

令和6（2024）年度
東京大学大学院総合文化研究科
広域科学専攻修士課程入学試験問題

相関基礎科学系 総合科目
（令和5年8月17日 9:30～13:00）

試験開始の合図があるまで問題冊子を開いてはいけません。開始の合図があるまで、下記の注意事項をよく読んでください。

1. 本冊子は、相関基礎科学系を志望する受験者のためのものである。
2. 本冊子の本文は30ページである。落丁、乱丁又は印刷不鮮明の箇所があった場合には、手を挙げて申し出ること。
3. 第1問～第15問から3問を選択して解答すること。
4. 配付された3枚の解答用紙（両面使用可）は、問題ごとに1枚を使用すること。
5. 解答用紙の上の欄に、解答した問題の番号、科目名、氏名及び受験番号を、次の記入例のように記入すること。なお、氏名、受験番号を記入していない答案は無効である。

記入例

問題番号	科目名	氏名	受験番号
第5問	物理学（4）	〇〇〇〇	〇〇〇〇

6. 特に指定がない限り日本語または英語で解答すること。
7. 本冊子の最後の3枚は草稿用紙である。切り離して使用してもよい。
8. 試験の開始後は、中途退場を認めない。
9. 本冊子、解答用紙及び草稿用紙は持ち帰ってはならない。
10. 次の欄に受験番号と氏名を記入せよ。

受験番号	
氏名	

相關基礎科学系 総合科目

目 次

第1問	数学	1
第2問	物理学（1）	2
第3問	物理学（2）	4
第4問	物理学（3）	6
第5問	物理学（4）	8
第6問	化学（1）	10
第7問	化学（2）	13
第8問	化学（3）	16
第9問	化学（4）	20
第10問	生物学・生物物理学（1）	24
第11問	生物学・生物物理学（2）	26
第12問	科学史・科学哲学（1）	27
第13問	科学史・科学哲学（2）	28
第14問	科学史・科学哲学（3）	29
第15問	科学史・科学哲学（4）	30

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第1問 数学

I. 実変数 x の実関数 $y = y(x)$ に対する次の (a)~(d) の常微分方程式から1つを選んで、その一般解を初等関数で書け。ただし、この (a)~(d) の中には初等関数の範囲で解けないものもあるので注意すること。解答には (a)~(d) のいずれを選んだかを明記すること。

(a) $\frac{d^2y}{dx^2} - xy = 0.$

(b) $2xy \frac{dy}{dx} + y^2 + x^2 = 0.$

(c) $\frac{dy}{dx} + x^2y + x^5 = 0.$

(d) $\frac{dy}{dx} + y^2 + 2x = 0.$

II. 次の定積分 I_n ($n = 0, 1, 2$) の値を求めよ。

$$I_n = \int_0^\infty \frac{(\log x)^n}{x^2 + 1} dx.$$

III. 以下の命題について、真ならば証明し、偽ならば反例を挙げてそれが反例であることを示せ。

「実数から実数への微分可能な関数 $f(x)$ が $x \rightarrow \infty$ の極限で収束するならば、 $\lim_{x \rightarrow \infty} f'(x) = 0$ である。」

IV. n を正の整数とする。 n 次エルミート行列 A に対し、その固有値が全て正の実数であるとき、 A は正定値であるという。以下の (1)~(4) を示せ。ただし、 n 次エルミート行列 A が正定値であるならば、 $A = C^2$ を満たす可逆な n 次エルミート行列 C が存在することを用いてよい。

- (1) n 次エルミート行列 A が正定値であるための必要十分条件は、任意のゼロベクトルでない n 次元複素ベクトル v に対して $(v, Av) > 0$ が成り立つことである。ここで $(v, w) = \sum_{i=1}^n \bar{v}_i w_i$ である。
- (2) n 次エルミート行列 A が正定値であるならば、任意の可逆な n 次正方行列 X に対し、 $X^\dagger A X$ もまた正定値のエルミート行列である。ここで X^\dagger は X のエルミート共役である。
- (3) X, Y をエルミートとは限らない一般の n 次正方行列とする。このとき、 X が可逆なら、 XY の固有値と YX の固有値は一致する。
- (4) A と B を正定値の n 次エルミート行列とする。このとき、 AB の固有値はすべて正の実数である。

V. $P(x, t)$ を時刻 $t \geq 0$ における $x \in (-\infty, \infty)$ に関する確率分布関数とする。 $P(x, t)$ が次の偏微分方程式を満たすとして、以下の (1)~(3) に答えよ。

$$\frac{\partial}{\partial t} P(x, t) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} P(x, t) + 2 \frac{\partial}{\partial x} P(x, t).$$

- (1) 初期分布を $P(x, 0) = C e^{-3x^2}$ とする。 $P(x, 0)$ が確率分布になるように係数 C を定めよ。
- (2) $P(x, 0)$ の x に関するフーリエ変換 $\hat{P}(k, 0)$ を求めよ。
- (3) 時刻 $t > 0$ における $P(x, t)$ を求めよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第2問 物理学 (1) (その1)

以下の問 I, II に答えよ。ただし、プランク定数を 2π で割った定数を \hbar とする。また、計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. 以下のハミルトニアンで表される質量 m 、固有振動数 ω の1次元調和振動子を量子力学的に考察しよう。

$$\hat{H} = \frac{1}{2m}\hat{p}^2 + \frac{m\omega^2}{2}\hat{q}^2$$

ただし、 \hat{q} と \hat{p} はそれぞれ位置座標演算子と運動量演算子で、交換関係 $[\hat{q}, \hat{p}] = i\hbar$ を満たす。ここで、消滅演算子 \hat{a} とそのエルミート共役である生成演算子 \hat{a}^\dagger を次のように定義する。

$$\hat{a} = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{q} + \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}}\hat{p}, \quad \hat{a}^\dagger = \sqrt{\frac{m\omega}{2\hbar}}\hat{q} - \frac{i}{\sqrt{2m\hbar\omega}}\hat{p}$$

- (1) ハミルトニアン \hat{H} を \hat{a} と \hat{a}^\dagger を用いて表せ。
- (2) $x = 0$ でテイラー展開可能な関数 $f(x)$ およびその微分 $f'(x)$ に対して、 $[\hat{a}, f(\hat{a}^\dagger)] = f'(\hat{a}^\dagger)$ が成り立つことを示せ。
- (3) $\hat{a}|A\rangle = A|A\rangle$ を満たす \hat{a} の固有状態 $|A\rangle$ を基底状態 $|0\rangle$ と \hat{a}^\dagger を用いて表せ。ただし、固有値 A は一般に複素数とする。また、本問では状態の規格化は問わない。
- (4) 前問で構成した状態 $|A\rangle$ を、ノルムが1となるように規格化せよ。
- (5) 状態 $|A\rangle$ に対して、位置座標演算子 \hat{q} と運動量演算子 \hat{p} の期待値を求めよ。ただし、複素数 A を実数 r, θ を用いて $A = re^{i\theta}$ と表し、解答では r, θ を用いること。また、 $t = 0$ で状態 $|A\rangle$ にあるとして、時刻 t における \hat{q} の期待値を求めよ。

次に、位置座標や運動量のゆらぎを考えよう。 $(\hat{a}$ の固有状態とは限らない) 規格化された一般の状態 $|X\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎを表す演算子 $\Delta\hat{q}, \Delta\hat{p}$ をそれぞれ

$$\Delta\hat{q} = \hat{q} - \langle X|\hat{q}|X\rangle, \quad \Delta\hat{p} = \hat{p} - \langle X|\hat{p}|X\rangle$$

のように導入する。また、ゆらぎの大きさを特徴付ける量として

$$\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle = \langle X|(\Delta\hat{q})^2|X\rangle, \quad \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle = \langle X|(\Delta\hat{p})^2|X\rangle$$

を考える。

- (6) 基底状態 $|0\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎ $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle, \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ をそれぞれ計算せよ。
- (7) \hat{a} の固有状態 $|A\rangle$ に対して、位置座標と運動量のゆらぎ $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle, \langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ をそれぞれ計算せよ。
- (8) 一般に、位置座標と運動量のゆらぎの積 $\langle(\Delta\hat{q})^2\rangle\langle(\Delta\hat{p})^2\rangle$ が取り得る値には下限値が存在することが知られている。この下限値を導出せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第2問 物理学 (1) (その2)

II. 弱い周期ポテンシャル中の質量 m の粒子の1次元的な運動を量子力学的に考える。座標の演算子を \hat{x} 、運動量の演算子を \hat{p} 、系のハミルトニアン \hat{H} を

$$\hat{H} = \frac{1}{2m} \hat{p}^2 + V(\hat{x})$$

とし、問(8)以外では ϵ を $\epsilon \geq 0$ の定数、 a を正の定数として、

$$V(x) = 2\epsilon \cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right)$$

とする。ただし ϵ は、0ではないときには $\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の1/10程度の量とする。また、 \hat{p} の固有値 p の固有状態を $|p\rangle$ とし、

$$\langle p_1 | p_2 \rangle = \delta(p_1 - p_2)$$

とする。以下の問いで、 k は $e^{i\hat{p}a/\hbar}$ の固有値を e^{ika} と表すときの $-\pi/a \leq k \leq \pi/a$ の領域の実数を表すものとする。

- (1) $\epsilon = 0$ のとき、エネルギー固有値 E を \hat{p} の固有値 p の関数 $E(p)$ と考え、 $E(p)$ の概形を図示せよ。
- (2) $\epsilon = 0$ のとき、エネルギー固有値 E を k の関数 $E(k)$ と考え、 $E(k)$ の $0 \leq E \leq 9\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域の概形を図示せよ。
- (3) $[\hat{p}, e^{i\lambda \hat{x}}]$ を \hat{p} を用いずに表せ。ただし、 λ を定数とする。
- (4) $e^{i\lambda \hat{x}} |p\rangle$ は \hat{p} の固有状態である。 $e^{i\lambda \hat{x}} |p\rangle$ の \hat{p} の固有値を求めよ。
- (5) $\langle p_1 | V(\hat{x}) | p_2 \rangle = 2\epsilon \langle p_1 | \cos(2\pi \hat{x}/a) | p_2 \rangle$ を求めよ。
- (6) エネルギーが縮退する付近の2準位の有効的なハミルトニアンの行列表示 H_{eff} が、 Δk を実数の変数とし、 E_* 、 A を正の定数、 ϵ を $\epsilon \geq 0$ の定数として、

$$H_{\text{eff}} = \begin{pmatrix} E_* - A\Delta k & \epsilon \\ \epsilon & E_* + A\Delta k \end{pmatrix}$$

のように与えられているとき、2つのエネルギー固有値を求めよ。また、 $\epsilon = 0$ の場合と $\epsilon > 0$ の場合の2つのエネルギー固有値を Δk の関数としてすべて1つの図の中に図示せよ。

- (7) ハミルトニアン \hat{H} で $\epsilon > 0$ のとき、 $0 \leq E \lesssim 3\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域におけるエネルギー固有値 $E(k)$ の概形を図示せよ。
- (8) a を正の定数として $V(x)$ が $V(x+a) = V(x)$ を満たす一般的な弱い周期ポテンシャルの場合を考える。ハミルトニアン \hat{H} のエネルギー固有値 E の最小値を E_0 とするとき、 $E_0 \leq E \lesssim E_0 + 5\pi^2 \hbar^2 / (2ma^2)$ の領域におけるエネルギー固有値 $E(k)$ の概形を図示し、そのような概形になる理由を簡潔に述べよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第3問 物理学(2) (その1)

