

## 理科問題

## [物理]

(平成22年度)

## 【注意事項】

1. この問題冊子は「07 物理」である。
2. 試験時間は2科目合計で180分である。
3. 試験開始の合図まで、この問題冊子を開いてはいけない。ただし、表紙はあらかじめよく読んでおくこと。
4. 理科問題は2科目選択である。受験生はあらかじめ届け出た科目について解答しなければならない。
5. 試験開始後、以下の6および7に記載されていることを確認すること。
6. この問題冊子の印刷は1ページから6ページまでである。
7. 解答用紙は問題冊子中央に3枚はさみこんである。
8. 3枚ある解答用紙に、受験番号と氏名を所定の欄（1枚につき受験番号は2箇所、氏名は1箇所）に試験開始後、記入すること。
9. 問題冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所等があった場合および解答用紙が不足している場合は、手を挙げて監督者に申し出ること。
10. 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。
11. 問題冊子の中の白紙部分については下書き等に使用してよい。
12. 解答用紙を切り離したり、持ち帰ってはいけない。
13. 試験終了まで退室を認めない。試験中の気分不快や用便等、やむを得ない場合には、手を挙げて監督者を呼び指示に従うこと。
14. 試験終了後は問題冊子を持ち帰ること。

〔 I 〕 図1および図2に示すように、一定の角速度で左回りに回転することができる円盤(半径  $R$ ) が、静止した地上に水平に置かれている。その中心  $O$  から距離  $\frac{R}{2}$  の円盤上の位置を、図1では地点  $A$ 、図2では地点  $B$  とする。このとき、以下の設問に答えよ。

(1) 図1の拡大図に示すように、地点  $A$  に円筒状の容器を円盤の半径の向きに固定した。この容器の内部に質量を無視できるバネを設置し、その一端を容器に固定し他端に質量  $m$  の小球をつないだ。この容器のため小球は円盤の半径の方向にのみ動くことができる。角速度  $\omega$  で円盤を回転させたとき、バネは自然長から  $L_1$  だけ伸びてつりあった。ここで、バネの長さおよび小球の大きさは円盤の半径に比べて十分に小さく、また、容器内壁と小球の間の摩擦は無視できるとする。

(a) このバネのバネ定数  $k$  を求めよ。

(b) 角速度を  $2\omega$  に変えると、バネは自然長から  $L_2$  だけ伸びてつりあった。このとき、 $L_2$  を求めよ。

(c) 角速度を  $\omega$  にもどし、この(バネおよび小球を含む)円筒容器を円盤中心  $O$  から距離  $\frac{2R}{3}$  の地点  $A'$  に移動したところ、バネは自然長から  $L_3$  だけ伸びてつりあった。このとき、 $L_3$  を求めよ。

(2) 図2に示すように、角速度  $\omega$  で回転する円盤上の運動を、観測者  $S$  は円盤の上で、観測者  $T$  は円盤の外(静止した地上)で観測している。地点  $B$  において、小球が、円盤上で半径方向の外側に向かって  $v_s = \frac{R\omega}{2}$  の速度で発射された。ただし、この初速度  $v_s$  は、円盤上の観測者  $S$  から見た速度である。中心  $O$  と地点  $B$  を結ぶ線上にある円盤端を地点  $P$ 、小球が到達する円盤端を地点  $Q$  とする。また、小球が発射された瞬間における円盤上の地点  $P$  に対応する地上の位置を  $P_0$  とする。ここで、小球の大きさは円盤の半径に比べて十分に小さく、また、円盤面と小球の間の摩擦は無視できるとする。

(a) 観測者  $T$  から見た小球の初速度の大きさ  $v_T$  を求めよ。

(b) 小球が発射されてから円盤端  $Q$  に達するまでに要する時間  $t$  を求めよ。

(c) 上記(b)で得た時間  $t$  の間に、観測者  $T$  から見た地点  $P$  の移動距離  $D_1$  を求めよ。

(d) 地点  $P_0$  と地点  $Q$  の間の円盤端に沿う距離  $D_2$  を求めよ。ここで、必要ならば、 $\sin \alpha = \frac{\sqrt{7}-1}{4}$  を満たす角度  $\alpha$  [rad] を用いよ。

- (e) 上記の(c)および(d)で得た結果を用いることにより、小球が到達する円盤端Qが円盤上の地点Pに対してどのような位置になるか答えよ。ここで、必要ならば、 $\sqrt{7} \simeq 2.65$  および上記(d)で与えた角度  $\alpha$  が約  $0.424 \text{ rad}$  であることを用いよ。

