

平成18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 専門科目

(平成17年8月30日 14:00~17:00)

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、相関基礎科学系を第一志望とする受験者のためのものである。
2. 本冊子の本文は27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7問  | 化学(2) | ○ ○ ○ ○ | No.○○○○ |

6. 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。
7. 試験の開始後は、中途退場を認めない。
8. 本冊子、解答用紙及び草稿用紙は持ち帰ってはならない。
9. 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 專門科目

### 目 次

|      |              |         |
|------|--------------|---------|
| 第1問  | 数学           | 1 ~ 2   |
| 第2問  | 物理学 (1)      | 3       |
| 第3問  | 物理学 (2)      | 4       |
| 第4問  | 物理学 (3)      | 5 ~ 6   |
| 第5問  | 物理学 (4)      | 7 ~ 8   |
| 第6問  | 化学 (1)       | 9 ~ 10  |
| 第7問  | 化学 (2)       | 11 ~ 12 |
| 第8問  | 化学 (3)       | 13 ~ 14 |
| 第9問  | 化学 (4)       | 15 ~ 21 |
| 第10問 | 科学史・科学哲学 (1) | 22      |
| 第11問 | 科学史・科学哲学 (2) | 23      |
| 第12問 | 科学史・科学哲学 (3) | 24      |
| 第13問 | 科学史・科学哲学 (4) | 25      |
| 第14問 | 生物学          | 26      |
| 第15問 | 宇宙地球科学       | 27      |

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第1問 数学 その1

A または B のどちらか1題を選択し、それに解答せよ。

- A、B のどちらを選択したかを明示すること。
- 複数を選択した場合は、無効とする。

なお、必要ならばガウス積分  $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx = \sqrt{\pi}$  を用いてよい。

A (選択問題)

次の関係式を満たす  $D$  個の  $N \times N$  行列  $\gamma_m$  ( $m=1 \sim D$ ) について以下の問に答えよ。

(\*)  $\gamma_m \gamma_n + \gamma_n \gamma_m = 2\delta_{mn} \mathbf{1}$ , ( $\delta_{mn}$  はクロネッカーのデルタ、 $\mathbf{1}$  は単位行列を表す)。

- (1)  $N = 2, D = 3$  のとき、(\*) を満たす  $\gamma_m$  を求めよ。
- (2) 問(1) で求めた  $\gamma_m$  の組は一意であるかどうか論ぜよ。
- (3)  $N = 2, D = 4$  のとき、(\*) を満たす  $\gamma_m$  が存在しないことを証明せよ。
- (4) 任意の  $D$  に対して、適当な  $N$  をとると(\*) を満たす  $\gamma_m$  が必ず存在することが知られている。今  $D = 2d =$  偶数の場合を考え、 $a$  を定数として、 $\bar{\gamma} \equiv a\gamma_1\gamma_2 \cdots \gamma_{2d}$  と定義する。このとき  $\bar{\gamma}\gamma_m + \gamma_m\bar{\gamma} = 0$  が成り立つことを示し、さらに  $\bar{\gamma}^2 = 1$  となるような  $a$  の値を求めよ。
- (5) 問4の  $\bar{\gamma}$  に対して、 $k$  が奇数であるならば必ず

$$\text{Tr}(\bar{\gamma}\gamma_{m_1}\gamma_{m_2} \cdots \gamma_{m_k}) = 0$$

となることを示せ。(Tr は行列のトレースを表す。)

- (6)  $A, B$  を  $A^2 \neq B^2$  であるような定数、 $u_m$  を単位ベクトル ( $\sum_m u_m u_m = 1$ ) として、

$$Z \equiv A\mathbf{1} + B \sum_m u_m \gamma_m$$

なる行列を考える。このとき

- (a)  $Z^2$  を求めよ。
- (b)  $Z$  の逆行列  $Z^{-1}$  を求めよ。
- (c)  $W^2 = Z$  となるような行列  $W$  を求めよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第1問 数学 その2

B (選択問題)

以下の複素積分で与えられる  $n$  次の多項式  $H_n(x)$  がある。

$$H_n(x) = \frac{n!}{2\pi i} \oint du \frac{1}{u^{n+1}} e^{-\frac{1}{2}u^2 + xu}.$$

積分経路は  $u = 0$  の点を反時計方向に一周するものとする。この多項式について以下の設問に答えよ。

(1) この多項式  $H_n(x)$  が以下の直交条件を満たすことを示せ。但し、 $\delta_{nm}$  はクロネッカーのデルタ。

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx H_n(x) H_m(x) e^{-\frac{1}{2}x^2} = \sqrt{2\pi n!} \delta_{nm}.$$

(2)  $H_0(x) = 1, H_1(x) = x$  であることを示せ。また、 $n \geq 2$  ならば  $H_n(x)$  は以下の式を満たすことを示せ。

$$H_n(x) = xH_{n-1}(x) - (n-1)H_{n-2}(x).$$

(3) この多項式  $H_n(x)$  が次の微分方程式を満たすことを示せ。

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} - x\frac{d}{dx} + n\right)H_n(x) = 0.$$

(4) この多項式  $H_n(x)$  が実積分で次の様に表されることを示せ。

$$H_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} dt (it)^n e^{-\frac{1}{2}t^2 - itx + \frac{1}{2}x^2}.$$

(5) 次の式が成り立つことを示せ。上の積分表示を必要ならば使用しても良い。

$$\frac{d}{dx} \left( \sum_{n=0}^{N-1} \frac{H_n(x)H_n(x)}{n!} e^{-\frac{1}{2}x^2} \right) = -\frac{1}{(N-1)!} H_{N-1}(x)H_N(x) e^{-\frac{1}{2}x^2}.$$

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第2問 物理学 (1)

深い1次元井戸型ポテンシャル中の電子(質量  $m$ , 電荷  $-e$ )を考えよう。即ち,  $0 < x < a$  でのポテンシャルエネルギーは0, 一方  $x \leq 0$  および  $x \geq a$  でのポテンシャルエネルギーは無窮大とみなせるものとする。なお, 以下で必要であればプランク定数  $h$  またはそれを  $2\pi$  で割った  $\hbar = h/2\pi$  を用いて解答を記せ。

1. ハミルトニアン固有状態のエネルギー  $E_n$  と, 時間に依存する波動関数  $\phi_n(x, t)$  を求めよ。ここで,  $n$  は固有エネルギーが低いほうから  $n = 1, 2, 3, \dots$  と付けた番号である。

2. 井戸中に閉じ込められた電子は井戸の壁に力を及ぼす。基底状態 ( $n = 1$ ) に電子が1個ある場合, この電子が  $x = a$  にある壁に及ぼす力を求めよ。ヒント: 力を受けている壁を仮想的に動かすときの仕事とエネルギー変化を考えよ。

3. 同じエネルギー  $E_1$  の電子が古典力学に従うと仮定しよう。この場合に電子が壁に及ぼす単位時間当たりの平均力積を求め, 設問2の結果と比較せよ。

4. 基底状態にある電子に対して, 時間的に変動する摂動を加えると, 電子を励起することができる。摂動を表すハミルトニアン  $H'$  が時間依存の部分と空間依存の部分に分離でき,  $H' = \lambda(t)G(x)$  と書ける場合を考えよう。摂動が働いているときの電子の波動関数は摂動が働いていないときの固有関数  $\phi_n(x, t)$  の線形結合で次式のように表すことができる。

$$\psi(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n(t) \phi_n(x, t).$$

一次摂動の範囲で展開係数  $a_n(t)$  が満たす方程式を求めよ。

以後の設問(5-7)は摂動が  $x$  方向の弱い交流電場

$$E(t) = F_0 \sin \omega t$$

で  $0 \leq t \leq 2\pi/\omega$  の間だけ働く場合について答えよ。

5.  $\lambda(t) = eE(t)$ ,  $G(x) = x$  と置き, 時刻  $t = 0$  での固有関数  $\phi_n(x, 0)$  による  $G(x)$  の  $m$  行  $n$  列目の行列要素を  $G_{m,n}$  と記す。  $G_{m,n} = 0$  となる  $m, n$  の組み合わせを調べよ。なお, 設問6と7でこの行列要素が現れる場合, 具体的な形ではなく,  $G_{m,n}$  のままで式を記せ。

6.  $\hbar\omega \neq E_n - E_1$  の場合に, 一次摂動の範囲で  $t \geq 2\pi/\omega$  での  $a_n(t)$  を計算せよ。但し,  $a_1(t)$  は計算しなくてよい。

