東京女子医科大学

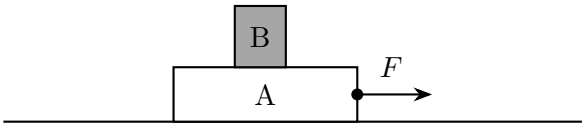
2023 年度　一般選抜　物理

（2 科目　120 分）

［注意事項］

解答用紙の（導出過程）の欄で問題文中にない物理量を用いる場合は，定義してから用いること。

I 水平で滑らかな床の上に質量 M の物体 A が置いてある。その上に質量 m の物体 B を載せて A を一定の大きさの力 F で水平に引いたところ，A，B 一体となって床をすべった。図中の右方向を正とする。



(1)　A，B の床に対する加速度を求めよ。

(2)　A，B 間の摩擦力の大きさを求めよ。

A が床をすべり始めてから時間 t_1 後，引く力の大きさを $F'\,(>F)$ にしたところ B が A の上をすべり始めた。ここで F' は一定である。このときの A，B 間の摩擦力の大きさを f' とする。A は十分に大きく，B は A から落ちないものとする。

(3)　A，B の床に対する加速度をそれぞれ求めよ。

B が A の上をすべり始めてさらに時間 t_2 が経過した後に A を引くのをやめた。

(4)　この瞬間の A に対する B の相対速度 V_0 を求めよ。

(5)　A を引くのをやめてから，A，B が一体となって運動を始めるまでにどれだけ時間がかかったか。V_0 を使って示せ。

(6)　引くのをやめてから一体となるまでに，B は A に対してどちら向きにどれだけの距離すべったか。V_0 を使って示せ。

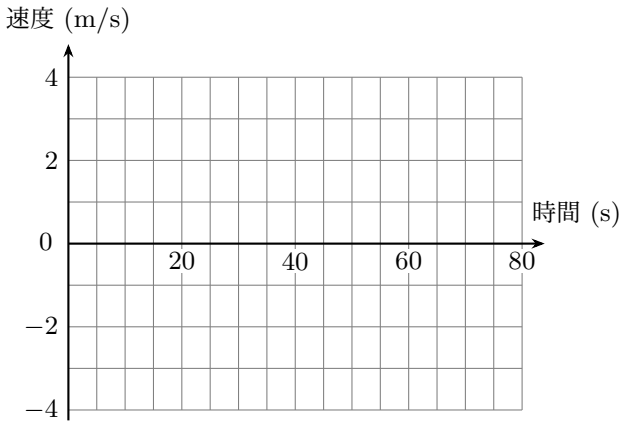
（注）(6) の解答用紙には，導出過程を書く欄がある。

(7) V_0 を使わずに，A，B が一体となって運動したときの床に対する速度を求めよ。

(8) 以下の表に示す物理量を使って A，B それぞれの床に対する速度と時間の関係のグラフを描け。このときの時間は力 F で引き始めた瞬間から経過した時間である。このグラフに，引く力を変えたときや最後に一体となって運動を始めたときの時間と速度を（時間，速度）のように明記せよ。また，V_0 の大きさをグラフに示せ。

M(kg)	m(kg)	F(N)	F'(N)	f'(N)	t_1(s)	t_2(s)
7.0	3.0	1.0	3.0	0.10	10	5.0

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



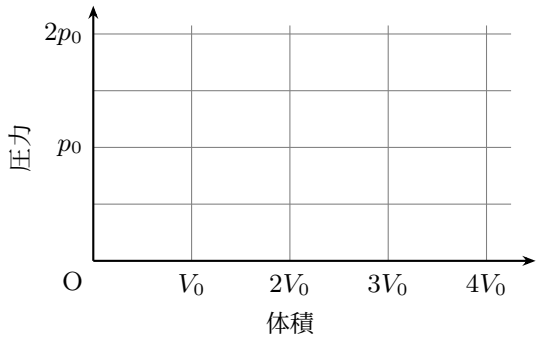
II 滑らかに動くピストンを使ってシリンダーに物質量 n の理想気体を封じ込め，その状態を A → B → C → D → A と変化させる熱機関をつくった。この気体に熱を加える高温熱源と気体から熱を奪う低温熱源が用意してある。

