピストンは元の位置から L だけ下がった位置で静止した(図3)。このときのシリンダー内の気体の温度とピストン上下の圧力をそれぞれ T，p_2，p_3 とする。

(1) 静止したピストン上下の気体の圧力差 $p_3 - p_2$ を，m，g，S，h，L のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

(2) 静止したピストン下側の気体の圧力 p_3 を，m，g，S，h，L のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

(3) 静止後のシリンダー内の気体の温度 T を，m，g，n，R，h，L のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

(4) ピストン位置の変位 L を，p_0，m，g，S，h のうち，必要な記号を用いて表しなさい。

問 3　図 3 の状態から栓を再び開いたところ，ピストンはシリンダーの底面までゆっくりと落下した。このときの気体の温度は，問 2 の T と比べて高いか低いか答えなさい。また，その理由を述べなさい。

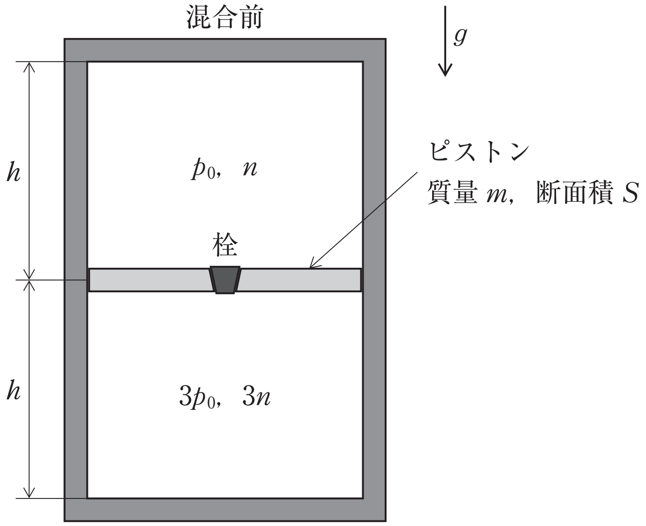


図 1

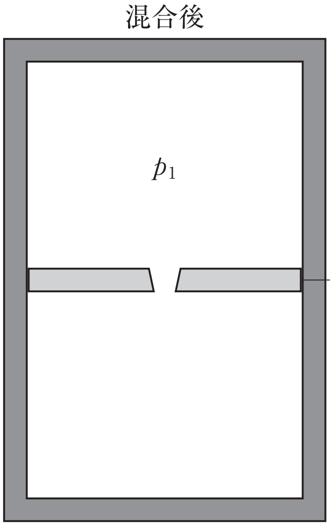


図 2

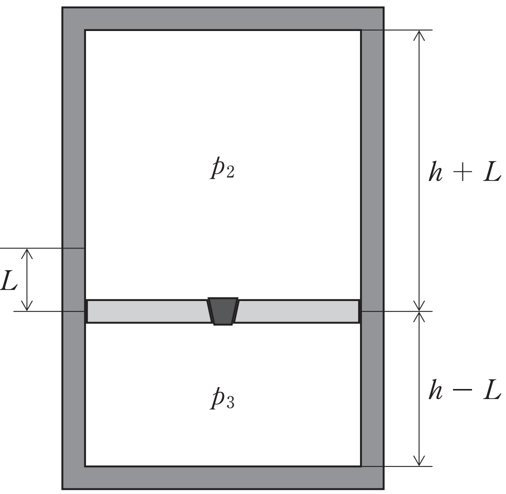


図 3

3 真空中に，図1のように原点O，x軸，y軸，z軸をとり，点O′，平面S，平行板コンデンサーM_1とM_2を配置する。点O′はz軸上，平面Sはxy平面上にある。M_1とM_2は1辺の長さがwの正方形の極板からなり，極板の間隔がwの平行板コンデンサーである。M_1とM_2はすべての極板の中心とz軸との距離が$\frac{w}{2}$となる位置に配置している。M_1は極板の辺がx軸またはz軸と平行，M_2は極板の辺がy軸またはz軸と平行である。点O′とM_1，M_1とM_2，M_2と平面Sのz軸方向の間隔はすべてLとする。

