

5 3 5 4 5 5

理 科 問 題

(平成 25 年 度)

【注意事項】

1. この問題冊子は「理科」である。
2. 理科は2科目を解答すること。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. 試験開始後すぐに、以下の5.に記載されていることを確認すること。
5. この問題冊子の印刷は1ページから18ページまでであり、解答用紙は問題冊子中央に9枚はさみこんである。

科 目	問 題	解答用紙
物 理	1 ページから 6 ページ	3 枚 (53-1, 53-2, 53-3)
化 学	7 ページから 11 ページ	3 枚 (54-1, 54-2, 54-3)
生 物	12 ページから 18 ページ	3 枚 (55-1, 55-2, 55-3)

6. 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、手をあげて監督者に申し出ること。
7. 試験開始後、解答する科目の解答用紙の所定欄に、受験番号と氏名を記入すること（1枚につき受験番号は2箇所、氏名は1箇所）。
8. 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。解答用紙の裏面に記入してはいけない。
9. 解答する科目の問題番号に対応した解答用紙に解答していない場合は、採点されない場合もあるので注意すること。
10. 解答する字数に指定がある場合は、句読点も1字として数えること。英数字を記入する場合は、1字分のマス目に2文字まで記入してよい。
11. 問題冊子の中の白紙部分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。解答しない科目の解答用紙も提出すること。
13. 試験終了時刻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、手をあ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。

