

物質科学専攻 専門科目

問題冊子

注意事項

1. 解答開始の合図があるまで、問題冊子・解答冊子の中を見てはいけない。
それまで、この注意事項をよく読んでおくこと。
2. 監督者の指示があれば、解答冊子の表紙の受験番号欄・氏名欄にそれぞれ自分の受験番号・氏名を書くこと。
3. この問題冊子は、数学 3 問、物理 3 問、化学 3 問の合計 9 問で構成されている。解答開始の合図の後、まず中を開いてこのことを確認すること。
4. これら 9 問のうちから任意の 3 問を選択して解答すること。
5. 解答冊子は 25 枚（表紙 1 枚、解答用紙 24 枚）からなる。表紙の受験番号欄に自分の受験番号を、氏名欄に自分の氏名を、選択マーク欄には選択した問題に○印を記入すること。
2 枚目以降の解答用紙については以下の指示に従うこと。
どの科目についてもあらかじめ問題番号が指定された解答用紙に解答すること。
解答した用紙には、受験番号と氏名を記入すること。
解答用紙の受験番号欄、氏名欄の下にある横線以下に解答すること。余白が足りない場合は裏面を使用しても良い。裏面を使う場合、表の横線以下の部分を使うこと。横線より上の部分に書いた解答は採点されないので注意せよ。
6. 選択マーク欄に○印を付ける問題は 3 問を越えてはいけない。○印を付けた問題の解答用紙だけが採点の対象となる。なお、○印は試験終了までに記入すること。
7. 問題冊子の余白は適宜計算などに使用してよい。
8. 解答冊子は、どのページも切り離してはいけない。
9. 試験中に、問題冊子や解答冊子の印刷の不明瞭、汚れ、ページの落丁、乱丁などに気がついた場合や、体調が悪くなった場合には、手を挙げて監督者に知らせること。
10. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

物質科学専攻 専門科目

数学 第 1 問

正項級数 $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ にたいして, 極限 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \rho \in \mathbb{R}$ が存在するとする. 以下の問いに答えよ.

- (1) $\rho < 1$ のとき $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ は収束することを証明せよ.
- (2) $\rho > 1$ のとき $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ は発散することを証明せよ.
- (3) $\rho = 1$ とする. このとき $\sum_{n=1}^{\infty} a_n$ が発散する例と収束する例をそれぞれ挙げよ.

数学 第 2 問

実数を係数とする多項式 $p(x), q(x)$ にたいして

$$(p, q) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} p(x)q(x)dx, \quad \|p\| = \sqrt{(p, p)}$$

と定める. 以下の問いに答えよ.

- (1) (p, q) は有限な値であること, 即ち広義積分 $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} p(x)q(x)dx$ は収束することを示せ.
- (2) 多項式の列 $\{\phi_m\}_{m \in \mathbb{N}}$ が

$$(\phi_l, \phi_m) = 0 \quad (l, m \in \mathbb{N}, l \neq m), \quad \|\phi_m\| = 1 \quad (m \in \mathbb{N})$$

をみたすとき, 任意の多項式 p と任意の自然数 N にたいして

$$\|p\|^2 = \sum_{m=1}^N |(p, \phi_m)|^2 + \left\| p - \sum_{m=1}^N (p, \phi_m) \phi_m \right\|^2$$

が成り立つことを示せ.

- (3) $\{\phi_m\}_{m \in \mathbb{N}}$ は (2) と同じものとする. このとき, 任意の多項式 p にたいして

$$\sum_{m=1}^{\infty} |(p, \phi_m)|^2 \leq \|p\|^2$$

が成り立つことを示せ.

数学 第3問

以下の問いに答えよ.

(1) 次の置換 σ を共通の数字を含まない巡回置換の積で表せ. また σ の位数を求めよ.

$$\sigma = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 3 & 4 & 6 & 2 & 5 & 1 \end{pmatrix}$$

(2) n, m, l は自然数とする. n 次対称群 S_n の元 σ が共通の数字を含まない巡回置換の積 $\sigma = \tau\rho$ と表されており, τ と ρ の長さがそれぞれ m と l であるとき, σ の位数は m と l の最小公倍数であることを示せ.

(3) 6次対称群 S_6 の位数3の元の個数を求めよ.

