

Ⅱ 物理

以下の4問において、Ⅱ－1は必答とし、Ⅱ－2、Ⅱ－3、Ⅱ－4のうち任意の2問を選択し解答せよ。

Ⅱ－1 (必答)

空気中の水蒸気が凝結して水滴ができ、その水滴がさらに周りの水蒸気を凝結させながら重力場の中を鉛直に落下していくことを考える。水滴の質量増加の割合は、そのときの表面積に比例して、単位時間に単位表面積あたり α の割合で増加していくものとする。ただし、水滴は常に球形に保たれ、密度は ρ で空気の抵抗は無視できるものとする。以下の問に順に答えよ。

問題1 はじめの雨滴の半径を r_0 として、 t 時間後の半径 r を求めよ。

問題2 水滴落下の運動方程式を記せ。

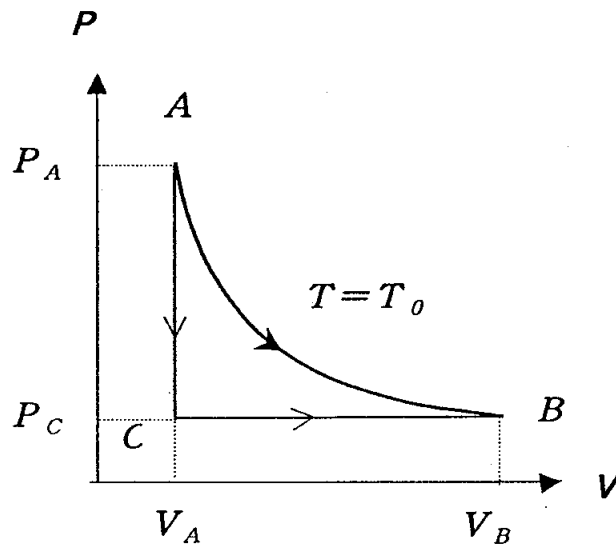
問題3 はじめの速度を V_0 として、 t 時間後の速度 V を求めよ。

II - 2 (選択)

理想気体からなる系が準静的に変化するとして、つぎの問に答えよ。

問題1 熱力学の第1法則を記せ。

問題2 下図の圧力 (P) と体積 (V) の関係において、状態Aから状態Bまで、温度を一定 (T_0) に保ちながら体積を V_A から V_B に変化させた。1モルの気体が外に対して行う仕事はどれだけか。また、内部エネルギーはどれだけ変化するか。ただし、気体定数を R とする。



問題3 状態Aから状態Cまで定積変化し、つぎに状態Cから状態Bまで定圧変化するとする。AからCまでの間に外に放出する熱 Q_{AC} と、CからBまでの間に外から吸収する熱 Q_{CB} との差はどれだけか。ただし、状態Cでの圧力、温度をそれぞれ P_C 、 T_C とする。

問題4 問題3において V_A と V_B の差を小さくして T_C と、 T_0 の温度差 ΔT が0となる極限を考え、理想気体の定圧モル比熱 C_p と定積モル比熱 C_v 、および気体定数 R との関係を導け。

II - 3 (選択)

マクスウェルの方程式は

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \mathbf{j}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$$

である。ここで、 \mathbf{D} は電束密度、 ρ は電荷密度、 \mathbf{B} は磁束密度、 \mathbf{H} は磁場、 \mathbf{j} は電流密度、 \mathbf{E} は電場である。ただし、誘電率 ε と透磁率 μ を用いて

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

とする。

電荷密度と電流密度がともに 0 であるような空間を伝わる電磁場を考える。真空中の誘電率を $\varepsilon_0 (= 8.8 \times 10^{-12} \text{C}^2 / \text{N} \cdot \text{m}^2)$ 、透磁率を $\mu_0 (= 4\pi \times 10^{-7} \text{kg} \cdot \text{m} / \text{C}^2)$ として、以下の問いに答えよ。

問題 1 電磁場は波動方程式で記述できることを示せ。

問題 2 真空中での波の速さを求めよ。

問題 3 電磁場の波を平面波とする。波は横波となることを示せ。

II - 4 (選択)

水素原子のスペクトルについて考える。以下の問いに答えよ。

問題 1 電子は原子核から半径 r の位置を角速度 ω で円運動しているとする。電子の質量を m 、電子と原子核の電荷を $-e$, $+e$ 、真空中の誘電率を ϵ_0 としたとき、電子の運動エネルギーと位置エネルギーの和(力学的エネルギー) E を示せ。

問題 2 電子の角運動量はプランク定数 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ の整数倍の値 n しかとらないと仮定する。プランク定数を用いて力学的エネルギー E を示せ。

問題 3 2つの状態のエネルギー差に対応して1個の光量子が放出されるとする。その振動数 ν を求めよ。