以下の問I, IIに答えよ。ただし、絶対温度を T 、ボルツマン定数を k_B 、 $\beta = (k_B T)^{-1}$ とする。また、計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. ばね定数 $k(T)$ が $k_0 + \lambda T$ のように温度 T に依存するゴムがある。ゴムは一次元的に伸び縮みし、その長さ x は常に自然長 x_0 より長いものとする。 T 一定の下で長さが準静的に Δx だけ微小変化するとき外力のする仕事は、張力 $f = k(T)(x - x_0)$ を用いて $f\Delta x$ で与えられる。長さ一定の下での熱容量を C_x とする。 C_x, k_0, λ, x_0 は T にも x にも依存しない正の量である。

ここで、 $x_1 < x_2, T_1 < T_2$ として、

状態 A (T_1, x_1)、状態 B (T_1, x_2)、状態 C (T_2, x_2)、状態 D (T_2, x_1)

に対する以下の過程

状態 A → 状態 B: 準静的等温過程

状態 B → 状態 C: 温度 T_2 の熱源と熱接触している、長さ一定の過程

状態 C → 状態 D: 準静的等温過程

状態 D → 状態 A: 温度 T_1 の熱源と熱接触している、長さ一定の過程

からなるサイクルを考える。

- (1) このサイクルを $f-x$ 平面 (縦軸を f 、横軸を x とする平面) 上で図示せよ。準静的な過程は実線で、準静的でない過程は破線で表せ。
- (2) このサイクルでゴムが外部にする仕事を求めよ。
- (3) 状態 B → 状態 C の過程におけるエントロピー S の変化を、 T_1, T_2, C_x を用いて表せ。
- (4) T, x を自然な変数とする自由エネルギー F の全微分 dF を、 S, f, T, x のうち必要なものを用いて表せ。
- (5) $\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)_T$ を、 $C_x, k_0, \lambda, T, x, x_0$ のうち必要なものを用いて表せ。
- (6) $T-x$ 平面 (縦軸 T 、横軸 x) 上の断熱曲線のうち、状態 A を通る曲線の方程式を、 $C_x, k_0, \lambda, T, T_1, x, x_0, x_1$ のうち必要なものを用いて表せ。またその曲線の概形を描け。
- (7) f 一定の下での熱容量 C_f を、 $C_x, k_0, \lambda, T, x, x_0$ のうち必要なものを用いて表せ。 C_f と C_x のどちらが大きいか。その理由を物理的に考察せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第3問 物理学 (2) (その2)

II. N 個の分子が直線上に連結した鎖状分子がある。各々の分子は互いに独立に A, B のいずれかの状態をとり、状態 A ではエネルギー $-\varepsilon$ 、長さ a となり、状態 B ではエネルギー 0 、長さ b となる (図1)。ただし、 $b > a$ とし、問 (6) を除き $\varepsilon > 0$ とする。温度 T の環境で、この鎖状分子の両端を力 f で引っ張った。解答では、定数 $k_B, N, \varepsilon, a, b$ を自由に用いて良い。

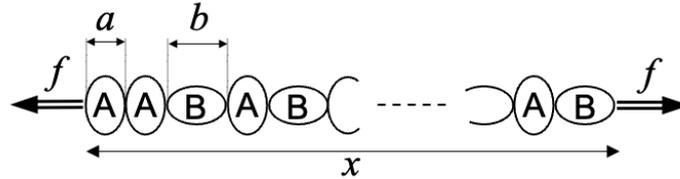


図1

温度 T 、両端の力 f のもとで、状態 A, B にある分子の数がそれぞれ N_A, N_B であるような状態が現れる確率は、内部エネルギー $U = -\varepsilon N_A$ 、鎖の両端間の距離 $x = aN_A + bN_B$ を用いて

$$P(N_A, N_B) = \frac{1}{Z} W e^{-\beta(U - fx)}$$

とする。ただし、 W は状態 A, B にある分子の数がそれぞれ N_A, N_B であるような場合の数、 Z は規格化因子である。

- (1) W を N, N_A を用いて表せ。また、規格化因子 Z を T と f の関数として求めよ。
- (2) 鎖状分子の両端間の距離 x を T と f の関数として求めよ。
- (3) 問 (2) で求めた x の、 f に対する関数の概形を図示せよ。ただし、温度とともに f と x の関係がどう変わるかがわかるように、二つの温度 T_H, T_L ($T_H > T_L$) に対して曲線を描け。
- (4) 鎖状分子のエントロピー S の、 f に対する関数の概形を図示せよ。ただし、温度とともに f と S の関係がどう変わるかがわかるように、二つの温度 T_H, T_L ($T_H > T_L$) に対して曲線を描け。また、エントロピーが最大となるときの f と x を求めよ。
- (5) 温度 T 、力 f の状態から、温度を一定に保ちつつ鎖状分子をさらに引き伸ばすと、鎖状分子が発熱した。このことが起こる条件を、 $k_B T, f, N, \varepsilon, a, b$ から必要な記号を用いて表せ。
- (6) 両端の力が $f = 0$ のときの鎖状分子の長さを x_0 、エントロピーを S_0 とする。温度 $T \rightarrow 0$ と $T \rightarrow \infty$ の極限で、 x_0 と S_0 の値をそれぞれ答えよ。また、 $\varepsilon > 0$ と $\varepsilon = 0$ の場合を比較し、その違いについて物理的意味を簡潔に論ぜよ。
- (7) 温度 T 、力 f の状態での x の熱揺らぎを考える。 x の分布の分散 $\langle (\Delta x)^2 \rangle$ を求めよ。
- (8) x の f に対する応答係数 $\left(\frac{\partial x}{\partial f} \right)_T$ と、問 (7) で求めた分散 $\langle (\Delta x)^2 \rangle$ の関係を求めよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 4 問 物理学 (3) (その 1)

以下の問 I, II に答えよ。計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. 短辺 a 、長辺 $2a$ の長方形 ABCD を面に持ち、厚さが無視できる質量 M の剛体 R を考える。剛体 R はある時刻 t において、静止座標系でみて $A = (0, 0, 0)$, $B = (a, 0, 0)$, $C = (a, 2a, 0)$, $D = (0, 2a, 0)$ の位置にあるものとする。また、AB, BC, CD, DA の中点をそれぞれ E, F, G, H とする (図 1)。ただし、剛体に重力は働いておらず、剛体の密度は一様とする。

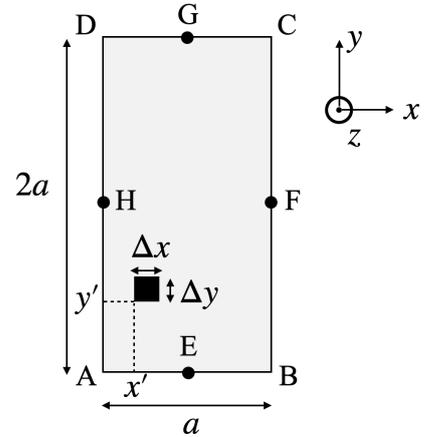


図 1: 剛体 R と微小部分

- (1) 剛体 R の直線 FH、直線 EG のまわりの慣性モーメント I_1 , I_2 を、 M , a を用いてそれぞれ表せ。
- (2) 剛体 R が固定された直線 AC のまわりに大きさ ω の角速度で回転しているとき、時刻 t における剛体の重心まわりの角運動量の大きさを I_1 , I_2 , ω を用いて表せ。
- (3) 剛体 R が固定された直線 AC のまわりに一定の角速度の大きさ ω で回転するために必要な、時刻 t における重心まわりのトルク (力のモーメント) を M , a , ω を用いてベクトル量として表せ。

以下では、剛体 R を点 A で固定し、そのまわりの自由な回転運動を考える。

- (4) 図 1 で $x = x'$, $x = x' + \Delta x$, $y = y'$, $y = y' + \Delta y$ の 4 つの平面により切り取られる剛体 R の微小部分を考える。時刻 t において、剛体 R が点 A のまわりに角速度 $(\omega_x, \omega_y, 0)$ で回転しているとき、微小部分の点 A まわりの角運動量は $(\Delta L_x, \Delta L_y, 0)$ の形をとる。

$\begin{pmatrix} \Delta L_x \\ \Delta L_y \end{pmatrix} = \Delta \mathbf{I}_{xy} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix}$ の関係を満たす 2×2 行列 $\Delta \mathbf{I}_{xy}$ を、 M , a , x' , y' , Δx , Δy を用いて、 Δx , Δy の 2 次までのオーダーで表せ。

- (5) 問 (4) で求めた $\Delta \mathbf{I}_{xy}$ を x と y について積分することで、時刻 t における剛体 R の点 A まわりの角運動量 $(L_x, L_y, 0)$ の x , y 成分を $\begin{pmatrix} L_x \\ L_y \end{pmatrix} = \mathbf{I}_{xy} \begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \end{pmatrix}$ と表したときの 2×2 行列 \mathbf{I}_{xy} を M , a を用いて表せ。

- (6) 時刻 t において静止している剛体 R に対し点 C に力積 $(0, 0, J)$ を与えると、剛体は点 A のまわりに回転を始めた。力積を与えた直後の角速度を $(\omega_x, \omega_y, 0)$ としたときの ω_y/ω_x の値を求めよ。

- (7) 時刻 t において静止している剛体 R に対し点 C に力積 $(0, 0, J)$ 、点 B に力積 $(0, 0, -J')$ を同時に与えると、剛体は点 A のまわりに一定の角速度で回転し続けた。このような全ての J' を J を用いて表せ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 4 問 物理学 (3) (その 2)

II. 真空の 3 次元空間で、電荷や電流が位置 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ につくる電場や磁束密度について、電気定数 (真空の誘電率) を ϵ_0 、磁気定数 (真空の透磁率) を μ_0 として、以下の問いに答えよ。原点まわりの電気双極子モーメント \mathbf{p} および磁気双極子モーメント \mathbf{m} は、十分遠方にそれぞれ

$$\mathbf{E} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\nabla\left(\frac{\mathbf{p}\cdot\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3}\right), \quad \mathbf{B} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\nabla\left(\frac{\mathbf{m}\cdot\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3}\right) \quad (*)$$

の電場 \mathbf{E} と磁束密度 \mathbf{B} を与えることに留意せよ。

図 2 のように、位置 $(a, 0, 0)$ (ただし $a > 0$) に電荷 $q (> 0)$ の点電荷が、 $x \leq 0$ には $-\infty \leq y \leq \infty, -\infty \leq z \leq \infty$ の範囲に導体がある。

