

2025年7月5日

物理試験問題

(120分)

[注意事項]

- 1) 問題は I ~ III の 3 問あります。3 問すべてに解答すること。
- 2) 解答は問題ごとに別の解答用紙 (計 3 枚) に記入すること。
各解答用紙の以下の欄に問題番号, 受験番号と氏名を記入すること。
「試験科目」欄: 問題番号 (I ~ III) を記入すること。
「学籍番号」欄: 受験番号を記入すること。
「氏名」欄: 氏名を記入すること。
- 3) 試験開始後は試験終了まで退室できません。また, 試験開始後 30 分を経過した後の入室はできません。

I

次のような剛体の運動を考える。以下の問 1~5 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

図 1 のように底面の半径を a 、高さを b とする円錐の底面を合わせた剛体を考える。ただし、密度は一様であり、剛体の質量は M である。また、重力加速度は g である。

問 1 図 1(a) のように剛体の軸を点線で表す。慣性モーメントの定義にしたがい、剛体の軸まわりの慣性モーメント $I = \frac{3}{10} Ma^2$ を導きなさい。

問 2 図 1(b) のように半径 a の剛体の縁の周りに糸を巻きつけて、糸の端を手で固定し剛体を降下させる。剛体の重心の加速度と糸の張力 T を求めなさい。

問 3 再び、剛体の縁の周りに糸を巻き付けて、糸の端を加速度 α' で鉛直上向きに引き上げたところ、剛体の重心は一定の位置に止まった。加速度 α' 、糸の張力 T' の大きさを求めなさい。

次に、図 2 のように角速度 ω_1 で回転している円盤 1 の縁を静止している円盤 2 の縁に接触させたところ、縁同士が滑ることなく回転し始めた。ここで、円盤 1 は回転軸周りに慣性モーメント I_1 をもつ。円盤 2 は円盤 1 と平行な軸で慣性モーメント I_2 をもち回転する。それぞれの円盤の半径は a_1, a_2 とする。

問 4 回転が一定になったのちの 2 つの円盤 1, 2 の角速度の大きさ ω'_1, ω'_2 を求めなさい。

問 5 円盤が接触する前の全エネルギーと接触して回転が一定になったのちの全エネルギーを求めて、エネルギーが保存するか答えなさい。

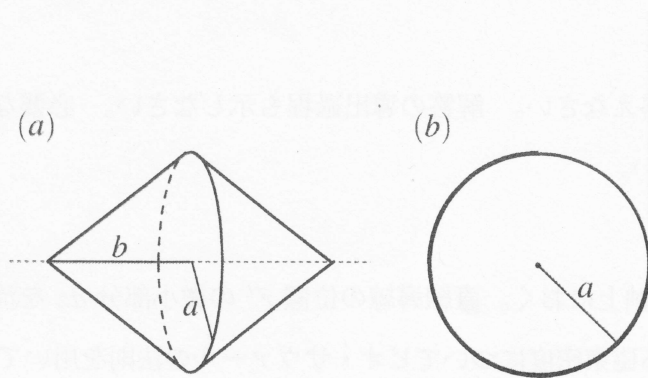


图 1

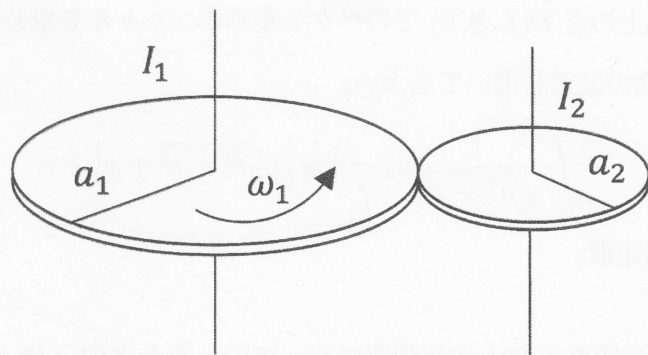


图 2

II

以下の問 1~5 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

問 1 直線導線を z 軸上におく。直線導線の位置 r' の微小部分 dz を流れる電流素片が点 $P(\vec{r})$ に作る磁束密度についてビオ・サヴァールの法則を用いて書きなさい。ただし真空の透磁率を μ_0 とする。

問 2 z 軸上の有限長の直線状導線の点 $B(0, 0, -a)$ から点 $A(0, 0, a)$ に電流 I が流れているとき、 x 軸上の点 $P(L, 0, 0)$ でのベクトルポテンシャルを求めなさい。必要であれば次の公式を用いてもよい。

$$\int \frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} dx = \log \left| \sqrt{a^2 + x^2} + x \right| + c$$

ただし、 a, c は定数。

問 3 問 2 の点 A , 点 B を z 軸上の無限遠にもっていったときの x 軸上の点 $(x, 0, 0)$ におけるベクトルポテンシャルを求め、それを用いて点 $(x, 0, 0)$ での磁束密度を求めなさい。ただし、ベクトルポテンシャルの基準点の任意性を使い、できるだけ簡略化した形で答えなさい。

