

## 物 理

- I. 上端に質量  $m$  の板 A を取り付け下端を床に固定したバネが鉛直に置かれている。A の上にさらに質量  $M$  の物体 B をのせると、バネは A、B の重みにより自然長より  $l_0$  縮んだつり合いの状態に静止した。図 1 に見るように A と B は大きさが無視できる点で表せるとして、このつり合い点 O を原点とする  $y$  座標を鉛直上向きにとる。重力加速度を  $g$ 、バネ定数を  $k$  とし、以下の設問に答えよ。ただし、バネの質量は無視できる。問題文中にない物理量は定義してから用いること。

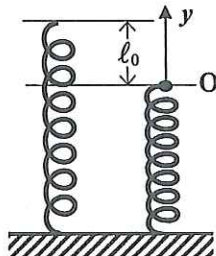


図 1

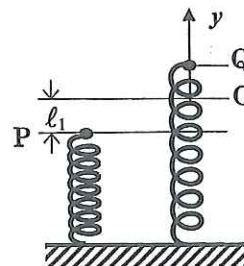


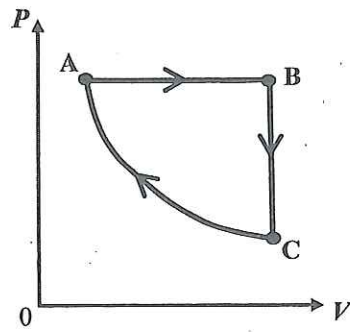
図 2

- (1)  $l_0$  を問題文中の物理量で表せ。

図 2 に見るように、A、B を O 点からさらにゆっくり押し下げて、 $l_1$  だけ下がった P 点で力をはずすと、A、B は一体となって Q 点まで上昇し、その後反転した。Q 点の  $y$  座標を  $y_Q$  で表す。A、B が P 点または Q 点にある時、バネの弾性エネルギーと A、B の重力による位置エネルギーの和をそれぞれ  $E_P$ 、 $E_Q$  とする。

- (2)  $E_P$  と  $E_Q$  の各々を  $k$ 、 $l_0$ 、 $l_1$  および  $y_Q$  を用いて表せ。ただし、重力による位置エネルギーの基準を O 点にとる。
- (3) 前問の結果から Q 点の座標  $y_Q$  の値を求めよ。
- (4) Q 点に達した後、A と B が一体となって単振動するためには、押し下げ量  $l_1$  にどのような条件が必要か、理由と共に記せ。

II. 気体は仕事および熱を周囲と相互にやりとりすることでその状態を変化させる。図に示す圧力  $P$  と体積  $V$  のグラフは、1 モル理想気体が状態 A から3つの過程を右回りに一巡して状態 A に戻る状態変化を表す。A→B 過程は定圧変化、B→C 過程は定積変化、さらに C→A 過程は断熱変化である。これらの過程における仕事および熱のやりとりを考えよう。



(1) 以下のア)～ウ)の過程に当てはまる記述を下欄に示す a～f から二つずつ選んでそれらの記号を選択欄に記し、ア)～エ)の文中の①～⑰には適切な文字式を入れよ。

選択肢

- a. 気体が周囲に仕事をする。    b. 気体が周囲から仕事をされる。
- c. 周囲との仕事のやりとりはない。    d. 気体が周囲に熱を与える。
- e. 気体が周囲から熱を受ける。    f. 周囲との熱のやりとりはない。

ア) A→B 過程

この過程は定圧変化であるからシャルルの法則  $\boxed{\text{①}} = \boxed{\text{②}}$  が成り立ち、気体温度について  $\boxed{\text{③}} > \boxed{\text{④}}$  である。この過程で気体が周囲とやりとりする仕事の大きさは  $P_A(\boxed{\text{⑤}})$  に等しく、熱量の大きさは、 $P_A(\boxed{\text{⑤}})$  と  $C_V(\boxed{\text{⑥}})$  の和に等しい。