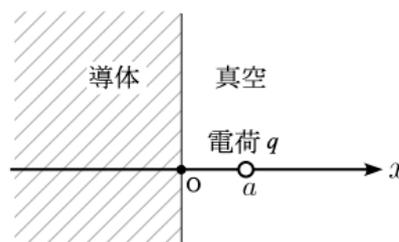


図 2

- (1) $x = 0$ の yz 平面上の電荷面密度を求めよ。また $x > 0$ の領域における電気力線の概形を xy 平面上に図示せよ。
- (2) 問 (1) において、 $|\mathbf{r}| \gg a$ で $x > 0$ の場合にスカラーポテンシャル $\phi_1(\mathbf{r})$ を $a/|\mathbf{r}|$ の最低次まで求めよ。
- (3) ここで位置 $(a+b, 0, 0)$ に電荷 $-q$ の点電荷を新たに加えたとき (ただし $b > 0$)、 $|\mathbf{r}| \gg a, b$ かつ $x > 0$ でのスカラーポテンシャル $\phi_2(\mathbf{r})$ を求めよ。さらに導体がないときのスカラーポテンシャル $\phi_3(\mathbf{r})$ を求めよ。また $\phi_1(\mathbf{r}), \phi_2(\mathbf{r}), \phi_3(\mathbf{r})$ の各々の場合に電気双極子モーメントを求め、その大きさの違いと理由を論ぜよ。

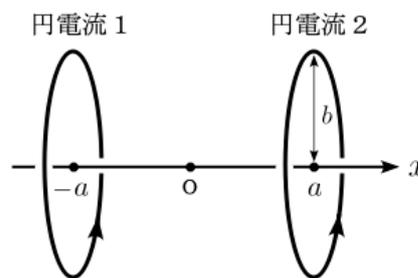


図 3

次に図 3 のように、 x 軸正の向きに対し時計回りに流れる半径 b で電流の大きさ I の円電流を 2 つ用意する。円電流 1 は点 $(-a, 0, 0)$ 、円電流 2 は点 $(a, 0, 0)$ を中心に、ともに yz 平面に平行におかれている。

- (4) 位置 $(x, 0, 0)$ において円電流 1 と円電流 2 がつくる磁束密度 $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2$ をそれぞれ求めよ。
- (5) $|x| \ll a, b$ の場合に、磁束密度 $\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2$ を x の最低次まで展開せよ。
- (6) 原点付近で、磁束密度 \mathbf{B} が x 軸方向に一様に近い状態をつくるにはどのようにすればよいか述べよ。
- (7) 十分遠方の位置 $\mathbf{r} = (x, 0, 0)$ での \mathbf{B} を a/x の最低次まで求め、式 (*) の \mathbf{B} の形を与える \mathbf{m} を求めよ。この \mathbf{m} と各々の円電流が作る磁気双極子モーメントとの関係を論ぜよ。
- (8) 問 (6) の設定で、問 (3) と問 (7) と式 (*) を参考に、磁力線の分布の概形を、原点付近と遠方の様子がわかるように xy 平面に図示せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第5問 物理学(4) (その1)

以下の問I, IIに答えよ。計算を要する問題は、結果だけでなく、導出過程も簡単に記すこと。

I. 図1に示す装置を用いて実験を行う。2つの固定された永久磁石の作る水平磁場の中に、鉛直上方から細い導線で吊り下げられた可動コイルを置く。可動コイルの開口部は、永久磁石の作る磁場方向に垂直な方向を向いている。可動コイルの下部は、鉛直方向に回転軸をもつ渦巻ばねを通して地面に固定されている。可動コイルに上部側から正の定電流 i を流すと、可動コイルは電磁力による鉛直軸まわりのトルク(力のモーメント)を受けて回転を始め、最終的に、電磁力によるトルクと渦巻ばねによる逆向きのトルクがつり合う振れ角(回転角)で静止する。このような電磁力による可動コイルの運動について、以下の問いに答えよ。可動コイルは大気中にあるとし、吊り線のねじれによるトルクは無視する。

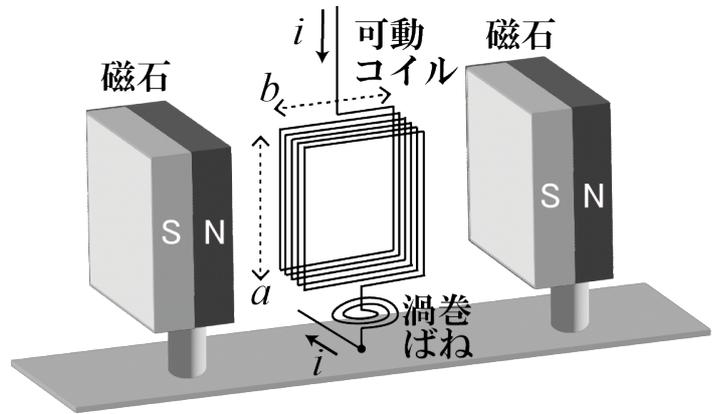


図1

- (1) 可動コイルにはたらく電磁力による回転軸まわりのトルクの大きさを計算せよ。また、可動コイルの回転方向はどちらか。ただし、可動コイルにはたらく磁束密度の大きさを B 、可動コイルの辺の長さを図1に示すように a, b とする。また、可動コイルは n 回巻きとする。
- (2) 同じ材質で、より細い導線で渦巻ばねを作製すると、静止した状態での振れ角は大きくなるか、小さくなるか、理由とともに答えよ。
- (3) 可動コイルの振れ角をなるべく正確に計測するためには、どのような方法を用いればよいか。
- (4) 静止した状態での振れ角は、実際にはわずかに不規則に揺らぐ。振れ角の計測限界を決めるこの揺らぎの原因として何が考えられるか。ただし、電流と磁束密度の値に揺らぎはなく、地面の振動の影響も無いものとする。
- (5) 可動コイルの重さを変えないように、 $1/m$ 倍の断面積の導線で m 倍の巻き数の可動コイルを作製すると、可動コイルに発生するジュール熱は何倍になると考えられるか。
- (6) 装置全体の温度が上昇したとすると、可動コイルの動作にどのような影響が現れると考えられるか、理由とともに答えよ。
- (7) 可動コイルの面積 ab が一定のもとで、可動コイルの形状を (ア) $a \gg b$ あるいは (イ) $a \ll b$ のように変更した場合、(ア) と (イ) の状況で可動コイルの運動はどのように異なるか、理由とともに答えよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第5問 物理学 (4) (その2)

II. 図2に示すような、枠に固定された金属製の薄膜振動子と、距離 d で向かい合う2枚の下側電極で2つの平行平板コンデンサを作る。2つのコンデンサとインダクタンス L のコイルとをつなぎ、図2のようなLC共振器を作製した。図2の右側に等価回路を示す。以下の問いに答えよ。なお、薄膜は下側電極より十分に大きく、電極との距離は薄膜の振動に対して一様に変化し、図の上方を正にとった薄膜の変位を x とする。2枚の下側電極の面積はそれぞれ等しく S であるとし、電気定数(真空の誘電率)を ϵ_0 とする。問(1)~(4)では、変位 x は微小 ($|x| \ll d$) であるとする。なお、重力の影響は無視する。

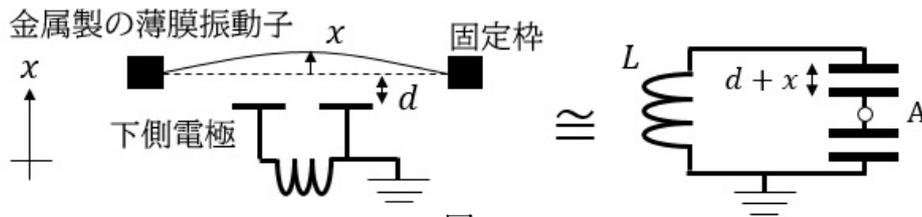


図2

- (1) 薄膜の変位に依存する LC 共振器の共振角周波数 $\omega(x)$ を答えよ。
- (2) 薄膜の振動を共振角周波数の変化から測ることができる。いま、薄膜の微小変位 δx に対する角周波数変化を $\delta\omega = g_0\delta x$ としたとき、 g_0 を d と $\omega(0)$ を用いて表せ。ただし、 $\delta x/d$ の2次以上の項を無視する。
- (3) 薄膜の振動について考える。薄膜の質量を m 、ばね定数を $m\omega_m^2$ 、粘性抵抗力を $-m\gamma\dot{x}(t)$ として ($\gamma > 0$)、外力 $f(t)$ が印加された際の、変位 $x(t)$ に対する運動方程式を書け。また、変位 $x(t)$ と外力 $f(t)$ のフーリエ変換 $X(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{i\Omega t} dt$, $F(\Omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{i\Omega t} dt$ を使い、運動方程式から導かれる線形感受率 $\chi(\Omega) \equiv X(\Omega)/F(\Omega)$ を $m, \omega_m, \gamma, \Omega$ を用いて表せ。
- (4) この装置は、スマートフォンなどに搭載されている加速度計のモデルである。この装置全体が角周波数 ν で振動すると、慣性力によって薄膜振動子が動き、それに伴って起こる LC 共振器の共振角周波数の変化を測定することによって装置の加速度を検出することができる。 x 方向の加速度が $g \cos \nu t$ のようにあわせる振動に対して、LC 共振器の共振角周波数変化の最大値 $\Delta\omega = 2\pi \times \Delta f$ について、 Δf を有効数字2桁で答えよ。ただし振動は十分に低速であって $\nu \ll \omega_m$ を満たす。ここで $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ は重力加速度の大きさであり、その他は、有効数字2桁で、 $\omega(0) = 2\pi \times 80 \text{ MHz}$, $d = 1.0 \text{ }\mu\text{m}$, $m = 1.0 \text{ }\mu\text{g}$, $\omega_m = 2\pi \times 100 \text{ kHz}$, $\gamma = 2\pi \times 1.0 \text{ Hz}$ とする。
- (5) 加速度検出の感度をあげる工夫として、図2の点Aに静電圧 V を印加して、薄膜と下側電極の間の距離を変化させた。このとき、変位 x の薄膜に働く力の向きと大きさを求めよ。なお、大きさは ϵ_0, S, d, x, V を用いて表せ。
- (6) 問(5)において、電圧 V を0からゆっくりと大きくしていくと、薄膜と下側電極の間の距離が少しずつ変化し、ある距離から急激に変化して薄膜と下側電極が接触してしまった。その距離を $\epsilon_0, S, d, x, V, m, \omega_m$ を用いて表せ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第6問 化学(1) その1

以下の問I~IIIに答えよ。

I. 気相において反応物である多原子分子Aが熱的に活性化され、生成物である多原子分子Bへと異性化する反応(単分子異性化反応)について考える。この単分子異性化反応の反応式は全体としては以下のように表される(全反応1)。



Aの濃度を[A]とし、[A]の時間変化を $\frac{d[A]}{dt}$ とする。 $\frac{d[A]}{dt}$ は、見かけ上は一次反応の速度式である

$\frac{d[A]}{dt} = -k_1[A]$ に従う。しかし、全反応1の見かけ上の反応速度定数 k_1 は温度一定でも定数にはならず、反応容器内の全圧に依存する。ここで反応容器内の全圧は第三体M(反応容器内に満たされている化学反応をおこさない不活性な分子)で決まっているとす。

ある温度における単分子異性化反応の反応速度の圧力依存性を説明する反応機構として「リンデマン機構」が知られている。リンデマン機構では、まずAが反応容器内の別の分子と衝突することでエネルギー的に励起した A^* へと活性化される(素反応2)。そして A^* が自発的に異性化し生成物Bとなるか(素反応3)、あるいは再び別の分子と衝突し脱励起することでAに戻る(素反応4)。素反応2と素反応4においてAは第三体Mと衝突すると近似できる場合、素反応2, 3, 4の反応式は以下のように表される。



