

令和 3 年 度

理 科

物	理	1 ページ～ 9 ページ
化	学	10 ページ～19 ページ
生	物	20 ページ～30 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その 1～その 3)、化学(その 1～その 4)、生物(その 1～その 4)の 3 科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する 2 科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

化 学

必要に応じて、以下の数値を使用せよ。

原子量 $H = 1.0$, $C = 12.0$, $N = 14.0$, $O = 16.0$, $Na = 23.0$, $Mg = 24.3$,

$S = 32.1$, $Cl = 35.5$

アボガドロ定数 $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$

1 気圧 $= 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

数字は特に指定のない限り、有効数字 2 桁まで求めよ。

- 1 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、電解質は水溶液中で完全に電離しており、また、溶質を水に溶かしたときの体積変化は無視できるものとする。

浸透圧は半透膜を備えた U 字管を用いて求めることができる。図 1 のように、断面積が 1.0 cm^2 の U 字管の中央部を水分子以外は通過できない半透膜で仕切って、両側にそれぞれ純水と特定の物質を含む水溶液を入れた。

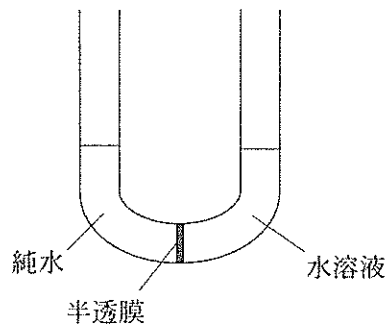


図 1 半透膜と U 字管

- 問 1 半透膜としてセロハンを使用することができる。セロハンはセルロースを化学的に処理して得た溶液からつくられる。その溶液の名称を記せ。

問 2 図 1 の U 字管の水溶液側に、12 mg の非電解質を 100 g の水に溶かした溶液を、純水と同じ高さまで入れた。27 °C において長時間放置すると、純水側の液面と水溶液側の液面の高さに 2.0 cm の差が生じた。なお、水銀の密度は 13.6 g/cm^3 であり、76.0 cm の水銀柱が示す圧力は $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ である。

- (1) 純水側の液面と水溶液側の液面のどちら側の液面が高くなったか、解答欄の正しい方を丸で囲め。
- (2) この水溶液の浸透圧は何 Pa か。
- (3) この水溶液に含まれる非電解質の分子量を求めよ。
- (4) 硫酸マグネシウムを水に溶かして、この非電解質水溶液と同じ浸透圧を示す水溶液をつくるには、100 g の水に何 g の硫酸マグネシウムを溶かせばよいか。

問 3 ブドウ糖 18 g と塩化ナトリウムを水に溶かして、37 °C でヒトの体液と同じ浸透圧を示す水溶液を 1.0 L つくるには、塩化ナトリウムを何 g 溶かせばよいか。ただし、ヒトの体液の浸透圧は体温 37 °C で $7.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ とする。

問 4 図 1 において、水溶液側に海水を入れたのち、ある一方の側に圧力を加えることによって海水を淡水化することができる。

- (1) この淡水化の方法で用いられている現象を何とよぶか、記せ。
- (2) 質量パーセント濃度が 3.4 % の塩化ナトリウム水溶液(密度 1.0 g/cm^3)のみで海水ができていたとしたとき、27 °C で海水の淡水化に最小限必要な圧力は何 Pa か。

2 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、窒素、水素、アンモニアはすべて理想気体として扱う。

94℃で、61.0 Lの容器に1.12 molの窒素と2.56 molの水素を封じ込め、密閉して温度を保ったまま長時間放置したところ、一部が反応してアンモニアが生成し、やがて平衡状態になった。この状態を【状態1】とする。【状態1】におけるアンモニアの生成量は1.44 molであった。

この容器を密閉したまま、体積を0.831 Lまで圧縮して長時間放置したところ、容器内の温度が227℃となって平衡に達した。このときの状態を【状態2】とする。【状態2】における窒素、水素、アンモニアの分圧は、それぞれ 1.82×10^6 Pa, 1.46×10^6 Pa, 7.56×10^6 Paであった。

問1 【状態1】における窒素と水素の物質量を求めよ。

問2 【状態1】における窒素、水素、アンモニアの分圧を求めよ。

問3 【状態1】における $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ の圧平衡定数を求めよ。単位も記すこと。

問4 【状態2】について、以下の問いに答えよ。

(1) 【状態2】におけるアンモニアの物質量は【状態1】より多いか、少ないか、解答欄の正しい方を丸で囲め。

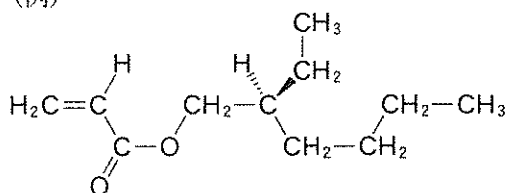
(2) 【状態2】における $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ の圧平衡定数は【状態1】より大きいか、小さいか、解答欄の正しい方を丸で囲め。