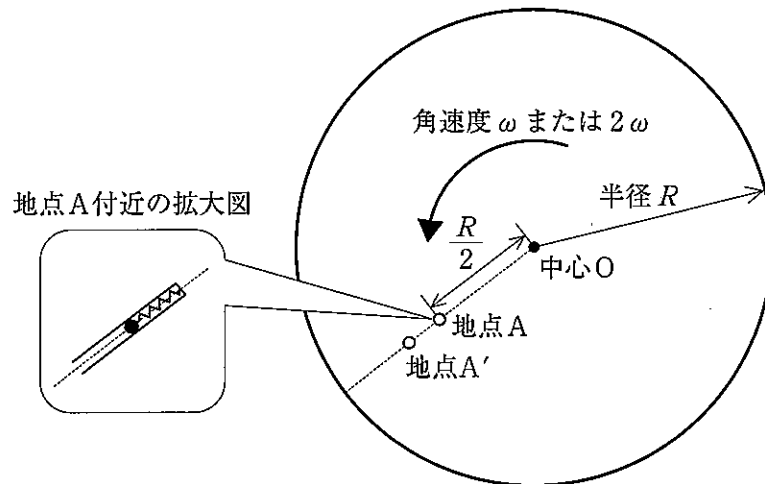


図1

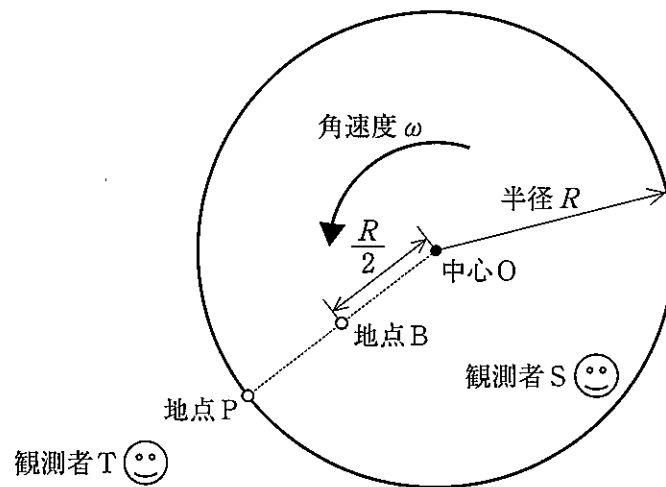
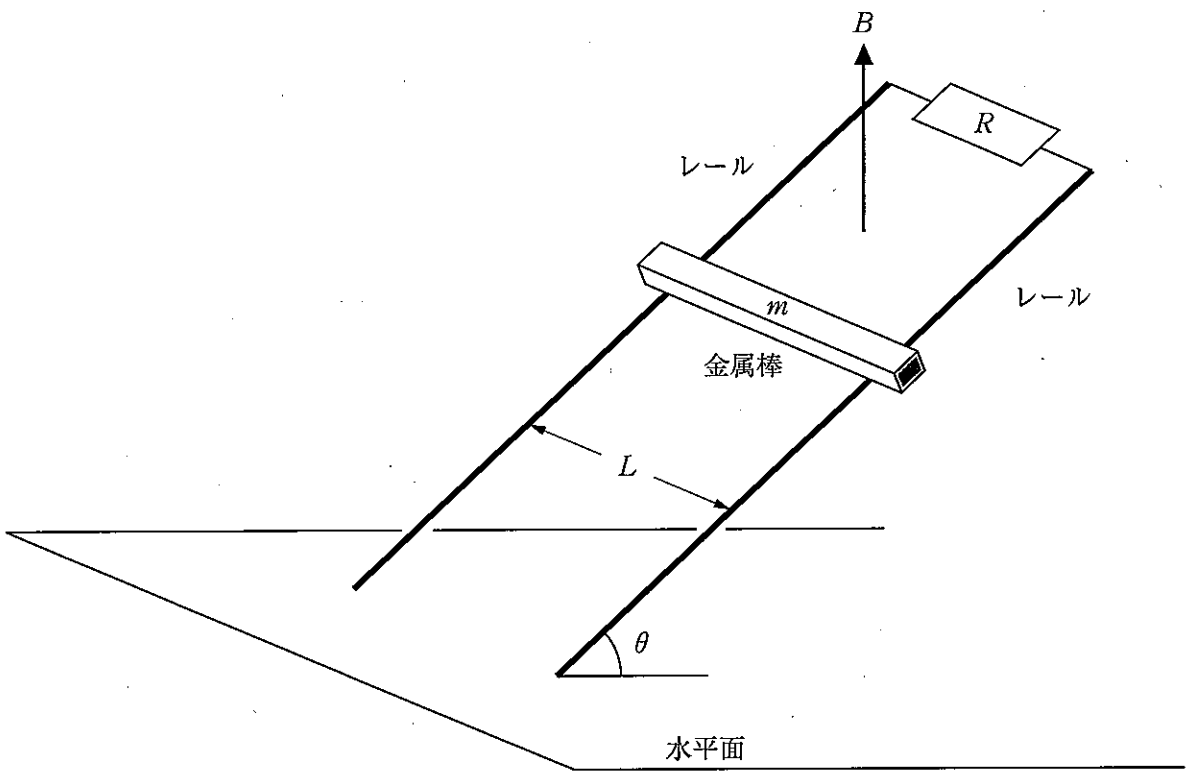


