

令和 3 年度

前期日程

理科問題

〔注意〕

1. 問題冊子及び解答用冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけない。
2. 問題冊子は、物理、化学、生物の順序で1冊にまとめてある。

問題は $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理} \quad 2 \text{ ページから } 15 \text{ ページ} \\ \text{化学} \quad 16 \text{ ページから } 26 \text{ ページ} \\ \text{生物} \quad 27 \text{ ページから } 42 \text{ ページ} \end{array} \right\}$ にある。

ページの脱落があれば直ちに申し出ること。

3. 解答用紙は、物理 3 枚、化学 4 枚、生物 5 枚が一緒に折り込まれている。受験する科目の解答用紙をミシン目に従って切り離すこと。
4. 受験番号は、受験する科目の解答用紙の受験番号欄(1枚につき2か所)に1枚ずつ正確に記入すること。
5. 解答は、1ページの「理科の解答についての注意」の指示に従い、解答用紙の指定されたところに記入すること。
6. 問題冊子の余白は、適宜下書きに使用してもよい。
7. 配付した解答用紙は持ち帰ってはいけない。
8. 問題冊子は持ち帰ること。

「理科の解答についての注意」

理学部志願者

- 数学科，化学科，生物科学科生物科学コースを志望する者は，物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。
- 物理学科を志望する者は，物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。
- 生物科学科生命理学コースを志望する者は，物理と化学の2科目を解答すること。

医学部医学科・医学部保健学科(放射線技術科学専攻・検査技術科学専攻)・歯学部・薬学部志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから2科目を選んで解答すること。

医学部保健学科(看護学専攻)志願者

物理，化学，生物の3科目のうちから1科目を選んで解答すること。

工学部・基礎工学部志願者

物理を必須科目とし，そのほかに化学または生物のうちから1科目を選んで解答すること(計2科目)。

化学問題

(解答はすべて化学解答用紙に記入すること)

【注意】

1. 必要があれば次の数値を用いよ。

Hの原子量 = 1.0 Liの原子量 = 6.9 Cの原子量 = 12.0

Nの原子量 = 14.0 Oの原子量 = 16.0 Coの原子量 = 58.9

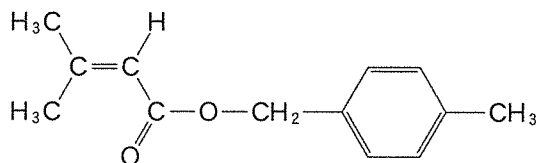
アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

ファラデー定数 $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

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

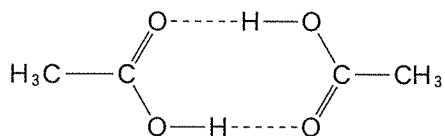
2. 特にことわらない限り、構造式は下の例にならって示すこと。

(例)



3. 水素結合は下の例にならって点線で示すこと。

(例)



4. 体積の単位記号Lは、リットルを表す。

5. 字数制限のある解答は、下に示す例にならって書くこと。

(例)

L	—	ア	ラ	ニ	ン	を	,	5	.	0	×	1	0	-	2	g
/	L	の	N	a	N	O	3	水	溶	液	に	溶	か	し	た	。

〔1〕 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

近年、Liは電池材料として需要が増大している。Liは塩湖の塩水中に多く含まれ、塩水を濃縮精製して Li_2CO_3 や LiCl が製造される。単体のLiは、 LiCl を原料として、陽極に黒鉛を、陰極に軟鋼(炭素を含む鉄)を用いた熔融塩電解によって得られ、 LiCl 水溶液の電気分解で得ることはできない。

化学電池は、正極と負極のそれぞれで進行する 反応と 反応により、化学エネルギーを エネルギーに変換する装置である。リチウム電池は、正極活物質には MnO_2 、負極活物質には金属Li、電解液には有機溶媒にLi塩を溶解させた溶液が用いられ、充電することができない 電池である。放電により、正極活物質中のMnは4価から3価に変わる。一方、リチウムイオン電池は、繰り返し充放電が可能な 電池であり、代表的な正極活物質には $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ ($0 < x < 1$)、負極活物質には黒鉛、電解液には有機溶媒にLi塩を溶解させた溶液が用いられる。充電時には、外部からの電流により正極からリチウムイオンが脱離して負極の黒鉛層間に取り込まれ、放電時には、負極の黒鉛層間からリチウムイオンが移動し、正極に取り込まれることで電流を取り出している。

