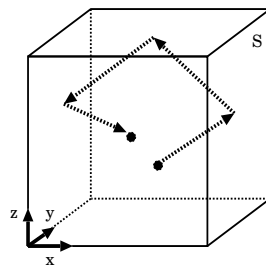
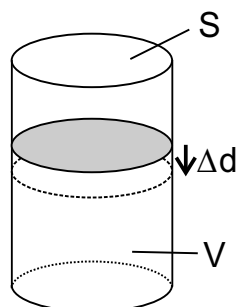


- 1 温度とは何かを知るために、一辺の長さ L の立方体の箱に閉じ込められた質量 m の気体分子の振舞いを考えよう。

- (a) x 方向の速度成分が v_x である分子が時間 t の間に壁 S に衝突する回数と一回の衝突当たり壁に及ぼす力積を求めよ。ただし、この分子は他の分子とは衝突せず、壁とは完全弾性衝突すると考える。



- (b) (a) の結果を利用し、さまざまな速度を持つ N 個の分子が x 方向の壁に及ぼす圧力 P_x を速度の x 成分の二乗平均 $\langle v_x^2 \rangle$ を用いて表せ。
- (c) x, y, z の各方向の速度成分の二乗平均が同一であるとし、一分子の運動エネルギーの平均値 ϵ を求めよ（エネルギー等分配則）。さらに、気体の全エネルギーを $U = \epsilon N$ として、(b) を用いて U を P と V で表せ。
- (d) 理想気体の状態方程式 $PV = NkT (= nRT)$ と比べることで、気体分子の平均運動エネルギーが絶対温度に比例することを確認せよ。また、一自由度当たりの平均運動エネルギーを求めよ。但し、 k はボルツマン係数、 T は温度である。
- 2 (a) 一端を閉じた断面積 S の円筒状の容器に理想気体を入れ、もう一端はピストンでふさぐ。ピストンには、容器内の理想気体の圧力と釣り合うように力が加えられている。ピストンに加える力と気体の圧力の釣り合いを保ったまま、ピストンを Δd だけ押しこむとき（準静的過程）、ピストンが気体にする仕事 ΔW を、気体の体積変化 $\Delta V = -S\Delta d$ で表せ。この変化を起こす間、気体の圧力は変化しないとしてよい。



- (b) 次の2つの道筋で n モルの理想気体が温度 T_1 、体積 V_1 の状態から T_2 、 V_2 の状態まで変化するとき、気体はそれぞれどれだけの仕事をするか。

- (1) 体積を V_1 に保って温度を T_2 まで変え、次に温度を T_2 に保って体積を V_2 まで変える。
- (2) 温度を T_1 に保って体積を V_2 まで変え、次に体積を V_2 に保って温度を T_2 まで変える。

3 トムソンの原理：

「一様な温度の 1 つの熱源から熱を受け取り、それと等量の仕事を外にするだけで、それ以外に何の変化も残さないような過程は実現できない。」
について考える。

- (1) 2 つの物体の間に働く摩擦力に抗して物体をこすり合わせると、外力が仕事をするが物体の力学的エネルギーは変化せずに温度が上がる。この一連の変化が不可逆であることをトムソンの原理に基づいて示せ。
- (2) 理想気体を一定温度の熱源と接触させ、温度を一定に保ちながら膨張させると、内部エネルギーに変化はなく、熱源から受け取った熱と等量の仕事を外にする。このことはトムソンの原理に反するか？
- (3) 断熱壁で囲まれた容器が 2 つの部分に分かれ、その一方には理想気体が入っており、他方は真空である。2 つの部分の連結部にある栓を開くと、気体は容器全体に広がる。トムソンの原理に基づいて、この変化が不可逆であることを示せ。