物質科学専攻 専門科目

物理第 1 問

図 1-1 に示すように、質量 m の 3 個の小球 1, 2, 3 が、質量の無視できる 2 個のバネ（バネ定数： k ）で連結されている系を考えよう。各小球は、並んでいる方向に沿って微小な振動を行うものとし、各小球の平衡位置からの変位をそれぞれ x_1, x_2, x_3 とする。また、 x の時間による一次微分、二次微分をそれぞれ \dot{x} および \ddot{x} のように表すことにする。

問 1 各小球の運動方程式を示せ。

問 2 この系の運動エネルギー T 、バネによるポテンシャルエネルギー U を示せ。また、ラグランジュ方程式から問 1 と同じ運動方程式が得られるが、その計算の過程を示せ。

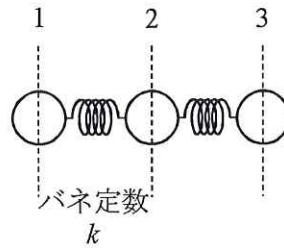


図 1-1

次に、結晶中の原子の振動について考えてみよう。問 1 のバネを用いたモデルと同様に、隣接する原子間には原子の変位の差に比例する力が働くものとする。図 1-2 のように、質量 M_1 と M_2 の 2 種類の原子が交互に $2N$ 個ならんでおり、1 次元鎖を形成している。奇数番目には M_1 が、偶数番目には M_2 が配置されており、隣接する原子間の間隔は a で、力の定数 C （バネ定数に相当）で結合している。また、各原子の平衡位置からの微小変位を $x_1, x_2, \dots, x_{2n-1}, x_{2n}, x_{2n+1}, \dots, x_{2N-1}, x_{2N}$ とする。

問 3 この系の運動エネルギー T 、原子間に働く力のポテンシャルエネルギー U を示せ。

問 4 $2n$ 番目および $2n+1$ 番目の原子について、それぞれ x_{2n} および x_{2n+1} に関する運動方程式を求めよ。ここで、 N は十分に大きな数で、両端の原子については考えなくてよい。

問5 この1次元鎖では原子が周期的に配列していることから、各原子の微小変位を

$$x_{2n} = X_2 \exp[i2naq]$$

$$x_{2n+1} = X_1 \exp[i(2n+1)aq]$$

とおく。ここで、 q は原子の振動による波（格子波）の波数ベクトルであり、 X_1 、 X_2 は時間に依存するものとする。これらの式を、問4で求めたそれぞれの運動方程式に代入し、また、次の関係式を用いて計算を行い、その結果の式を示せ。

$$2 \cos \theta = e^{i\theta} + e^{-i\theta}$$

問6 次に、各原子は固有振動数 ω で運動しているものとして、問5の式中の X_1 、 X_2 を $X_1 = X'_1 \exp(-i\omega t)$ 、 $X_2 = X'_2 \exp(-i\omega t)$ とおく。これらの式を、問5で求めた式に代入し、 X'_1 、 X'_2 がゼロでない解をもつために必要な行列式を求めよ。

問7 問6の行列式を解いて固有振動数を求めよ。ただし、 ω^2 を示せばよい。

問8 問7で求めた式は、固有振動数の2つの解、すなわち ω_+ （光学型モード）と ω_- （音響型モード）について、波数ベクトル q との関係（分散関係）を表している。 $M_1 < M_2$ として、 $q=0$ およびブリルアンゾーンの境界における ω_+ と ω_- の値を求めよ。

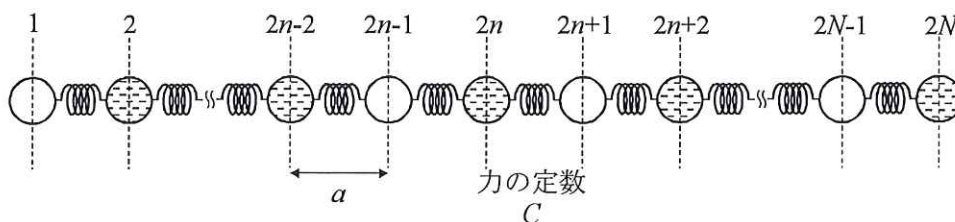


図1-2

物質科学専攻 専門科目

物理第2問

点電荷および電気双極子に関する以下の問いに答えよ。点電荷が置かれている xyz 直交座標は真空中にあるものとし、真空の誘電率を ϵ_0 、電位（静電ポテンシャル）は無有限遠方で 0 とする。座標の原点から位置ベクトル $\mathbf{r} = (x, y, z)$ で示される位置を点 R とする。

