

和歌山県立医科大学

平成 26 年 度

理 科

問 題 冊 子

物 理

第1問 次の文を読んで、設問に答えよ。なお、 には適した式を、それぞれ記せ。

図1のように、水平な床の上にはばね定数 k のばねが壁に固定されており、ばねの自然長(自然の長さ)の位置に質量 m_A の物体 A が置かれている。このときの物体 A の位置を原点 O とし、水平右向きを x 軸の正の方向とする。床は $x \leq 0$ で粗く、床と物体 A の間の静止摩擦係数は μ 、動摩擦係数は μ' である。また、床は $x > 0$ でなめらかであり、質量 m_B の物体 B と、質量 M のなめらかな斜面を持つ台 C が置かれている。台 C の斜面は水平面と角度 θ をなし、床とはなめらかに接続されている。これより、 $x > 0$ の運動では摩擦を考えなくてよい。物体 A と物体 B の大きさは無視できるとし、物体 A と物体 B、台 C 以外の部分の質量は無視できるとする。なお、重力加速度を g とする。

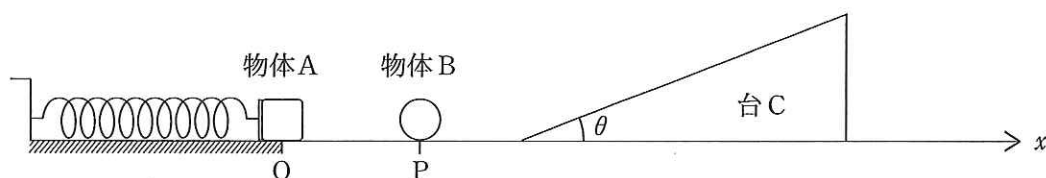


図1

I 物体 A を x 軸の負の方向に少しだけ移動して静かに放すことを繰り返すと、ばねの縮みが d_0 を越えた瞬間に物体 A は x 軸の正の方向に動き出した。このとき、 $d_0 = \text{1}$ である。

II 今度は物体 A を持ってばねを $d_1 (> d_0)$ だけ縮めてから静かに放した。 $x \leq 0$ での運動方程式は、位置 x での物体 A の加速度を a_1 とすると、2 となる。物体 A の速度が最大になるのは $x = \text{3}$ のときであり、速度は 4 である。また、物体 A が $x \leq 0$ で停止しない条件は $d_1 > \text{5}$ であり、このときの原点 O での速度は 6 である。

物体 A は $x \leq 0$ で停止せずに位置 O を通過し、位置 P で物体 B とはね返り係数 e で衝突した。衝突後の物体 B の速度は $v_B = \text{7}$ である。

問1 床と物体 A の間の静止摩擦係数を $\mu = 0.5$ 、動摩擦係数を $\mu' = 0.2$ とする。物体 A が位置 P で物体 B に衝突するために、ばねの縮み d_1 が満たさなければならない条件を示せ。

Ⅲ 物体 B は物体 A と衝突後、速さ v_B で台 C の斜面を上り始めた。物体 B が台 C の斜面から受ける垂直抗力の大きさを R とし、台 C の床に対する加速度を a_2 とすると、台 C の運動方程式は 8 である。

加速度 a_2 で移動する台 C に乗った観測者から見ると、物体 B に働く力のうち、斜面に垂直な方向については、つり合いの式 9 が成り立つ。また、物体 B に働く斜面に沿った方向の力は、斜面に沿って上向きを正とし、 R と a_2 を用いずに表すと、10 となる。これより、物体 B が台の右側から飛び出さないとして、物体 B が斜面を上る高さは 11 である。

第2問 次の文を読んで、 に適した式か値を、それぞれ記せ。ただし、 10 ,
 11 , 12 では、取り得る自然数(正の整数)のうち、最小の値を記せ。なお、
 はすでに与えられたものと同じ式を表す。

図のように、紙面内に x 軸と y 軸をとり、紙面に垂直で手前向きに z 軸をとる。この xyz 空間に一様な電場(電界)と磁場(磁界)をかけて、質量 m 、電荷 $q(>0)$ の粒子 P の運動を考える。ただし、粒子に働く重力の効果は無視できるとする。

