

令和4年度 神戸大学 理学部 化学科

第3年次編入学試験問題

化学

試験時間 10:00～12:00 (120分)

問題[I]～問題[VIII]に解答しなさい。

表紙を除いて7ページあります。

各ページに氏名（用紙上端）と受験番号（用紙下端）を記入しなさい。

受験番号を誤って記入すると採点の対象とならないことがあります。

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[I] 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

(ア) 水素原子の波動関数は、 $n, l, m_l$  という 3 つの量子数によって記述される。 $n$  は (イ) 以上、 $l$  は (ウ) 以上の整数値しかとることができない。1 組の  $(n, l, m_l)$  で記述される波動関数は原子軌道と呼ばれる。(エ) 水素原子の原子軌道のエネルギーは (オ) の値に応じて変化する。 $l=1, 3$  の原子軌道はそれぞれ、(カ) 軌道、(キ) 軌道と呼ばれる。

問 1. 下線部 (ア) に記載の  $n, l, m_l$  をそれぞれ日本語で何と呼ぶか。その名称を解答欄に記入しなさい。

$n$		$l$		$m_l$	
-----	--	-----	--	-------	--

問 2. 空欄 (イ), (ウ) にあてはまる数字を解答欄に記入しなさい。

イ		ウ	
---	--	---	--

問 3. 下線部 (エ) に記載の水素原子の原子軌道のエネルギーについて考える。そのエネルギーの理論上の最低値と最高値との差を  $\Delta E$  としたとき、 $\Delta E$  は、以下の選択肢に記載したどの原子パラメーターの値に対応しているか。最も適切な**選択肢の数字**を解答欄に記入しなさい。

1. イオン化エネルギー   2. 電子親和力   3. 電気陰性度  
4. 電子取得エンタルピー   5. 結合解離エンタルピー

問 4. 空欄 (オ) にあてはまる量子数を以下の選択肢から選び、**その数字**を解答欄に記入しなさい。

1.  $m_l$    2.  $l$    3.  $n$    4.  $n$  と  $l$    5.  $l$  と  $m_l$    6.  $n$  と  $m_l$    7.  $n$  と  $l$  と  $m_l$

オ	
---	--

問 5. 空欄 (カ), (キ) にあてはまる英文字を解答欄に記入しなさい。

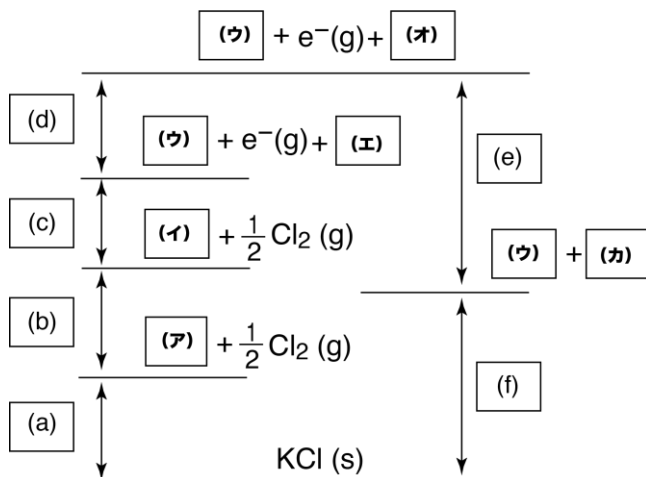
カ		キ	
---	--	---	--

問 6.  $n=3$  におけるすべての原子軌道を量子数の組み合わせ  $(n, l, m_l)$  の形で解答欄に記入しなさい。

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[III] 次の文章を読み、以下の問いに答えなさい。

下の図と表は、それぞれ、KClのボルン・ハーバーサイクルと、サイクル内の反応に関する標準モルエンタルピー変化の値を示したものである。以下の問いに答えなさい。ただし、ボルン・ハーバーサイクルの各状態間エネルギー差は模式的に示したものであり、実際のエネルギー差を反映していない。



表

K(g) のイオン化エンタルピー	+425 kJ mol <sup>-1</sup>
Cl <sub>2</sub> (g) の解離エンタルピー	+244 kJ mol <sup>-1</sup>
K(s) の昇華エンタルピー	+89 kJ mol <sup>-1</sup>
KCl(s) の生成エンタルピー	-438 kJ mol <sup>-1</sup>
KCl(s) の格子エンタルピー	+719 kJ mol <sup>-1</sup>