イ) B→C 過程

この過程は定積変化であるから、気体温度について  $\boxed{\text{⑦}} > \boxed{\text{⑧}}$  である。この過程で気体が周囲とやりとりする熱量の大きさは  $C_V(\boxed{\text{⑨}})$  に等しい。

ウ) C→A 過程

この過程は断熱変化であるから気体が周囲とやりとりする仕事の大きさは  $C_V(\boxed{\text{⑩}})$  に等しい。このことから、気体温度について  $\boxed{\text{⑪}} > \boxed{\text{⑫}}$  である。

エ) 結局、 $T_A$ 、 $T_B$  および  $T_C$  の間には  $\boxed{\text{⑬}} > \boxed{\text{⑭}} > \boxed{\text{⑮}}$  の大小関係がある。また、A→B→C→A と状態を一巡する間に気体が周囲から受けた熱量の大きさは  $R(\boxed{\text{⑯}}) + C_V(\boxed{\text{⑰}})$  である。

(2) A→B→C→A と状態を一巡する間に気体が周囲から受けた熱量は、図のグラフで囲まれた部分の面積で表される。その理由を述べよ。

Ⅲ. 図1に見るように、間隔 $l$ の2本の直線導体レールが水平面から $\theta$ だけ傾いた斜面の傾斜方向に沿って平行に置かれており、磁束密度 $B$ の磁場がこの面に対して垂直にかかっている。

図1のP点に質量 $m$ の導体棒Yをレールに直角に渡すと、Yは直角を保ったままQ点に向かってレール上を降下する。図にある抵抗値 $R$ の電気抵抗以外の電気抵抗、およびYとレールの間の摩擦ならびに空気の抵抗は無視できる。Yのレールに平行な速度の大きさを $V$ で、重力加速度を $g$ で表す。問題文中にない物理量が必要な場合は定義してから用いること。

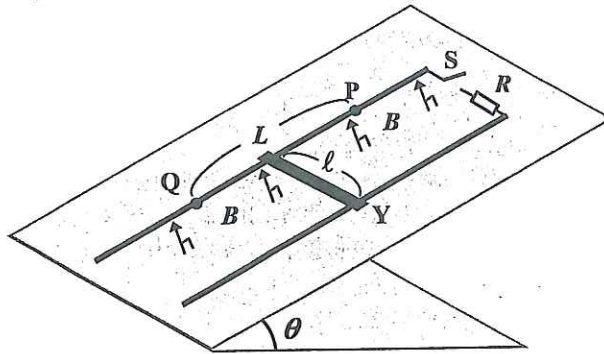


図1

最初にスイッチSを開いた状態で、P点から初速度0でYを降下させる。

(1) YがP点より距離 $L$ だけ先のQ点を通過する時の $V$ の値 $V_1$ を求めよ。

次に、スイッチSを閉じた状態で、P点から初速度0でYを降下させる。

(2) Yが降下中に受ける、重力によるレールに平行な力の大きさ $F_1$ と磁場による力の大きさ $F_2$ を問題文中の物理量で表し、Yの終端速度 $V_0$ を求めよ。また、図2に $V$ と $F_1, F_2$ の関係のグラフを描いて、 $V_0$ の位置を横軸上に記せ。

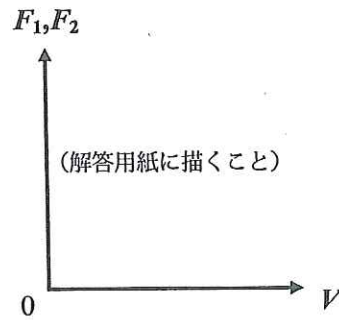


図2

(3) Yが一定の速さに達した後は、電気抵抗が消費する電力 $W$ はYの位置エネルギーの毎秒の減少量 $\Delta U$ に等しいことを示せ。

(4) P点から降下したYがQ点に早く到達するのは、スイッチSを閉じた状態、あるいは開いた状態のいずれの場合か、エネルギーの観点から述べよ。