問 5 窒素と水素からアンモニアを生じる反応は、発熱反応か、吸熱反応か、解答欄の正しい方を丸で囲め。

問 6 工業的なアンモニア製造プラントでは、効率よくアンモニアを得るために、 $400\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ で反応を行っている。反応温度を上げると効率よくアンモニアが得られるのはなぜか、その理由を記せ。

- 3 次の(文1)と(文2)を読んで、
以下の問いに答えよ。ただし、構造式は例にならって示せ。

(例)



(構造式の▶は紙面手前の結合、
⋯は紙面奥の結合を示す)

(文1) 有機化合物において、分子式が同じで構造が異なる化合物どうしを、互いに異性体であるといい、異性体はいくつかに分類される。異性体のうち、分子式が同じで、原子の結合の順序が異なる異性体を構造異性体という。

一方、原子の結合の順序は同じであるが、分子の三次元構造が異なる異性体を立体異性体という。立体異性体のうち、アルケンの炭素原子間の二重結合の置換基の配置が異なる異性体を 異性体という。また、結合している原子や原子団(基)が4つとも異なる 炭素原子をもつ化合物には、実物と鏡像の関係にある異性体が存在する。これらを互いに鏡像異性体という。

問1 、 にあてはまる適当な語句を記せ。

問2 分子式 C_3H_6O で示される有機化合物の構造異性体は環状構造を含めて何種類か、記せ。

問3 ベンゼンの3つのH原子がそれぞれメチル基、ヒドロキシ基、カルボキシ基で置換された芳香族化合物(分子式 $C_8H_8O_3$)の異性体(位置異性体)は何種類か、記せ。

問4 鏡像異性体どうしで異なる可能性のあるものを、次の(ア)~(カ)からすべて選び、その記号を記せ。

- | | | |
|--------|---------|---------|
| (ア) 味 | (イ) 沸点 | (ウ) 密度 |
| (エ) 融点 | (オ) におい | (カ) 分子量 |

問 5 鏡像異性体どうしは、光に対する性質も異なる。鏡像異性体の一方のみを入れた溶液に、ある一平面内だけで振動する光(平面偏光)を通過させた場合に、平面偏光の振動面にどのような変化が生じるか、10字程度で記せ。

(文 2) L-ピペコリン酸(図 2)のような窒素が環構造に含まれる化合物は α -アミノ酸の一種であり、 $R-CH(NH_2)-COOH$ で表される α -アミノ酸と類似の反応性や性質を示す。たとえば、L-ピペコリン酸のカルボキシ基ともう一つの L-ピペコリン酸の $-NH-$ との間で脱水縮合すると、ペプチド結合を有するジペプチドが得られる(図 2)。

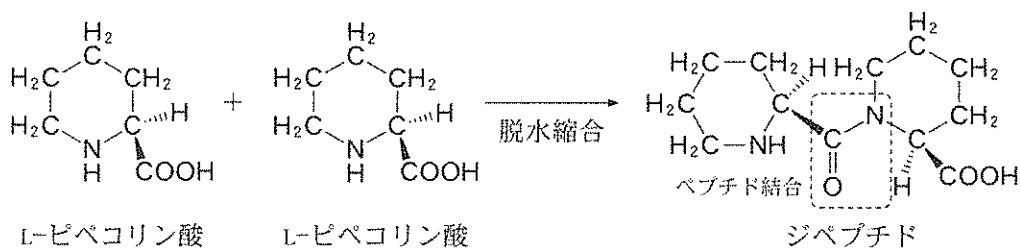


図 2 環構造に窒素が含まれる α -アミノ酸の反応
($-NHCO-$ と同様、 $-NRCO-$ もペプチド結合である)

化合物 A(分子式 $C_{12}H_{19}N_3O_5$)は、異なる 3 種類の α -アミノ酸が脱水縮合したトリペプチドであり、1つのアミノ基($-NH_2$)が含まれている。化合物 A を加水分解したところ、3 種類の α -アミノ酸である化合物 B, C, D と 2 種類のジペプチドである化合物 E, F が得られた。なお、化合物 B, C は図 3 に示す構造であった。次に、化合物 E, F を加水分解したところ、いずれからの生成物にも化合物 B が含まれていた。また、化合物 E の分子式は $C_7H_{12}N_2O_3$ であり、その立体異性体は化合物 E の他に 1 種類のみである。