問 1 点 A(0, 0, d) に点電荷 q_0 を置く。ただし、 $d > 0$ である。

- (1) この点電荷による点 R での電場の大きさを求めよ。
- (2) 図 2-1 に示すように、 q_0 による電場の中、もう一つの点電荷 $-q_0$ を z 軸上の負の無限遠方から点 B(0, 0, -d) まで運ぶのに要する仕事を求めよ。
- (3) 2 点 A と B にそれぞれ置かれた q_0 と $-q_0$ の点電荷による点 R での電位 $\phi_0(\mathbf{r})$ を求めよ。
- (4) 無限遠方以外で、 $\phi_0(\mathbf{r}) = 0$ となる等電位面を式で示せ。
- (5) 原点から点 R までの距離 r に比べ d が十分小さいとき、点 A, B の 2 つの点電荷対は電気双極子とみなすことができる。このとき、問 1(3) で求めた $\phi_0(\mathbf{r})$ を d/r について 1 次までの正しきで近似せよ。ここで、 $2q_0d = p_0$ とせよ。 p_0 は、この電気双極子モーメント \mathbf{p}_0 の大きさである。
- (6) 一般に、電位 $\phi(\mathbf{r})$ と電場 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ の間には $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = -\nabla\phi(\mathbf{r})$ の関係が成り立つ。この関係と問 1(5) で得られた電位を用いて、 \mathbf{p}_0 によって点 R に生じる電場 $\mathbf{E}_0(\mathbf{r})$ が $\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) = \left(\frac{p_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{3xz}{r^5}, \frac{p_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{3yz}{r^5}, \frac{p_0}{4\pi\epsilon_0} \frac{3z^2 - r^2}{r^5} \right)$ となることを、計算の過程が分かるように示せ。ただし、 $\nabla\phi$ は ϕ の勾配を示す。

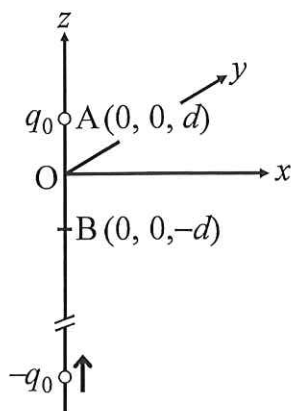


図 2-1

問2 $\delta\mathbf{r}$ を微小ベクトルとするとき、位置ベクトル $\mathbf{r} + \delta\mathbf{r}$ と $\mathbf{r} - \delta\mathbf{r}$ で表される位置にそれぞれ点電荷 Q 、 $-Q$ が置かれた電気双極子を考える。その電気双極子モーメントを $\mathbf{p} = 2Q\delta\mathbf{r}$ とする。

- (1) Q と $-Q$ がそれぞれ電場 $\mathbf{E}(\mathbf{r} + \delta\mathbf{r})$ と $\mathbf{E}(\mathbf{r} - \delta\mathbf{r})$ から受ける力をそれぞれ \mathbf{F}_+ 、 \mathbf{F}_- とする。 $|\mathbf{r}|$ に比べて $|\delta\mathbf{r}|$ が十分小さいことから、この電気双極子が受ける力 $\mathbf{F} = \mathbf{F}_+ + \mathbf{F}_-$ は $\mathbf{F} = (\mathbf{p} \cdot \nabla) \mathbf{E}(\mathbf{r})$ と近似できることを示せ。
- (2) 図2-2 (a)に示すように、原点に問1(5)の \mathbf{p}_0 を置く。点 $C(0, 0, z)$ に電気双極子モーメント $\mathbf{p}_1 = (0, 0, p_1)$ を置いたとき、 \mathbf{p}_0 によって作られる \mathbf{E}_0 から \mathbf{p}_1 が受ける力を求めよ。
- (3) 点 R にある \mathbf{p} が $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ から受ける力のモーメント \mathbf{N} は、 $\mathbf{N} = \mathbf{p} \times \mathbf{E}(\mathbf{r})$ で与えられる。図2-2 (b)に示すように、原点に問1(5)の \mathbf{p}_0 を置き、点 $D(x, 0, 0)$ に電気双極子モーメント $\mathbf{p}_2 = (p_2, 0, 0)$ を置いたとき、 \mathbf{p}_0 によって作られる \mathbf{E}_0 から \mathbf{p}_2 が受ける力のモーメントを求めよ。