7.  $\hbar\omega = E_2 - E_1$  の場合に,  $t \geq 2\pi/\omega$  で電子が  $n = 2$  の状態に見つかる確率を一次摂動の範囲で求めよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第3問 物理学(2)

1辺の長さ  $L$  の立方体の容器に、温度  $T$  の水と  $N$  個の区別できない球状コロイド粒子が閉じ込められている。 $i$  番目のコロイド粒子の重心座標を  $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i, z_i)$  と記す。ただし、 $-L/2 \leq x_i, y_i, z_i \leq L/2$  となるように座標系を選ぶ。2個のコロイド粒子に働く有効的な相互作用は、粒子間距離  $r$  の関数として決まる相互作用ポテンシャル  $\phi(r)$  で与えられる。ここで、 $\phi(r)$  は長さ  $\xi$  を超えるとすみやかに0になるものとし、 $\xi \ll L$  を満たす。水とコロイドの相互作用の効果は全て  $\phi(r)$  にとりこまれているとする。また、重力の効果は無視できるとする。このとき、コロイド粒子系の統計的性質は、ハミルトニアンを

$$H(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1; j \neq i}^N \phi(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|)$$

とするカノニカル分布によって導かれることが知られている。各コロイド粒子は、溶媒中をくまなく移動できるものとし、以下の設問に答えよ。ただし、ボルツマン定数を  $k_B$ 、 $\beta = 1/(k_B T)$  と記す。

1.  $N$  個の粒子の位置の分布関数  $P(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N)$  を  $H(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N)$  を使って表せ。(結果だけでよい。)

2.  $x \leq 0$  の領域  $\Lambda_-$  にコロイド粒子が  $N_1$  個、 $x > 0$  の領域  $\Lambda_+$  にコロイド粒子が  $N - N_1$  個含まれる確率を  $P(N_1)$  とする。 $N$  が十分大きいとき、 $P(N_1)$  の  $N_1$  に関するもっとも強い依存性をとりだすと、

$$P(N_1) \simeq e^{-\frac{(N_1 - N_*)^2}{2\chi}} \quad (1)$$

と書ける。 $N_*$  の値、および、 $\chi$  の  $N$  依存性を示せ。(結果だけでよい。)

3. このコロイド粒子系の分配関数  $Z(T, V, N)$  は、

$$Z(T, V, N) \equiv \frac{1}{N!} \int_{\Lambda} d^3\mathbf{r}_1 \cdots \int_{\Lambda} d^3\mathbf{r}_N e^{-\beta H(\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N)} \quad (2)$$

と書くことができる。ここで、 $V$  は積分領域  $\Lambda$  の体積を表す。コロイド粒子系のヘルムホルツの自由エネルギーを  $F(T, V, N)$  と記すとき、 $F(T, V, N)$  を  $Z(T, V, N)$  で表せ。(結果だけでよい。)

4. (1) 式における  $\chi$  を求めるには、近似式

$$P(N_1) \simeq \frac{Z(T, V/2, N_1) Z(T, V/2, N - N_1)}{Z(T, V, N)} \quad (3)$$

が十分に有効である。近似の有効性の根拠に言及しながら、この表現を導出せよ。

5. (1) 式における  $\chi$  をコロイド粒子系の自由エネルギー  $F(T, V, N)$  によって表せ。

6. 近年、レーザーを用いて、各々のコロイド粒子に独立に作用するポテンシャル場を制御できるようになった。具体的に、 $x < 0$  に対して  $V_{\text{ext}}(\mathbf{r}) = u$ 、 $x > 0$  に対して  $V_{\text{ext}}(\mathbf{r}) = 0$  となるポテンシャル場を作用させる。この条件下で、領域  $x \leq 0$  にコロイド粒子が  $N_1$  個含まれる確率を  $P_u(N_1)$  と書く。 $u$  が十分小さいとして、 $P_u(N_1)/P_0(N_1)$  を  $u$  の1次の寄与まで求めよ。

7. 前問の  $P_u(N_1)$  をグラフにかくと、 $N_1 = \tilde{N}_*(u)$  でピークをもつ。 $\chi$  を用いて、 $\left. \frac{d\tilde{N}_*(u)}{du} \right|_{u=0}$  を表せ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第4問 物理学(3) その1

物質中の伝導電子(質量  $m$ , 電荷  $-e$ )の振る舞いを記述するもっとも簡単なものとして、自由電子モデルがある。そこで、自由電子を古典力学で扱うモデルを考える。これについて、以下の設問に解答せよ。ただし、物質の透磁率  $\mu$  は、真空のそれ( $\mu_0$ )に等しいとみなせるとする。

1. 直流電場  $E$  がかけられたとき、電子の速度を  $v$  として、 $v$  が満たす運動方程式を書き下せ。ただし、電子は、不純物などで散乱された結果、緩和時間  $\tau$  で表される、速度に比例する抵抗力を受けるとする。
2. 定常状態での速度を求めよ。
3. 電流密度  $j$  は、電気伝導度  $\sigma_0$  を用いて、

$$j = \sigma_0 E \quad (1)$$

と書ける。単位体積あたりの自由電子数を  $n$  とするとき、 $\sigma_0$  を求めよ。

4. 超伝導体は、電気抵抗ゼロと完全反磁性という性質を示す。ロンドンは、超伝導電子(超流体)に対して次の方程式を導入することで、この現象を説明することに成功した。すなわち、電流密度を  $j$ 、電場を  $E$ 、磁場を  $B$  として、

$$\frac{\partial}{\partial t}(\Lambda j) = \frac{1}{\mu_0} E, \quad (2)$$

$$-\text{rot}(\Lambda j) = \frac{1}{\mu_0} B \quad (3)$$

を導入した。ここで、 $\Lambda$  は定数である。設問1でたてた運動方程式をゼロ抵抗の粒子に適用し、それと(2)式とを見比べることにより、

$$\Lambda = \frac{m}{\mu_0 n e^2} \quad (4)$$

であることを示せ。

5. ベクトルポテンシャル  $A$  で電流密度  $j$  を

$$j = -\frac{1}{\mu_0 \Lambda} A \quad (5)$$

のように表したものは、(2)式、(3)式を満たすことを示せ。ただし、電磁ポテンシャルのゲージは、スカラーポテンシャル  $\phi$  に関して、 $\phi=0$  のものを用いるものとする。

6. 有限温度での超伝導体の交流電磁場に対する応答を考えよう。この場合、物質中には、超伝導電子と、超伝導でない電子(常伝導の電子)の2種類が存在すると考えることができる。それぞれによる電流密度を  $j_S$ 、 $j_N$  としよう。全電流密度  $j$  は、 $j_S$  と  $j_N$  の和で表される。すなわち、

$$j = j_N + j_S \quad (6)$$

である。 $j_N$  は(1)式で表され、一方  $j_S$  は(5)式のように表されるとする。このとき、交流電場

$$E = E_0 \exp(-i\omega t) \exp(iq \cdot r) \quad (E_0 \perp q) \quad (7)$$

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第4問 物理学(3) その2

を仮定して、マクスウェル方程式に代入することにより、 $\omega$  と  $q$  の関係(分散関係)が、以下のように与えられることを示せ。

$$q^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon - \frac{1}{\Lambda} + i\omega \mu_0 \sigma_0, \quad (8)$$

ただし、 $\epsilon$  は物質の誘電率である。

7. 電磁波の角振動数  $\omega$  が  $1/\tau$  に比べて十分小さい場合、設問6で求めた分散関係はどのように単純化されるか? また、その結果を物理的に述べよ。

8. 設問7同様、 $\omega$  が  $1/\tau$  に比べて十分小さい場合、電磁波の伝播の様子を、 $\omega$  の関数として論ぜよ。



平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第5問 物理学(4) その1

地表での重力加速度  $g$  を測定する一つの方法としてケーターの可逆振子を使う測定法がある。図1はケーターの可逆振子を模式的に描いたものであり、Aを通る紙面に垂直な軸の周りで振動する剛体振子となっている。また、振子の上下をひっくり返してBを通る紙面に垂直な軸の周りで振動する剛体振子とすることもできる。振子全体の質量を  $M$ 、重心  $G$  を通り紙面に垂直な軸周りの慣性モーメントを  $I_G$ 、重心からAおよびBまでの長さを  $h_A$  および  $h_B$  として以下の問いに答えよ。

