

令和3年度 入学試験問題

理科（後期）

試験時間	120分
問題冊子	物理 1～8頁 化学 9～16頁 生物 17～31頁

注意事項

1. 指示があるまで問題冊子は開かないこと。
2. 受験科目はあらかじめ受験票に記載された2科目とし、変更は認めない。
3. 問題冊子および解答用紙に落丁、乱丁、印刷の不鮮明な箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせること。
4. 解答が終わっても、または試験を放棄する場合でも、試験終了までは退場できない。
5. スマートフォン等の電子機器類は電源を必ず切り、鞆の中にしまうこと。
6. 机には、受験票と筆記用具（鉛筆、シャープペンシル、消しゴム）および時計（計時機能のみ）以外は置かないこと。（耳栓、コンパス、定規等は使用できない。）
7. 問題冊子および解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。
8. 解答はすべて解答用紙の所定の解答欄に記入すること。欄外には何も書かないこと。
9. この問題冊子の余白は自由に用いてよい。
10. 質問、トイレ、体調不良等で用件のある場合は、無言のまま手を挙げて監督者の指示に従うこと。
11. 中途退室時は、問題冊子および解答用紙を裏返しにすること。
12. 受験中不正行為があった場合は、試験の一切を無効とし、試験終了時間まで別室で待機を命じる。
13. 試験終了後、解答用紙は裏返し、問題冊子は持ち帰ること。

受験番号	
------	--

氏名	
----	--

化 学

必要があれば，以下の数値を用いよ。

原子量	H : 1.00	C : 12.0	N : 14.0	O : 16.0	Na : 23.0	Cl : 35.5
	K : 39.0					
気体定数 R	$8.30 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{K} \cdot \text{mol})$					
ファラデー定数 F	$9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$					
アボガドロ定数 N_A	$6.00 \times 10^{23}/\text{mol}$					
水のイオン積 K_w	$1.00 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$					
0°C	273 K					
対数値	$\log_{10} 2 = 0.30$					

[I] 各問いに答えよ。

問 1 ~ に適した語句を書け。

固体が液体に変化するとき吸収される熱を といい，液体が気体に変化するとき吸収される熱を という。同じ物質では一般に は より い。また，ある温度における と の合計は，その温度における に相当する。

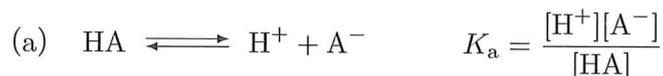
問 2 60°C における硝酸ナトリウムの飽和溶液 100 g を 20°C に冷却したら，16 g の結晶が析出した。 60°C における硝酸ナトリウムの溶解度は 124 である。 20°C の水 1 kg に溶ける硝酸ナトリウムの最大の物質量 [mol] を小数第 1 位を四捨五入して求めよ。

問 3 には数字を， には構造式を書け。

分子式 $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ である化合物は 種類ある (鏡像異性体は区別しないものとする)。その中で最も沸点が低いものは である。

[II] 空欄に適した式, 値または語句を答えよ。なお, [] はモル濃度 [mol/L] を表す。

1 価の弱酸 HA (H は H^+ として電離可能な水素原子) の濃度 C [mol/L] の水溶液がある。この水溶液中で弱酸 HA の一部が反応 (a) のように電離する。なお, (a) による HA の電離定数を $K_a = 2.0 \times 10^{-3}$ mol/L とする。



また, この溶液中では溶媒である水は反応 (w) のように電離する。その電離定数は水のイオン積 K_w で与えられる。



これら 2 つの反応が生じた結果, 溶液は平衡状態となる。そのため, 溶液中の H^+ 濃度 $[H^+]$ は, (a) で生じる H^+ の濃度を $[H^+]_a$ とおき, (w) で生じる H^+ の濃度を $[H^+]_w$ とおくと,

$$[H^+] = \boxed{\text{ア}}$$

と表される。ここで, (a) で生じる H^+ と $\boxed{\text{イ}}$ の量は等しく, また, (w) で生じる H^+ と $\boxed{\text{ウ}}$ の量は等しい。よって, A^- イオンの濃度 $[A^-]$ は, $[H^+]$ および $[OH^-]$ を用いて,

$$[A^-] = \boxed{\text{エ}}$$

の関係にあることが導かれる。また, 平衡状態において電離していない HA 分子の濃度 $[HA]$ は, C , $[H^+]$ および $[OH^-]$ を用いて,

$$[HA] = \boxed{\text{オ}}$$

と表される。したがって, HA の電離定数 K_a は次のように表される。

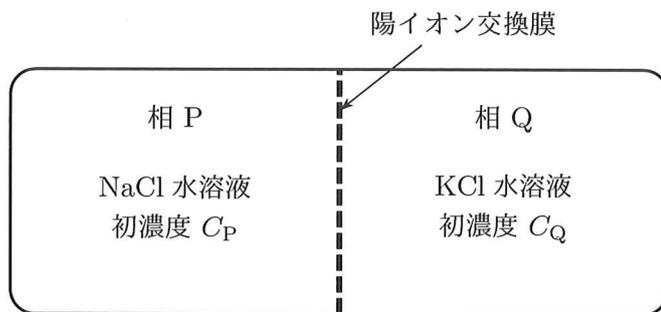
$$K_a = \frac{[H^+] \times (\boxed{\text{エ}})}{\boxed{\text{オ}}}$$