各素反応の矢印の上にある k_2, k_3, k_4 は、それぞれある温度における素反応2, 3, 4の反応速度定数である。またB, A^* , Mの濃度をそれぞれ[B], $[A^*]$, [M]とし、 $[A^*]$ の時間変化を $\frac{d[A^*]}{dt}$ とする。

以下の問に答えよ。

- (1) $\frac{d[A^*]}{dt}$ を[A], [B], $[A^*]$, [M], k_2, k_3, k_4 のなかから必要なものを用いて表せ。
- (2) 反応速度論における定常状態近似について説明せよ。
- (3) A^* について定常状態近似が成り立つとき、 $[A^*]$ を[A], [M], k_2, k_3, k_4 を用いて表せ。
- (4) A^* について定常状態近似が成り立つとき、 k_1 を[M], k_2, k_3, k_4 を用いて表せ。
- (5) (4)の結果を用いて、反応容器内の全圧が十分に低いときの k_1 を[M], k_2, k_3, k_4 のなかから必要なものを用いて近似的に表せ。またこのときの全反応1の反応速度は、素反応2, 3, 4のうち、どれでおもに決まっているかを述べよ。
- (6) (4)の結果を用いて、反応容器内の全圧が十分に高いときの k_1 を[M], k_2, k_3, k_4 のなかから必要なものを用いて近似的に表せ。
- (7) ある温度における k_2 の値を理論的に計算するためには、反応物である多原子分子Aの並進エネルギーだけでなく、振動回転エネルギーについても考慮する必要がある。Aの振動回転エネルギーを考慮する場合は、考慮しない場合と比べて k_2 の理論計算値は大きくなると考えられるか、小さくなると考えられるか、理由とともに答えよ。ただし素反応2の活性化エネルギーは2つの場合で同じとする。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第6問 化学(1) その2

II. H_2O 分子の振動状態は、対称伸縮振動、変角振動、逆対称伸縮振動の振動量子数をそれぞれ ν_1, ν_2, ν_3 とすると (ν_1, ν_2, ν_3) によって指定できる。常温における気相の H_2O 分子の赤外吸収スペクトルを測定したところ表1に示す複数の吸収線が観測され、それぞれの吸収線は $(\nu_1, \nu_2, \nu_3) \leftarrow (0, 0, 0)$ の振動遷移として帰属できた。ただし、気相中の H_2O 分子は全て孤立しているものとする。 H_2O 分子の振動および回転に関する以下の問に答えよ。

表1. 吸収線の波数及び帰属。全ての遷移の下準位は $(0, 0, 0)$ である。

吸収線の波数 / cm^{-1}	1595	3132	3657	3756	4667	5235
遷移の上準位 (ν_1, ν_2, ν_3)	$(0, 1, 0)$	ア	$(1, 0, 0)$	$(0, 0, 1)$	$(0, 3, 0)$	$(1, 1, 0)$

- (1) 分子回転を扱う際、分子は直線分子（直線形回転子）、球コマ分子（球対称回転子）、対称コマ分子（対称回転子）、非対称コマ分子（非対称回転子）に分類される。 H_2O 分子はこれらの分類のどれに属するか答えよ。
- (2) 常温における気相の H_2O 分子の吸収スペクトルには表1中の遷移より低波数である 100 cm^{-1} から 300 cm^{-1} の範囲にも多数の吸収線が観測される。これらの吸収線はどのような遷移に基づくものか答えよ。
- (3) 常温における気相の H_2O 分子の赤外吸収スペクトルにおいて $(2, 0, 0) \leftarrow (1, 0, 0)$ の遷移に由来する吸収線の観測が困難である理由を答えよ。
ただし、 $(2, 0, 0) \leftarrow (1, 0, 0)$ と $(1, 0, 0) \leftarrow (0, 0, 0)$ の遷移波数は異なるものとする。
- (4) 表1中の 3132 cm^{-1} の遷移についてアに入る ν_1, ν_2, ν_3 の値を理由とともに答えよ。
- (5) 表1中のアを除いた遷移のうち調和振動子近似において禁制遷移である遷移を全て答えよ。
- (6) H_2O 分子における逆対称伸縮振動の様子を各原子の変位ベクトルが分かるように描け。
- (7) 振動エネルギーが大きくなるとポテンシャルの非調和項により調和振動子近似が破綻する。特に調和振動子近似においてエネルギーが近接している状態間、例えば、調和振動子近似における振動状態 $(2, 0, 0)$ と $(0, 0, 2)$ は、非調和項 $(Q_1)^a(Q_2)^b(Q_3)^c$ によって互いに相互作用し固有状態となる。ここで、 Q_1, Q_2, Q_3 はそれぞれ対称伸縮振動、変角振動、逆対称伸縮振動の基準座標を表し、 a, b, c は0を含む正の整数である。調和振動子近似における振動状態 $(2, 0, 0)$ と $(0, 0, 2)$ の間に相互作用を生む a, b, c の値を理由とともに答えよ。必要があれば、 Q を基準座標とした量子数 n の調和振動子の波動関数 $\phi_n(Q)$ に対し次の積分 $I_{n,m}$ が、 $m = n-2, n, n+2$ 以外の場合はゼロとなることを用いて良い。

$$I_{n,m} = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_n(Q) Q^2 \phi_m(Q) dQ$$

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第6問 化学(1) その3

III. 1,3-ブタジエン (図1) の π 電子共役系を1次元の箱型モデルと単純ヒュッケル法に基づいて考える。以下の問に答えよ。

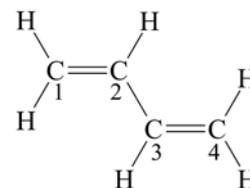


図1. 1,3-ブタジエン

- (1) 1次元の箱型モデルとして井戸型ポテンシャルを考える。箱の長さを L とし、座標 x におけるポテンシャルエネルギー $V(x)$ を式1のように定義する。以下の問(a)~(c)に答えよ。ただし、 h はプランク定数、 \hbar は $h/(2\pi)$ 、 m は電子質量である。

$$V(x) = \begin{cases} 0 & (0 \leq x \leq L) \\ \infty & (x < 0, x > L) \end{cases} \quad (\text{式1})$$

- (a) 1次元の空間にある電子のハミルトニアン \hat{H} は式2で表される。式2の右辺を用いて、固有関数 $\psi(x)$ とエネルギー固有値 E について時間に依存しないシュレーディンガー方程式を書け。

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + V(x) \quad (\text{式2})$$

- (b) 式1の井戸型ポテンシャルの中にある電子の波動関数 $\psi(x)$ が満たすべき境界条件および規格化条件を式で示せ。定積分を用いる場合は積分区間を明記すること。

- (c) (a), (b)より、1,3-ブタジエンの π 電子共役系の固有関数 $\psi_n(x)$ とエネルギー固有値 E_n は式3のように求まる。ただし、 $n = 1, 2, 3, \dots$ は量子数を表す。このとき、最高被占軌道 (HOMO) に対応する n の値はいくつか、理由とともに示せ。また、HOMO と最低空軌道 (LUMO) のエネルギー差を \hbar , m , L を用いた式で示せ。

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (0 \leq x \leq L), \quad E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2mL^2} \quad (\text{式3})$$

- (2) 1,3-ブタジエンの π 電子共役系を単純ヒュッケル法に基づいて考える。図1の炭素原子1, 2, 3, 4について、 π 結合を形成する 2p 軌道の波動関数をそれぞれ $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ とし、これらの線形結合で1,3-ブタジエンの π 軌道を近似する。ここで、クーロン積分を α 、直接結合している原子間の共鳴積分を β とし、重なり積分および直接結合していない原子間の共鳴積分は無視する。以下の問(a), (b)に答えよ。

- (a) 1,3-ブタジエンの π 軌道のエネルギー ε を求めるための永年方程式を例にならって示せ。

例) エチレンの π 軌道のエネルギー ε' を求めるための永年方程式:
$$\begin{vmatrix} \alpha - \varepsilon' & \beta \\ \beta & \alpha - \varepsilon' \end{vmatrix} = 0$$

- (b) 永年方程式を解くと、1,3-ブタジエンの π 軌道のエネルギーとして $\varepsilon = \alpha \pm 0.618\beta$, $\alpha \pm 1.618\beta$ の4つの値が得られ、それぞれ異なる π 軌道に対応する。これらのエネルギーの中で HOMO のエネルギーはどれか答えよ。

- (3) (1)で考えた1次元の箱型モデルでは無限個の軌道が得られた。一方で、(2)で考えた単純ヒュッケル法では4つの軌道のみが得られた。4つの軌道のみが得られた理由を「LCAO 近似」(linear combination of atomic orbitals 近似) という語を用いて述べよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第7問 化学(2) その1

以下の問I~IIIに答えよ。必要であれば次の周期表を参照せよ。

\	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	ランタノイド	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	アクチノイド	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
			ランタノイド	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			アクチノイド	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

I. 以下の問に答えよ。

- (1) 気相におけるオゾン (O_3) について、以下の問に答えよ。
 - (a) ルイス構造を示せ。共有電子対を“-”で、孤立電子対(非共有電子対)を“:”で示すこと。
 - (b) VSEPR(原子価殻電子対反発)モデルに基づき立体構造を推定せよ。
 - (c) (b)で推定した構造をもとに、 O_3 が極性をもつかどうか、理由とともに答えよ。

- (2) 気相の一酸化窒素分子(NO)が常磁性を示す理由を分子軌道および電子配置から説明せよ。

- (3) 窒素原子および酸素原子のイオン化エネルギーについて、以下の問に答えよ。なお、第一および第二イオン化エネルギーは下記の通りである(単位は kJ mol^{-1})。

窒素原子: 1402 (第一イオン化エネルギー), 2855 (第二イオン化エネルギー)
 酸素原子: 1314 (第一イオン化エネルギー), 3386 (第二イオン化エネルギー)

 - (a) 酸素原子と比べて、窒素原子が大きな第一イオン化エネルギーを示す理由を述べよ。
 - (b) 窒素原子と比べて、酸素原子が大きな第二イオン化エネルギーを示す理由を述べよ。

- (4) 異核二原子分子に関する以下の問に答えよ。
 - (a) 一对の電荷 $+Q$ と $-Q$ が、距離 L 離れて置かれている。双極子モーメントの大きさを式で示せ。
 - (b) HF , HCl , HBr , HI について、双極子モーメントの大きなものから左から順に示せ。
 - (c) LiH の電荷分布の特徴を、簡潔に説明せよ。
 - (d) HF と LiH の双極子モーメントの大きさは、それぞれ $1.8 D$ および $6.3 D$ である。 D は双極子モーメントの単位である。 HF と比べて、 LiH が大きな双極子モーメントを示す理由を述べよ。必要であれば、以下の値を参照せよ。 $Li-H$ 間距離: 0.16 nm ; $H-F$ 間距離: 0.092 nm 。各原子軌道のエネルギーは下記の通りである。 Li 原子: -67.4 eV (1s) , -5.3 eV (2s) ; F 原子: -718 eV (1s) , -42.8 eV (2s) , -19.9 eV (2p) ; H 原子: -13.6 eV (1s) 。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第7問 化学(2) その2