問1. 空欄(ア)～(カ)にあてはまる化学式(必要であれば係数も含む)を解答欄に記入しなさい。なお、解答の際には図の表現にならって、その状態も記入すること。

(ア)		(イ)		(ウ)	
(エ)		(オ)		(カ)	

問2. 表中にある、Cl<sub>2</sub>(g)の解離エンタルピー+244 kJ mol<sup>-1</sup>に対応する解離反応を表す化学反応式を書きなさい。なお、解答の際には図の表現にならって、その状態も記入すること。

問3. 空欄(a)～(f)はボルン・ハーバーサイクルにおけるそれぞれの状態間のエネルギー差を表す。表に示した熱力学データをもとに(a)～(f)にあてはまる数値を答えなさい。

(a)	kJ mol <sup>-1</sup>	(b)	kJ mol <sup>-1</sup>	(c)	kJ mol <sup>-1</sup>
(d)	kJ mol <sup>-1</sup>	(e)	kJ mol <sup>-1</sup>	(f)	kJ mol <sup>-1</sup>

---

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[III] 次の文を読んで以下の問いに答えなさい。

酢酸ナトリウムの水への溶解反応において、酢酸ナトリウムの初濃度を  $c \text{ mol dm}^{-3}$ 、 $\text{CH}_3\text{COO}^-$  が関与する加水分解反応における解離度（加水解離度）を  $\alpha$  ( $\alpha < 1$ ) とする。ただし、酢酸ナトリウムは水中で完全に電離しているものとする。

問1.  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の加水分解反応を化学平衡式で表しなさい。

問2. 酢酸の酸解離定数を  $K_a$ 、水のイオン積を  $K_w$  としたとき、 $\alpha$  を、 $c$ 、 $K_a$ 、 $K_w$  を用いて表しなさい。導出の過程も示すこと。

問3. この溶液の pH を  $c$ 、 $K_a$ 、 $K_w$  を用いて表しなさい。導出の過程も示すこと。

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[IV] カルノーは、効率の良い熱機関を考案するために、温度が異なる2つの熱源を用いて動作する熱力学サイクルの一種(カルノーサイクル)を検討した。このサイクルでは、右図に示すように4つの状態の間を循環する。それぞれの状態での圧力、体積、温度を図中に示す。この機関には1モルの理想気体が入っているとす。各過程について、熱力学第1法則を適用して、内部エネルギー変化、系が吸収した熱量、系がなした仕事を考える。

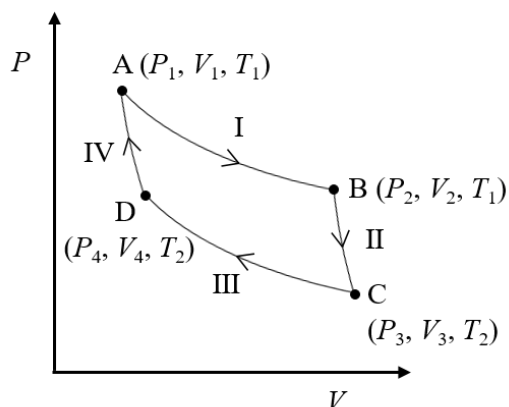


図. カルノーサイクル.

表. カルノーサイクルにおける各過程の熱力学量の変化

過程	内部エネルギー変化	吸収した熱量	系がなした仕事
I (A→B)	(a)	$q_1$	(e)
II (B→C)	(b)	0	(f)
III (C→D)	(c)	$q_2$	(g)
IV (D→A)	(d)	0	(h)

以下の問いに答えなさい。

問1. 4つの過程 (I, II, III, IV) に相当する適当な語句を以下から選び記号で答えなさい。

(ア) 断熱可逆圧縮, (イ) 断熱可逆膨張, (ウ) 等温可逆圧縮, (エ) 等温可逆膨張

I	II	III	IV

問2. 系よりも高温の熱源と系が接触しているのはどの過程か。記号 (I, II, III, IV) で答えなさい。

問3. 表の(a), (b), (c), (d)に入る適当な式を、以下の物理量の中から適当なものを使い表しなさい。もし変化がない場合は0と書きなさい。物理量： $T_1$ ,  $T_2$ ,  $C_v$  (定積熱容量),  $C_p$  (定圧熱容量)

