令和４年度入学者選抜学力検査問題
〈前期日程〉

理　　　科

（医学部　医学科）

科　　　目	頁　　　数
物理基礎・物理	2 頁 ～ 7 頁
化学基礎・化学	8 頁 ～ 17 頁
生物基礎・生物	18 頁 ～ 27 頁

注　意　事　項　Ⅰ

この冊子には物理，化学，生物の問題がのっている。そこから２科目を選択し，解答すること。

注　意　事　項　Ⅱ

1　試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。
2　試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
3　解答にかかる前に必ず受験番号を解答用紙に記入すること。
4　解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
　所定の欄以外に記入したものは無効である。
5　問題冊子は持ち帰ってよい。

（この頁は空白）

物理基礎・物理

1 一対の正負の電荷が規則正しく並んでいる例として，塩化ナトリウムなどの陽イオンと陰イオンからなるイオン結晶がある。イオン結晶に関するエネルギーについて調べるために，ここでは正負の点電荷が直線上に等間隔で並んだ簡単なモデル（直線モデル）を考える。陽イオンと陰イオンは，それぞれ正の電気量 $+Q$〔C〕$(Q>0)$ の点電荷と負の電気量 $-Q$〔C〕の点電荷とする。隣り合う点電荷の距離を d〔m〕とし，正の電気量の点電荷と負の電気量の点電荷は，距離 d より近づくことはないものとする。点電荷を動かすときは常に十分にゆっくりであるとし，無限遠方の電位をゼロとする。また，複数の点電荷を無限遠方に移動したとき，無限遠方ではそれぞれの点電荷間の距離は十分に大きく，点電荷には引力も斥力もはたらかないとする。クーロンの法則の比例定数を k〔$\mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$〕とし，以下の問いに答えよ。なお，下の**表 1** の各種定数や記号と数値を用いてよい。

表 1

クーロンの法則の比例定数	k	$9.0\times10^{9}\ \mathrm{N{\cdot}m^2/C^2}$
イオンの電気量の大きさ	Q	$1.6\times10^{-19}\ \mathrm{C}$
イオン間の距離	d	$2.8\times10^{-10}\ \mathrm{m}$
アボガドロ数	N_A	$6.0\times10^{23}/\mathrm{mol}$
k, Q, d の計算値	$k\dfrac{Q^2}{d}$	$8.2\times10^{-19}\ \ \mathrm{J}$

問 1 **図 1** のように，点 $\mathrm{A_2}$ に電気量 $-Q$ の点電荷が置かれている。距離 d 離れた点 $\mathrm{A_1}$ の電位 $-V$〔V〕$(V>0)$ を k, Q, d から必要なものを用いて表せ。

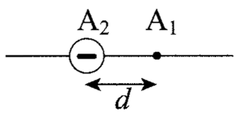


図 1

以下の**問 2**〜**問 4** において，**問 1** の V を用いるものとし，電気量 $+Q$ と $-Q$ の複数の点電荷が交互に直線上に等間隔 d で並んだ直線モデルを考える。

問 2 **図 2** のように，電気量 $+Q$ と $-Q$ の合計 4 個の点電荷が点 A_1 から点 A_4 に並んでいる。点 A_2，点 A_3，点 A_4 の点電荷を固定したまま，点 A_1 の電気量 $+Q$ の点電荷を右方向無限遠方に移動させる。このために必要なエネルギーの最小値は

$$QV \times \boxed{\text{（ア）}} \quad 〔\mathrm{J}〕$$

と表すことができる。$\boxed{\text{（ア）}}$ に入る数値を分数で答え，答えを導く過程を記せ。

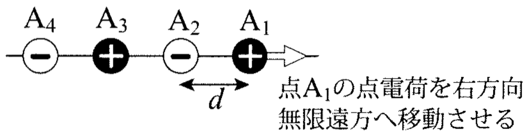


図 2

問 3 **図 3** のように，電気量 $+Q$ と $-Q$ の点電荷が点 A_1 から点 A_n に合計 n 個（n は偶数）並んでいる。点 A_2 から点 A_n の点電荷を固定したまま，点 A_1 の電気量 $+Q$ の点電荷を右方向無限遠方に移動させる。このために必要なエネルギーの最小値は

$$QV \times \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \cdots\cdots - \frac{1}{n-2} + \frac{1}{n-1}\right) \quad 〔\mathrm{J}〕$$