II. 以下の問に答えよ。

(1) 二酸化炭素の分子軌道を炭素原子および酸素原子の2sおよび2p軌道から形成し、分子軌道のエネルギー準位図を図1のように得た。結合軸をz軸とする。以下の問に答えよ。

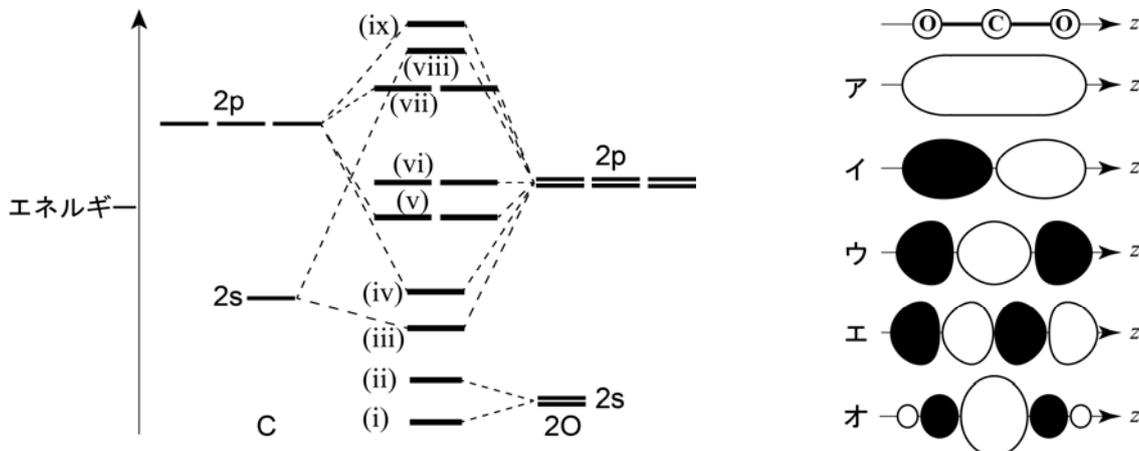


図 1. 分子軌道のエネルギー準位図。

図 2. 分子軌道の概形。白黒は位相の違いを表す。

- (a) 二酸化炭素の最高被占軌道 (HOMO), 最低空軌道 (LUMO) のエネルギー準位として最も適切なものを, 図1の(i)~(ix)からそれぞれ選べ。
- (b) 図1の (iii), (iv), (viii) のエネルギー準位に相当する分子軌道の概形として最も適切なものを, 図2のア~オからそれぞれ選べ。
- (c) 二酸化炭素のCO結合の結合次数が2であることを, 分子軌道の観点から説明せよ。

(2) 塩化セシウム結晶に関する以下の問に答えよ。

- (a) 単位格子中のCs⁺の数, Cs⁺の配位数, Cs⁺の第二近接の位置を占めるCs⁺の数を答えよ。
- (b) 塩化セシウム型構造における正イオンの半数を取り除いて, 各負イオンに対して正イオンを四面体配置になるようにしてつくったMX₂構造は何と呼ばれるか答えよ。
- (c) イオン格子の格子エンタルピーの絶対値を表すボルン・マイヤー式は, 隣接する正イオンと負イオン間の距離 d , 正イオンの電荷 z_A , 負イオンの電荷 z_B の関数 $f(d, z_A, z_B)$ を用いて

$$\Delta_L H^\circ = f(d, z_A, z_B) \times \left(1 - \frac{d^*}{d}\right) \times M$$

と表される。 d^* はイオン間の反発を表す定数, M はマーデルング定数である。塩化セシウム型構造をとるヨウ化セシウムの格子エンタルピーは, 塩化セシウムの格子エンタルピーの何倍か。ボルン・マイヤー式をもとに有効数字2桁で答えよ。ただし, 塩化セシウム中の隣接するCs⁺とCl⁻間の距離は0.345 nm, ヨウ化セシウム中の隣接するCs⁺とI⁻間の距離は0.387 nmである。また, d^* はともに34.5 pmとする。

(d) 塩化セシウムの格子エンタルピーを, 表1に示した値とボルン・ハーバーサイクルを用いて, 有効数字3桁で求めよ。

表 1. 反応のエンタルピー変化

		エンタルピー変化 (kJ mol ⁻¹)
Cs (s) の昇華 :	Cs (s) → Cs (g)	+76.5
Cs (g) のイオン化 :	Cs (g) → Cs ⁺ (g) + e ⁻ (g)	+375.7
Cl ₂ (g) の解離 :	Cl ₂ (g) → 2 Cl (g)	+241.8
Cl (g) への電子付加 :	Cl (g) + e ⁻ (g) → Cl ⁻ (g)	-348.3
CsCl (s) の生成 :	Cs (s) + 1/2 Cl ₂ (g) → CsCl (s)	-433.0

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第7問 化学(2) その3

III. 以下の間に答えよ.

(1) 図1に示す遷移金属イオン (M^{n+}) と配位子 L からなる正八面体形 ML_6 錯体において, 5つの d 軌道がどのように分裂するかエネルギー準位図の概略を示し, その理由を述べよ.

(2) $[Fe(CN)_6]^{4-}$ 錯体の d 電子の電子配置を示し, その理由を d 軌道と CN^- の分子軌道との相互作用の観点から述べよ. 必要があれば, 図を用いて説明してもよい.

(3) $[FeF_6]^{3-}$ 錯体の d 電子の電子配置を示し, その理由を d 軌道とフッ素の原子軌道との相互作用の観点から述べよ. 必要があれば, 図を用いて説明してもよい.

(4) 多くの遷移金属錯体は色があるが, $[FeF_6]^{3-}$ 錯体は無色である. その理由を述べよ.

(5) 遷移金属イオン M^{n+} がつくる錯体の配位子場の強さは M^{n+} によっても異なり, 次のような関係があることが知られている.

$$\text{(弱い配位子場)} \quad Mn^{2+} < Co^{2+} < Fe^{2+} < Fe^{3+} < Co^{3+} < Rh^{3+} < Ir^{3+} \quad \text{(強い配位子場)}$$

以下の間に答えよ.

(i) Fe^{2+} と Fe^{3+} , Co^{2+} と Co^{3+} の比較から示されるとおり, 酸化数が大きくなると配位子場が強くなる. その理由を述べよ.

(ii) 同族の Co^{3+} , Rh^{3+} , Ir^{3+} を比較すると周期表で下へ行くほど配位子場が強くなる理由を述べよ.

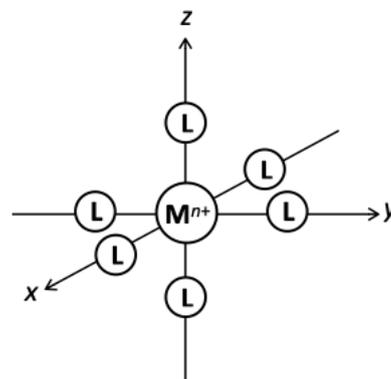


図1. 正八面体形 ML_6 錯体.

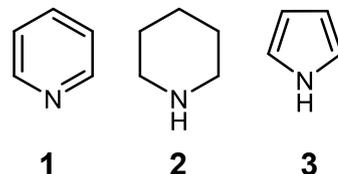
2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第8問 化学(3) その1

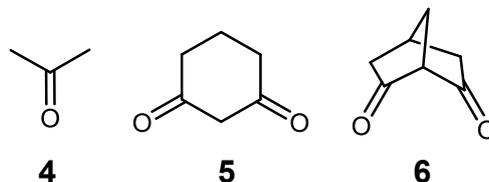
以下の問I~IVに答えよ.

I. 有機化合物の構造と性質・反応に関する次の問(1)~(7)に答えよ.

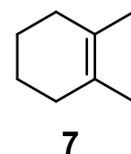
- (1) 化合物**1**~**3**を比較して、塩基性が最も強いものはどれか、理由とともに答えよ.



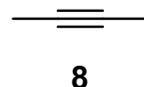
- (2) 化合物**4**~**6**を比較して、酸性度が最も高いものはどれか、理由とともに答えよ.



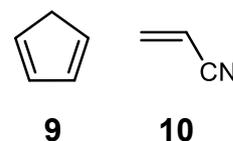
- (3) 化合物**7**に白金触媒存在下で水素を反応させたときの主生成物の構造式を、立体構造がわかるように示せ.



- (4) 化合物**8**に硫酸と硫酸水銀(II)の存在下で水を反応させたときの主生成物の構造式を示せ.



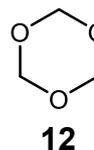
- (5) 化合物**9**と**10**を混ぜて加熱したときに得られる主生成物の構造式を、立体構造がわかるように示せ.



- (6) 化合物**11**に紫外線を照射すると開環して生じる主生成物の構造式を、立体構造がわかるように示せ.



- (7) 化合物**12**の酸性の水溶液中で生じるポリマーの構造式を示し、なぜ酸性条件下でこのポリマーが生じるのか理由を述べよ.



2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 2

II. アルデヒドの反応に関する次の問(1)~(4)に答えよ。

ベンズアルデヒド(A)に対して、エチルグリニャール試薬 (EtMgBr) を 1 モル量作用させ、酸処理して得られるアルコール (B) に対して、濃硫酸で処理すると、C が得られた。C とオゾンとの反応後、還元的に処理すると、A と D が得られた。次に、⁽ⁱ⁾A と D との交差アルドール縮合反応を行うと、シナムアルデヒド(E) が得られた。E とベンゼンチオール (PhSH) との反応を行うと主生成物として F が得られた。

(1) 化合物 B, C, D, F の構造式を示せ。立体構造は考慮しなくてよい。

(2) 下線部(i)の反応機構を示せ。電子対の動きは巻矢印で示すこと。

(3) A から一段階でスチレンを合成する反応名を記し、その反応を化学式で示せ。

(4) スチレンの ¹H NMR の一部を図 1 に示す (図中の 1H, 5H はそれぞれのシグナルの相対的な積分強度を表している)。下記スチレンの H_a に帰属されるシグナルの番号 (①~④) を選び、その理由を述べよ。