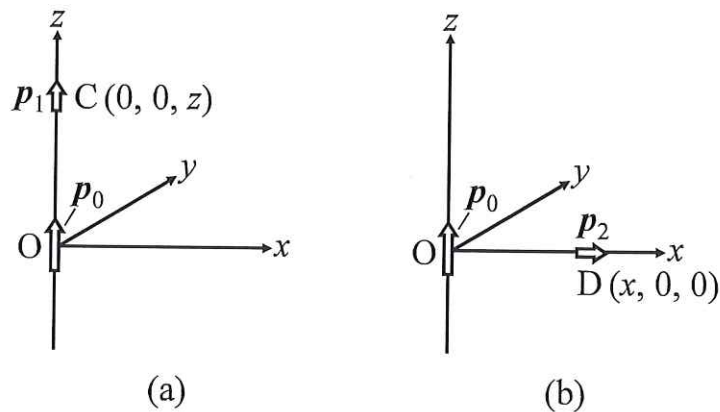


図2-2

物質科学専攻 専門科目

物理第3問

質量 m の粒子が x 軸上を 1 次元運動している。 \hbar をプランク定数を 2π で割った値として、以下の問いに答えよ。

問 1 時刻 t における粒子の波動関数を $\Psi(x, t)$ とする。

- (1) ポテンシャルを $V(x, t)$ と表したとき、 $\Psi(x, t)$ に対する時間に依存するシュレディンガー方程式を示せ。
- (2) ポテンシャルが時間に依存せず $V(x)$ と表されるとき、波動関数を $\Psi(x, t) = \phi(x)\chi(t)$ の形に書く。 $\phi(x)$ に対する定常状態のシュレディンガー方程式を示せ。ただし、エネルギー固有値は E とする。また、対応する $\chi(t)$ を示せ。

問 2 次に示すポテンシャル

$$V(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ V_0 & x \geq 0 \quad (V_0 > 0) \end{cases}$$

に対し、 $x = -\infty$ からエネルギー $E (> V_0)$ の粒子が入射し、 $x = 0$ で散乱されている状況を考える。

- (1) 入射波を e^{ikx} 、 $k = \sqrt{2mE/\hbar}$ として、 $x < 0$ 、 $x \geq 0$ 、それぞれの領域における波動関数 $\phi(x)$ を示せ。ただし、反射波、透過波の振幅をそれぞれ A 、 B とする。また、透過波の波数は k' として、その値を明記せよ。
- (2) A 、 B を k 、 k' を用いて示せ。
- (3) 入射波 ϕ_i 、反射波 ϕ_r 、透過波 ϕ_t 、それぞれに対する確率流れの密度を求めよ。ただし、 ϕ_η ($\eta = i, r, t$) に対する確率流れの密度 J_η は、

$$J_\eta = \frac{\hbar}{2im} \left(\phi_\eta^* \frac{\partial \phi_\eta}{\partial x} - \phi_\eta \frac{\partial \phi_\eta^*}{\partial x} \right)$$

とする。

- (4) $x = 0$ での散乱に対し、反射率 R 、透過率 T は、入射波に対する、反射波、透過波の確率流れの密度の大きさの比でそれぞれ与えられる。 R 、 T を k 、 k' を用いて示せ。

問3 次に、ポテンシャルを

$$V(x) = 0 \quad (-\infty < x < \infty)$$

とし、時刻 $t = 0$ における粒子の波動関数 Ψ が以下のように規格化された波束の形で与えられる場合を考える。

$$\Psi(x, t = 0) = \phi_0(x) = \frac{1}{(2\pi a^2)^{1/4}} e^{-x^2/4a^2} e^{ik_0 x} \quad (a > 0, k_0 \gg a^{-1})$$

(1) $\phi_0(x)$ のフーリエ変換,

$$\hat{\phi}_0(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ikx} \phi_0(x) dx$$

を求めよ。必要があれば以下の公式を用いてよい。実数 $\alpha > 0$ 、任意の複素数 β に対し、

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha(x+\beta)^2} dx = \sqrt{\pi/\alpha}$$