と表せることを説明せよ。

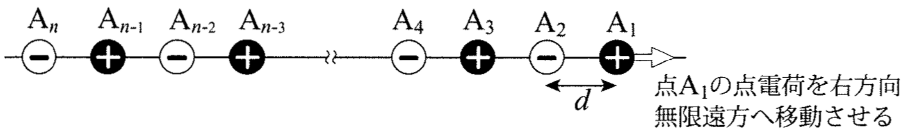


図 3

問 4 **問 3** と同様に, **図 4(a)** のように, 電気量 $+Q$ と $-Q$ の点電荷が点 A_1 から点 A_n に合計 n 個 (n は偶数) 並んでいる。ここで, 次の **(1)** から **(3)** の手順で点 A_n 以外の $n-1$ 個の点電荷を無限遠方に移動させるために必要なエネルギーの最小値を求める。

(1) 点 A_2 から点 A_n の点電荷を固定したまま, 点 A_1 の電気量 $+Q$ の点電荷を右方向無限遠方に移動させる（**図 4(a)**）。

(2) そのあと, 点 A_3 から点 A_n の点電荷を固定したまま, 点 A_2 の電気量 $-Q$ の点電荷を右方向無限遠方に移動させる（**図 4(b)**）。

(3) これらの操作を繰り返し, 点 A_{n-1} の電気量 $+Q$ の点電荷まで, 右方向無限遠方に移動させる（**図 4(c)**）。

このために必要なエネルギーの最小値は

$$nQV \times \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \cdots\cdots - \frac{1}{n-2} + \frac{1}{n-1}\right) - QV \quad 〔\mathrm{J}〕$$

と表せることを説明せよ。

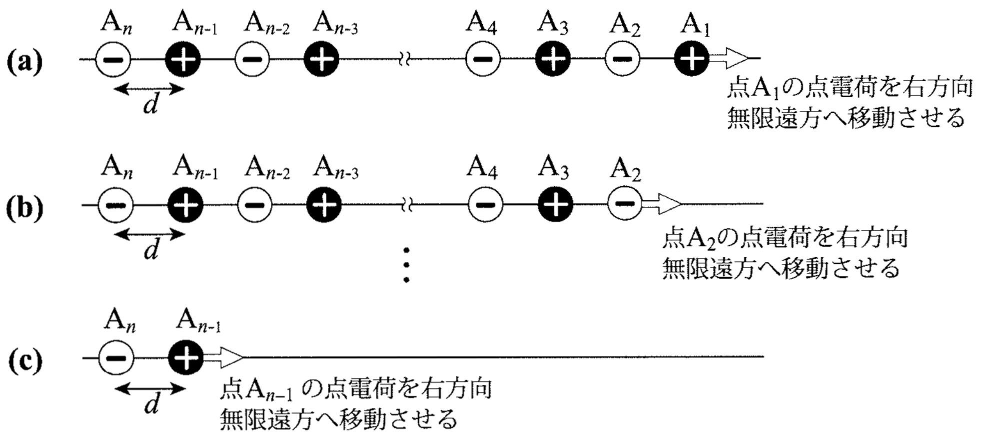


図 4

問 5 1 モルのイオン結晶（陽イオンと陰イオンがそれぞれ 1 モル）に含まれるすべてのイオンを, 互いの距離が十分に大きくなるまで引き離すことを直線モデルで考える。**問 4** の結果を用いて, このために必要なエネルギーの最小値を求めよ。答えを導く過程を記し, 下の選択肢から最も適切な数値の範囲を選び, ①～④ の番号で答えよ。なお, 以下の級数の値を用いてよい。この数値は, 項数が 10000 を超えると, 有効数字 3 桁まで正しい。

$$\frac{1}{1} - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \frac{1}{5} - \frac{1}{6} + \frac{1}{7} - \frac{1}{8} + \cdots\cdots \fallingdotseq 0.693$$