図2

〔Ⅱ〕 図に示すように、鉛直上向きの一様な磁場(磁束密度  $B$ )の中に、2本の平行な十分に長い導体のレールがある。レール間の距離を  $L$ 、レールが水平面となす角度を  $\theta$  とする。レールには抵抗値  $R$  の抵抗がつながれている。今、図のように、質量  $m$  の金属の棒をレールに対して直角となるようにレール上に静かに水平に置いたところ、棒は下方にすべり出し、十分に時間が経過した後その速さは一定となった。この運動において、棒は常にレール上にあり、しかも、レールとの角度は常に直角を維持しているものとする。また、棒とレールの電気抵抗は無視できるものとする。さらに、回路を流れる電流が作る磁場は一様な磁場に比べて十分に小さいものとする。棒とレール間の動摩擦係数を  $\mu$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。このとき、以下の設問に答えよ。

- (1) 棒がレールの上をすべる速さを  $v$  とし、回路を流れる電流の大きさ  $I$  を求めよ。
- (2) 棒の速さ  $v$  を求めよ。
- (3) 棒に対して重力がする仕事の仕事率  $P_g$  を求めよ。
- (4) 棒に対して摩擦力がする仕事の仕事率  $P_f$  を求めよ。
- (5) 上で求めた2つの仕事率の和は、抵抗で単位時間に発生するジュール熱に等しいことを示せ。



〔Ⅲ〕 なめらかに動くピストンをもつシリンダー内に、 $n$ モルの単原子分子理想気体が封入されている。この気体の圧力を $p$ 、体積を $V$ として、右の $p$ - $V$ 図に示すように、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ を1サイクルとする熱機関をつくる。 $A \rightarrow B$ および $C \rightarrow D$ の過程は定圧変化、 $B \rightarrow C$ および $D \rightarrow A$ の過程は断熱変化である。状態 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ の体積はそれぞれ $V_A$ 、 $V_B$ 、 $V_C$ 、 $V_D$ であり、状態 $A$ と $B$ の圧力は $p_H$ 、状態 $C$ と $D$ の圧力は $p_L$ である( $p_L < p_H$ )。ここで、気体定数を $R$ とする。また、気体が吸収する熱量は正の値、放出する熱量は負の値とする。このとき、以下の設問に答えよ。

- (1) 状態 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ の絶対温度 $T_A$ 、 $T_B$ 、 $T_C$ 、 $T_D$ をそれぞれ求めよ。
- (2)  $A \rightarrow B$ および $C \rightarrow D$ の過程において、気体が吸収または放出する熱量 $Q_{AB}$ および $Q_{CD}$ をそれぞれ求めよ。
- (3) 次に、 $B \rightarrow C$ および $D \rightarrow A$ の過程について考える。
  - (a) それぞれの過程において、温度は上昇するか下降するかについて、熱力学第一法則を用いて説明せよ。
  - (b) それぞれの過程において、気体がする仕事 $W_{BC}$ および $W_{DA}$ を求めよ。
- (4) さらに、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の過程について考える。
  - (a) この1サイクルの間に気体がする仕事の合計 $W_{\text{cycle}}$ を求めよ。
  - (b) この1サイクルに対する熱効率 $e$ を求めよ。
  - (c) 断熱変化では $p$ と $V$ の間に「 $pV^\gamma = \text{一定}$ 」という関係がある( $\gamma$ は定数)。ここで、 $B \rightarrow C$ および $D \rightarrow A$ の過程に対する $\gamma$ の値は同じである。このとき、 $\frac{p_L}{p_H} = x$ として、上記(b)で求めた熱効率 $e$ を $x$ と $\gamma$ で表せ。さらに、 $\gamma = \frac{5}{3}$ として、 $x$ と $e$ の関係の概略をグラフに描け。