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

問4. 表の(e), (f), (g), (h)に入る適当な式を、以下の物理量の中から適当なものを使い表しなさい。物理量： $R$  (気体定数),  $V_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ),  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $C_v$  (定積熱容量),  $C_p$  (定圧熱容量)

(e)	(f)	(g)	(h)

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[V] 質量  $m_1$  と  $m_2$  の原子が結合している 2 原子分子 (右図) を考える。平衡核間距離を  $l_0$  とし、二つの原子の位置座標を、それぞれ、 $x_1$ ,  $x_2$  とする。この 2 原子分子は調和振動をしていると仮定し、その力の定数 (ばね定数) を  $k$  とする。

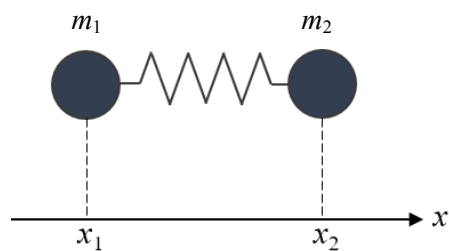


図. 2 原子分子のモデル.

問 1. 二つの原子に対する運動方程式は、

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \text{[1]}$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \text{[2]}$$

となる。[1] と [2] に入る式を書きなさい。なお、右辺が 0 となる場合は 0 と書きなさい。

1	2

問 2. 質量中心座標 ( $X = (m_1 x_1 + m_2 x_2) / (m_1 + m_2)$ ) と相対座標 ( $x = x_2 - x_1 - l_0$ ) を導入し、それぞれの座標に関する方程式を上の二つの原子に対する運動方程式から求めると、

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = \text{[3]}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \text{[4]}$$

となる。[3] と [4] に入る式を書きなさい。なお、右辺が 0 となる場合は 0 と書きなさい。

3	4

問 3. この 2 原子分子の振動の周期を  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $k$  を用いて表しなさい。

問 4. この問題を量子力学的に扱ったとき、振動エネルギーを表す式を  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $k$ ,  $h$  (プランク定数),  $n$  (振動の量子数) を用いて表しなさい。量子数を取りえる値を示しなさい。

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[VI] 以下の問いに答えなさい。

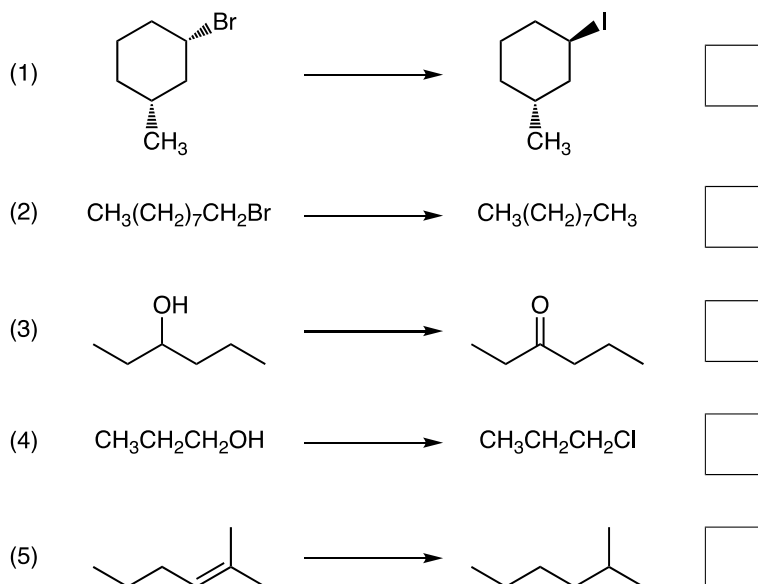
(1) 次の化合物を、 $pK_a$ の小さいもの（強い酸性）の順に、記号で並べ替えなさい。