① 0.1～1 kJ　② 1～10 kJ　③ 10～100 kJ　④ 100～1000 kJ

（この頁は空白）

2 **図 5** は n〔mol〕の理想気体が関与する熱機関を表している。A→B→C→D→A の過程は以下のような状態変化である。

A→B: 断熱変化(圧縮)　　B→C: 定積変化　　C→D: 断熱変化(膨張)　　D→A: 定積変化

状態 A, B, C の温度 T_A〔K〕, T_B〔K〕, T_C〔K〕および状態 A の体積 V_A〔m^3〕が与えられると, その他の量は $T_\mathrm{A}, T_\mathrm{B}, T_\mathrm{C}, V_\mathrm{A}$, n および熱力学に関する定数を用いて表すことができる（**表 2**）。なお, **図 5** の熱機関について, 状態 D の温度は $\dfrac{T_\mathrm{A}T_\mathrm{C}}{T_\mathrm{B}}$ となることを示すことができる。

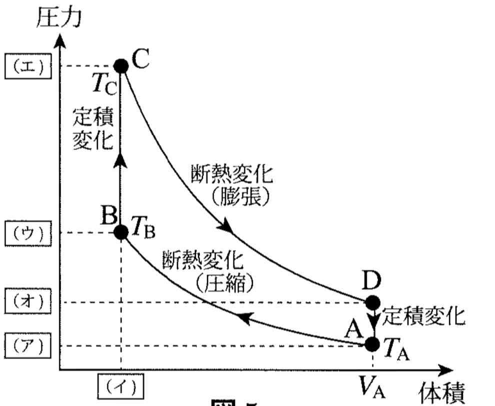


図 5

表 2

状態	温度〔K〕	体積〔m^3〕	圧力〔Pa〕
A	T_A	V_A	(ア)
B	T_B	(イ)	(ウ)
C	T_C	(イ)	(エ)
D	$\dfrac{T_\mathrm{A}T_\mathrm{C}}{T_\mathrm{B}}$	V_A	(オ)

断熱変化の例として, 過程 C→D について考える（**図 6**）。断熱変化の途中において 体積 V〔m^3〕, 圧力 P〔Pa〕, 温度 T〔K〕の状態から, それぞれ, 微小量 ΔV〔m^3〕, ΔP〔Pa〕, ΔT〔K〕だけ変化することを考える。ただし, それぞれの量 V, P, T が増加（減少）するとき, 微小量 $\Delta V, \Delta P, \Delta T$ は正の値（負の値）であるとする。この断熱変化について,

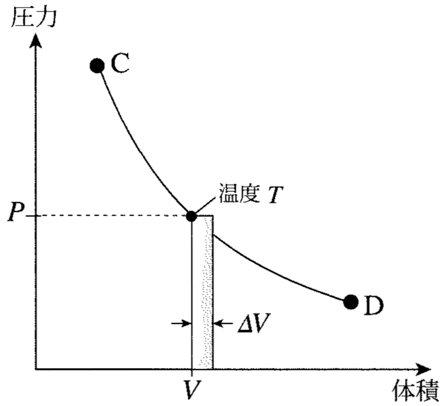


図 6

- V の値ごとに P と T が決まり,
- ΔV が限りなくゼロに近づくと ΔP と ΔT も限りなくゼロに近づく。

理想気体の状態方程式 $PV = nRT$ (R〔J/(mol·K)〕は気体定数) を適用すると, $\Delta V, \Delta P, \Delta T$ の変化について

