

物 理 Ⅰ

- I (1) 図1に示すように、ばね定数 K のばねを2つ、直列あるいは並列につないだものの合成のばね定数をそれぞれ求めよ。

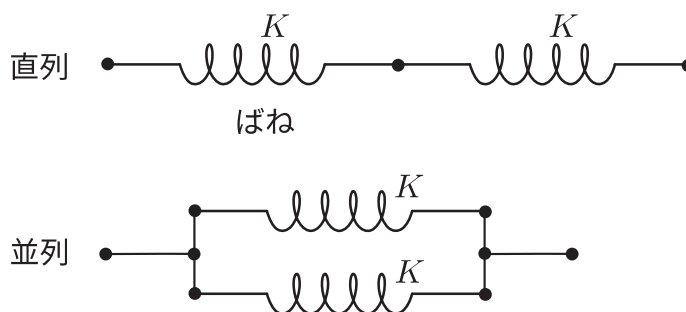


図 1

ばね定数 K 、自然長 L の質量の無視できる十分に長いばねを、図2に示すように、2本直列につないでなめらかな水平面上に置き、その両端に質量がともに m の大きさが無視できる物体AとBをつないだ。この物体AとBを x 軸の方向に引っ張り、2本のばねの自然長からの伸びの合計が d ($d \ll L$) の状態にし、物体AとBを動かさないように固定した。次に時刻 $t = 0$ に、物体AとBの固定を同時にそっと解いた。固定が解かれたあと、物体AとBは x 軸の方向にのみ振動し、運動の際、摩擦や空気抵抗はないものとする。 $t = 0$ における物体A、Bの重心位置を座標の原点とし、時刻 t における物体Aの位置を $x_A(t)$ とする。

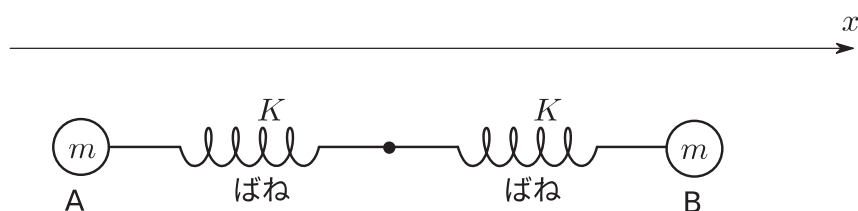


図 2

- (2) $x_A(0)$ を求めよ。
- (3) $t = 0$ でAに働いている力の大きさを求めよ。
- (4) 物体Aの振動の周期を求めよ。

物 理 2/7

次に、図3に示すように、大きさの無視できる質量 $2m$ の物体Aと質量 m の物体Bを、ばね定数 K 、自然長の長さ L の質量の無視できる十分に長いばねでつないでなめらかな水平面上に置いた。この物体AとBを x 軸の方向に引っ張り、ばねの伸びが d ($d \ll L$) の状態にし、物体AとBを動かさないように固定した。次に時刻 $t = 0$ に、物体AとBの固定を同時にそっと解いた。固定が解かれたあと、物体AとBは x 軸の方向にのみ振動し、運動の際、摩擦や空気抵抗はないものとする。 $t = 0$ における物体A、Bの重心位置を座標の原点とし、時刻 t における物体AとBの位置をそれぞれ $x'_A(t)$ 、 $x'_B(t)$ とする。

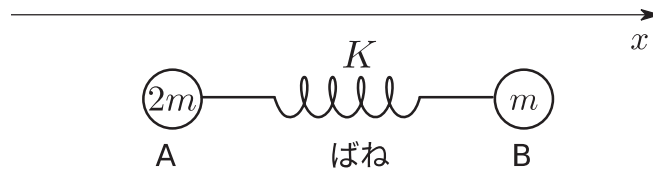


図3

- (5) $x'_A(0)$ を求めよ。
- (6) 物体Aの振動の周期を求めよ。
- (7) $x'_B(t)$ を求めよ。導出過程も示すこと。
- (8) ばねが自然長になったときの物体AとBの速さをそれぞれ求めよ。導出過程も示すこと。