充電電池を満充電の状態からさらに充電し続けることを過充電とよび、充電電池の性能が劣化する原因の1つである。リチウムイオン電池では、過充電により、 $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ が O_2 の発生をともない LiCoO_2 と Co_3O_4 へと分解し、放電容量が減少する。

問1 ～ にあてはまる最も適切な語句を次の語群の中から選んで書け。

[位置、一次、運動、還元、酸化、太陽、電気、二次、熱、燃料、平衡]

問2 下線部①において、陽極と陰極で進行する化学変化をそれぞれ電子 e^- を含むイオン反応式で示せ。

- 問 3 下線部②において，単体の Li が得られない理由を 60 字以内で説明せよ。
- 問 4 下線部③において，正極と負極で進行する化学変化をそれぞれ電子 e^- を含むイオン反応式で示せ。
- 問 5 下線部④において，リチウムイオン電池を $8.00 \times 10^{-1} \text{ A}$ の一定電流で 2 時間放電した。この時，負極から移動したリチウムイオンの物質量を有効数字 2 桁で求めよ。また，解答欄には計算過程も示せ。
- 問 6 下線部⑤において， $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$ が $\text{Li}_{0.4}\text{CoO}_2$ のとき，この分解反応の反応式を示せ。また，10.0 g の $\text{Li}_{0.4}\text{CoO}_2$ の 30 % が分解するとき，発生する O_2 の物質量を有効数字 2 桁で求めよ。また，解答欄には計算過程も示せ。

〔2〕 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

揮発性の純物質AとBは、大気圧(1.01×10^5 Pa)のもと、いずれも298 Kで液体であり、この温度でのそれぞれの蒸気圧は、 $P_A^* = 7.50 \times 10^4$ Pa および $P_B^* = 2.50 \times 10^4$ Pa である。AとBの液体混合物では、混合割合にかかわらず、各成分の蒸気圧(P_A および P_B)が、液体混合物中のモル分率(x_A および x_B)と純物質の蒸気圧(P_A^* および P_B^*)の積にそれぞれ等しくなる($P_A = x_A P_A^*$ および $P_B = x_B P_B^*$)。また、温度一定における混合物の気液平衡では、液体混合物の蒸気圧が、共存する混合気体の体積と液体混合物の量によって変化する。混合気体は、ドルトンの分圧の法則に従う。

AとBの混合物の状態変化を調べるために、温度一定(298 K)のもと、以下の実験を行った。

【実験1】

298 Kにおいて、成分Aのモル分率が z_A となるように、AとBの液体混合物を調製した。このモル分率を「仕込みのモル分率」という。この液体混合物を、298 Kに保った透明な容器に入れ、気体が入らないようにピストンで密閉した(図1)。このとき、ピストンと壁面との摩擦およびピストンの重さは無視できる。

つぎに、温度を一定に保ったまま、ピストンにかかる圧力をゆっくりと下げていくと、圧力 P_1 で容器内にAとBの混合気体が現れはじめた。さらに、圧力を P_2 まで下げると、混合気体の量が増加し、液体混合物の量が減少した。引き続き、圧力を下げていくと、圧力 P_3 で容器内の液体混合物がすべて消失した。