I 図 2-1 のように、 z 軸の負の方向に磁束密度の大きさ B の磁場と、 z 軸の正の方向に大きさ E の電場をかけ、時刻 $t=0$ に原点 O から x 軸の正の方向に粒子 P を速さ v_0 で入射する。

時刻 t における粒子 P の速度を (v_x, v_y, v_z) 、加速度を (a_x, a_y, a_z) とおくと、粒子 P の運動方程式の x 成分は 1 , y 成分は 2 , z 成分は 3 である。

粒子 P の運動を xy 平面に投影したとき、運動の軌道の半径は 4 であり、この軌道を一周するのに要する時間は $T_P =$ 5 である。これより、時刻 t

における粒子 P の位置は $(x, y, z) = ($ 6 , 7 , 8) となる。また、時刻 $t = 2T_P$ に粒子 P は位置 $(x_P, y_P, z_P) = (0, 0,$ 9) に到達する。

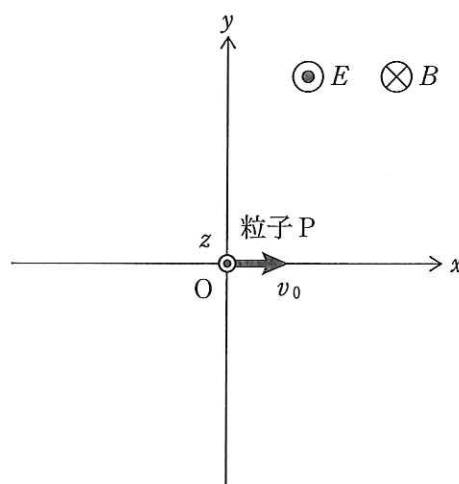


図 2-1

II 次に、原点 O から x 軸の正の方向に質量 m' 、電荷 $q'(>0)$ の粒子 Q を初速 v_0 で入射する場合を考え、このときの時刻を $t=0$ とする。時刻 $t=T_P$ に、粒子 Q は位置 (x_P, y_P, z_P) に到達したので、粒子 Q の電荷は $q' =$ 10 q 、質量は $m' =$ 11 m であり、粒子 Q が軌道を一周するのに要する時間は $\frac{1}{$ 12 T_P である。

Ⅲ 図2-2のように、 z 軸の負の方向に磁束密度の大きさ B の磁場を、 xy 平面内の任意の方向に大きさ E の電場をかける。このときの電場ベクトルを $(E_x, E_y, 0)$ とする。改めて粒子 P を原点 O から x 軸の正の方向に速さ v_0 で入射し、このときの時刻を $t = 0$ とする。

時刻 t における粒子 P の速度を $(v_x, v_y, 0)$ 、加速度を $(a_x, a_y, 0)$ とおくと、粒子 P の運動方程式の x 成分は 13、 y 成分は 14 である。

一定の速度 $(u_x, u_y, 0)$ で移動する観測者から見ると、粒子 P は速度 $(\text{15}, \text{16}, 0)$ 、加速度 $(a'_x, a'_y, 0)$ で等速円運動をした。このとき、移動する

観測者から見た粒子 P の運動には磁場の影響しか現れないので、その運動方程式は、1 と 2 の v_x, v_y, a_x, a_y を 15、16、 a'_x, a'_y に置き換えると得られる。粒子 P の加速度は、静止している観測者から見ても移動する観測者から見ても同じであり、 $a'_x = a_x, a'_y = a_y$ となるので、両者の運動方程式を比較すると、移動する観測者の速度の成分は $u_x = \text{17}$ 、 $u_y = \text{18}$ となる。

ここで、粒子 P の入射する速さ v_0 を選ぶと、一定の速度 $(\text{17}, \text{18}, 0)$ で移動する観測者からは粒子 P が静止して見えた。このときの電場ベクトルの成分は、 v_x, v_y を用いずに表すと、 $E_x = \text{19}$ 、 $E_y = \text{20}$ である。また、粒子 P の入射する速さは $v_0 = \text{21}$ である。