II 図4のように、糸の端それぞれに、おもりと長方形の回路abcdをつなぎ、これらの間を滑車で支えている。回路には電池と2つの抵抗1, 2がある。水平右向きに y 軸, 鉛直上向きに z 軸をとる。回路のcd間より上の $z > 0$ の領域では, 紙面の裏から表に向かう向きに, 一様な磁界がかけられている。ここで回路は, 磁界に垂直な平面 (y 軸と z 軸がなす平面) 上を z 軸と平行に移動することができるとする。ただし, 回路は力を加えても変形しないものとし, 滑車の摩擦, 糸や回路の質量, 電池の内部抵抗, そして誘導電流がつくる磁界の影響は無視できるものとする。また糸は電流を通さず, 伸び縮みしないものとする。

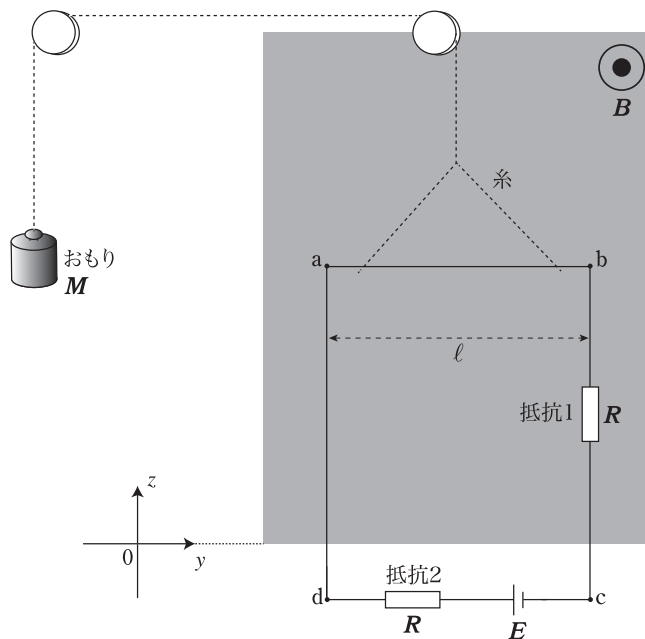


図 4

おもりの質量をいろいろ試したところ, 質量 M のときにおもりからゆっくり手を離すと, おもりと滑車の間をつなぐ糸が z 軸と平行になり, おもりと回路は静止した状態となった。磁界の磁束密度の大きさを B , ab 間と cd 間の長さを l , 重力加速度の大きさを g , 電池の起電力を E , 抵抗1と2の抵抗値をそれぞれ R とする。

- (1) ab 間に流れる電流の強さを, E , l , R の必要なものを用いて表せ。
- (2) ab 間に磁場から働く力の向きを下から選びなさい。
 - ア) y 軸の正の向き イ) y 軸の負の向き ウ) z 軸の正の向き エ) z 軸の負の向き
- (3) 磁束密度の大きさ B を, E , g , l , M , R の必要なものを用いて表せ。

次に図5のように, 回路の cd 間を抵抗値 R の抵抗3に取り換え, 質量 m のおもりをつないだ。そして絶縁した手で回路を動かして, 回路を一定の速さ v で z 軸の負の向きに移動させた。この間, ab 間が磁界から出ることはない。

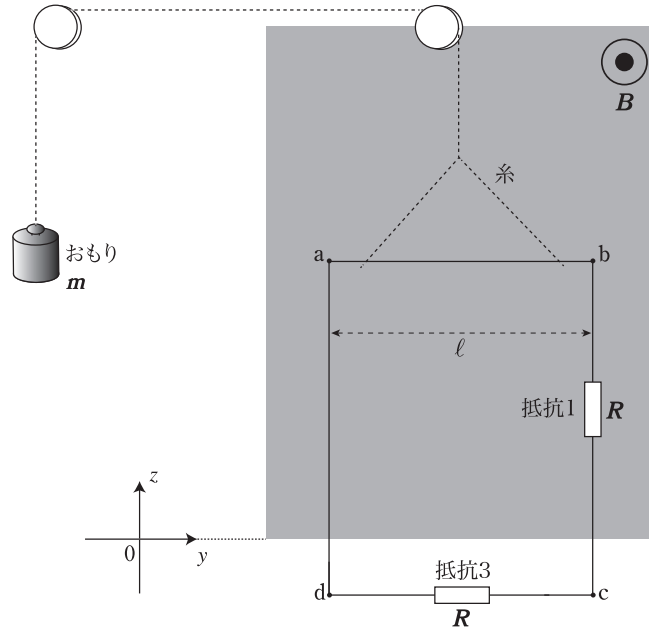


図 5

- (4) ab間に発生する誘導起電力について、点aと点bのどちらが電位が高いか答えよ。
 (5) cd間に流れる電流の強さを、 R 、 B 、 l 、 v の必要なものを用いて表せ。