M_1では図1の上側の極板の電位を$+\frac{V_1}{2}$，下側の極板の電位を$-\frac{V_1}{2}$とし，極板間の電位差をV_1にする。M_2では図1の奥側の極板の電位を$+\frac{V_2}{2}$，手前側の極板の電位を$-\frac{V_2}{2}$とし，極板間の電位差をV_2にする。この状態で，点O′から原点Oの方向へ電荷$-q(q > 0)$を持つ質量mの荷電粒子を速さvで発射した場合，平面Sのどの位置に到達するかを考える。ただし，荷電粒子は，M_2が作る電場(電界)から抜けるまでにz軸との距離が$\frac{w}{2}$より大きくなることはないものとする。また，荷電粒子にかかる重力，平行板コンデンサーの極板端の電場(電界)の乱れは無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。

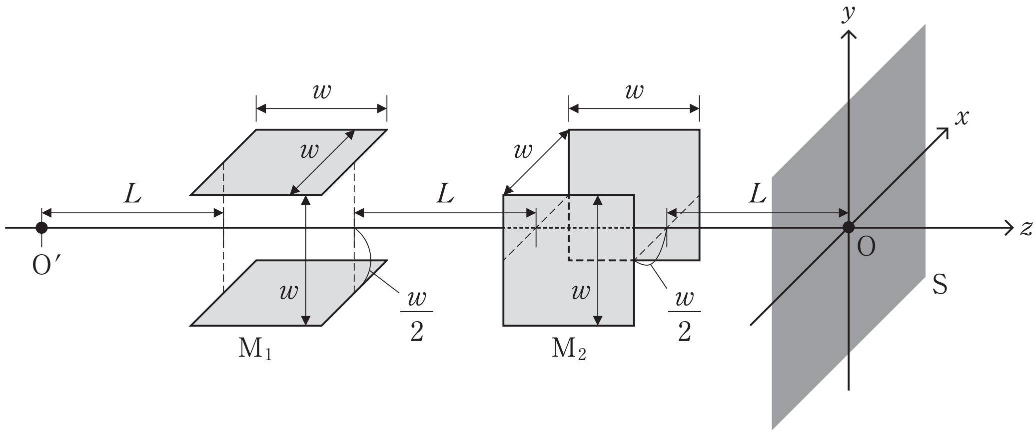
問1　M_1とM_2の極板間の電位差V_1とV_2をそれぞれ一定に保った状態で，時刻0に荷電粒子を発射する。以下に指示された量を，w，L，V_1，V_2，q，m，vのうち，必要な記号を用いて表しなさい。

(1)　荷電粒子が平面Sに到達する時刻

(2)　荷電粒子がM_1が作る電場(電界)を出る時点での速さ

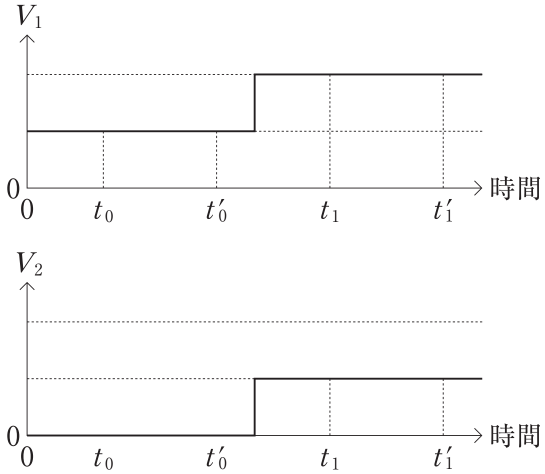
(3)　荷電粒子の平面Sへの到達位置のx座標とy座標

問2　M_1とM_2の極板間の電位差V_1とV_2をそれぞれ図2のように時間変化させ，荷電粒子を2個発射する。時刻t_0で発射した1個目の荷電粒子は，時刻t_0'で平面Sに到達した。時刻t_1で発射した2個目の荷電粒子は，時刻t_1'で平面Sの図3の×印の位置に到達した。1個目の荷電粒子が平面Sのどの位置に到達したか，解答用紙のグラフに●印を書き込み，理由を説明しなさい。



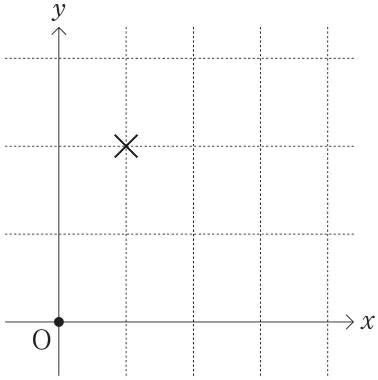
w
w
L
L
L
w
w
w
w
w
y
x
z
O′
O
S
w
2
w
2
M1
M2

図 1



V1
0
0
t0
t′0
t1
t′1
時間
V2
0
0
t0
t′0
t1
t′1
時間

図 2



y
x
O

図 3