ところで, 弱酸 HA の水溶液において, HA の電離度 α は次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{[A^-]}{C}$$

電離度 α の値は HA の酸としての強さだけでなく C に依存し, C が小さくなるにつれて α は $\boxed{\text{カ}}$ くなる。したがって, 弱酸 HA 水溶液においては, 例えば $C = \boxed{\text{キ}}$ mol/L のとき, $\alpha = 0.50$, pH = $\boxed{\text{ク}}$ になる。一方, $C = 0.040$ mol/L のとき, $\alpha = \boxed{\text{ケ}}$, pH = $\boxed{\text{コ}}$ になる。また, $C = \boxed{\text{サ}}$ mol/L のとき, $\alpha = \boxed{\text{シ}}$, pH = 6.70 になる。

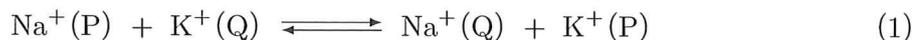
[III] 文章を読んで問いに答えよ。



図

25.0°Cにおいて、図のように NaCl 水溶液と KCl 水溶液が陽イオン交換膜を介して接触している。NaCl 溶液の区画を相 P, KCl 溶液の区画を相 Q とし、相 P と相 Q の体積は同じとする。また、NaCl と KCl は水溶液中で完全に電離し、水は陽イオン交換膜を透過しないものとする。

最初、相 P には濃度 C_P [mol/L] の NaCl 水溶液が入っており、相 Q には濃度 C_Q [mol/L] の KCl 水溶液が入っている。平衡状態になるまで、溶液中の Na^+ イオンと K^+ イオンは膜を透過して相 P と相 Q の間を移動するが、例えば、陽イオン 1 個が相 P から相 Q に移動すると、ア を保つために、陽イオン 1 個が逆に相 Q から相 P に移動しなくてはならない。相 P に存在する Na^+ イオンと K^+ イオンを $\text{Na}^+(\text{P})$ と $\text{K}^+(\text{P})$, 相 Q に存在する Na^+ イオンと K^+ イオンを $\text{Na}^+(\text{Q})$ と $\text{K}^+(\text{Q})$ とすると、2 つの相の間のイオンの移動に関する平衡は次のように表すことができる。



両相のイオンのモル濃度をそれぞれ、 $[\text{Na}^+(\text{P})]$, $[\text{Na}^+(\text{Q})]$, $[\text{K}^+(\text{P})]$, $[\text{K}^+(\text{Q})]$ とすると、(1) 式の平衡定数は次のように定義することができ、 K の値は 1 となる。

$$K = \frac{\text{イ}}{\text{ウ}} \quad (2)$$

初濃度から平衡に達するまでに、 $[\text{Na}^+(\text{P})]$ が x [mol/L] だけ減少したとすると、 $[\text{Na}^+(\text{Q})]$ は エ [mol/L] だけ オ し、 $[\text{K}^+(\text{P})]$ は カ [mol/L] だけ キ する。したがって、 x および C_P , C_Q を使って (2) 式を書き直すと次のようになる。

$$K = \frac{\text{ク}}{\text{ケ}} \quad (3)$$

K に値を入れて (3) 式を x について解くと、次の式が得られる。

$$x = \text{コ} \quad (4)$$

問1 ~ に適した語句または式を書け。

問2 $C_P = 0.400 \text{ mol/L}$, $C_Q = 0.200 \text{ mol/L}$ のときの x の値を有効数字3桁で書け。

問3 問2の条件のとき、平衡状態における各イオン濃度 $[\text{Na}^+(\text{P})]$, $[\text{K}^+(\text{P})]$, $[\text{Na}^+(\text{Q})]$, $[\text{K}^+(\text{Q})]$ を求めよ。

問4 平衡状態において正しいものの記号を(あ)~(う)の中から選び、その理由も記せ。

(あ) $\frac{[\text{Na}^+(\text{Q})]}{[\text{Na}^+(\text{P})]}$ と $\frac{[\text{K}^+(\text{Q})]}{[\text{K}^+(\text{P})]}$ とは、初濃度にかかわらず、等しくなる。