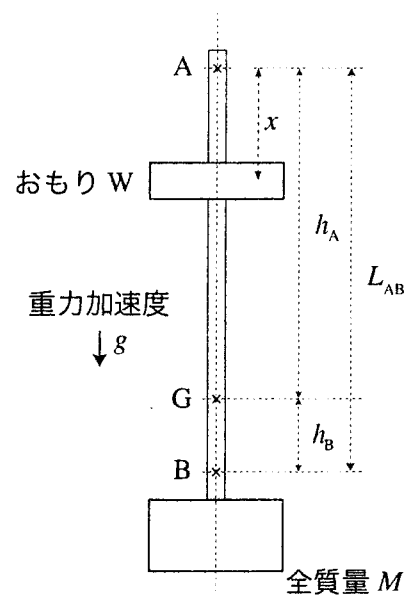


図1

1. Aを通る軸の周りで単振動と見なせるような微小な振動をさせるとき、その振動の周期  $T_A$  は、

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{(I_G/M) + h_A^2}{gh_A}}$$

となることを示せ。

2. おもり  $W$  の位置  $x$  を動かすと、 $I_G$ 、 $h_A$ 、 $h_B$  が変化するため、ある位置で、Bを通る軸の周りの振動周期  $T_B$  を  $T_A$  と等しくすることができる。そのときの振子の周期を  $T_0$  としたとき、重力加速度は  $g = 4\pi^2 L_{AB} / T_0^2$  として求められることを示せ。ここで  $L_{AB}$  は AB 間の長さ、 $L_{AB} = h_A + h_B$  である。

図1のケーターの可逆振子では、おもり  $W$  の位置  $x$  に対して振動の周期  $T_A$  と  $T_B$  は図2のように変化し、両者は二カ所で交差する。実験的にこの交点を正確に決定するのは難しいため、交点のそばの2点 ( $x_1$ ,  $x_2$ ) を選び、そこでの周期を測定する。 $x_1$  と  $x_2$  の間では、 $T_A$  や  $T_B$  は直線的に変化すると仮定して、測定値から  $T_0$  を求めることにする。このときの  $x_1$ 、 $x_2$  に対する  $T_A$ 、 $T_B$  の測定結果は下表のようになった。ここで、表中の記号  $T_{A1}$ 、 $T_{A2}$ 、 $T_{B1}$ 、 $T_{B2}$  は測定値の平均値を、 $\delta T_{A1}$ 、 $\delta T_{A2}$ 、 $\delta T_{B1}$ 、 $\delta T_{B2}$  は測定値の標準偏差(不確かさ)表している。

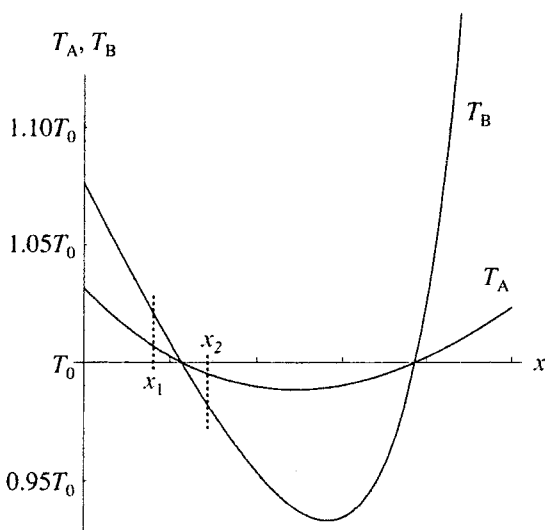


図2

|                | $x_1$                          |                                | $x_2$                          |                                |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                | $T_A$ [s]                      | $T_B$ [s]                      | $T_A$ [s]                      | $T_B$ [s]                      |
|                | 1.994                          | 2.002                          | 1.983                          | 1.972                          |
|                | 1.993                          | 2.002                          | 1.985                          | 1.977                          |
|                | 1.999                          | 2.001                          | 1.978                          | 1.980                          |
|                | 1.994                          | 2.003                          | 1.982                          | 1.974                          |
|                | 1.998                          | 2.002                          | 1.983                          | 1.975                          |
| 平均値            | 1.9956<br>(= $T_{A1}$ )        | 2.0020<br>(= $T_{B1}$ )        | 1.9822<br>(= $T_{A2}$ )        | 1.9756<br>(= $T_{B2}$ )        |
| 標準偏差<br>(不確かさ) | 0.0027<br>(= $\delta T_{A1}$ ) | 0.0007<br>(= $\delta T_{B1}$ ) | 0.0026<br>(= $\delta T_{A2}$ ) | 0.0030<br>(= $\delta T_{B2}$ ) |

平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第5問 物理学(4) その2

3. 周期 $T_0$ を $T_{A1}$ ,  $T_{A2}$ ,  $T_{B1}$ ,  $T_{B2}$ を使って表せ。また、周期 $T_0$ の不確かさ $\delta T_0$ を測定値の標準偏差( $\delta T_{A1}$ ,  $\delta T_{A2}$ ,  $\delta T_{B1}$ ,  $\delta T_{B2}$ )から見積もるには、どのような計算を行えばよいか。 $\delta T_0$ を見積もるための計算式を示せ。計算式を示すだけでよく、最後まで計算する必要はない。
4. 別の測定から AB 間の長さ $L_{AB}$ とその不確かさ $\delta L_{AB}$ が求まっている。これらの測定から見積もられる重力加速度の不確かさ $\delta g$ を $L_{AB}$ ,  $T_0$ ,  $\delta L_{AB}$ ,  $\delta T_0$ を使って表せ。

実験的に得られる物理量の不確かさは、測定値の統計分布に起因する A タイプの不確かさ(統計誤差)と、それ以外の理由による B タイプの不確かさ(系統誤差など)に分けられる。たとえば振子の周期測定の場合、測定値のばらつきは物理量(ここでは重力加速度)に A タイプの不確かさを与える。一方、測定に用いる時計の不正確さ(仕様書等に記載されている)は物理量に B タイプの不確かさを与える。また、測定値から物理量を導く際に用いる計算式の不正確さも、物理量に B タイプの不確かさを与える要因となる。

5. 上のケータの可逆振子を使った重力加速度の測定において、B タイプの不確かさを与える要因としてどのようなものが考えられるか。時計の不正確さ以外の要因を二つ挙げよ。
6. 5.で挙げた B タイプの不確かさを小さくするための対策を、それぞれについて記述せよ。

おもりを吊している糸の長さが $L$ の単振り子でも、その周期 $T_0$ を測定すれば重力加速度を $g = 4\pi^2 L / T_0^2$ として求めることができる。しかし同じ規模の実験を行った場合、つまり $L_{AB} \approx L$ の場合、ケータの可逆振子の方がより正確に重力加速度を求めることができる。

7. なぜケータの可逆振子の方が正確な重力加速度を求められるのか、考えられる理由を二つ挙げよ。
8. 地表での重力加速度は上記のような振子の等時性を利用する方法以外にもいくつか考えられる。
  - (i) 振子の等時性を利用する方法以外で地表での重力加速度を求める方法を、図と数式を用いて説明せよ。
  - (ii) (i)の方法での測定結果の不確かさを与える要因を三つ挙げよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第6問 化学(1) その1

図1は、水素原子2個を含む分子  $AH_2$  の分子軌道のうち、構成原子の価電子が収容されるべき分子軌道とそのエネルギー準位を模式的に示したものである。図の左側には直線形の構造(linear形)をもつ  $AH_2$ 、右側には曲がった構造(bent形)をもつ  $AH_2$  のエネルギー準位と軌道の形が示されており、分子の形が変化すると軌道の形やエネルギー準位がどのように変化するかを描かれている。図1は、 $CH_2$  ラジカル、 $H_2O$ 、 $H_2S$  分子などに適用することができる。これに関して以下の設問に答えよ。