A での気体の圧力は p_0，体積は V_0 である。A → B では体積を一定に保ったまま圧力 $\dfrac{3}{2}p_0$ の B にする。B → C では圧力を一定に保ったまま体積 $2V_0$ の C にする。C → D では温度を一定に保ったまま圧力 p_0 の D にする。C → D で気体が外部にする仕事は W_0 である。D → A では圧力を一定に保ったまま体積を変化させる。

気体定数は R，この気体の定積モル比熱は $\dfrac{3}{2}R$ であるとして以下の問いに答えよ。

(1) 横軸を体積，縦軸を圧力として，この熱機関の気体の状態の変化を矢印付きの線で描くとともに，W_0 を表す領域を斜線で示せ。

（注）解答欄には次の方眼が与えられている。



(2) A → B，B → C，C → D，D → A の各過程について，外部とやりとりする仕事，および，熱源とやりとりする熱を求め，解答用紙の空欄を埋めよ。（ただし，C → D の仕事は答えなくてよい。）このとき，仕事は外部にする仕事が正，外部からされる仕事が負となるように，熱は高温熱源から吸収する熱が正，低温熱源に放出する熱が負となるように表せ。

(3) $n = 8.0 \times 10^{-3}$ mol，$p_0 = 1.0 \times 10^{5}$ Pa，$V_0 = 2.0 \times 10^{-4}$ m^3，$W_0 = 24$ J，$R = 8.3$ J/(mol·K) として熱効率を求めよ。

（注）(3) の解答用紙には，導出過程を書く欄がある。

III ソレノイド内部に発生する磁場の測定について，以下の問いに答えよ。ただし，重力加速度の大きさを g とする。

はじめに，以下のような磁束密度測定用てんびん（以下“てんびん”と呼ぶ）を用いて測定を試みた。図 1(a) のように，長さ $2L$，幅 w の長方形の不導体の板を用意した。ここで，板の幅方向と平行な x 軸，長さ方向と平行な y 軸を決め，xy 平面に垂直な軸を z 軸とする。この板の半分の周囲に太さが無視できる導線を取り付け，直流電源と可変抵抗器を接続すると，てんびんには電流 I_b が流れる。板の中央部に支えがあり，板はここを回転軸として滑らかに回転するが，導線の質量は無視できるほど小さいため，磁場が発生していないとき，板は水平となる。

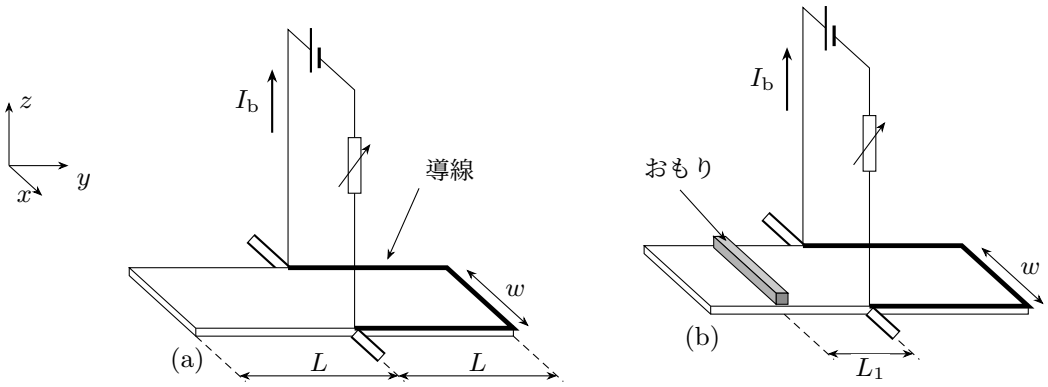


図 1

ソレノイドの軸と y 軸が平行となるように，てんびんをソレノイドの内部に設置した。ソレノイドに電流 I を流したところ，てんびんは回転したため，図 1(b) のように，質量 m のおもりを板の回転軸から導線が取り付けられていない側へ距離 L_1 の位置に設置することで，板は水平となった。大きさ I の電流を流したときのソレノイド内部に発生する磁束密度の大きさを B とし，ソレノイド内部の磁場は一様とする。