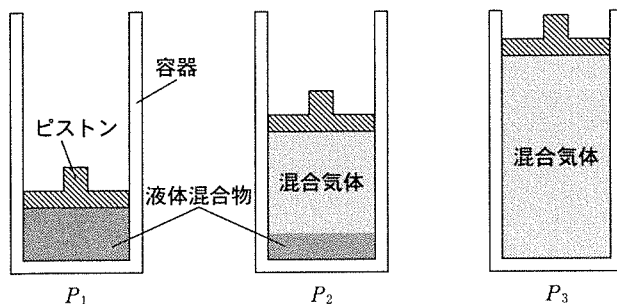


図1 密閉容器内のAとBの混合物の状態変化の模式図

図2は、容器内の圧力と、混合気体および液体混合物に含まれる成分Aのモル分率をまとめたもので、298 KにおけるAとBの混合物の状態図である。直線①は、液体混合物の蒸気圧とその液体混合物中のAのモル分率との関係を表している。一方、曲線②は、液体混合物と平衡にある混合気体の圧力とその混合気体中のAのモル分率との関係を表している。直線①の上側を領域I、曲線②の下側を領域IIとする。

図中の点a, b, cは、実験1の圧力 P_1, P_2, P_3 の状態にそれぞれ対応している。点a-c間では、混合気体と液体混合物が共存する。点aで混合気体が出現し、点a-b-cの変化に対して、混合気体の成分は $a''-b''-c$ のように変化する。一方、液体混合物の成分は、 $a-b'-c'$ と変化し、点 c' で液体混合物がすべて消失する。

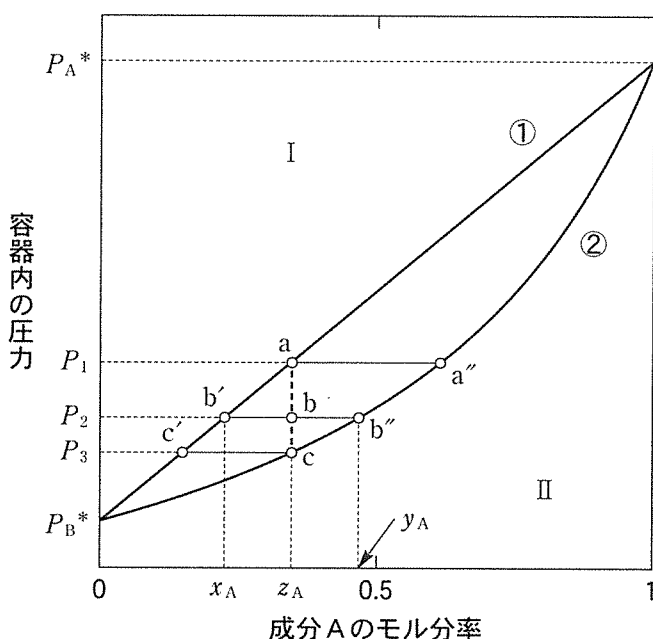


図2 298 KにおけるAとBの混合物の状態図

問1 領域IとIIのそれぞれにおいて、AとBの混合物が、物質の三態のうち、どの状態をとるか答えよ。

問 2 点 b で気液平衡に達したとき、 P_2 は $3.70 \times 10^4 \text{ Pa}$ であった。A と B の液体混合物 (点 b') に含まれる成分 A のモル分率 (x_A) を、有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

問 3 問 2 において、気液平衡に達した A と B の混合気体 (点 b'') に含まれる成分 A のモル分率 (y_A) を、有効数字 2 桁で求めよ。解答欄には、計算過程も示せ。

問 4 点 b で気液平衡にある混合気体と液体混合物の物質量を、それぞれ n_G および n_L とする。これらの物質量の比 ($\frac{n_G}{n_L}$) を、 x_A 、 y_A および z_A を用いて表せ。解答欄には、導出過程も示せ。

問 5 図 3 は、図 2 の一部分を拡大したものである。仕込みのモル分率が 0.75 の試料において、 n_G と n_L が等しくなる容器内の圧力を、図 3 を使って求めよ。