なお、論述による解答は、わかり易い文章で明瞭に記述すること。

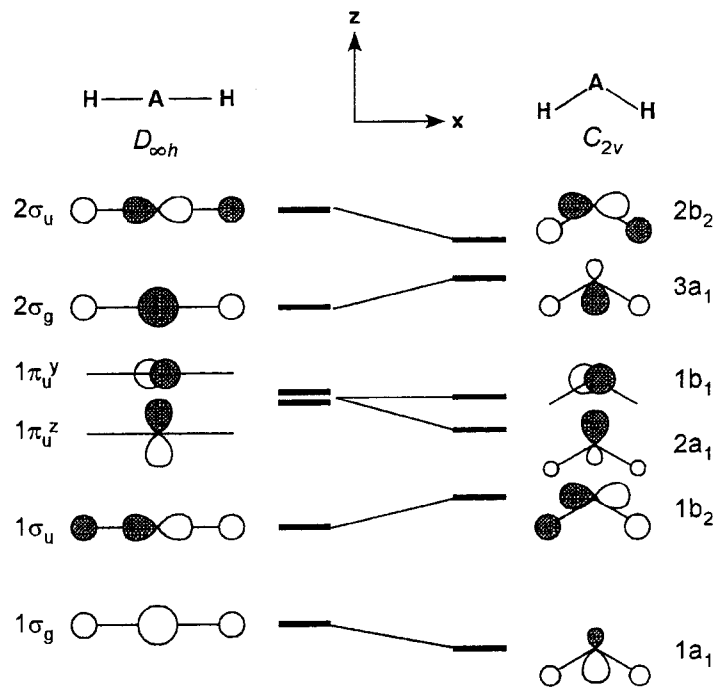


図1. linear形  $AH_2$  分子と bent形  $AH_2$  分子の分子軌道とエネルギー準位の関係図。各軌道にはそれぞれの構造がもつ対称性に従って名称が付けられている。

- $H_2O$  分子は結合角  $\angle H-O-H = 104.5^\circ$  の bent 形の平衡構造をもつ。図1の右側に示した bent 形  $AH_2$  分子の軌道の名称を用いて、 $H_2O$  の電子配置を  $(1a_1)^2(1b_2)^2\dots$  のように記せ。
- 図2は  $H_2O$  分子の光電子スペクトルである。光電子バンド A は、 $H_2O$  分子の光電子スペクトル中で最も低エネルギーに現れるバンドである。この光電子バンド A と比較して、光電子

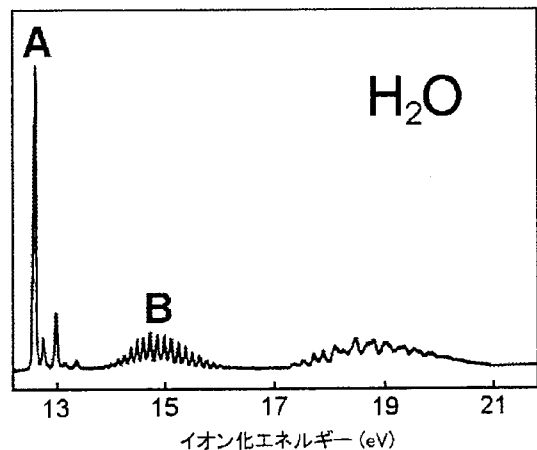


図2.  $H_2O$  分子の光電子スペクトル

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第6問 化学(1) その2

バンド B に顕著な振動構造が現れる理由を、図1を参考にしながら分子軌道の立場から説明せよ。

- 図1に示すように、linear形  $AH_2$  分子の  $1\sigma_u$  軌道は linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化に伴って  $1b_2$  軌道となり、軌道エネルギーが上昇する。一方、 $2\sigma_u$  軌道は  $2b_2$  軌道となって軌道エネルギーが低下する。linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化によって、何故、 $1\sigma_u$  軌道、 $2\sigma_u$  軌道の軌道エネルギーがこのように変化するかを、分子軌道を構成している原子軌道の重なり合いの観点から説明せよ。
- linear形  $AH_2$  分子の  $1\pi_u^z$  軌道(z方向を向いた  $1\pi_u$  軌道)と  $2\sigma_g$  軌道では、linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化に伴って、前問3.の場合とは異なる要因によって分子軌道の形と軌道エネルギーが変化する。図3を参考にしながら、linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化により、 $1\pi_u^z$  軌道と  $2\sigma_g$  軌道が  $2a_1$  軌道、 $3a_1$  軌道のようになり、それぞれの軌道エネルギーが図3に示すように変化する理由を述べよ。

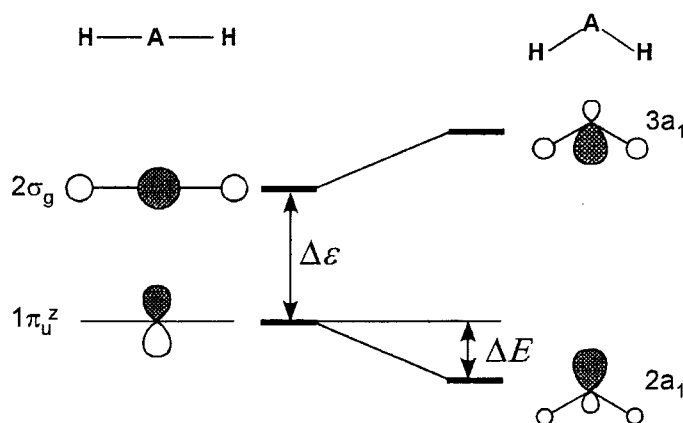


図3. linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化に伴う  $1\pi_u^z$  軌道、 $2\sigma_g$  軌道  $\rightarrow$   $2a_1$  軌道、 $3a_1$  軌道への変化。

- より定量的な考察を行うと、linear形  $\rightarrow$  bent形の構造変化による  $1\pi_u^z$  軌道  $\rightarrow$   $2a_1$  軌道のエネルギー低下は次式のように書くことができる。

$$\Delta E = E(2a_1) - E(1\pi_u^z) \propto -\frac{1}{\Delta \epsilon} \quad (1)$$

(1)式で、 $E(2a_1)$ 、 $E(1\pi_u^z)$ はそれぞれ  $2a_1$  軌道、 $1\pi_u^z$  軌道の軌道エネルギー、 $\Delta \epsilon$ は linear形の構造での  $1\pi_u^z$  軌道と  $2\sigma_g$  軌道のエネルギー差である(図3参照)。また、原子Aの電気陰性度が大きいほど、 $\Delta \epsilon$ の値が大きくなることが知られている。これらの事実にもとづいて、 $H_2S$  分子の結合角  $\angle H-S-H$  が  $H_2O$  分子の結合角  $\angle H-O-H$  より大きいか小さいかを論ぜよ。

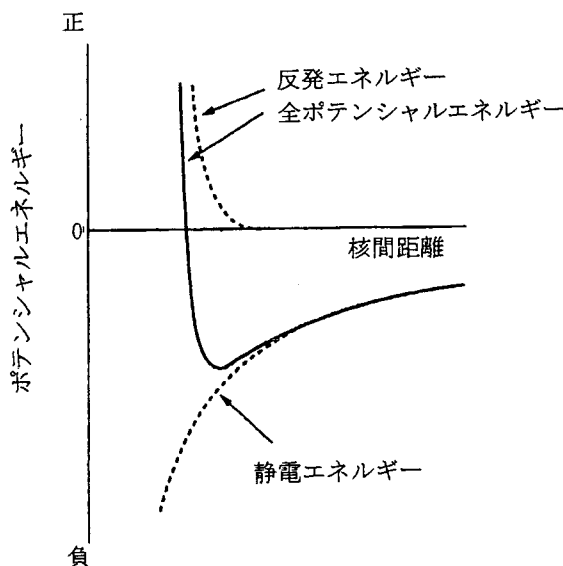
平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第7問 化学(2) その1

NaCl は希ガス電子配置をもつ  $\text{Na}^+$  と  $\text{Cl}^-$  が静電的に引き合っているイオン結晶と考えられている。このことについて、以下の問 1~8 に答えよ。

1. イオン結晶の格子エネルギーとは何か。
2. 塩化ナトリウム結晶の単位胞(単位格子)を図示せよ。
3. Na-Cl 核間距離を  $r$  とする。NaCl 結晶中の、ある  $\text{Na}^+$  イオンに着目したとき、周囲のイオンとの間の静電エネルギー  $E_e$  は  $E_e = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} M$  で与えられる。ここで  $M$  は Madelung 定数とよばれる定数であり、結晶構造により異なる値をとる。また、 $e$  は電気素量、 $\epsilon_0$  は真空の誘電率である。NaCl の場合、Madelung 定数の値は 1.75 である。着目した  $\text{Na}^+$  イオンの最近接イオンから第 5 近接イオンまでの距離と数を用いて、NaCl 型結晶の Madelung 定数を求めるための級数を第 5 項まで示せ。
4. NaCl 1 mol 当たりの静電エネルギーを  $E_e$  とアボガドロ定数  $N_A$  を用いて示せ。