(a) メタノール, (b) 酢酸, (c) メタン, (d) トリクロロ酢酸, (e) 塩化水素

$pK_a$  : \_\_\_\_\_ < \_\_\_\_\_ < \_\_\_\_\_ < \_\_\_\_\_ < \_\_\_\_\_

(2) 上記 (a), (b), (d) の  $pK_a$  の違いの主な理由を、それぞれの酸解離の反応式と、化合物の構造式を用いて説明しなさい。

[VII] 以下の(1)~(5)の反応を進行させるために最も適した試薬を下記枠内の(a)~(p)から一つ選んで、記号で答えなさい。なお、溶媒、温度、および pH などの反応条件は考慮しなくてもよい。

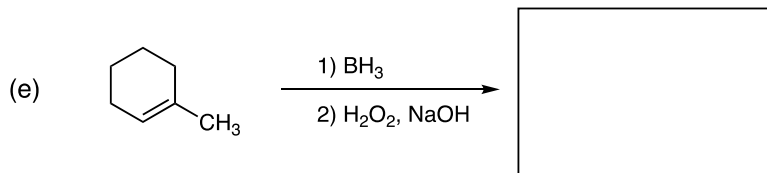
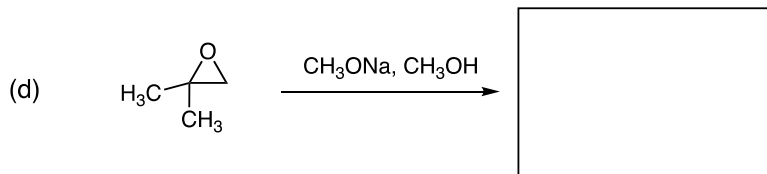
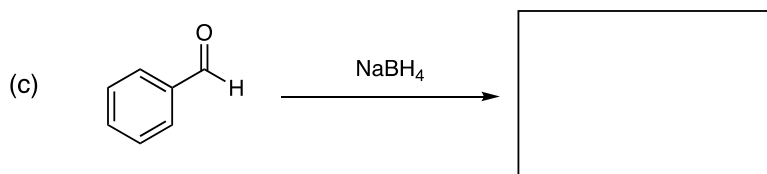
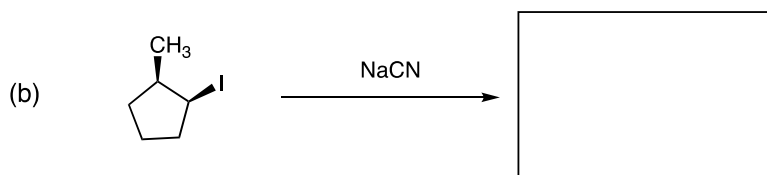
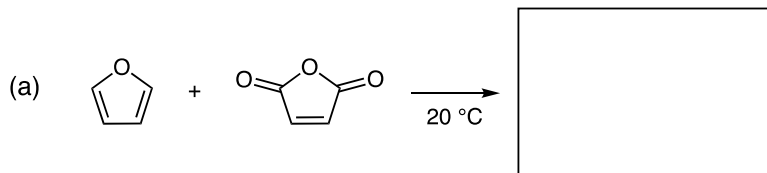


(a)  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ , (b)  $\text{CCl}_4$ , (c)  $\text{AlCl}_3$ , (d)  $\text{HCl}$ , (e)  $\text{SOCl}_2$ , (f)  $\text{LiCl}$ , (g)  $\text{H}_2$ , Pd/C, (h)  $\text{PBr}_3$ ,  
 (i)  $\text{NaOH}$ , (j)  $\text{NaH}$ , (k)  $\text{NaI}$ , (l)  $\text{NaCl}$ , (m)  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , (n)  $\text{LiAlH}_4$ , (o)  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$ , (p)  $\text{CH}_3\text{I}$

この線より下に氏名を書いてはいけません。

[VIII] 以下の問いに答えなさい。

(1) 次の(a)~(e)の反応において、主として生成する有機化合物の構造式を、立体化学を考慮して答えなさい。なお、特に指定のない限り、溶媒や温度などの反応条件は考慮しなくてもよい。



(2) 上の反応(d)において、CH<sub>3</sub>ONaに替わって硫酸を添加した場合に、主として生成する有機化合物の構造式を、立体化学を考慮して答えなさい。また、その反応機構を説明しなさい。