(2) 上記波束に対し運動量 p が、 $p = \hbar k$ から $p = \hbar(k + dk)$ に見い出される確率を確率密度 $P(k)$ を用いて $P(k)dk$ と表す。 $P(k)$ を示せ。

(3) 波束の時間発展は以下の式で記述される。問1(2)に注意し、 \boxed{A} の中に入る式を示せ。

$$\Psi(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{\phi}_0(k) e^{ikx} \boxed{A} dk$$

(4) 問3(3)の式を計算したところ、

$$\Psi(x, t) = \frac{1}{(2\pi a^2)^{1/4} (1 + i\xi t)^{1/2}} \exp \left[\frac{-x^2/4a^2 + i(k_0 x - \omega_0 t)}{1 + i\xi t} \right]$$

となった。ただし、 $\xi = \frac{\hbar}{2ma^2}$ 、 $\omega_0 = \frac{\hbar k_0^2}{2m}$ である。 $|\Psi(x, t)|^2$ を求めよ。また、その結果に基づき、波束の中心が運動する速度および波束の広がりの変化について述べよ。(ヒント：得られた $|\Psi(x, t)|^2$ の指数部の ξ 、 ω_0 を消去し整理する。)

物質科学専攻 専門科目

化学第 1 問

問 1 長さが a の、一次元の箱の中に閉じ込められた、質量 m の電子に関する以下の設問に答えよ。ただし、 $h(x)$, ϕ , ε , \hbar は、それぞれ一次元 (座標 x) の一電子ハミルトニアン, 固有関数, 固有エネルギー, 換算プランク定数を表す。

- (1) 電子がひとつだけ閉じ込められている場合を考える。シュレディンガー方程式

$$h(x)\phi(x) = \varepsilon\phi(x) \quad \text{①}$$

$$h(x) \equiv -\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2}{dx^2} \right) + V(x) \quad \text{②}$$

$$V(x) = 0 \quad (0 \leq x \leq a) \\ = +\infty \quad (x < 0; x > a) \quad \text{③}$$

を解き、固有エネルギーが $\varepsilon = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2ma^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) になることを示せ。量子数 n

に対応する規格化された固有関数 $\phi_n(x)$ の具体的な式を求めよ。

- (2) l 個の電子が箱の中に入っているときのハミルトニアンは

$$H(x_1, x_2, \dots, x_l) \equiv h(x_1) + h(x_2) + \dots + h(x_l) + \boxed{\text{(ア)}} \quad \text{④}$$

である。ただし x_i は電子 i の位置である。(ア) の項は何を意味するか。真空の誘電率を ε_0 , 電子の電荷を e として、この項を具体的な式で表せ。

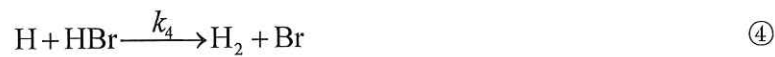
- (3) 設問(2)の (ア) の項を無視すれば、式④のシュレディンガー方程式は簡単に解くことができる。 $l=4$ の場合について、基底状態の全電子エネルギー E と全電子波動関数 Ψ を求めよ。ただし、波動関数の記載に関しては、電子 i に関する、量子数 n の軌道部分の波動関数を $\phi_n(x_i)$, スピン固有関数を α_i または β_i とする記法を用いよ。

- (4) 上記のモデルを用いて、鎖状ポリエン $\text{H}-(\text{CH}=\text{CH})_k\text{H}$ の π 電子軌道エネルギーを推定する。モデルを適用するために、共役鎖の結合長 p がすべて等しい

とし、鎖状ポリエンの長さ ($2k \times p$) が一次元の箱の長さ a と等しいとみなす。
この仮定の下で、鎖状ポリエン $\text{H}-(\text{CH}=\text{CH}-)_k\text{H}$ の、基底状態にある π 電子の最低電子励起エネルギーを求めよ。

問 2

臭化水素を生成する反応は、以下の素反応による連鎖反応として知られている。



Br および H の濃度が極めて小さく、これらに関して、定常状態近似が使えると仮定して、HBr の生成速度 ($d[\text{HBr}]/dt$) を、 $[\text{Br}_2]$, $[\text{H}_2]$, $[\text{HBr}]$ を用いた式として示せ。ただし $[A]$ は、A のモル濃度を表す。

