

物 理

第 1 問 (40点)

図1のように、同じ質量 m [kg] の2個の小球 A, B が軽くて伸び縮みしない長さ L [m] の糸でつながれており、小球 A はばね定数 k [N/m] のばねにつながれている。ばねの他端を壁に固定し、ばねと2個の小球が一直線上に並ぶように水平で滑らかな床の上に置く。ばねが自然長にあるときの小球 A の位置を原点 O とする。この状態から小球 B をゆっくりと引っ張り、図2に示すように、ばねが x_0 [m] だけ伸びた状態で小球 B を静かに放した。その後、小球 A が最初に静止した瞬間に小球 B が小球 A に衝突した。衝突は完全弾性衝突であるとする。小球をつなぐ糸は十分に強く、また、ばねと糸の質量、小球の大きさおよび床との摩擦力は無視できるものとする。2個の小球の運動は、ばねの伸縮方向に沿った直線上に限られるものとして、以下の問いに答えよ。

問1 小球 B を放した後、最初に小球 A が原点 O を通過するまでに要する時間を t_0 [s]、原点 O を通過する瞬間の小球 A の速さを v [m/s] とする。 t_0 および v を求めよ。

問2 小球 A が原点 O を通過してから最初に静止するまでに動いた距離を x_1 [m]、その間に要する時間を t_1 [s] とする。 x_1 および t_1 を求めよ。