# 53 物理

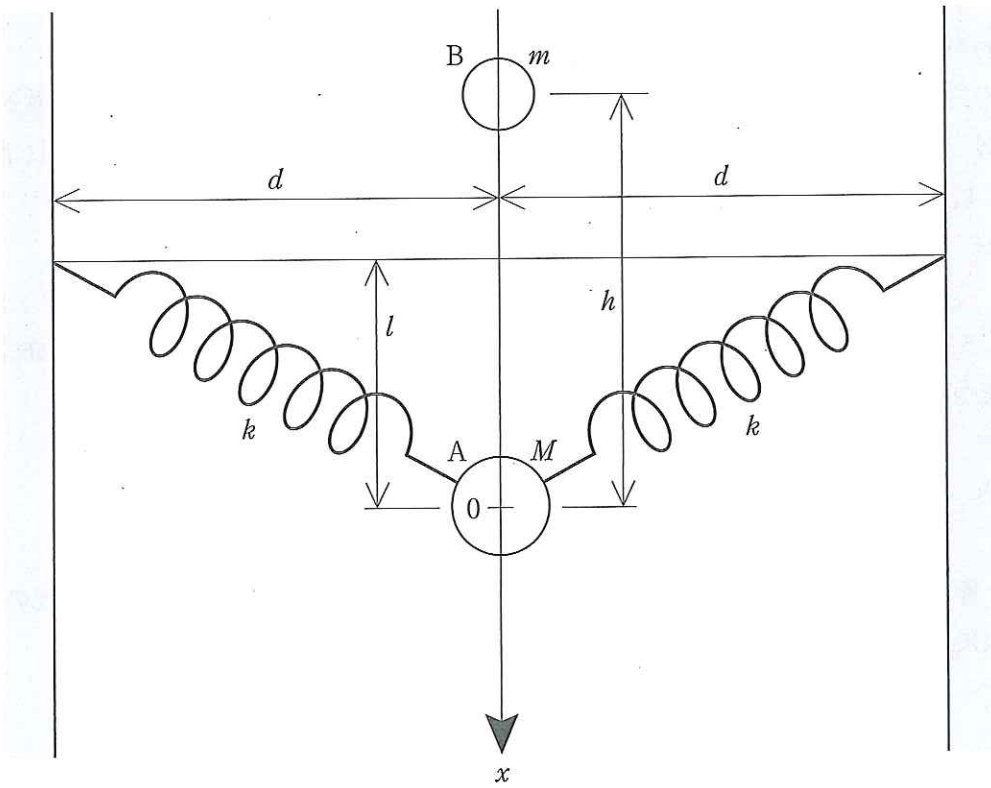
1 ページから 6 ページ

〔 I 〕 図のように、2つの軽いばね(自然長  $d$ 、ばね定数  $k$ )を間隔  $2d$  の2つの壁に同じ高さで固定し、質量  $M$  の小球Aを2つのばねの間に取りつけ、つり合いの位置で静止させた。小球Aのつり合いの位置は、2つの壁の間であり、ばねを支える支点より、 $l$ だけ下にあった。質量  $m$  ( $m < M$ ) の小球BをAより  $h$ だけ上方から静かに放したところ、Bは落下してAと弾性衝突した。その後AとBは鉛直軸上で運動した。鉛直下向きに  $x$  軸をとり、Aのつり合いの位置を原点( $x = 0$ )とし、重力加速度の大きさを  $g$  とする。必要に応じて、 $|u|$  が1に比べて十分小さいとき、 $(1+u)^{\alpha} \doteq 1+au$  とする近似を用いよ。

- (1) 衝突直前のBの速度  $v_0$  を求めよ。
- (2) 衝突直後のA、Bの速度  $v_A$ 、 $v_B$  を求めよ。
- (3) Aがつり合いの位置から  $x$ だけ下がったときのAが受ける力の合力を求めよ。ただし、Aの変位  $x$  は  $d$  と  $l$  に比べて十分に小さいものとする。
- (4) 合力の中の変位  $x$  の2次以上の項は1次の項に比べて十分に小さいとして無視すると、Aの運動は単振動とみなせる。その単振動の角振動数  $\omega$  を求めよ。

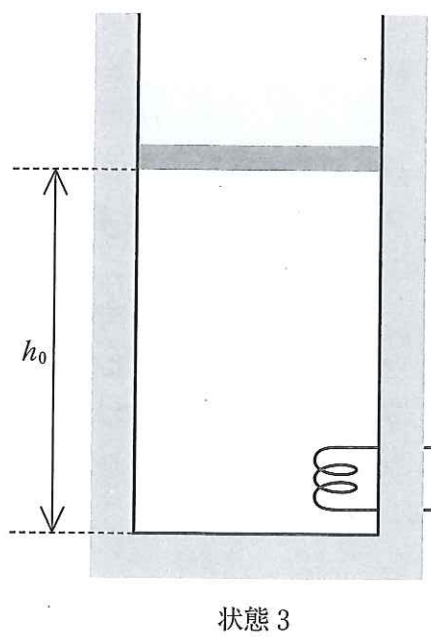
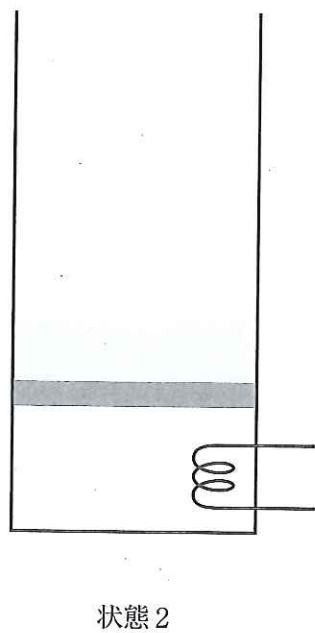
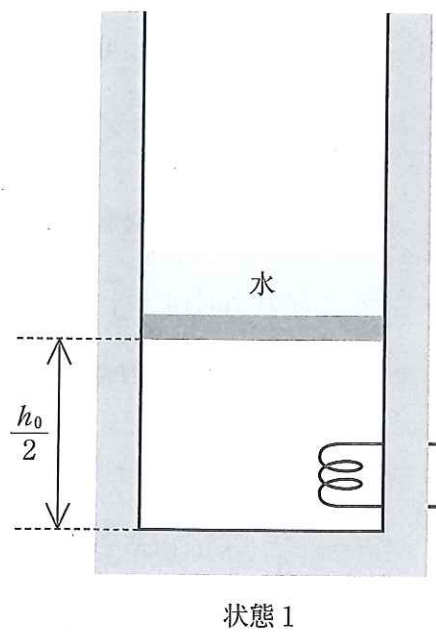
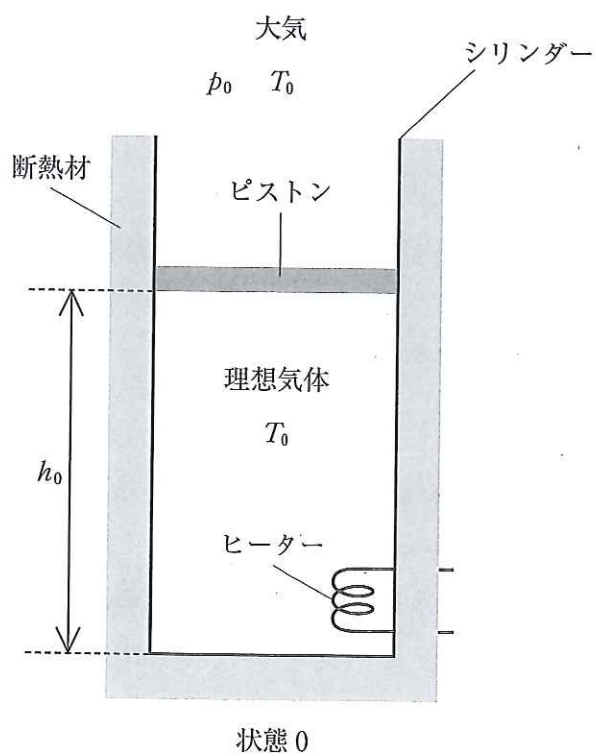
これ以降の問いでは、Aは角振動数  $\omega$  で単振動をしているとし、必要に応じて  $\omega$  を用いてよい。