化合物 A を脱水縮合して得られたポリペプチドは三重らせん構造を形成し、皮膚の真皮の主成分となっている。

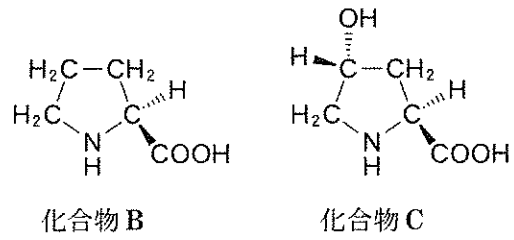


図3 化合物 B, C の構造

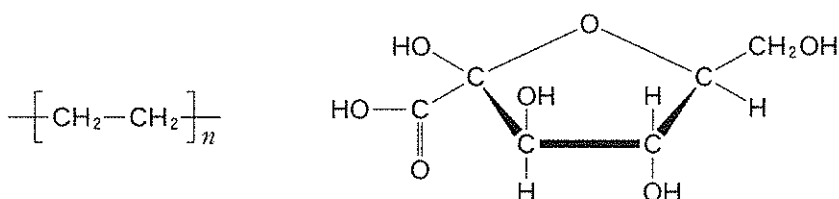
問 6 化合物 F の立体異性体は化合物 F を含めて何種類か、記せ。

問 7 化合物 D の構造式を記せ。

問 8 化合物 A の構造式を記せ。

4 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、構造式は例にならって示せ。

(例)



天然ゴム(主成分はポリイソプレン)やセルロースなどの高分子化合物は、人類が有史以前から利用してきたが、その実態が明らかではなかった。20世紀初頭には、天然ゴムはイソプレン分子の二重結合が「副原子価」とよばれる一種の分子間相互作用で集合したものと考えられ、セルロースもグルコースが集合したミセルのような集合体だと考えられていた。このような考えをここでは「低分子説」とよぶ。シュタウディンガーらは1920年にこれらの化合物は共有結合で非常に多くの原子がつながった巨大な分子であるという高分子説を提唱したが、この説はすぐには受け入れられなかった。

分子量を測れば高分子説は容易に証明できるはずである。しかし分子量を決定する方法として当時主流だった凝固点降下法では、分子量が大きい物質の凝固点降下度が小さくなる^(a)ため、測定誤差が大きく信頼性に欠けていた。さらに、ミセルのような分子の集合体を測定した場合、構成している個々の分子の分子量ではなく、ミセル全体のモル質量が得られるために、低分子説を否定する根拠にならなかった。そこで、シュタウディンガーらは低分子説を否定するために次の実験を行った。

【実験1】 ポリイソプレンの二重結合に水素を付加させて物性の変化を調べた。

もし、低分子説が正しければ、集合体は壊れて個々のイソプレン分子になるために、モル質量が激減し、粘性の大幅な低下などの顕著な変化が見られるはずである。しかし実際には、それらの変化は見られなかった。

【実験2】 セルローンをアセチル化してトリアセチルセルロースを得た。セル
(b)
ロースとトリアセチルセルロースでは溶けやすい溶媒の種類が異なる。
それぞれが良く溶ける溶媒中で、集合する分子の数やモル質量に大きな
違いが見られれば、低分子説が正しいことになる。しかし、実際には、
それらの違いは見られなかった。

実験1、2などによって高分子説はしだいに支持されるようになった。これら
の研究功績に対して1953年にシュタウディンガーにノーベル化学賞が贈られ
た。

問1 イソプレンとポリイソプレンの構造式を記せ。ただし、ポリイソプレンは
天然ゴムに最も多く含まれる立体異性体の構造式を記せ。

問2 イソプレンの付加重合によってポリイソプレンが得られる。このようにモ
ノマーの付加重合だけで得られる高分子化合物を次の(ア)~(オ)からすべて選
び、記号を記せ。

- (ア) ポリアクリロニトリル (イ) ポリエチレンテレフタレート
(ウ) ポリブタジエン (エ) ナイロン66
(オ) ポリビニルアルコール

問3 下線部(a)に関して、重合度が2000のポリビニルアルコール0.880gを
100 mLの水に溶解させたときの凝固点降下度を求めよ。ただし、水のモル
凝固点降下は $1.85 \text{ K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$ 、水の密度は $1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$ とする。

問4 下線部(b)に関して、硫酸の存在下でセルロースに 1 を作用させト
リアセチルセルロースを得た。 1 は酸性を示さない。

- (1) 1 にあてはまる物質の名称とその構造式を記せ。
(2) 解答欄の構造式に必要な原子、原子団、化学結合を追加して、トリアセ
チルセルロースの構造式を完成させよ。

問 5 分子量が 3.24×10^4 のセルロースをアセチル化してトリアセチルセルロースを得た。シュタウディンガーらが予想したように、アセチル化反応で重合度が変わらない場合、このトリアセチルセルロースの分子量を求めよ。