問3 小球 A が最初に静止した瞬間に小球 B が小球 A に衝突するためには x_0 はいくらでなければならないか。この条件を満たす x_0 を求めよ。

問4 小球 A と B が衝突した後、小球 A は再びばねの力の作用のみで静止した。静止した位置と原点 O との距離 x_2 [m] を求めよ。

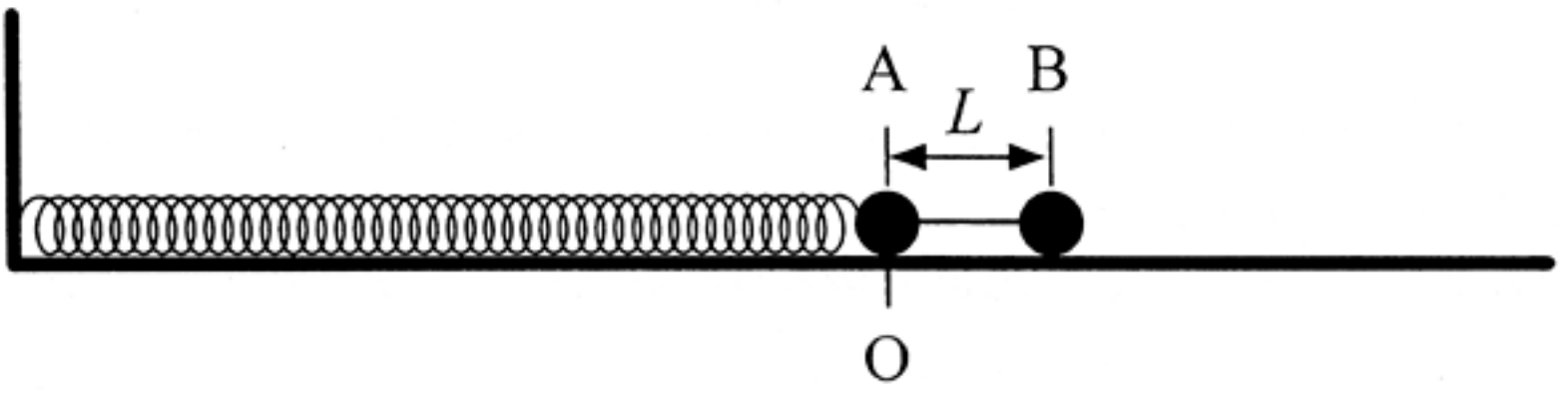


图 1

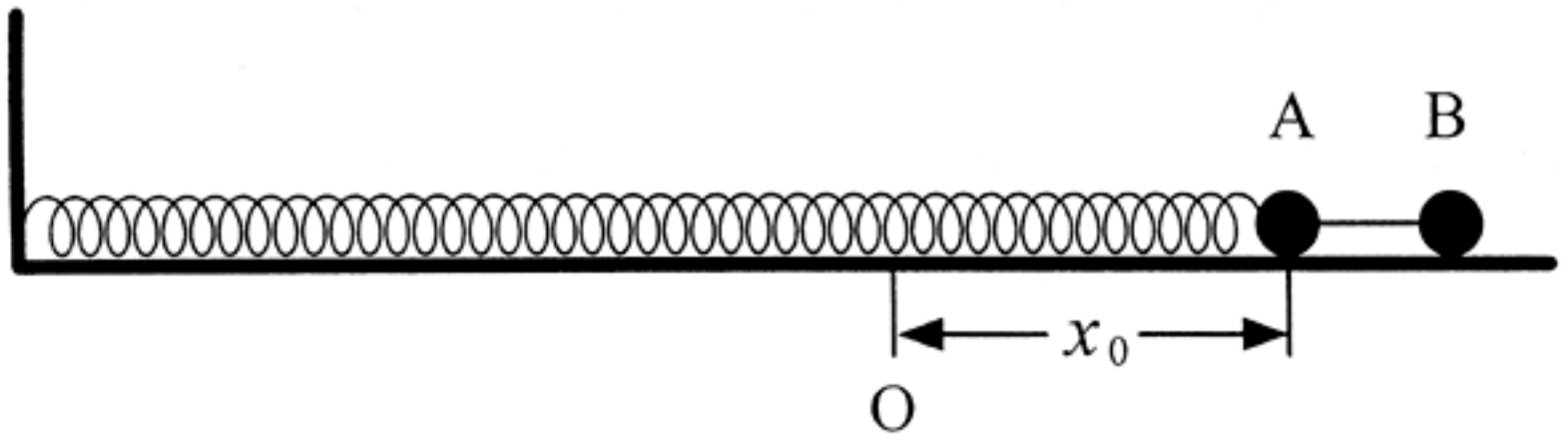


图 2

物 理

第 2 問 (30点)

半導体ダイオード D の順方向電圧と電流の関係を図 1 に示す。このダイオード D 、電圧を変えられる直流電源 E 、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、抵抗 R_1 (200Ω)、 R_2 (50Ω) を導線をつないで、図 2 のような電気回路を構成した。ただし、直流電源の内部抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。

- 問 1 スイッチ S_1 、 S_2 および S_3 を閉じ、 S_4 を開いた状態で E の電圧を変化させた。このとき、抵抗 R_1 を流れる電流 I_1 [mA] およびスイッチ S_3 を流れる電流 I_2 [mA] を解答用紙のグラフ上に示せ。なお、解答用紙のグラフ上の曲線は図 1 と同じである。
- 問 2 次に、スイッチ S_1 、 S_2 および S_4 を閉じ、 S_3 を開いた状態で E の電圧を変化させた。このとき、スイッチ S_4 を流れる電流 I_3 [mA] を解答用紙のグラフ上に示せ。
- 問 3 問 2 において、 E の電圧が 13V の場合、 D 、 R_1 および R_2 で消費される電力をそれぞれ求めよ。

