

1. 理想気体の気体分子運動論について、以下の問いに答えよ。

(1) 以下の空欄に適当な式を入れ、気体分子の圧力を表す式を導出せよ。

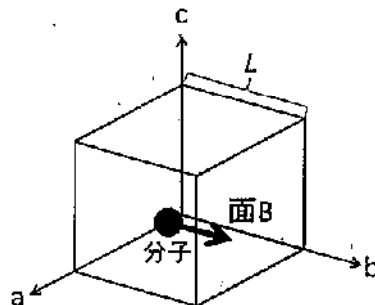


図 1

N 個の気体分子（分子の質量： m [kg]）が閉じ込められた 1 辺の長さ L [m]、体積 V [m³] の立方体型容器（図 1）を考える。ある 1 つの気体分子の b 軸方向の速度を v_b [m/sec] とすると、面 B に分子が弾性衝突した際の b 軸方向の運動量変化の大きさは、分子の進む向きを正方向として（ ① ）と示される。この気体分子が面 B に 1 秒間に衝突する回数は（ ② ）回となる。そのため、分子が面 B から受ける力を $-F$ とすると、力積と運動量変化の大きさの関係から、以下の式が得られる。

$$-F \times 1 = (\quad \text{③} \quad) [\text{N} \cdot \text{s}] \quad \cdots \text{式 1}$$

この気体分子が面 B に与える力は、作用反作用の法則より、 F と表せる。

次に、 N 個の分子による力を求める。個々の分子の v_b と F の平均値をそれぞれ $\langle v_b \rangle$ および $\langle F \rangle$ とすると、 N 個の分子が面 B に与える力の平均値は以下で示される。

$$N \langle F \rangle = (\quad \text{④} \quad) [\text{N}] \quad \cdots \text{式 2}$$

速度 v の 2 乗平均は $\langle v^2 \rangle = \langle v_a^2 \rangle + \langle v_b^2 \rangle + \langle v_c^2 \rangle$ と表せる。分子 a , b および c 軸方向の速度が等方的であれば、 $\langle v_b^2 \rangle = \langle v^2 \rangle / 3$ が成り立つため、式 2 は下記のように表せる。

$$N \langle F \rangle = (\quad \text{⑤} \quad) [\text{N}] \quad \cdots \text{式 3}$$

よって、気体分子の圧力 P は、立方体型容器の体積 V を用いて以下の式で表される。

$$P = (\quad \text{⑥} \quad) [\text{Pa}] \quad \cdots \text{式 4}$$

(2) 単原子理想気体の原子 1 個あたりの平均運動エネルギーは $mv^2/2$ と示されるが、理想気体の状態方程式と式 4 を用いて、単原子理想気体の原子 1 個あたりの平均運動エネルギーが温度 T の関数であることを説明せよ。

2. (選択問題) 理想気体のサイクルについて、2.A または 2.B のいずれか1つを選んで答えよ。選んだ問題番号について、答案用紙の問題番号欄に○で囲むこと。

2.A 理想気体のカルノーサイクルについて、以下の問いに答えよ。

(1) 図2は理想気体のカルノーサイクルについて、圧力 P と体積 V との関係を示したグラフである。①～④はそれぞれ何の過程を示したものか述べよ。

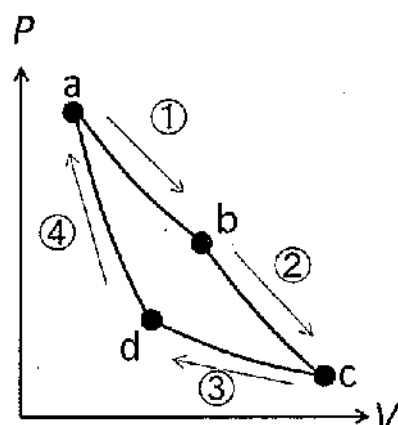


図2

- (2) 状態aから状態bへの過程①について、(i)温度 T と内部エネルギー変化 ΔU 、(ii)体積 V の変化、(iii)エントロピー変化 ΔS 、(iv)圧力 P と体積 V との関係を説明せよ。ただし、各状態での気体の温度、体積、エントロピー、圧力はそれぞれ T_x, V_x, S_x, P_x (x : a または b) と表記することとする。
- (3) 理想気体のカルノーサイクルにおける温度 T とエントロピー S との関係について、 TS 線図の概略を描け。

2.B 図3の PV 線図に示す熱サイクルを考える。状態1から2は断熱変化、状態2から3は定容変化、状態3から4は断熱変化、状態4から1は定容変化である。また、状態2から3においては、熱量 Q_1 が外部から加えられ、状態4から1においては、熱量 Q_2 が外部に放出される。この定容変化の熱サイクルについて、以下の問いに答えよ。ただし、状態1から4までの温度をそれぞれ $T_1 \sim T_4$ 、作動流体の質量を m 、定容比熱を c_v 、 κ は比熱比、 ε は圧縮比とする。

- (1) 外部から加えられる熱量 Q_1 を、 T_2 、 T_3 などで表せ。
- (2) 外部に放出される熱量 Q_2 を、 T_1 、 T_4 などで表せ。
- (3) (1) と (2) の間での仕事 W を、 Q_1 や Q_2 で表せ。
- (4) T_2 および T_3 を、 T_1 、 T_4 、 ε 、 κ などで表せ。
- (5) T_4/T_3 および T_1/T_2 を、 ε 、 κ などで表せ。
- (6) このサイクルの理論熱効率 η を、 Q_1 や Q_2 で表せ。
- (7) (6) の η を、 ε 、 κ などで表せ。
- (8) この熱効率 η を高めるためには、どうしたらよいか？ 簡単に説明せよ。

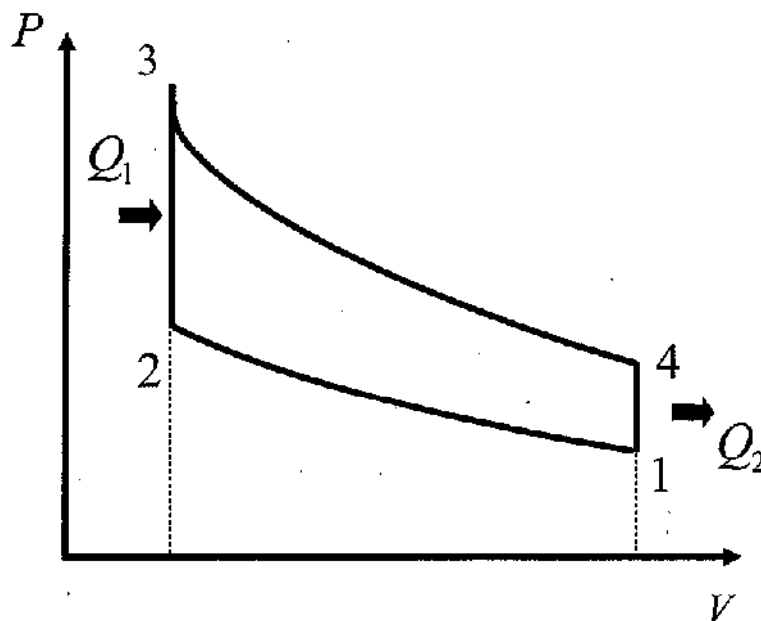


図3