

必要があれば以下の定数や式を用いよ。

プランク定数： $h=6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$	光速： $c=3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$	アボガドロ数： $N_A=6.02 \times 10^{23}$	気体定数： $R=8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
ボルツマン定数： $k=1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	ボルツマン分布式： $N_i = N_0 \exp\{-(\varepsilon_i - \varepsilon_0)/kT\}$	絶対温度の変換： $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$	ド・ブローイ波長 $\lambda = h/mv$

以下の大問 1 から 4、全て解答せよ。解答は、最終的な数値のみを記せ。計算過程は採点上考慮しない。

解答上の注意：

1. 全ての数値計算は、関数電卓によって一括で計算することとし、途中で数値を丸めないこと。
2. 大問 4(a) 以外の数値で答える解答の有効数字は全て 3 桁とする。
3. 連続した小問において、途中の解答において丸めた数値を次の小問の計算に用いてはならない。
4. 単位が必要な回答には適切な単位をつけよ。
5. 1－4 のルールが守られていない解答は、減点する。

1. 次の各物質のド・ブローイ波長を求めよ。

- (a) 100 kV の電圧で加速された電子。ただし電子質量 $m_e=9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、電気素量 $e=1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。
- (b) 100 km/h の速さで打ち出された質量 50 g のゴルフボール。
- (c) 27°C で平均エネルギー $\frac{1}{2}kT$ を持つ熱中性子線。ただし中性子質量 $m_n=1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

2. N_2 分子（分子量 28）が一辺 10 cm の立方体の中に閉じ込められている。

- (a) 最低の許容並進エネルギーを求めよ。
- (b) 温度 27°C における平均並進エネルギーを求めよ。
- (c) 分子が(b)で求めた平均エネルギーを持つときの有効量子数 n を求めよ。
- (d) (c)の有効量子数のとき、 x, y, z 各成分の量子数 (n_x, n_y, n_z) が全て等しい場合の一成分あたりの量子数を求めよ。
- (e) (d)の状態のもとで、 n_x から n_x+1 へ 1 つ量子数の大きい状態へ移る (n_y と n_z は不変) ために必要なエネルギー $\Delta\varepsilon$ を求めよ。

3. 二原子分子の回転および振動運動に関する次の問に答えよ。

- (a) 分子量 28、重心から各原子の中心までの距離 $r=2.00 \times 10^{-10} \text{ m}$ の分子について、回転エネルギー間隔因子 ($n=1$ の場合) を求めよ。
- (b) (a)で求めた回転エネルギー間隔因子の値と同じエネルギーを持つ光の波長を求めよ。
- (c) 分子量 28、結合距離 $r=1.00 \times 10^{-10} \text{ m}$ の分子について許容振動エネルギー間隔因子 ($n=1$ の場合) を求めよ。ただし、振動運動の距離 d は r の 10%とせよ。
- (d) (c)で求めた振動エネルギー間隔因子の値と同じエネルギーを持つ光の波長を求めよ。

問題は裏に続きます

4. Maxwell-Boltzmann 分布式は、 $\frac{1}{N} \frac{dN}{dv} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$ で与えられる。これを用いて、以

下の設問に答えよ。

- (a) 以下は Maxwell-Boltzmann 分布式から、エネルギー ε に対する気体分子の分布式（3次元の場合）を導出する過程である。空欄(ア)から(コ)にあてはまる 1 桁の数値を答えよ。

運動エネルギーは $\varepsilon = \frac{(\text{ア})}{(\text{イ})} mv^2$ なので、 $\frac{dv}{d\varepsilon} = \frac{1}{mv} = \frac{1}{\sqrt{(\text{ウ})m\varepsilon}}$ と書ける。したがって、

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{d\varepsilon} = \frac{1}{N} \frac{dN}{dv} \frac{dv}{d\varepsilon} = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \frac{(\text{エ})\varepsilon}{m} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) \times \frac{1}{\sqrt{(\text{ウ})m\varepsilon}}$$

$$= 4\pi \left(\frac{(\text{オ})}{2\pi kT} \right)^{3/2} \sqrt{(\text{カ})\varepsilon} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right)$$

$$= \frac{(\text{キ})}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{kT} \right)^{\frac{(\text{ク})}{(\text{ケ})}} \sqrt{(\text{コ})\varepsilon} \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right)$$

- (b) 温度 27°C における N_2 分子（分子量 28）の平均の速さを求めよ。ただし、 $\int_0^\infty x^3 e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2a^2}$ である。

問 1

(a)	(b)	(c)
-----	-----	-----

問 2

(a)	(b)	(c)
(d)	(e)	

問 3

(a)	(b)
(c)	(d)

問 4

(a)

(ア)	(イ)	(ウ)	(エ)	(オ)
(カ)	(キ)	(ク)	(ケ)	(コ)

(b)

--

裏面や余白は計算用紙として用いてよい。