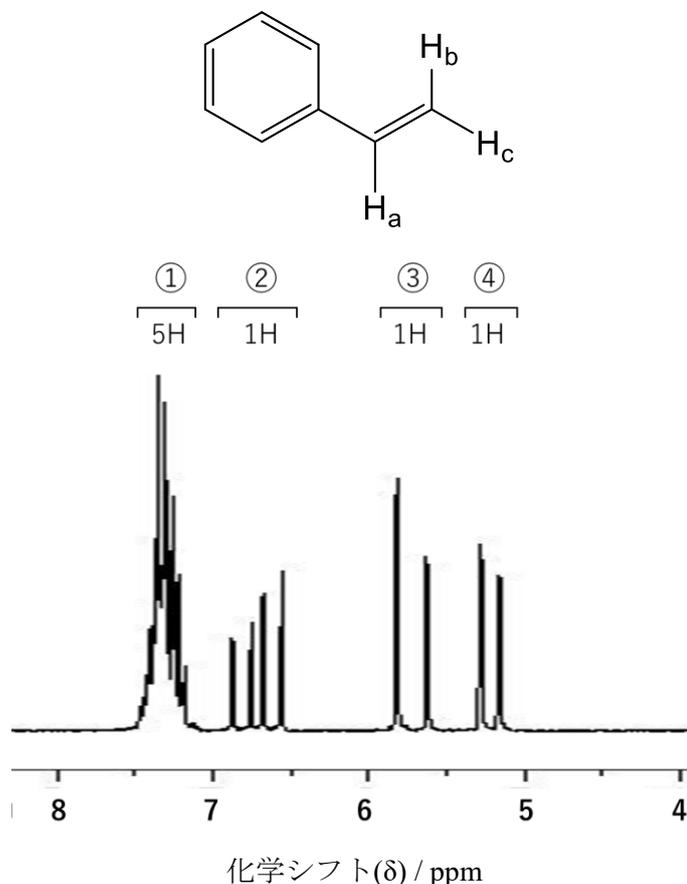
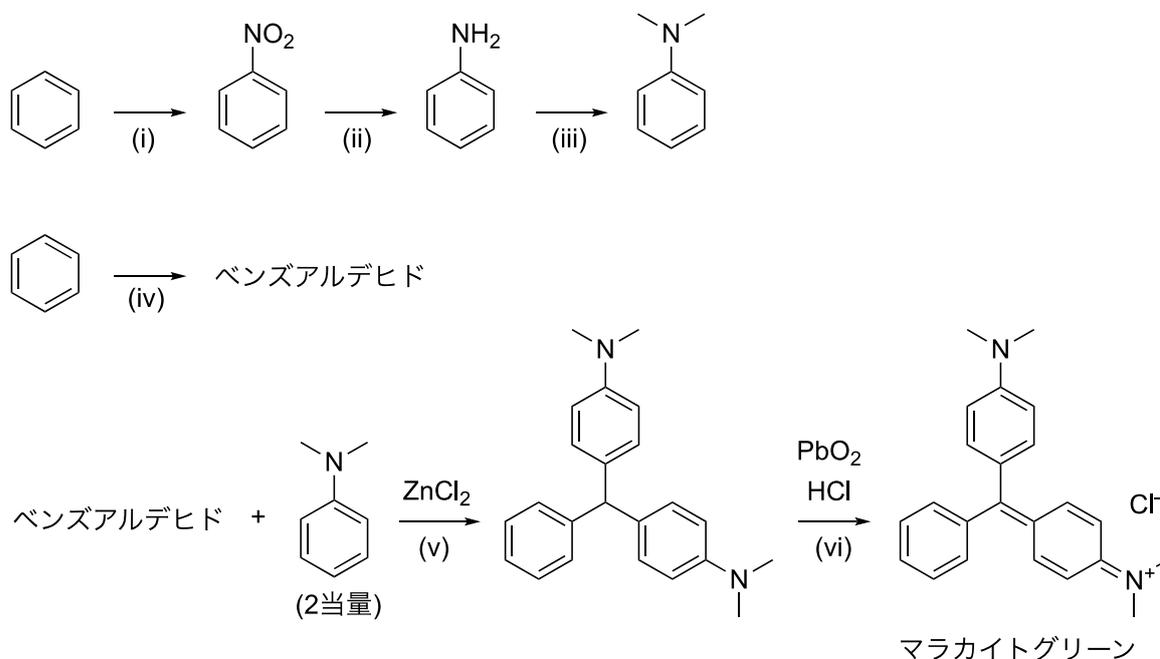


図 1 スチレンの ¹H NMR (100 MHz, CDCl₃) スペクトル

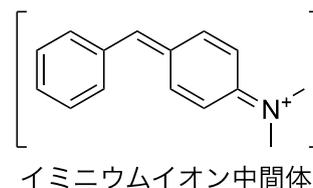
2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 3

III. トリフェニルメタン系色素であるマラカイトグリーンは、青緑色染料として利用されている。下図には、ベンゼンから *N,N*-ジメチルアニリンおよびベンズアルデヒドを中間体としてマラカイトグリーンを合成する経路(i)~(vi)を示した。以下の問(1)~(5)に答えよ。



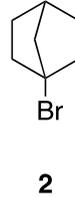
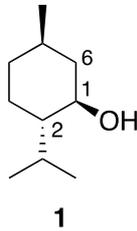
- (1) マラカイトグリーンの共鳴構造式のうち、炭素原子上に正電荷をもつ共鳴寄与体を示せ。実際の構造への寄与が大きいと考えられるもののみ示せばよい。
- (2) 反応(i)および(ii)に必要な試薬をそれぞれ示せ。
- (3) 反応(iii)について、*N,N*-ジメチルアニリンは、アニリンにメチル化剤を作用させることで合成できる。このとき、ヨウ化メチルなどの強力なメチル化剤を塩基とともに過剰量用いると、*N,N*-ジメチルアニリンを選択的に得ることは難しい。この理由を述べよ。
- (4) 反応(iv)について、ベンゼンから安息香酸を経てベンズアルデヒドを多段階で合成する方法を示せ。各段階に必要な試薬を示すこと。
- (5) 反応(v)について、塩化亜鉛(II)はルイス酸として働き、右に示すイミニウムイオン中間体を経由して反応が進行すると考えられる。反応(v)の反応機構を示せ。電子対の動きは巻矢印で示すこと。



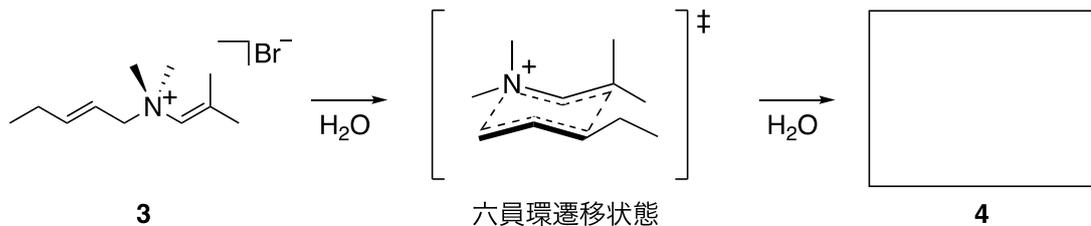
2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第 8 問 化学 (3) その 4

IV. 六員環骨格に関する以下の問(1)~(7)に答えよ.



- (1) 化合物**1**の炭素原子1について、*R/S*のどちらの立体配置をもつか、結合している原子団の優先順位とともに答えよ.
- (2) 化合物**1**をシクロヘキサン骨格の立体配座がわかるように、最も安定ないす型配座で示せ.
- (3) 化合物**1**が他のジアステレオマーよりも安定な理由を述べよ.
- (4) 化合物 **1** を酸で処理すると、脱水反応が進行しアルケンが得られる. 主生成物として得られるアルケンの構造を示し、そのアルケンが *E/Z* のどちらの立体配置をもつか答えよ.
- (5) 臭化物イオンは脱離基として働きやすいにもかかわらず、化合物 **2** は S_N1 反応, S_N2 反応のいずれにも不活性である. それぞれの反応について、反応を起こさない理由を述べよ.
- (6) 以下に示す化合物 **3** の転位反応は、シクロヘキサンのいす型配座に類似した六員環遷移状態を経由して、単結合と二重結合の位置が組み換わることで進行する. 六員環遷移状態の構造を参考に、転位反応によって得られる生成物 **4** の構造式を示せ.



- (7) ナノ空間に直鎖状の分子を閉じ込めたとき、図 1 のように分子が折りたたまれた配座で固定されることがある. 化合物 **3** の転位反応をナノ空間内で行ったとき、転位反応速度が大きくなった. 表 1 に示す反応の活性化エンタルピー ΔH^\ddagger , 活性化エントロピー ΔS^\ddagger を参考に、ナノ空間内で反応速度が増大した理由を分子の構造に着目して述べよ.

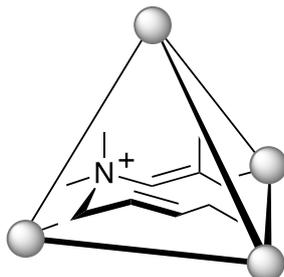


図 1. ナノ空間内で分子が折りたたまれる様子

表 1. 化合物 **3** の転位反応の活性化パラメータ

	ΔH^\ddagger (kcal mol ⁻¹)	ΔS^\ddagger (cal mol ⁻¹ K ⁻¹)
溶液中	23.1	-8
ナノ空間内	23.0	+2

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第9問 化学（4）その1

次の問 I~III に答えよ。

I. 以下の問に答えよ。

- (1) 多くの金属酸化物の結晶構造は、酸化物イオン (O^{2-}) が最密充填構造を形成し、その空隙に金属イオンが入り込んだ形をとる。図1に O^{2-} がつくる立方最密充填構造の単位格子を示す。図1では、 O^{2-} を固い真球と考え、それらが互いに接触しているとする。立方最密充填構造の空隙の割合 (%) を有効数字2桁で求めよ。答えだけでなく、計算過程も示すこと。計算に必要であれば、以下の数値を用いてもよい。

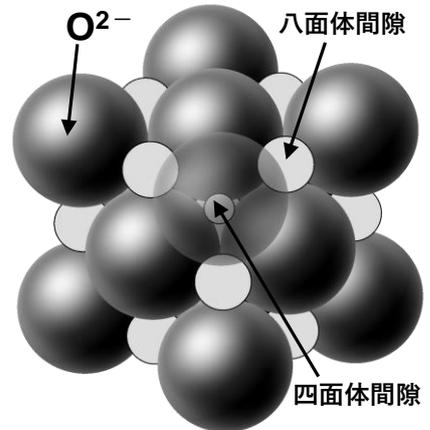
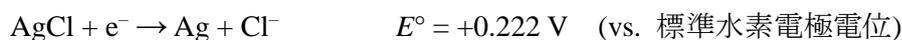
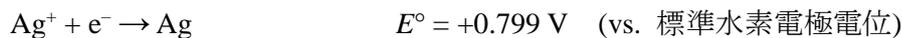


図1. O^{2-} がつくる立方最密充填構造の単位格子。八面体間隙と四面体間隙を示してある。

円周率 $\pi \approx 3.14$ $\sqrt{2} \approx 1.41$ $\sqrt{3} \approx 1.73$

- (2) 2種の金属イオン A, B により構成される複合酸化物がある。A は図1に示す O^{2-} がつくる立方最密充填構造の四面体間隙の 1/8 を占有し、B は八面体間隙の 1/2 を占める。この複合酸化物の化学式を A と B を用いて答えよ。
- (3) 複合酸化物 $SrTiO_3$ は、 Sr^{2+} と O^{2-} のイオン半径が同程度であるため、これら2種のイオンにより立方最密充填構造が組みあがり、 O^{2-} に囲まれた八面体間隙を Ti^{4+} が占有している。これらの情報をもとに、 Ti^{4+} (●) が単位格子の体心に位置するとして、 $SrTiO_3$ の単位格子を図示せよ。 Sr^{2+} を○、 O^{2-} を×で記せ。
- (4) (i) 酸化カルシウムをコークスで還元すると炭化カルシウムと一酸化炭素が得られ、(ii) この反応で得られた炭化カルシウムを水と反応させるとアセチレンが生じる。(i) (ii) に対応する反応式を示せ。
- (5) 298 K における難溶性塩の溶解度積の算出に標準電極電位 (E°) を利用できる。以下に示す二つの反応の標準電極電位より、 $AgCl$ の水に対する溶解度積 K_{sp} の pK_{sp} ($= -\log_{10} K_{sp}$) を計算し、四捨五入して整数で答えよ。