次に、図 3 のように半径 a の円弧と 2 本の無限に長い直線からなる導線に電流 I を流した。

問 4 直線部分 A, C を流れる電流が点 O につくるそれぞれの磁束密度の大きさ B_A と B_C を求めなさい。

問 5 円弧部分 B を流れる電流が点 O につくる磁束密度の大きさ B_B を求めなさい。さ

らに、図の A, B および C の導線を流れる電流が原点 O につくる磁束密度の大きさ
求め、その向きについて答えなさい。

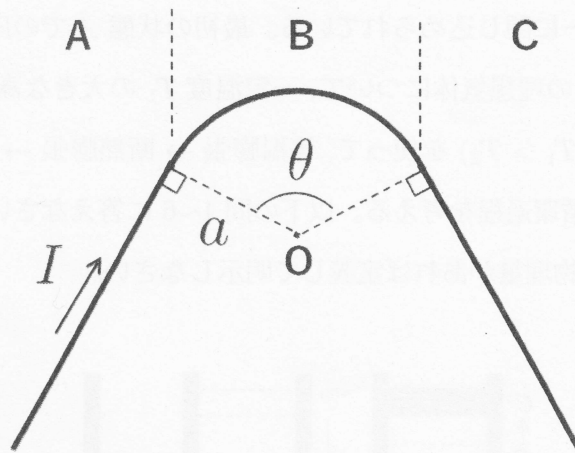


図 3

III

カルノーは、作業物質として理想気体を選び、熱機関の効率の限界を調べた。図4のように n モルの単原子分子理想気体 (ポアッソン比を γ とする) が断熱材で囲まれた摩擦のないピストンシリンダーに閉じ込められている。最初の状態 A での圧力, 体積, 温度は $A(p_1, V_1, T_1)$ である。この理想気体について, 一定温度 T_1 の大きな高温熱源と, 一定温度 T_2 の大きな低温熱源 ($T_1 > T_2$) を使って, 等温膨張 \rightarrow 断熱膨張 \rightarrow 等温圧縮 \rightarrow 断熱圧縮を組み合わせた可逆循環過程を考える。以下の問 1~6 に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。必要な物理量があれば定義して明示しなさい。

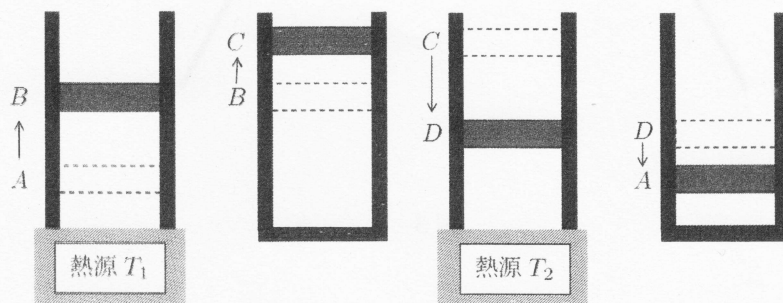


図4

- 問1 気体が外部からされる仕事を ΔW , 気体に与えられる熱量を ΔQ , 内部エネルギーの変化を ΔU であるとする。熱力学第1法則を書きなさい。
- 問2 気体が, 状態 A から熱平衡を保ちながら熱量 Q_1 を受け取って準静的に等温膨張をおこない, 状態 $B(p_2, V_2, T_1)$ になった。気体が外部からされる仕事 W_{AB} と吸収する熱量 Q_1 を T_1, V_1, V_2 を用いて表しなさい。
- 問3 次に, シリンダーを高温熱源から切り離し, 状態 $B(p_2, V_2, T_1)$ から準静的に温度 T_2 に達するまで断熱膨張をおこない, 状態 $C(p_3, V_3, T_2)$ にした。

(a) 理想気体の断熱膨張において p と V の間に常に成り立つ関係式を答えなさい。

(b) 外部から気体にされる仕事 W_{BC} を T_1, T_2 を用いて表しなさい。

問 4 次に、低温熱源 T_2 に接触させ、状態 $C(p_3, V_3, T_2)$ から熱平衡を保ちながら準静的に等温圧縮をおこない、状態 $D(p_4, V_4, T_2)$ にする。このとき、気体が外部からされる仕事 W_{CD} と低温熱源から吸収する熱量 Q_2 を T_2, V_3, V_4 を用いて表しなさい。

問 5 最後に、状態 $D(p_4, V_4, T_2)$ から低温熱源 T_2 を切り離し、温度が T_1 になるまで準静的に断熱圧縮をおこない、状態 $A(p_1, V_1, T_1)$ に戻す。気体が外部からされる仕事 W_{DA} を T_1, T_2 を用いて表しなさい。

問 6 問 2~5 までの 1 サイクルの $p - V$ グラフの概略を書きなさい。ただし、それぞれの過程がどの過程かわかるように図中に明示しなさい。また、 $T_2 = \frac{1}{2}T_1$ のとき、熱機関の効率 η を求めなさい。