次に図5の回路のcd間を図4のcd間に戻した。そして手でz軸の負の向きに回路を動かして、手を離れた。しばらくすると、回路は一定の速さ v_2 でz軸の負の向きに移動した。ここで $m < M$ である。

- (6) このときの速さ v_2 を、 B 、 E 、 g 、 l 、 m 、 R の必要なものを用いて表せ。導出過程も示すこと。

最後に、図6のように、図5の回路の点cと点dに抵抗4（抵抗値 R ）とコイルを直列につないだものを接続した。そして、静止していた回路を時刻 t_0 から手で素早く動かし、時刻 t_1 に回路を素早く静止させた。その結果、回路は時刻 t_0 から t_1 まで一定の速さでz軸の負の向きに動いた。

コイルには電流を一定に保とうとする性質がある。コイルに流れる電流 I_e と自己誘導起電力 V を時刻 t に対して図にしたところ、図7のようになった。ここで、 I_e は点eから点cの向きを正とする。また、コイルの自己誘導起電力 V は点eに対する点cの電位とし、磁界によりab間に発生する誘導起電力を V_a （点bに対する点aについての電位）とする。

- (7) 回路を動かし始めた直後にコイルに発生する自己誘導起電力 V を、 V_a を用いて表せ。導出過程も示すこと。

(8) 以下の文の空欄 (A) ~ (C) については正しい記号を選び、(D) については r , R を用いて表せ。

回路を止めた直後の状態について考える。抵抗3に流れる電流は (A) に流れ、 cd 間にかかる電圧の大きさは、回路を止める直前の大きさの (B) 倍になる。 cd 間にかかる電圧の大きさを、回路を止める直前の電圧の大きさよりも大きくするためには、抵抗4を抵抗値 r をもつ抵抗で置き換えるとよい。このとき r は R より (C) い値をとり、回路を止めた直後の電圧の大きさは回路を止める直前の大きさの (D) 倍になる。