5. 静電エネルギーのみを考えると核間距離が 0 になった時がもっとも安定になるはずであるが、電子雲同士の反発が働くために、一定距離で安定な構造が形成される。右図はそれを示すエネルギー図である。イオン間の反発エネルギーは一般に  $E_R = \frac{N_A B}{r^n}$  という形で表される。ここで  $B$  は定数、 $n$  は圧縮率の測定から NaCl では約 8 と求められる。



- 1) このグラフにおいて格子エネルギーはどこに相当するか記せ。
- 2) 格子エネルギーは静電エネルギーの何%位に相当するか、根拠とともに記せ。



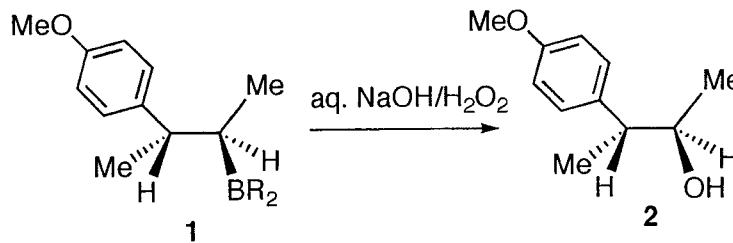
平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第8問 化学(3) その1

問1, 2の両方に答えよ.

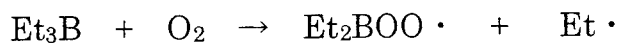
1. ボランの炭素-炭素多重結合へ付加しやすい性質や, 酸素原子に対して高い親和力をもつ特質は, 有機反応に広く利用されている. 以下の問1)~6)に答えよ.

- 1) ジボラン( $B_2H_6$ )をテトラヒドロフランに溶かして生成する錯体を構造式で示せ.
- 2) 問1)で調製した試薬を, 2-メチル-1-ブテンに加えて生じる主生成物を示せ. また, この反応の名前は何か.
- 3) 問2)の主生成物にプロピオン酸を加えて加熱して生じる生成物は何か.
- 4) アルキルボラン(**1**)にアルカリ性過酸化水素水( $HOO^-$ )を作用すると, アルコール(**2**)が立体特異的に得られる. **2**が立体特異的に得られる反応機構を説明せよ.



- 5) 問2)の主生成物にアルカリ性過酸化水素水を作用させたときの生成物を示せ.
- 6) 問2)および問5)の操作で得られる生成物は, 反応物の 2-メチル-1-ブテンに酸触媒を用いた水和反応では主生成物としては得られない. その理由を述べよ.

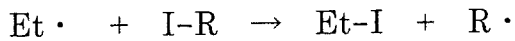
2. トリエチルボラン( $Et_3B$ )は, 濃厚状態で空気に触れると容易に発火するが, 水中では安定である. また,  $Et_3B$  は微量の酸素の存在下で, 下式に従って容易にエチルラジカルを発生するので, ラジカル開始剤として反応に利用される.



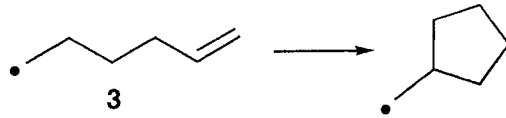
さらに, このエチルラジカルをヨウ化アルキルに作用すると, ヨウ素が引き抜かれてアルキルラジカルが生成し, 新たなラジカル反応が開始する.

平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

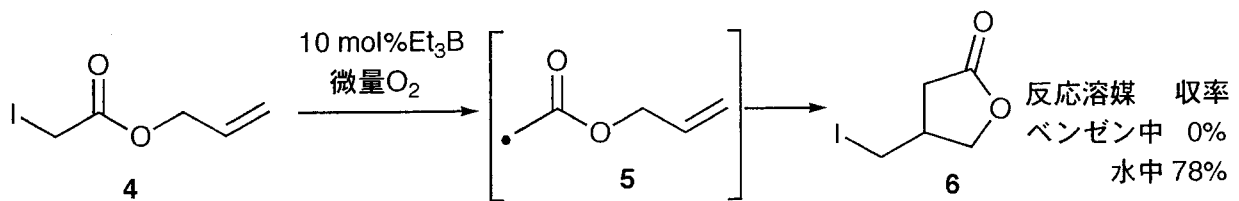
第8問 化学(3) その2



一般に、炭素-炭素二重結合を分子内に有するラジカルである5-ヘキセニルラジカル(3)は、速やかに二重結合への分子内付加反応が進行し、5員環生成物を優先して与える。

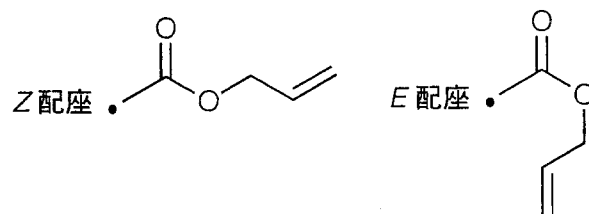


そこで、ヨード酢酸アリル(4)から、ラクトン化合物(6)の合成がラジカル反応様式で検討された。まず、4をベンゼンに溶かし少量の  $\text{Et}_3\text{B}$  と微量の  $\text{O}_2$  を作用すると、4は消失したが、6は全く生成せず、5の重合物が得られた。ところが、ベンゼンの代わりに水を用いたところ、4は水にほとんど溶けないが、よく攪拌して懸濁させると、6が78%の収率で得られてきた。



以下の問1)~3)に答えよ。

- 1)  $\text{Et}\cdot$  ラジカルと4から生成する中間体ラジカル5には、Z配座とE配座が考えられる。どちらの立体配座が安定であると考えられるか。その理由も述べよ。また、どちらの立体配座が環化反応に有利と考えられるか。



- 2) 5からラクトン生成物6ができるまでの反応機構を示せ。

- 3) 水中でラジカル反応を行うと、なぜ環化反応が有利に進むと考えられるか、考察せよ。



平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その1

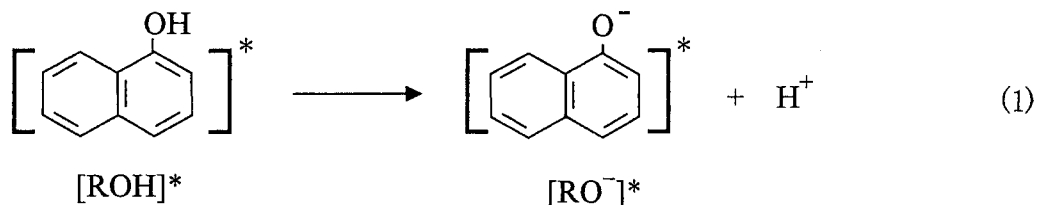
A (物理化学), B (無機化学), C (有機化学) から1題を選択し、  
 それに解答せよ。

- ・ A, B, Cのうち, いずれを選択したかを明記すること.
- ・ 複数を選択した場合は, 無効とする.

A (物理化学選択問題)

以下の問題1, 2の両方に答えよ。

1. ナフトール水溶液に紫外光を照射すると, ナフトールは電子基底状態から励起一重項状態に移る。さらに励起一重項状態では, 式(1)のように, ナフトールからプロトンが解離する。



ここで, \*は, 分子が励起状態にあることを示す。この反応は, 水溶液中では進行するが, ヘキサン中では進行しない。その理由を, 励起状態の分子の構造と反応機構から考える。

まず, 気相中に孤立したナフトールの励起一重項状態は, エネルギーの近い2つの状態aとbからなる(図1)。状態aでは分子中の電荷の偏りが大きく,  $[\text{RO}^{\delta-}\text{H}^{\delta+}]^*$  という構造をとる。状態aからOH結合を伸ばすと, 無限遠で $[\text{RO}^-]^*$ と $\text{H}^+$ が生成する。一方, 状態bでは分子中の電荷分布の偏りは小さい。状態bからOH結合を伸ばすと, 無限遠で $[\text{RO}\cdot]^*$ と $\text{H}\cdot$ が生成する。