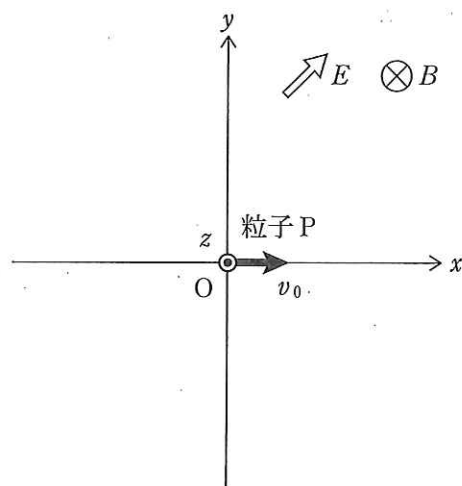


図2-2

第3問 次の文を読んで、 に適した式を、それぞれ記せ。ただし、 10 と 12 については、(ア)~(ウ)の中から正しいものを選び。また、問1と問2では、指示に従って適切な図を描け。

図3のように、風船にヒーターを取り付けた装置を考える。風船の膜は熱を通さず、気体の出入りがないとする。また、風船の外と中の圧力は等しいと考えてよく、風船内の気体はヒーターで暖めることができる。風船の膜とヒーターの質量は合わせて M であり、体積は無視できるとする。風船は n モルの理想気体で満たされ、その定圧モル比熱を C_p 、1モルあたりの質量を m とする。また、装置の外側は空気であり、空気の1モルあたりの質量を m_0 とする。気体定数を R とし、床付近の空気の温度を T_0 、圧力を p_0 とする。最初、装置は床に置かれ、風船内の理想気体の温度は外側の空気と同じく T_0 である。なお、理想気体の断熱変化では、比熱比 γ を用いると (圧力) $\times$ (体積) $^\gamma$ は一定となる。

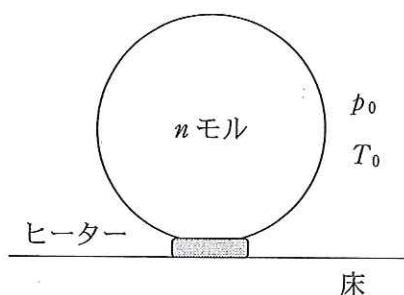


図3

- I ヒーターをつけて風船内の理想気体の温度を T_1 とした。風船内の理想気体が外部の空気に行なった仕事は 1 であり、ヒーターから与えられた熱量は 2 である。これより、内部エネルギーの変化は 3 となる。また、比熱比は $\gamma = \frac{(\text{定圧モル比熱})}{(\text{定積モル比熱})}$ で定義されるので、 $\gamma =$ 4 となる。
- II さらにヒーターで風船内の理想気体の温度を上げていくと、温度 T_2 でちょうど装置が浮き上がった。このときの風船内の理想気体の密度は 5 である。また、装置の外側の空気の物質量は、 T_2 を用いて表すと、風船と同じ体積あたり 6 となる。これより、装置が浮くときの温度は $T_2 =$ 7 である。
- III 次に、装置を床に固定し、ヒーターで風船内の理想気体の温度を $T_3 (> T_2)$ とした後、ヒーターを止めて固定を外した。装置はゆっくり上昇していき、空気の圧力が $p_3 (< p_0)$ の高さで止まった。このときの風船の体積は 8 であり、理想気体の温度は $T_4 =$ 9 となるので、 10 (ア) $T_3 > T_4$, (イ) $T_3 = T_4$, (ウ) $T_3 < T_4$ である。また、装置がゆっくり上昇するときに、風船内の理想気体が外部の空気に行なった仕事は $W_{\text{III}} =$ 11 である。

問 1 IIIで床から装置がゆっくり上昇したときの、風船内の理想気体の状態変化を、横軸を体積、縦軸を圧力として図示せよ。変化の始めの状態と終りの状態における体積と圧力の式を図中に記入し、変化の進む方向を矢印で示せ。

IV 装置を改めて床に固定し、今度は風船内の理想気体の温度を T_3 に維持するようにヒーターを設定して固定を外した。装置はゆっくり上昇していき、空気の圧力が p_3 の高さに達した。風船内の理想気体が外部の空気に行なった仕事 W_{IV} は 12 (ア) $W_{III} > W_{IV}$, (イ) $W_{III} = W_{IV}$, (ウ) $W_{III} < W_{IV}$ である。

問 2 IVで床から装置がゆっくり上昇したときの、風船内の理想気体の状態変化を、問 1 の図に点線で書き加えよ。変化の始めの状態と終りの状態における体積と圧力の式を図中に記入し、変化の進む方向を矢印で示せ。