- (5) Aが達する最下点の座標  $x_0$  を求めよ。ただし、Aが再びつり合いの位置に戻るまでの間に、Bとの衝突は起こらないものとする。
- (6) Aが  $x = \frac{x_0}{2}$  を通るときの速さを求めよ。
- (7) Aが初めて原点に戻ったときにBと2回目の衝突をするための  $h$  を求めよ。



〔Ⅱ〕 図のように、断面積  $S$  の円筒形のシリンダーが、圧力  $p_0$ 、絶対温度  $T_0$  の大気中に、鉛直に立てて置かれている。シリンダーの内部には、断熱材でつくられた、厚みと質量の無視できる、なめらかに動くピストンがある。また、ピストンの下側の部屋には、体積の無視できるヒーターが取り付けられている。シリンダーは断熱材で囲まれており、その内部には絶対温度  $T_0$  の単原子分子理想気体  $n$  モルが閉じこめられている。この状態(状態0)で、ピストンはシリンダーの底面から高さ  $h_0$  の位置で静止している。重力加速度の大きさを  $g$  とする。なお、断熱変化では、圧力  $p$  と体積  $V$  の間に  $\gamma$  を定数として、 $pV^\gamma = \text{一定}$  の関係がある。

- (1) 状態0から、ピストンの上部に少しずつ注水すると、水がある程度たまった時点で、ピストンの高さが  $\frac{h_0}{2}$  になった(状態1)。ここで、水の比重を1とする。
  - (ア) このときのシリンダー内の気体の圧力と温度を求めよ。
  - (イ) このときのシリンダー内の気体の内部エネルギーは状態0のときの何倍であるか求めよ。
  - (ウ) シリンダー内の気体が外部からされた仕事を、大気圧による作用と水の荷重による作用に分けて、それぞれ求めよ。
  - (エ) このときの水の体積を求めよ。
  
- (2) シリンダーを囲んでいる断熱材を取り外すと、ピストンは下がり始めて、十分に時間がたつと動かなくなった(状態2)。
  - (ア) このときのシリンダー内の気体の圧力を求めよ。
  - (イ) このときのピストンの高さを求めよ。
  
- (3) 断熱材を再び取り付けた後、ヒーターで内部の気体を加熱して、ピストンを元の高さ  $h_0$  に戻した(状態3)。
  - (ア) このときのシリンダー内の気体の温度を求めよ。
  - (イ) 状態2から状態3に変化する間に、気体が外部にした仕事を求めよ。