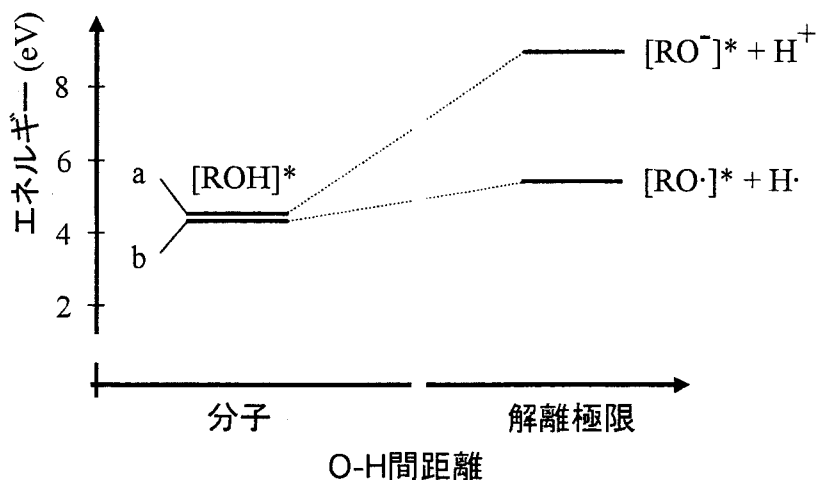


図1 気相中に孤立したナフトールの励起状態のエネルギー図。

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その2

ヘキサンなどの無極性溶媒中では、各状態間のエネルギーの関係は気相中と同じであり、状態 a よりも状態 b の方がエネルギー的に安定である。また光励起では、最初に必ず状態 b に遷移する。

1) 気相中に孤立したナフトールでは、状態 a から  $[\text{RO}^-]^*$  と  $\text{H}^+$  を生成するエネルギーが、状態 b から  $[\text{RO}^\bullet]^*$  と  $\text{H}^\bullet$  を生成するエネルギーよりも高くなる理由を述べよ。

2) エタノール溶液中や水溶液中では、状態 a が溶媒により安定化され、状態 b よりもエネルギーが低くなる。分子と溶媒の静電的な相互作用の観点から、その理由を述べよ。

3) 水溶液中では、 $[\text{RO}^-]^*$  と  $\text{H}^+$  は溶媒により安定化され、 $[\text{RO}^-]^* + \text{H}^+$  のエネルギーは  $[\text{RO}^\bullet]^* + \text{H}^\bullet$  のエネルギーよりも低くなる。半径  $r$  の球形のイオンが、比誘電率  $\epsilon_r$  の溶媒に溶解することによって生じるギブスエネルギー変化  $\Delta G$  を、

$$\Delta G = -\frac{e^2 N_A}{ar} \left( 1 - \frac{1}{\epsilon_r} \right) \quad (2)$$

で近似する。

|          |   |
|----------|---|
| 電気素量：    | $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$                                 |
| アボガドロ定数： | $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$                         |
| 定数：      | $a = 2.0 \times 10^{-10} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$ |
| 比誘電率：    | $\epsilon_r = 78.5$ (水)   |
|          | $\epsilon_r = 1.9$ (ヘキサン)   |

$[\text{RO}^-]^*$  をイオン半径  $r = 0.3 \text{ nm}$  の球形イオンとみなし、 $[\text{RO}^-]^*$  が水中に溶解することによって生じるギブスエネルギー変化を、単位を eV として有効数字 2 桁で求めよ。ただし、 $1 \text{ kJ mol}^{-1} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ eV}$  とする。

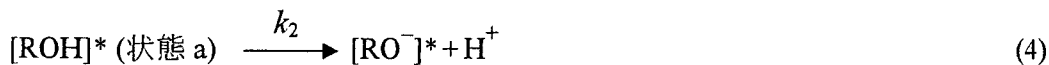
4) 上記の考察より、ヘキサン中では進行しないプロトン解離反応が水溶液中で進行する理由を、励起状態での分子・イオン種のエネルギーの関係から述べよ。

2. 水溶液中のナフトールは、紫外光励起により状態 b に遷移した後、状態 a を経て、 $[\text{RO}^-]^*$  と  $\text{H}^+$  へ解離する。この反応の機構を検証するために、ナフトールをピコ秒 (ps,  $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ) のパルス幅をもつパルスレーザーを用いて状態 b に励起し、その後状態 a あるいは  $[\text{RO}^-]^*$  として存在する分子数を観測した。その結果、この反応は次の 2 つの反応式により説明できることがわかった。



平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その3



ここで、 $k_1$ ,  $k_2$  はそれぞれ(3), (4)式の反応速度定数である。

1)  $[\text{ROH}]^*$  (状態 b),  $[\text{ROH}]^*$  (状態 a) および  $[\text{RO}^-]^*$  の濃度を  $[X]$ ,  $[Y]$ ,  $[Z]$  で表すとき,  $[X]$ ,  $[Y]$ ,  $[Z]$  に対する反応速度式 (微分方程式) を書け。

2) レーザー励起直後の  $[X]$  の濃度を  $[X]_0$  で表す。実験により実測された  $[X]$ ,  $[Y]$  の  $[X]_0$  に対する相対量  $[X]/[X]_0$ ,  $[Y]/[X]_0$  の時間変化を図2に示す。図2を解答用紙に転記し,  $[Z]/[X]_0$  の時間変化を  $[X]/[X]_0$ ,  $[Y]/[X]_0$  との関係が明確になるように図示せよ。

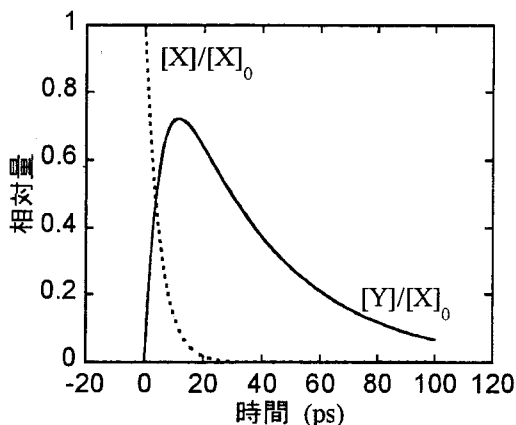


図2  $[X]/[X]_0$ ,  $[Y]/[X]_0$  の時間依存性

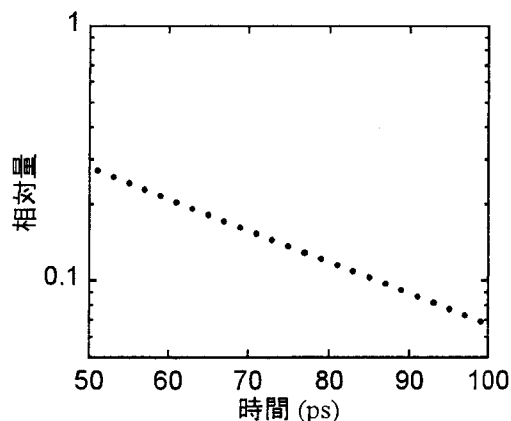


図3 50 ps から 100 ps の間の  $[Y]/[X]_0$  の時間変化の対数プロット。

3) 1) で求めた反応速度式を解くと,

$$[X]/[X]_0 = \exp(-k_1 t) \quad (5)$$

となる。図2に示した実測値と(5)式と比較すると

$$k_1 > 2 \times 10^{11} \text{ s}^{-1} \quad (6)$$

であることがわかった。一方、励起後 50 ps から 100 ps の間の  $[Y]/[X]_0$  の時間変化を、対数でかき直すと、図3のようにほぼ直線になる。この事実は、反応速度定数  $k_2$  についてどのような知見を与えるか、定量的に述べよ。

4) 反応速度定数  $k_1$  の値から、(3)式の反応は速やかに進行することがわかる。この値をより正確に求めるためには、よりパルス幅の短いパルスレーザーを用いる必要がある。しかしパルス幅を限りなく短くすると、レーザー光の光子のエネルギー幅が広がる。その理由を述べよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相關基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その4

B (無機化学選択問題)

以下の設問 1~8 にすべて答えよ。

遷移金属錯体においては、18 電子則「中心原子の原子価電子の数と配位子から供与された電子数の合計が 18 となるものに安定な錯体が多い」という経験則がある。この経験則は、金属カルボニル錯体や有機金属錯体で非常によくあてはまる。

1. カルボニルは一酸化炭素の配位子名で、中性の 2 電子供与配位子である。炭素原子と酸素原子は三重結合しており、炭素原子が金属原子に配位する。

6 族から 10 族の 3d 遷移金属元素の中性の金属カルボニル錯体としては、次の単核錯体



が知られている。

この 3 つの単核錯体は 18 電子則を満たしていることを反映して、配位構造が異なっている。各錯体について、配位数 ( $l, m, n$ ) と配位多面体の名称を答えよ。