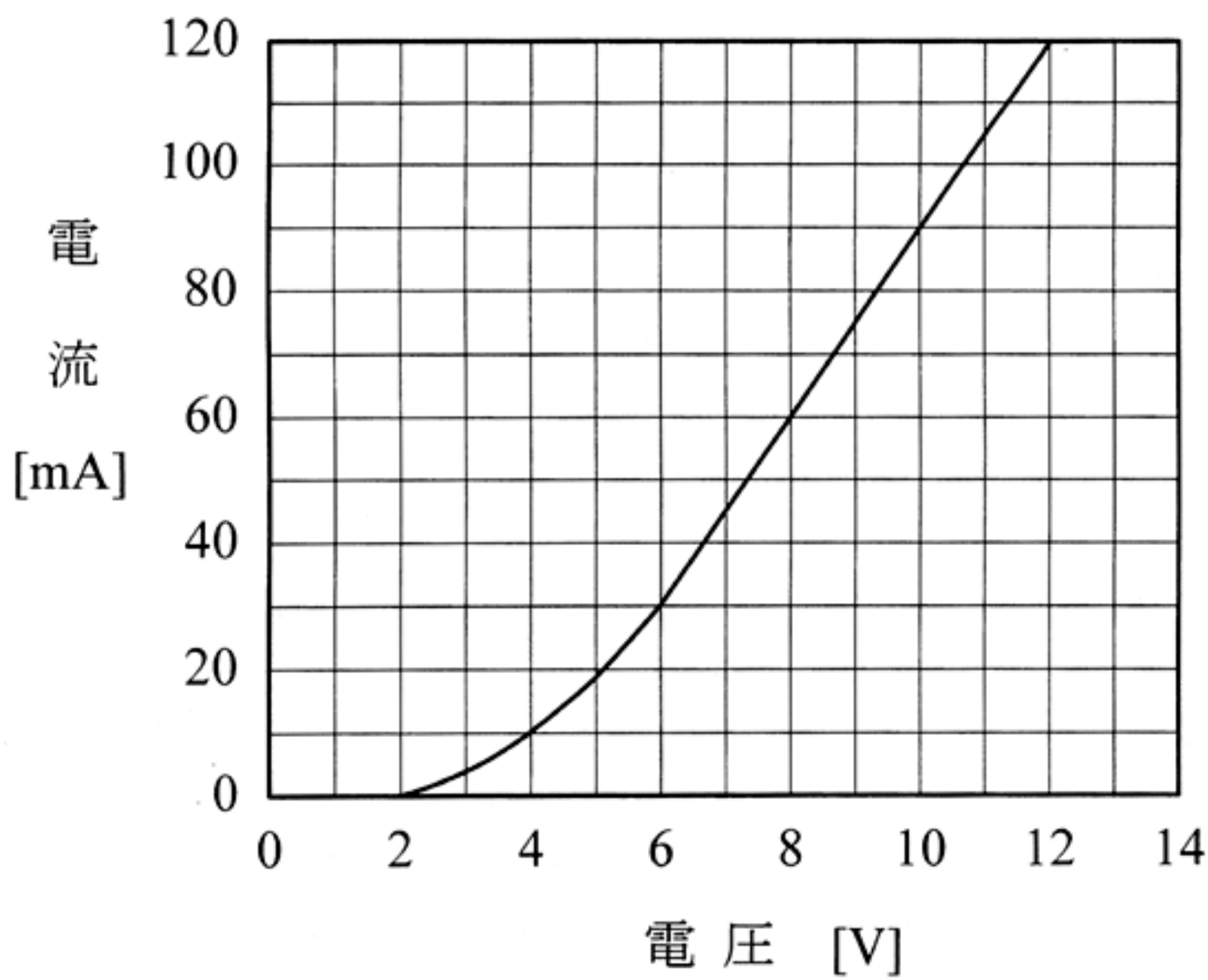


图 1

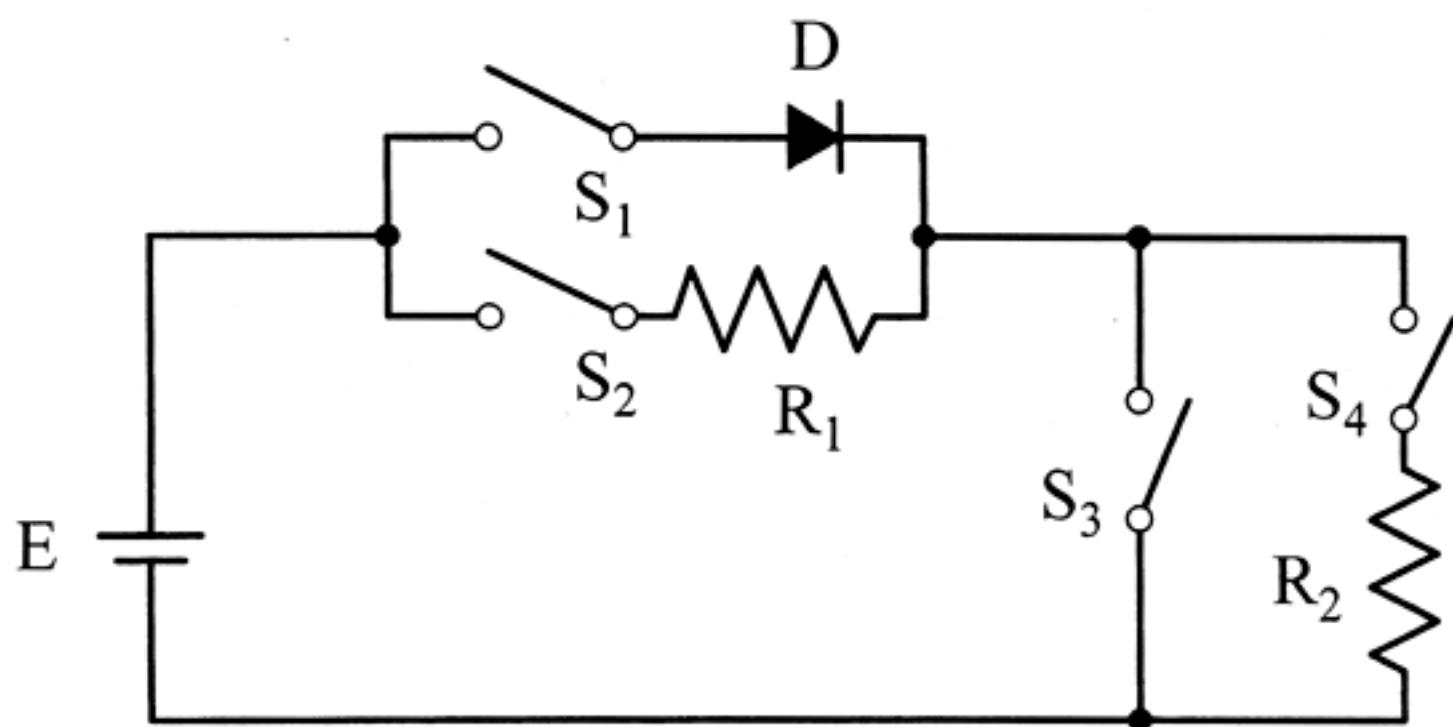


图 2

物 理

第 3 問 (30点)

熱機関の中に 1 モルの理想気体を封入し、図に示す $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の順に気体の状態を変化させた。各過程で行なった操作は以下の通りである。

- $A \rightarrow B$: 一定圧力 p_1 [Pa] のもとで気体に熱量 Q_1 [J] を与えた。
- $B \rightarrow C$: 断熱的に気体を膨張させた。
- $C \rightarrow D$: 一定の体積 V_3 [m^3] のもとで気体から熱量 Q_2 [J] を奪った。
- $D \rightarrow A$: 断熱的に気体を圧縮した。

ここで、気体の圧力は状態 A および B で p_1 [Pa]、状態 C で p_2 [Pa]、状態 D で p_3 [Pa] であり、気体の体積は状態 A で V_1 [m^3]、状態 B で V_2 [m^3]、状態 C および D で V_3 [m^3] である。また、状態 A, B, C, D における気体の温度はそれぞれ T_A [K], T_B [K], T_C [K], T_D [K] であるとする。また、封入された気体の定圧モル比熱を C_p [J/mol·K]、定積モル比熱を C_V [J/mol·K] とし、 $a = \frac{V_3}{V_1}$, $b = \frac{V_2}{V_1}$, $\gamma = \frac{C_p}{C_V} > 1$ とする。さらに、断熱膨脹および断熱圧縮の過程では、気体の圧力 p [Pa] と体積 V [m^3] の間に $pV^\gamma = \text{一定}$ という関係が成り立つことが知られている。以下の問いに答えよ。

問1 状態 A から B の過程で気体に与えた熱量 Q_1 、および状態 C から D の過程で気体から奪った熱量 Q_2 を C_p , C_V , T_A , T_B , T_C , T_D のうち必要なものを用いて表せ。

問2 温度 T_B , T_C , T_D を T_A , a , b , γ のうち必要なものを用いて表せ。

問3 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の過程で熱機関がした全仕事を W [J] とすると、この熱機関の熱効率 e は $e = \frac{W}{Q_1}$ で表される。このとき、 e を a , b , γ を用いて表せ。