〔Ⅲ〕 交流回路に関する以下の設問に答えよ。設問中のすべてのコイルおよびコンデンサーは、それぞれ、自己インダクタンス  $L$  および電気容量  $C$  をもつとする。また、交流電流および交流電圧の角周波数  $\omega$  は  $\omega > 0$  の範囲で様々な値を取りうるものとする。ここで、 $\frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$  と定義して、これを使用してよい。

(1) コイルおよびコンデンサーについて、以下の問いに答えよ。

(ア) 「コイルの誘導リアクタンスは  $\omega L$  であり、電圧  $V$  は電流  $I$  よりも、位相が  $\frac{\pi}{2}$  だけ進んでいる。」

すなわち、コイルに交流電流  $I = I_0 \sin \omega t$  を流したとき、両端の電圧は

$$V = I_0 \omega L \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ となることを示せ。}$$

(イ) 「コンデンサーの容量リアクタンスは  $\frac{1}{\omega C}$  であり、電流  $I$  は電圧  $V$  よりも、位相が  $\frac{\pi}{2}$  だけ進んでいる。」

すなわち、コンデンサーに交流電圧  $V = V_0 \sin \omega t$  を加えたとき、流れる電流は

$$I = \frac{V_0}{\frac{1}{\omega C}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ となることを示せ。}$$

(2) 図に示すように、2つのコイルと2つのコンデンサーからなる回路に交流電源が接続されており、交流電流  $I = I_0 \sin \omega t$  が流れている(ただし、 $I_0 > 0$ )。このとき、

(ア) コイル  $L_1$  およびコンデンサー  $C_1$  の両端の電圧  $V_{L1}$  および  $V_{C1}$  を求めよ。

(イ) 並列回路部分( $L_2$  と  $C_2$ )の両端の電圧を  $V_2 = V_0 \sin(\omega t + \alpha)$  と記するとき(ただし、 $|\alpha| < \pi$ )、コイル  $L_2$  およびコンデンサー  $C_2$  に流れる電流  $I_{L2}$  および  $I_{C2}$  を書き表せ。

(ウ)  $V_2$  を求めよ。

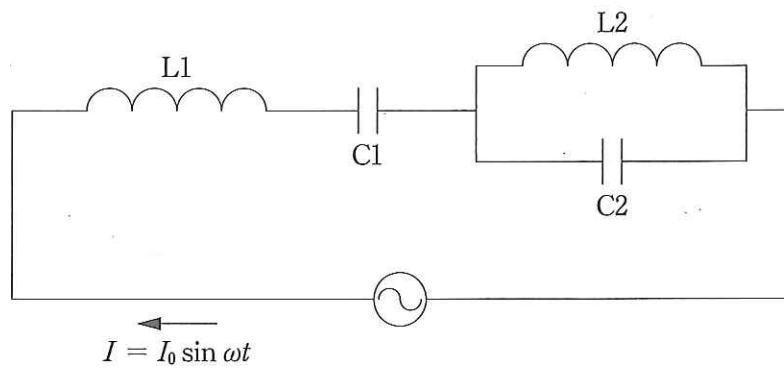
(エ) 回路全体に加わる電圧を  $V = V_0 \sin(\omega t + \theta)$  と表す(ただし、 $V_0 > 0$ ,  $|\theta| < \pi$ )。

ここで、 $\frac{I_0}{V_0} = Y$ ,  $\frac{\omega}{\omega_0} = x$  とおく。このとき、 $C$ ,  $\omega_0$ ,  $x$  を用いて  $Y$  を表せ。

(オ)  $Y$  が 0 となる  $x$  および  $Y$  が無限大となる  $x$  を求めよ。

(カ)  $\theta$  が  $x$  とともにどのように変化するか答えよ。

(キ)  $Y$  と  $x$  の関係および  $\theta$  と  $x$  の関係の概略を、横軸  $x$  を共通にしてひとつのグラフに描け。



L1, L2 の自己インダクタンスは共に  $L$   
C1, C2 の電気容量は共に  $C$