2. 一方、2 核錯体としては、



が知られている。これらの 2 核錯体では、金属原子間に結合が生成し 18 電子則を満たしていると考えられる。Mn<sub>2</sub>(CO)<sub>p</sub> について、電子数を数えてみると、2 個の Mn から 2a 個、p 個の CO から 2p 個で、合計 (2a+2p) 個の電子となる。1 個の Mn あたり (2a+2p)/2 電子であるが、Mn-Mn 間の結合生成による寄与分が 1 電子加わり、18 電子則を満足している。

Mn<sub>2</sub>(CO)<sub>p</sub>, Co<sub>2</sub>(CO)<sub>q</sub> について、文章中の p, q, a にあてはまる数を答えよ。

3. Mn<sub>2</sub>(CO)<sub>p</sub> において、Mn のまわりの配位構造は正八面体型であることが知られている。立体構造がわかるように Mn<sub>2</sub>(CO)<sub>p</sub> の構造式をかけ。

4. Fe の 2 核カルボニル錯体には、18 電子則を満たす Fe<sub>2</sub>(CO)<sub>9</sub> がある。この錯体では、金属原子間結合 (Fe-Fe 間結合) に加えて、一部のカルボニル配位子が架橋 (橋架け) 配位子となっている。Fe<sub>2</sub>(CO)<sub>9</sub> 中の 2 種類あるカルボニル配位子の数の比は 1:2 である。Fe<sub>2</sub>(CO)<sub>9</sub> の構造を推定し、構造式をかけ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 関連基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その5

5. 金属カルボニル錯体では結晶化が困難なものもあり、その構造を知るのに X 線構造解析法が必ずしも使える訳ではない。そのような場合、配位のしかたが異なるカルボニル配位子を区別するために他の実験手法を用いる。その実験手法として、以下のような赤外スペクトル法が考えられる。それ以外に考えられる実験手法の名称を1つあげよ。

6. 一酸化炭素はルイス塩基性が弱い、低酸化状態の遷移金属原子と多重結合性のある結合を形成する。また、一酸化炭素の赤外スペクトルの CO 伸縮振動 ( $\nu_{\text{CO}}$ ) は、気体状態では  $2143 \text{ cm}^{-1}$  であるが、遷移金属原子と結合することにより低波数側へシフトする。

遷移金属原子の軌道、ならびに、一酸化炭素分子の分子軌道に基づき、両者間の結合について説明せよ。

7. 表1に示すように、同じ配位数で同じ配位構造を持つ3つの金属カルボニル錯体の赤外スペクトルの CO 伸縮振動 ( $\nu_{\text{CO}}$ ) の波数は異なっている。この差異を設問6の解答をふまえて説明せよ。

表1

| 錯体                           | $\nu_{\text{CO}} / \text{cm}^{-1}$ |
|------------------------------|------------------------------------|
| $[\text{V}(\text{CO})_6]^-$  | 1858                               |
| $\text{Cr}(\text{CO})_6$     | 1984                               |
| $[\text{Mn}(\text{CO})_5]^+$ | 2094                               |

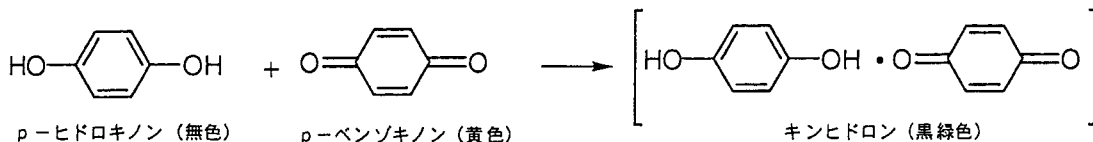
8. 一般に金属カルボニル錯体は、可視光域に吸収帯を持たず、紫外光域に吸収帯を持つ。このことを設問6の解答をふまえて説明せよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

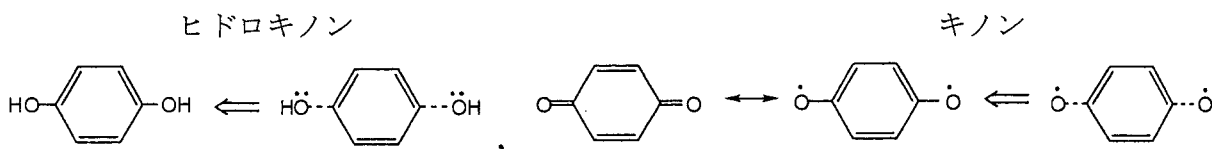
第9問 化学(4) その6

C. (有機化学選択問題)

無色の *p*-ヒドロキノンと黄色の *p*-ベンゾキノン (キノン) のエタノール溶液を混合すると、黒緑色のキノンヒドロンの結晶が析出する。ヒドロキノンとキノンの電子構造およびキノンヒドロンの結晶構造と性質について、以下の設問に答えよ。

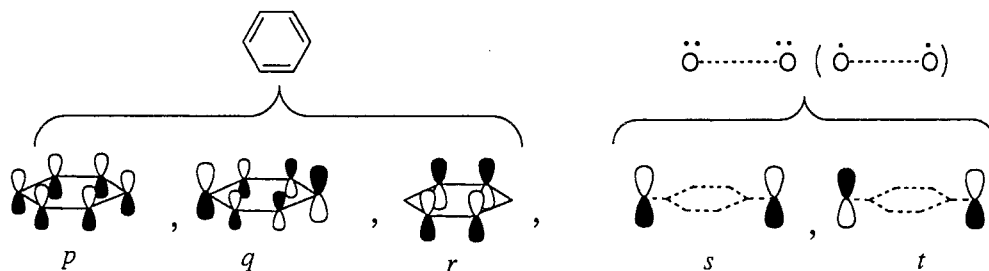


1. ヒドロキノンとキノンのMOを摂動分子軌道法によって組み立てる。摂動分子軌道法とは、目的とする分子の分子軌道を、2つの部分的な分子軌道(MO)の摂動的な相互作用で組み立てる方法である。ここでは、分子軌道として、 $\pi$ 軌道(酸素の $p_z$ 軌道を含む)のみを考えるとすると、両者のMOは、ベンゼンの $p$ 軌道からなる部分MOと2つのOの $p_z$ 軌道からなる部分MOが相互作用したものとして組上がる。



- 1) ヒドロキノンおよびキノンのベンゼンからなる部分分子軌道( $p, q, r$ )、および1,4位に導入される2つの酸素原子からなる部分分子軌道( $s, t$ )を、鏡面および2回軸に関する対称性[対称(S), 逆対称(A)]で分類し、 $p$ についての例にならって表にして記せ。

|     | 鏡面 | 2回軸 |
|-----|----|-----|
| $p$ | S  | A   |
| $q$ |    |     |
| $r$ |    |     |
| $s$ |    |     |
| $t$ |    |     |



ベンゼンおよび2つの酸素原子からなる部分分子軌道

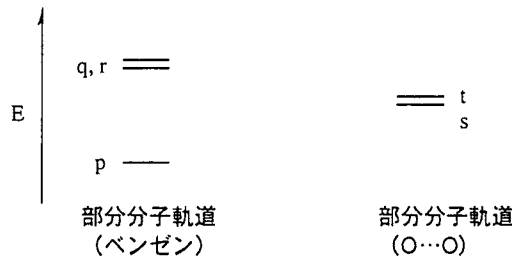
- 2) 2つの部分分子軌道(ベンゼン,  $\text{O}\cdots\text{O}$ )間の摂動を考える際、軌道の対称性が等しいもの同士だけが摂動的相互作用を起こして、結合性および反結合性軌道を与えるとする。この系では摂動的相互作用を起こす軌道が2組ある。どれとどれかを記号で答えよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
 相関基礎科学系 専門科目

第9問 化学(4) その7

- 3) 解答用紙に部分分子軌道のエネルギー準位を下図のように描き、摂動的軌道相互作用によって組み立てられる分子軌道のエネルギー準位を記入して、軌道相関図を完成させよ。すべての軌道が摂動を受けるとは限らないことに注意せよ。

組み立てられた分子軌道のうち、最もエネルギーの高い分子軌道はどれか。部分分子軌道の線形結合として解答せよ。たとえば、部分分子軌道 a, b 間の結合的相互作用によるものであれば a+b, 反結合的相互作用によるものであれば a-b のように表わせ。