(A) の選択肢： ア) c から d イ) d から c

(B) の選択肢： ア) 0 イ) $1/4$ ウ) $1/2$ エ) $3/4$ オ) 1 カ) 2

(C) の選択肢： ア) 大き イ) 小

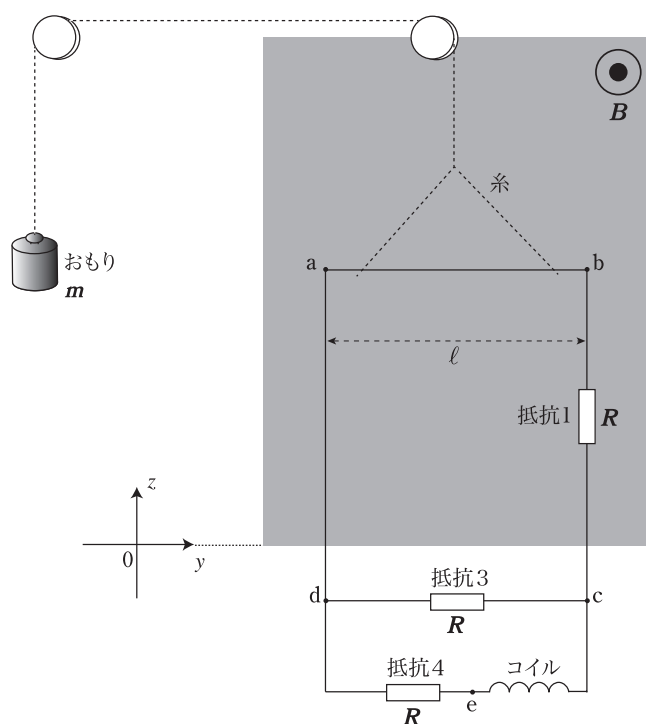


図 6

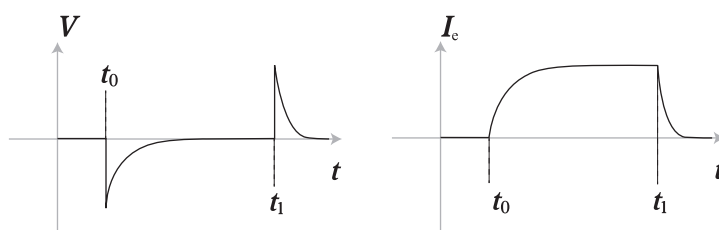


図 7

Ⅲ ピストンのついたシリンダーの中に1 molの単原子分子の理想気体が封入された，図8に示すような熱機関を考える。ピストンは，気体の物質量を一定に保ったまま，ゆっくりとなめらかに動くものとする。また，ピストンの質量は無視できるものとする。なお，気体定数を R [J/(mol・K)] としたとき，気体の定積モル比熱は $\frac{3}{2}R$ [J/(mol・K)]，定圧モル比熱は $\frac{5}{2}R$ [J/(mol・K)]と与えられる。



図8

図9は，気体の状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と1サイクルさせたときの各状態，および状態間の変化過程を示している。図9の横軸は気体の絶対温度 T [K]，縦軸は気体の体積 V [m³]である。

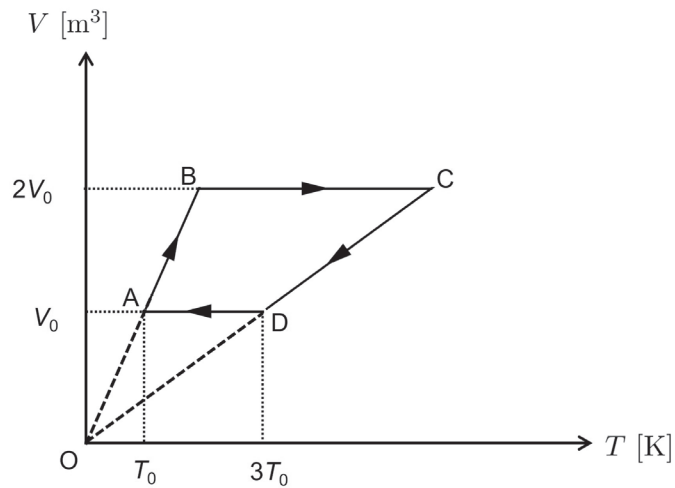


図9

(1) 定圧過程を全て選べ。

- (ア) $A \rightarrow B$
- (イ) $B \rightarrow C$
- (ウ) $C \rightarrow D$
- (エ) $D \rightarrow A$

物 理 7/7

- (2) 外部から熱機関に対して正の仕事を行う過程を全て選べ。またその理由を、仕事の定義に基づいて説明せよ。
- (ア) $A \rightarrow B$
 - (イ) $B \rightarrow C$
 - (ウ) $C \rightarrow D$
 - (エ) $D \rightarrow A$
- (3) 状態Bにおける圧力を V_0 , T_0 および R を用いて表せ。
- (4) 状態Cにおける温度と圧力を V_0 , T_0 および R の必要なものを用いてそれぞれ表せ。
- (5) 横軸を気体の V [m^3], 縦軸を気体の圧力 P [Pa]としたとき, 図9に示した状態変化はどのように描けるか。解答欄の座標軸と状態Aの座標点を用いて図示せよ。その際, 状態Aにならって, 状態B, C, およびDの座標点を明記すること。
- (6) 外部が熱機関に対して1サイクルの間に行った正味の仕事は正か負か。また, その仕事量の絶対値を T_0 および R を用いて表せ。
- (7) 外部から熱機関が熱を吸収している過程を全て選び, それらの過程で吸収した熱量の総和を T_0 および R を用いて表せ。導出過程も示すこと。
- (ア) $A \rightarrow B$
 - (イ) $B \rightarrow C$
 - (ウ) $C \rightarrow D$
 - (エ) $D \rightarrow A$
- (8) 熱機関が1サイクルの間に外部とやりとりする正味の熱量を考える。このとき, 熱機関は1サイクルの間に熱を【放出する, 吸収する】。【 】から適切な語句を選んだ上で, その理由について, 「仕事, 熱, エネルギー保存則」の3つの単語全てを必ず用いて文章により説明せよ。
- (9) 熱機関が1サイクルの間に外部とやりとりする正味の熱量の絶対値は, (6)の答えと一致することを数式を用いて示せ。