$$(P + \Delta P)(V + \Delta V) = nR(T + \Delta T)$$

となるので, ΔV が限りなくゼロに近づくと

$$V\frac{\Delta P}{\Delta V} + P = nR\frac{\Delta T}{\Delta V} \qquad (1)$$

という関係を得ることができる（**問 1**）。

図 6 のように, 体積 V で圧力 P の状態から体積が ΔV だけ微小変化したとき, 熱機関の気体がする仕事の大きさは図中の P と ΔV からなる長方形の面積である。よって, 熱力学第 1 法則より,

$$nC_v\Delta T + P\Delta V = 0 \qquad (2)$$

という関係が成立する。ここで, C_v〔J/(mol·K)〕は理想気体の定積モル比熱である。

理想気体の定圧モル比熱を C_p〔J/(mol·K)〕, 比熱比を $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v}$ とすると, 式 (1) と (2) から,

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} = -\gamma \frac{P}{V} \tag{3}$$

という関係を導くことができる（**問 2**）。断熱変化について PV^{γ} という量を考えると, V についての PV^{γ} の変化の割合は,

$$\text{変化率} = \frac{(P+\Delta P)(V+\Delta V)^{\gamma} - PV^{\gamma}}{\Delta V} \tag{4}$$

によって表すことができる。a) ΔV が限りなくゼロに近づくとき, PV^{γ} の変化率はゼロとなることを示すことができる（**問 3**）。この結果から, 断熱変化では PV^{γ} が一定に保たれることがわかる。

問 1 式 (1) を導出せよ。

問 2 式 (3) を導出せよ。

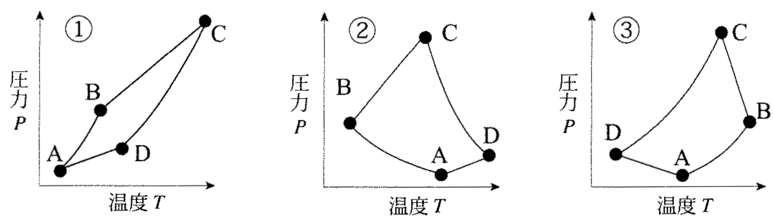
問 3 実数 α, x, δ について, $\left|\dfrac{\delta}{x}\right|$ が 1 より極めて小さいとき, 近似式

$$(x+\delta)^{\alpha} = x^{\alpha}\left(1+\frac{\delta}{x}\right)^{\alpha} \fallingdotseq x^{\alpha}\left(1+\alpha\frac{\delta}{x}\right)$$

が成立する。この近似式を用いて, 下線部 a) について, ΔV が限りなくゼロに近づくとき PV^{γ} の変化率がゼロとなることを示せ。

問 4 **表 2** の $\boxed{\text{（ア）}}$ ～ $\boxed{\text{（オ）}}$ にあてはまる式を, $n, R, \gamma, T_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{B}}, T_{\mathrm{C}}, V_{\mathrm{A}}$ の中から必要なものを用いて表し, 理由を述べよ。

問 5 **図 5** の熱機関を温度 T と圧力 P のグラフに表すとどのようになるか。下の図から最も適切なものを選び, ①～③の番号で答え, 理由を述べよ。



問 6 過程 A→B と過程 C→D で気体がする仕事, $W_{\mathrm{A}\to\mathrm{B}}, W_{\mathrm{C}\to\mathrm{D}}$ を $T_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{B}}, T_{\mathrm{C}}, n, C_v$ の中から必要なものを用いて表せ。

問 7 熱機関が外部から熱を吸収する過程を下の選択肢から選び, ①～④の番号で答え, その吸収する熱量 Q〔J〕を $T_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{B}}, T_{\mathrm{C}}, n, C_v$ の中から必要なものを用いて表せ。

① A→B　　② B→C　　③ C→D　　④ D→A

問 8 **問 6** と **問 7** の結果を用いて熱機関の効率 e を求め, $T_{\mathrm{A}}, T_{\mathrm{B}}$ を用いて表せ。式の変形を含んだ導出過程を記しておくこと。