計算に必要であれば、以下の物理定数や関係式を用いてもよい。

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ J V}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ($1 \text{ J V}^{-1} = 1 \text{ C}$)、気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$$\ln a = 2.30 \times \log_{10} a$$

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第9問 化学(4) その2

II. 図1に示した半径 r の円周上を自由に動く電子の規格化された波動関数は

$$\psi(\phi) = A e^{ik\phi} \quad (\text{式 1})$$

で与えられる。以下の間に答えよ。ただし、半径 r は十分小さいものとする。

- (1) 波動関数 $\psi(\phi)$ が満たすべき周期的境界条件を示せ。
- (2) 図1の太線で示した微小領域($r\Delta\phi$)の範囲で電子を見つける確率を、 $\psi(\phi)$ を含む形で示せ。ただし $\Delta\phi$ は非常に小さいとし、この領域での波動関数は $\psi(\phi)$ で一定とする。
- (3) 規格化因子 A を求めよ。
- (4) この電子についてのシュレディンガー方程式は

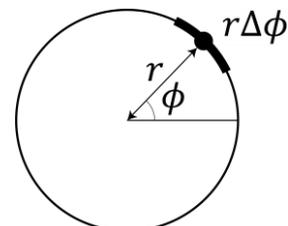


図1. 半径 r の円周上を自由に動く電子

$$-\frac{\hbar^2}{2mr^2} \frac{d^2\psi(\phi)}{d\phi^2} = E\psi(\phi) \quad (\text{式 2})$$

で与えられる。ただし、 m は電子の質量、 $\hbar = h/(2\pi)$ 、 h はプランク定数である。エネルギー E を、 k を含む形で求めよ。

- (5) 同じエネルギーに対応する状態が2つ以上存在することを何と呼ぶか答えよ。
- (6) この円周上に電子が4個入っているときの最も安定な電子配置を、図2に示す例を参考に、エネルギー準位と電子のスピンの向きがわかるように示せ。ただし、電子が入ったことによるエネルギー準位の変化は考えないとする。

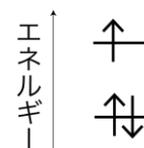


図2. Liの電子配置

- (7) この円周が作る面に垂直な方向に磁場 B をかけたとき、円周上の電子についてのシュレディンガー方程式は

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2mr^2} \frac{d^2}{d\phi^2} - i \frac{\hbar e B}{2m} \frac{d}{d\phi} \right] \psi(\phi) = E\psi(\phi) \quad (\text{式 3})$$

で与えられ、この場合も波動関数は式1で与えられる。ここで、 $Be r^2 < \hbar$ とし、円周上の電子は1つとする。

- (a) E を、 k を含む形で求めよ。
- (b) 電子と磁場の相互作用エネルギーを、 k を含む形で求めよ。
- (c) 基底状態から、第一励起状態、第二励起状態へ遷移するのに必要なエネルギーをそれぞれ ΔE_1 、 ΔE_2 とする。 ΔE_1 と ΔE_2 を求めよ。ただし、 $B > 0$ とする。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第9問 化学(4) その3

III. 次の文章を読んで、以下の問に答えよ。

石油から容易に得られる飽和炭化水素を酸素 (O_2) と反応させて含酸素化合物に変換すれば、そこから様々な物質を合成できる。しかし、温和な条件で飽和炭化水素を O_2 により酸化することは極めて難しい。その最たる理由は、①飽和炭化水素の C-H 結合が強固なことである。また、 O_2 の電子構造にも注目する必要がある。安定な有機物は一般に不対電子を持たない [ア] 重項であるのに対し、 O_2 の基底状態は [イ] 重項であるので、多くの有機物と O_2 が直接反応して安定な含酸素化合物が生成する反応はスピン禁制となり、反応が大きく抑制される。

このように、飽和炭化水素の O_2 による酸化は難しいが、シクロヘキサン酸化は工業プロセスとして稼働しており、シクロヘキサノールとシクロヘキサノンが主生成物として得られる。反応機構は②自動酸化であるため、あまり選択的でなく改善が望まれている。

生成物のシクロヘキサノンは有用性の高い物質であり、③触媒存在下、 NH_3 と H_2O_2 を添加すると、シクロヘキサノンオキシムが生成する。次いで、④シクロヘキサノンオキシムのベックマン転位によって、6-ナイロンのモノマーである ϵ -カプロラクタムを得ることができる。

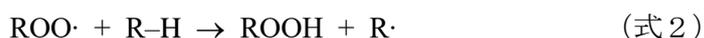
(1) [ア]、[イ]に入る数字を書け。

(2) 下線部①に関し、飽和炭化水素の中でも C-H 結合の強さには差がある。このことを説明した以下の文章の空欄 [ウ] ~ [キ]に入る最も適切な語句を下の語群から選べ。

「飽和炭化水素の C-H 結合が均一開裂するのに必要なエネルギーの大きさを左右する因子として、電子的効果と立体的効果が挙げられる。電子的効果に関しては、炭素ラジカルは電子が欠乏しており、その炭素原子にアルキル基が結合していると、[ウ]が起こる。また、立体的効果については、飽和炭化水素の炭素原子は [エ] 混成軌道を形成するのに対し、C-H 結合が均一開裂してラジカルになると [オ] 混成軌道に変わり、ほぼ平面構造になる。その炭素原子にアルキル基が結合していた場合、この構造変化に伴って立体反発が [カ] する。そのため、例えばメタンまたはエタンの C-H 結合を 1 つ均一開裂させる場合、[キ]の方が必要とするエネルギーが小さい。」

語句: 共役・超共役・共鳴・sp・sp²・sp³・増大・減少・メタン・エタン

(3) 下線部②について、自動酸化とは以下に示す式 1, 2 を主要な素反応として含むものである。この反応系では、生成物であるシクロヘキサノンのカルボニル α 位 C-H 結合が $ROO\cdot$ によって切断されて逐次的に酸化されやすい。シクロヘキサンに比べて、シクロヘキサノンのカルボニル α 位の C-H 結合均一開裂エネルギーが大幅に低い理由を述べよ。

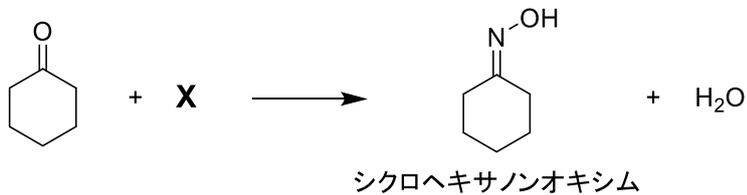


(R: は基質の C-H 結合が切断されて生成したラジカル種を示す)

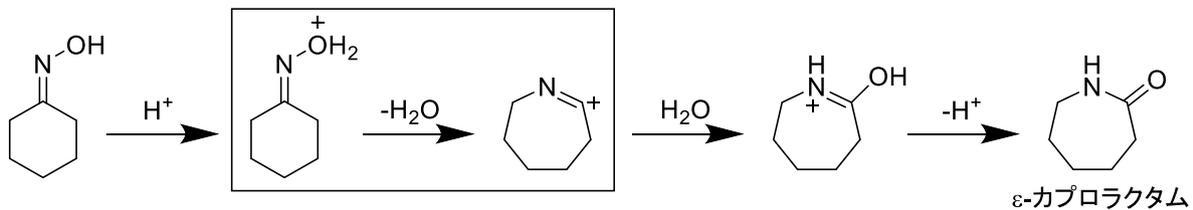
2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第9問 化学(4) その4

- (4) 下線部③の反応では、チタノシリケートという Ti を含む固体の触媒が H_2O_2 と反応し、酸素活性種を形成する。この活性種が NH_3 を酸化してシクロヘキサノンオキシムの合成に必要な窒素化合物 **X** を生成する。**X** の立体構造を図示せよ。



- (5) 下線部④の反応は多くの場合、濃硫酸を用いて行われる。反応の鍵となる段階は、以下のスキームの四角で囲んだ7員環構造が形成される部分である。この四角で囲んだ部分に関して反応機構を示せ。電子対の動きは巻矢印で示すこと。



2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 10 問 生物学・生物物理学（1）（その1）

以下の問I, IIに答えよ。

I.

細胞膜上に存在する様々な受容体は、細胞外の物質（リガンド）と結合し活性化状態になることで、細胞外の環境情報を細胞内部に伝える。多くの受容体の活性化は、メチル化やリン酸化などの化学修飾反応に依存する。以下の問いに答えよ。

- (1) 図1のように、特定のリガンドが結合すると活性化し、リガンドが解離すると不活性化する受容体を考える。リガンド非結合状態（U 状態）、リガンド結合状態（B 状態）にある受容体の濃度をそれぞれ X_U , X_B とする。また、それらの総和（ $X_T = X_U + X_B$ ）は一定に保たれると仮定する。リガンド結合反応、および解離反応の速度定数をそれぞれ k_{ON} , k_{OFF} , 受容体に結合していない細胞外のリガンドの濃度を L とする。系が定常状態にあるとして、 X_B を k_{ON} , k_{OFF} , L , X_T を用いて表せ。リガンドは細胞外に一樣濃度で存在しており、この受容体のみと結合できるとする。また、受容体への結合で生じるリガンド濃度の変化は無視してよい。
- (2) B 状態にある受容体の濃度が最大値の $1/2$ になるリガンド濃度 $L_{1/2}$ を、 k_{ON} , k_{OFF} を用いて表せ。
- (3) (a) $L \ll L_{1/2}$ の条件内、もしくは (b) $L \gg L_{1/2}$ の条件内で、細胞外リガンド濃度 L が α 倍 ($\alpha > 0$) に変化し、それ以降その濃度で保たれた。新たに到達した定常状態における X_B の値は元の定常状態の X_B の値の何倍になるか、(a), (b) それぞれの条件について答えよ。
- (4) 図1の受容体の代わりに、図2のように化学修飾を受ける受容体を考える。リガンドは修飾された受容体のみ結合できる。リガンド非結合状態（U 状態）にある受容体がリガンドと結合し、結合状態（B 状態）に変化すると受容体は活性化し情報を伝達できる。さらに B 状態にある受容体のみが脱修飾を受けて非修飾状態（N 状態）に戻れるとする。N 状態にある受容体の濃度を Y_N , U 状態、B 状態にある修飾を受けた受容体の濃度をそれぞれ Y_U , Y_B とする。受容体の修飾反応の速度定数を k_d , リガンド結合反応、及び解離反応の速度定数をそれぞれ k'_{ON} , k'_{OFF} , 脱修飾反応の速度定数を k_i とする。細胞外リガンド濃度を L , 時間を t とし、 Y_U , Y_B についての時間変化を式で書き下せ。