(1) てんびんが磁束密度の大きさ B の磁場から受けた力の大きさと，磁束密度の向きを答えよ。

(2) B と m の関係を示せ。

(3) 磁束密度の単位はテスラ（記号は T）であるが $\mathrm{Wb/m^2}$ とも表せる。この測定で用いる物理量から，$\mathrm{Wb/m^2}$ を導けることを示せ。ここで，Wb は磁極にはたらく力の大きさをもとに定義される磁気量の単位である。

(4) 以下の状況を示すグラフを図 2 の (a) – (f) から選べ。

① ソレノイドの電流 I の大きさを固定したとき，てんびんを水平に保つための I_{b}（横軸）と L_1（縦軸）の関係を描いたグラフ

② $L_1 = L$ としたとき，てんびんを水平に保つための I（横軸）と I_{b}（縦軸）の関係を描いたグラフ

③ $I = I_{\mathrm{b}}$ として，てんびんとソレノイドに流れる電流を同時に変化させたとき（ともに横軸）に，てんびんが水平となる L_1（縦軸）の位置を示したグラフ

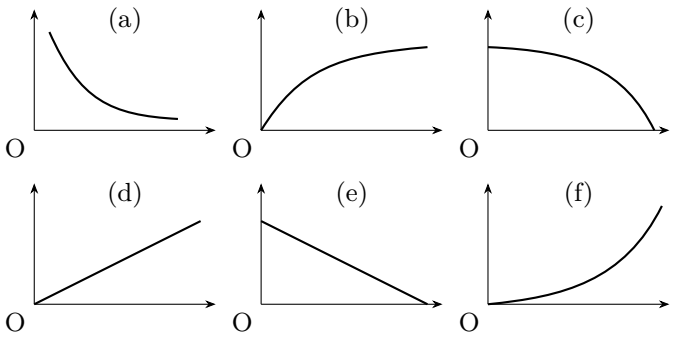


図 2

次に，ソレノイドの電流を $I = 0$ とした後に，てんびんに代わって図 3 のような各軸にそって幅 a，厚さ b，長さ c の直方体の形をした半導体を用意して B の測定を試みた。この半導体をソレノイド内に設置し，z 軸負の向きに電流 I_{s} を流した。半導体のキャリアは負の電荷をもつとし，キャリア 1 個の電気量の大きさを q，単位体積当たりのキャリアの個数を n_{c} とする。

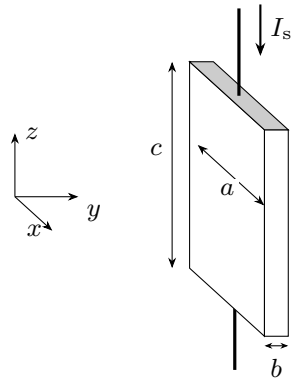


図 3

(5) 半導体内のキャリアの速度の大きさを電流 I_{s} を用いて表せ。

その後，ソレノイドに電流 I を流した。

(6) キャリアが磁束密度の大きさ B の磁場から受ける力の大きさと向きを示せ。

(7) キャリアは力をうけ，半導体の 1 つの面に集まる。これにより半導体内で電場が発生する。電場の向きを示せ。

(8) やがて時間がたつと，キャリアは z 軸にそって直進するようになる。このとき，キャリアが集まった面と対向する面の間に生じる電圧を V_{s} とすると，B および I_{s} との関係はどのように表されるか。

（注）(8) の解答用紙には，導出過程を書く欄がある。