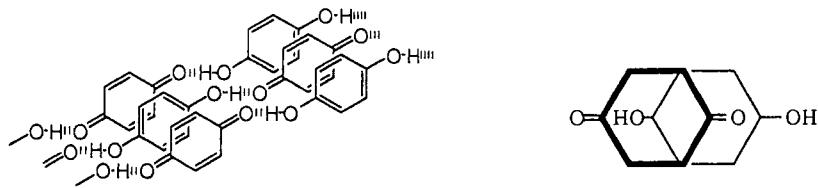


軌道の相関図

- 4) ヒドロキノン、キノンの  $\pi$  電子数をそれぞれ記せ。なお、それぞれの酸素原子の  $p_z$  軌道を占有する電子数に留意すること。
- 5) 以上の考察を基に、ヒドロキノンの HOMO およびキノンの LUMO の形をそれぞれ記せ。

2. キンヒドロンの結晶構造を下図に示す。右の拡大図に示すようにヒドロキノンとキノンは、互いに分子面を向かい合わせて重なっているが、その重なりは、それぞれの長軸方向にずれている。また、ヒドロキノンとキノンの間には、分子間水素結合が形成されている。

ヒドロキノンの HOMO とキノンの LUMO が重なっている図を、分子軌道の位相に注意して記し、電荷移動錯体が形成されることを説明せよ。また錯体中で分子がずれて重なっている理由について考察せよ。



3. キンヒドロンにおける電荷移動の割合は、ヒドロキノンの酸化電位、キノンの還元電位から予想されるより遙かに大きいという。その理由を分子間水素結合との関連において具体的に考察せよ。
4. ヒドロキノンの HOMO とキノンの LUMO との軌道相互作用を表すエネルギー図を記し、キンヒドロンが黒緑色を示すことと最も関連する軌道間の遷移を矢印で示せ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第10問 科学史・科学哲学（1）

次の設問（A）と（B）からいずれか一つを選んで解答しなさい。

（A）産業革命と当時の自然科学の関係について論じなさい。

（B）知覚と行為の関係について論じなさい。



平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第11問 科学史・科学哲学（2）

「言葉は他の何ものかに対する記号である」という考えについて論じなさい。

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第12問 科学史・科学哲学（3）

確率や統計という発想・方法が、学問の歴史においてどのように導入され、その後どのような展開を遂げたかについて述べなさい。

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第13問 科学史・科学哲学（4）

以下の用語から四つを選択し、科学史的ないし哲学的観点から簡明に説明しなさい。

- (a) Ambroise Paré
- (b) 地層累重の法則
- (c) ヘルシンキ宣言
- (d) *De re metallica*
- (e) 光量子仮説
- (f) 非ユークリッド幾何学
- (g) 櫻井錠二
- (h) functionalism
- (i) linguistic turn
- (j) 予防原則
- (k) 探求のパラドクス
- (l) covering law model
- (m) 嘘つきのパラドクスとメタ言語
- (n) 可能無限と実無限

平成18年度修士課程入学試験問題  
関連基礎科学系 専門科目

第14問 生物学

次の文を読んで、以下の問1—7に答えよ。

生体内には複数のポリペプチドから構成されて機能を果たすタンパク質が存在する。

血液中に存在し、酸素を運ぶヘモグロビンは $\alpha$ 鎖と $\beta$ 鎖のサブユニットから構成され、 $\alpha_2\beta_2$ という構造をとっている。さらに[1]という補欠分子族を含んでおり、その中に含まれる[2]イオンが酸素を運ぶために重要な貢献をしている。酸素分圧に依存して、図1のような酸素との結合曲線を描く。(3)ヒトの $\alpha$ 鎖と $\beta$ 鎖をコードする遺伝子は、別々の染色体上に乗っている。 $\alpha$ 鎖と $\beta$ 鎖の双方が存在すると、穏和な条件下で自発的に、機能をもつヘモグロビンが構成される。

ヒトのインスリン分子は、21アミノ酸残基からなるA鎖と30アミノ酸残基のB鎖の2つのポリペプチドからなる。A鎖とB鎖に存在する特定のシステイン残基間に[4]結合が形成されており、メルカプトエタノールなどの還元剤を用いると両鎖は離れる。インスリンをコードするcDNAの配列情報から、合成される際には図2に示すような切れ目のない一つの前駆体ポリペプチドとして翻訳されることが明らかとなった。

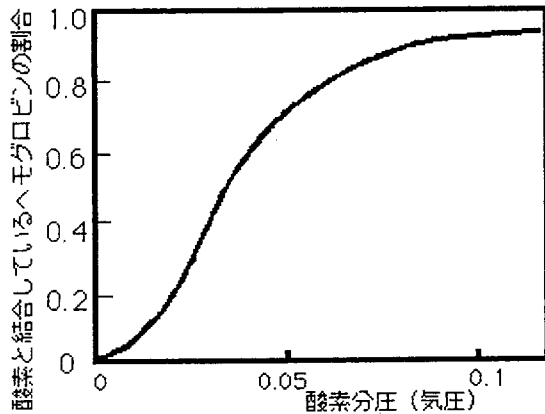


図1 酸素分圧と酸素結合型ヘモグロビンの割合の関係

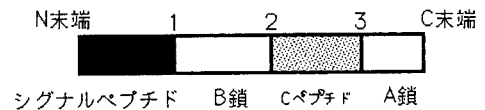


図2 インスリン前駆体の一次構造

- 問1 [1]と[4]にあてはまる語句、[2]にあてはまるイオン(化学式)をそれぞれ記せ。
- 問2 ヘモグロビンの酸素結合曲線が図1のようなS字型を示す機構について、サブユニット構造をとる事実と関係づけて説明せよ。
- 問3 下線部(3)について、 $\alpha$ 鎖と $\beta$ 鎖は等量合成されると考えられる。そのためにどのような調節機構があるかを推定せよ。
- 問4 成熟インスリンが完成するまでに、図2の配列中1, 2, 3の3カ所のペプチド結合が切断される。この中で最初に切断されると考えられるペプチド結合の番号、その切断がおこる細胞内の場所を答えよ。
- 問5 インスリンは合成された後に細胞外へと分泌される。翻訳される場所から、細胞外へと分泌されるまで、経由する細胞小器官の名前を明示しながら、説明せよ。
- 問6 図2にあるCペプチドがもつ役割を推察せよ。
- 問7 インスリン遺伝子を用いて、活性をもつインスリンを発現させることを計画した。どのような細胞発現系を用いるのがよいかを、理由とともに述べよ。

平成18年度修士課程入学試験問題  
相関基礎科学系 専門科目

第15問 宇宙地球科学

質量の大きな天体（以下では大天体と呼ぶ）に質量の小さな天体（以下では小天体と呼ぶ）が接近するとき、ある距離まで近付くと小天体は破壊されてしまう。ここで天体というのは自己重力で束縛されている系のことをいう。この破壊を潮汐破壊といい、潮汐破壊が起こり始めるときの2つの天体間の距離をロッシュ限界という。この問題では天体は常に球形で物質は球対称に分布していると考えことにし、天体間の距離は2つの球状天体の中心間の距離であるとする。天体の質量は、大天体が  $M$  で小天体が  $m$ 、天体の半径は大天体が  $R$  で小天体が  $r$  とする。簡単化のため天体間の距離を  $D$  としたとき  $r/D \ll 1$  とし、重力定数を  $G$ 、重力はニュートン重力で考えることにする。

1. 潮汐破壊が起きるのはどのような力が作用するからかを説明せよ。
2. 2つの天体が共通重心の周りを円軌道でまわっている場合（公転ということにする）を考える。小天体が自転をしていて、自転の角速度が公転角速度と同じである場合、小天体の重心系で測定するとして、小天体の表面上で大天体から一番遠い点にある質点（質量を  $\mu$  とする）に作用する力を  $r/D$  の2次以上の高次の項を無視する近似で求めよ。
3. 小天体の表面上で大天体から一番近い点にある質点に作用する力を、問2と同じ条件で考え、ロッシュ限界を求めよ。
4. 小天体が大天体の中心に向かって球形を保ちながら落下している場合、距離  $D$  のときに小天体の中心の加速度を求めよ。天体には重力以外の力は作用しないとする。
5. 問4の場合、小天体の重心系で測定したときの力の関係を考えることで、ロッシュ限界を求めよ。