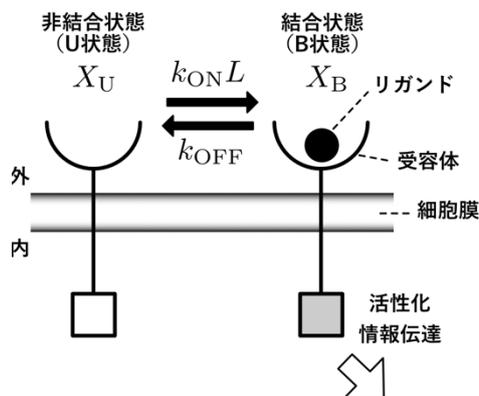


図1

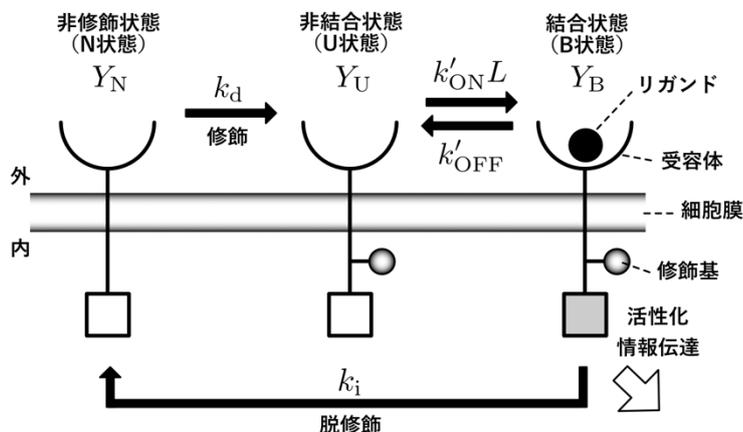


図2

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第 10 問 生物学・生物物理学 (1) (その 2)

(5) 上問(4)において、N状態の受容体の濃度は、U状態、B状態にある受容体の濃度に比べて十分高く常に $Y_N \approx C$ で一定とみなせるとする。系が定常状態にあるとき、 Y_B を k'_{ON} , k'_{OFF} , k_d , k_i , L , C の中から必要なものを用いて表せ。

(6) 図3のグラフのように細胞外リガンド濃度を初期濃度から階段状に増加させる。図1および図2の受容体それぞれについて、B状態にある受容体濃度の時間変化のグラフとして図4(a)~(d)のうちから最も適切なものを、1つずつ選択せよ。ただし、受容体の状態変化は十分速く、リガンド濃度の階段状変化の各ステップで定常状態に到達できるものとする。図2の受容体については上問(5)と同じくN状態の受容体の濃度は一定とみなせるとする。

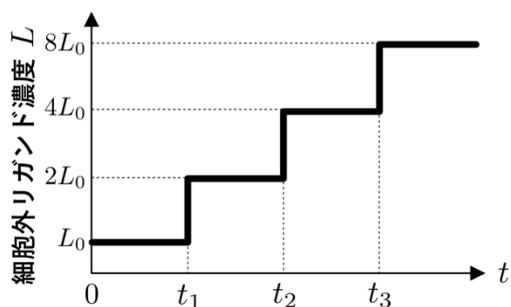


図3

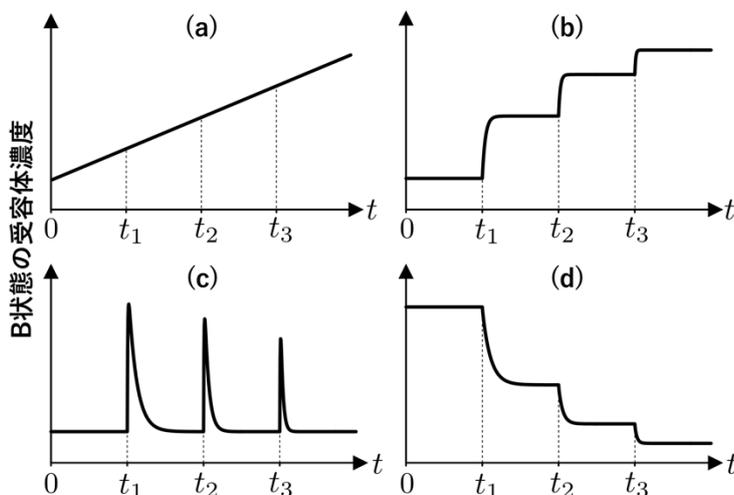


図4

(7) 多くの受容体が図 2 のような化学修飾を受けることの環境応答上の利点について 3 行程度で説明せよ。

II.

人間の眼から脳に至る視覚情報処理は、ビデオカメラが映像情報を取得し転送する過程と比較して、どのような類似点と相違点があるか。光学系 (レンズ・受光素子) や電気信号の伝達 (方向性・メカニズム) などの観点から、10 行程度で説明せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
 相関基礎科学系 総合科目

第 11 問 生物学・生物物理学（2）

次の文を読み、以下の問Ⅰ～Ⅷに答えよ。

細胞では、ATP等のリボヌクレオチドの加水分解に伴う自由エネルギー変化を利用して、生体物質の合成・細胞運動・細胞分裂など多くの生命活動が行われる。好気性真核細胞では、ミトコンドリア内で合成された大量のATP分子は細胞内に拡散し、モータータンパク質によって駆動される様々な生体反応のエネルギー源としても利用される。ヒト細胞においても、モータータンパク質の欠損や機能不全は様々な疾患の原因となる。

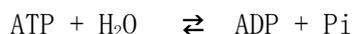
問Ⅰ ヒト細胞のおおよその大きさとして最も適するサイズを次の(1)～(4)から選べ。

- (1) 0.1-1 μm (2) 1-10 μm (3) 10-100 μm (4) 100-1000 μm

問Ⅱ ATP分子がヒト細胞内の核付近のミトコンドリアから細胞膜付近まで単純拡散で移動した場合に要する平均的な時間を概算せよ。なお、水溶液中でのATP分子の拡散係数 D は100 $\mu\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ とする。また、ヒト細胞は球状とし、大きさは問Ⅰで解答したサイズの範囲で仮定すること。概算過程も記載すること。

問Ⅲ あるヒト細胞内において、ATP濃度が1.67 mmol L^{-1} である場合、細胞内でのATP分子同士の平均的な距離（混み具合）を概算せよ。なお、細胞は立方体と仮定し、細胞小器官はないと仮定する。立方体の一辺は問Ⅰで解答したサイズの範囲で仮定すること。概算過程も記載すること。

問Ⅳ ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化 ΔG は次のように表される。



$$\Delta G = \Delta G^{0'} + RT \ln \frac{[\text{ADP}][\text{P}_i]}{[\text{ATP}]}$$

標準自由エネルギー変化($\Delta G^{0'}$)は-30.5 kJ mol^{-1} 程度であることが知られているが、細胞内で実際に利用できる自由エネルギー変化(ΔG)は $\Delta G^{0'}$ の値よりも大きい場合が多いと考えられる（例えば-54 kJ mol^{-1} ）。この理由を細胞内の溶液環境を考えて論じよ。

問Ⅴ ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化を利用して力学反応を起こす代表的なタンパク質として真核細胞においてはモータータンパク質が挙げられる。細胞骨格と相互作用するモータータンパク質の内、キネシン、ダイニン、ミオシンのそれぞれについて、対応する細胞骨格上での運動方向を「プラス端に移動する」、「マイナス端に移動する」、「種類によってどちらかの端に移動する」、のいずれかに分類せよ。

問Ⅵ ある種類のキネシン分子は、1分子のATPの加水分解反応ごとに微小管上で最大7 pNの力を出し、8 nm移動することができる。この時のエネルギー変換効率を推定せよ。なお、ATPの加水分解反応の自由エネルギー変化 ΔG を-54 kJ mol^{-1} として計算せよ。計算過程も記載すること。

問Ⅶ ある種類のキネシン遺伝子やダイニン遺伝子の先天異常がある場合、(1)気管支感染の頻発、(2)内臓逆位、(3)不妊、を同時に呈する場合が多い。(1)～(3)のうち1つを選び、その症状が発生する理由について簡潔に説明せよ。なお、(1)～(3)に共通して関係する細胞内の構造体（細胞小器官等）の名称を必ず記載すること。

問Ⅷ 抗ガン剤としてチューブリン分子を標的とした微小管作用薬が多く用いられているが、副作用のあることが知られている。このため、新たにキネシン分子を標的とした抗ガン剤の開発が期待されている。

(1) どのようなキネシン分子を標的としているかを答えよ。

(2) また、(1)で解答したキネシン分子に特異的に作用する薬剤は微小管作用薬より副作用が少ないと考えられる理由を考察せよ。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 12 問 科学史・科学哲学（1）

次の A・B のうち、1 題 を選び、答えなさい。複数解答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A 12世紀頃のヨーロッパで起こった12世紀ルネサンスとは何かを概説し、12世紀ルネサンスの科学史上の意義について論じなさい。

B 次の二つの設問に答えなさい。

I. 哲学における自然主義とはどのような立場か、説明しなさい。

II. 方法論的自然主義と存在論的自然主義の関係およびそれぞれの妥当性について、自由に論じなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 13 問 科学史・科学哲学（2）

次の A・Bのうち、1題を選び、答えなさい。複数解答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A 予防原則 (precautionary principle) について定義したうえで、環境政策・環境コミュニケーションもしくは医療政策・医療コミュニケーションにおいて予防原則が果たす役割について論じなさい。

B 次の二つの設問に答えなさい。

I. 反証主義の内容を簡潔に説明し、さらに反証主義を否定する科学史上の事例を一つ挙げて簡潔に説明しなさい。

II. 科学理論や研究手法の形成や受容においては、反例が挙げられ、反証が試みられることがある。科学の歴史の中に見られるそのような事例を具体的に複数挙げて概要を記し、反例や反証が科学の展開において果たしてきた役割を論じなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 14 問 科学史・科学哲学（3）

次の A・B のうち、1 題を選び、答えなさい。複数解答した場合はすべて無効とする。選択した問題の記号は解答冒頭に明記すること。

A 次の二つの設問に答えなさい。

- I. 科学的説明とは何か。科学哲学上の理論を一つ取り上げて、説明しなさい。
- II. 科学的な説明とそれ以外の説明はどのような点において異なっており、それぞれどのようにしてその妥当性が確保されるのだろうか。自由に論じなさい。

B 次の二つの設問に答えなさい。

- I. 功利主義とはどのような立場か、説明しなさい。
- II. 現在のテクノロジーや未来のテクノロジーに関する倫理的問題を論じる上で、功利主義にはどのような長所と短所があるだろうか。具体的なテクノロジーに言及しつつ、自由に論じなさい。

2024 年度修士課程入学試験問題
相関基礎科学系 総合科目

第 15 問 科学史・科学哲学（4）

次のAからOまでの言葉から4つを選択し、科学史的、哲学的、または科学技術論的観点から説明しなさい。5つ以上選択した場合は、すべて無効とする。選択した問題の記号は、その解答の冒頭に明記すること。

- (A) アルゴリズム・バイアス
- (B) honest broker (科学的助言)
- (C) 概念工学
- (D) 『九章算術』
- (E) 心の理論 (理論説とシミュレーション説)
- (F) 志向性
- (G) 障害の人権モデル
- (H) 震災予防調査会
- (I) 人新世
- (J) ストロング・プログラム
- (K) テリアカ
- (L) 認識的不正義
- (M) 四体液説
- (N) ラッセルのパラドクス (集合論)
- (O) リサーチ・プログラム

草稿用紙

草稿用紙

草稿用紙