物質科学専攻 専門科目

化学第 2 問

必要に応じて導出過程および計算過程を示せ。解答は有効数字を 2 桁, pH の表記を小数点第一位までとする。log2 = 0.30, log 3 = 0.48, log5 = 0.70 および log7 = 0.85 とする。ただし, [A]は, A のモル濃度を表す。

問 1. 濃度 C_H の酢酸 (CH_3COOH) 水溶液がある。次の問いに答えなさい。酢酸の酸解離定数 $\text{p}K_a = 4.8$ ($K_a = 1.6 \times 10^{-5}$) とする。水のイオン積 K_w を $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$, 各イオンの活量係数を 1.0 とする。

- (1) ギ酸の酸解離定数 $\text{p}K_a$ は 3.8 である。酢酸とギ酸どちらが強酸か答えよ。その理由も示せ。
- (2) 酢酸水溶液の物質収支式と電荷収支式を示せ。
- (3) 正確な H^+ 濃度を表すことができる $[\text{H}^+]$ の方程式を導け。
- (4) C_H が 0.010 mol L^{-1} の場合, この酢酸水溶液の pH を求めよ。
- (5) この酢酸水溶液に, 酢酸ナトリウムを加えた。このときの酢酸ナトリウムの濃度 C_{Na} が, $C_{\text{Na}} = C_H \gg [\text{H}^+]$ を満たす場合, この混合溶液の pH は, K_a に等しい。このことをこの混合溶液の物質収支式および電荷収支式を利用して説明せよ。

問 2. 鉄および鉄の化合物について, 以下の問いに答えなさい。鉄の原子番号: 26, 鉄の原子量: 55.8, アボガドロ数: 6.0×10^{23} , 鉄の格子定数: 2.9 \AA ($1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$)

- (1) 金属鉄は, 室温, 常圧において体心立方格子構造である。1 L (1000 cm^3) の金属鉄に含まれる原子の数を求めよ。
- (2) Na 原子の電子配置は, Na: $(1s)^2(2s)^2(2p)^6(3s)^1$ と示すことができる。Fe 原子の電子配置を同様に示せ。

(3) $K_4[Fe(CN)_6]$ の錯体の名称を鉄イオンの酸化数がわかるように答えよ。

(4) Fe^{2+} は1, 10-フェナントロリン (phen) と以下の反応によりトリス (1, 10-フェナントロリン) 鉄 (II) 錯体を形成 ($Fe^{2+} + 3phen \rightleftharpoons [Fe(phen)_3]^{2+}$) し赤色に呈色するため、吸光光度法によって定量ができる。この全生成定数 (全安定度定数) β_3 は、

$$\beta_3 = \frac{[[Fe(phen)_3]^{2+}]}{[Fe^{2+}][phen]^3} = 10^{21}$$

である。いま、phen の初期濃度が Fe^{2+} の初期濃度の 4 倍であることがわかっている。 Fe^{2+} の初期濃度を a mol/L としたとき、平衡に達した際の Fe^{2+} の濃度を、 a を用いて表せ。平衡に達した際に、わずかな Fe^{2+} が存在する と考えるとよい。

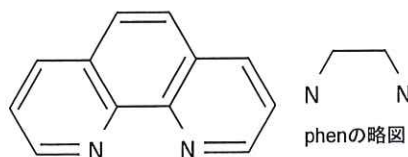
(5) 吸光光度測定において、吸光度 A が 1.0 のとき、入射光の何%が吸収されたか答えよ。吸光度 A は、次式で表される。

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

ここで、 I_0 は入射光強度、 I は透過光強度、 ϵ はモル吸光係数 ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)、 b は光路長 (cm)、および c は濃度 (mol L^{-1}) である。

(6) (a) 光路長を 2 倍にした場合、および (b) 入射光強度を 2 倍にした場合の吸光度は、それぞれ元の吸光度の何倍になるかを答えよ。

(7) $[Fe(phen)_3]^{2+}$ の構造を示せ。phen の構造式は右図の通りである。構造を示す際に、右図に示す phen の略図を使用してよい。異性体が存在する場合は、すべて示すこと。