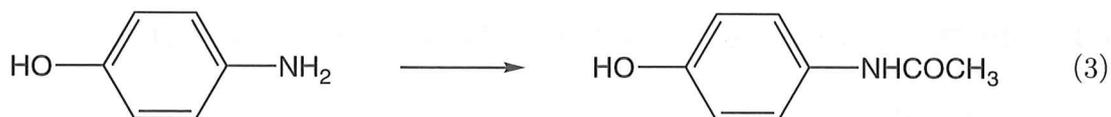
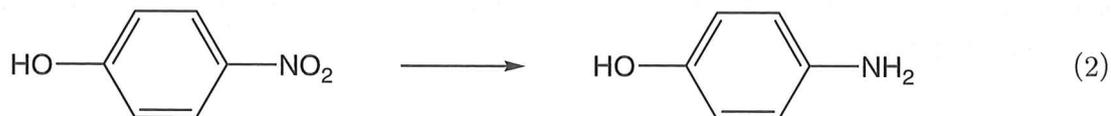
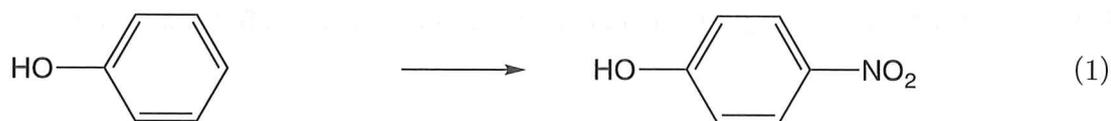
(い) $\frac{[\text{Na}^+(\text{Q})]}{[\text{Na}^+(\text{P})]}$ と $\frac{[\text{K}^+(\text{Q})]}{[\text{K}^+(\text{P})]}$ とは、初濃度にかかわらず、等しくならない。

(う) $\frac{[\text{Na}^+(\text{Q})]}{[\text{Na}^+(\text{P})]}$ と $\frac{[\text{K}^+(\text{Q})]}{[\text{K}^+(\text{P})]}$ とは、初濃度によって、等しくなる場合と

等しくならない場合がある。

問5 C_P と C_Q が異なるとき、 Na^+ イオンも K^+ イオンも陽イオン交換膜を自由に透過できるにもかかわらず、平衡状態において、膜の両側に均等に分布しない。この結果、2つの相の間には何が生じると考えられるか。漢字3文字以内で書け。

[IV] 解熱鎮痛薬であるアセトアミノフェンを以下のように(1)～(3)の3段階の反応で合成することを考えた。以下の問いに答えよ。



アセトアミノフェン

問1 反応(1)を行おうとして、フェノールに濃硝酸と濃硫酸の混合物を加えて加熱したところ、*p*-ニトロフェノールはほとんど得られなかった。このとき、主に生成した化合物の構造式を書け。

問2 反応(1)において、常温でフェノールに希硝酸を反応させたところ、*p*-ニトロフェノールが得られたが、化合物Xが*p*-ニトロフェノールよりも多く得られ、また少量の化合物YとZも得られた。

核磁気共鳴装置という測定機器を用いて分子を分析すると、その分子中にある¹H原子のうち異なる環境にある¹H原子が何種類存在するか、そしてそれらの¹H原子の数の比がわかる。例えば*p*-ニトロフェノールには異なる環境にある3種類の¹H原子が存在し、その比は2:2:1である。化合物X、Y、Zを核磁気共鳴装置で分析すると、Xには5種類の¹H原子が存在し、その比は1:1:1:1:1であった。Yには4種類の¹H原子が存在し、その比は1:1:1:1であった。Zには3種類の¹H原子が存在し、その比は2:1:1であった。X、Y、Zの構造式をそれぞれ書け。

問3 反応(2)を行おうとして、次のような操作を試みた。*p*-ニトロフェノール1gとスズ3gをとり、濃塩酸5mLを少しずつ加えた後、加熱した。反応終了後、室温まで冷ました後、この溶液にジエチルエーテルを加え、分液ろうとうに入れて振り混ぜた後、エーテル層をとり、エーテルを蒸発させた。しかし、*p*-アミノフェノールはほとんど得られなかった。その理由を答えよ。

問4 反応(3)を行おうとして、次のような操作を試みた。*p*-アミノフェノール 1 g に無水酢酸 5 g を加え、加熱したところ、生成物 W が得られた。W は塩化鉄(III)水溶液で呈色しなかった。また、さらし粉水溶液でも呈色しなかった。W の構造式を書け。

問5 反応(3)において、問4と同じ反応条件に水 10 mL を加えて、反応を行ったところ、アセトアミノフェンが得られたが、W も含まれていた。再結晶以外の方法で、W を取り除いてアセトアミノフェンを得る方法の具体的な操作を書け。