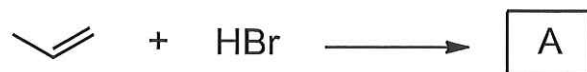


(8) $[Fe(phen)_3]^{2+}$ が強く呈色する理由を説明せよ。

物質科学専攻 専門科目

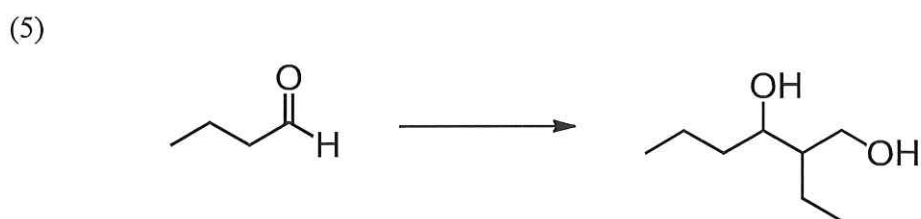
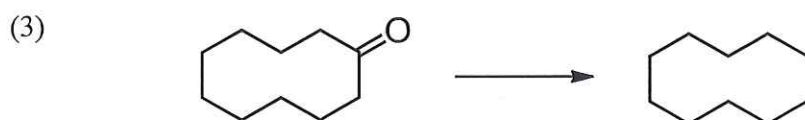
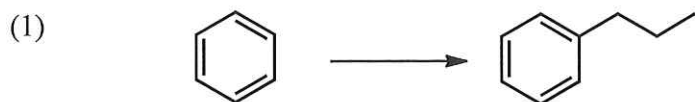
化学第 3 問

問 1. プロペンへの臭化水素付加反応について、(1)~(4)の問いに答えよ。



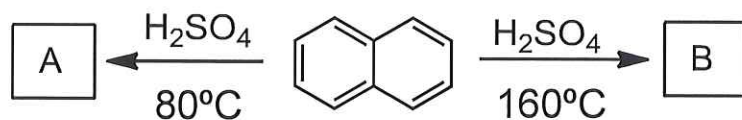
- (1) 上記の反応では、化合物 A が主生成物として得られる。化合物 A の構造を示し、名称を IUPAC 命名法に従って記せ。
- (2) プロペンと臭化水素から化合物 A が生成する反応機構を、電子の移動がわかるように、矢印を用いて記せ。
- (3) プロペンと臭化水素の反応に過酸化物を添加すると、化合物 A ではなく異性体 B が主生成物として生成する。異性体 B の構造を示し、名称を IUPAC 命名法に従って記せ。
- (4) プロペンへの臭化水素付加反応に過酸化物を添加すると、主生成物として異性体 B が生成する理由を、過酸化物を $\text{R}\cdot\text{O}\cdot\text{O}\cdot\text{R}$ として反応機構を示しながら述べよ。

問2. 次に示した(1)から(5)の各出発原料から最終生成物を合成したい。最も適切と思われる合成法を、途中の段階や反応剤を示しながら順を追って示せ。ただし、(1)から(5)の合成は一段階で最終生成物が得られるとは限らない。



問3. ナフタレンについて以下の間に答えよ。

(1) ナフタレンと硫酸の反応は、反応温度により異なる主生成物 A と B を与える。化合物 A と B の構造を示し、反応温度により生成物が異なる理由を述べよ。



(2) 金属触媒存在下、ナフタレンの水素化反応を高圧で行うと化合物 C と D が得られた。化合物 C と D の質量分析の分子イオンピークはどちらも $m/z = 138$ であり、ジアステレオマーの関係にある。化合物 C と D の重クロロホルム中における、 $^1\text{H-NMR}$ および $^{13}\text{C-NMR}$ スペクトルのケミカルシフト値を下記に示す。化合物 C と D の構造を立体化学がわかるように示せ。

化合物 C

$^1\text{H-NMR}$: 1.673, 1.545, 1.231, 0.93, 0.87 ppm

$^{13}\text{C-NMR}$: 26.83, 34.29, 43.62 ppm

化合物 D

$^1\text{H-NMR}$: 1.65, 1.52, 1.31 ppm

$^{13}\text{C-NMR}$: 24.29, 29.44, 36.50 ppm

(3) ナフタレンに臭素を反応させると、2位の臭素化と比較して1位の臭素化が優先的に進行する。この理由を、反応中間体の共鳴構造を用いて説明せよ。