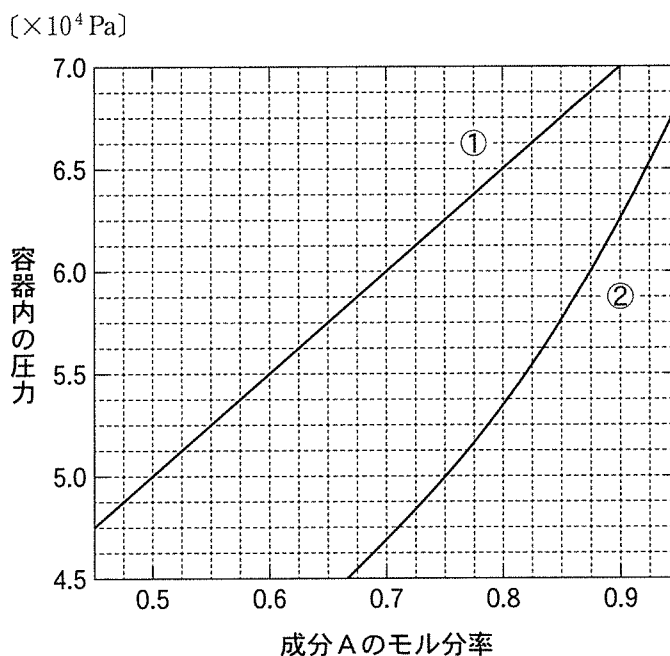


図 3 図 2 の一部分を拡大した図

〔3〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

【1】

ベンゼン環をもつ化合物AとBは、炭素、水素、酸素からなる同じ組成式をもち、分子量が136.0である。化合物AとBを用いて、以下の実験を行った。

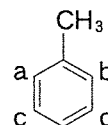
【実験1】 化合物AとBの混合物34.0mgを、乾いた酸素を通しながら酸化銅を用いて完全燃焼させ、アの入ったU字管とイの入ったU字管へ順に通したところ、それぞれ18.0mgの水と88.0mgの二酸化炭素が吸収された。

【実験2】 化合物AとBの混合物に炭酸水素ナトリウム水溶液を加え、ジエチルエーテルを用いて分離操作を行った。ジエチルエーテル層から化合物Aが得られた。水層に希塩酸を加えて酸性にし、再度ジエチルエーテルで抽出すると、化合物Bが得られた。

【実験3】 化合物Aは、銀鏡反応を示した。また、水酸化ナトリウム水溶液中で加水分解が進行した。加水分解で得られた生成物を塩化鉄(Ⅲ)の水溶液に加えても、呈色しなかった。

【実験4】 化合物Bを過マンガン酸カリウム水溶液とともに加熱したところ、化合物Cが得られた。化合物Cは、分子内に化学的環境の異なる3種類の炭素原子をもっていた。(注)化合物Cとヘキサメチレンジアミンを反応させると、高分子化合物Dが得られた。

(注) 右図のトルエンを例にすると、炭素原子aとbは同じ化学的環境にある。また、炭素原子cとdも同じ化学的環境にある。



【実験5】 化合物Bに濃硝酸と濃硫酸の混合物を反応させると、一つの水素原子がニトロ基で置換された化合物Eが主生成物として得られた。

問 1 ア と イ にあてはまる最も適切な物質名を書け。

問 2 化合物 A と B に共通する分子式を答えよ。解答欄には導出過程も示せ。

問 3 化合物 A と B の構造式を書け。

問 4 高分子化合物 D の構造式を書け。

問 5 化合物 E の構造式を書け。

【II】

二重結合または三重結合を 1 つもつ分子式 C_6H_{10} の脂肪族化合物 F, G, H がある。ただし、いずれの化合物も、炭素原子 3 つや 4 つからなる環構造はもたない。化合物 F, G, H を用いて、以下の実験を行った。

【実験 6】 白金触媒存在下で、化合物 F と水素を物質量の比 1 : 1 で付加させると、枝分かれ構造をもつ化合物が得られた。この化合物には、幾何異性体が存在する。

【実験 7】 化合物 G と臭素を物質量の比 1 : 1 で付加させると、不飽和結合や不斉炭素原子をもたない化合物が得られた。

【実験 8】 化合物 H を硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液と十分に反応させると、枝分かれ構造をもたない化合物 I が得られた。フェーリング液に化合物 I を加えても、変化は起こらなかった。化合物 I とエチレングリコールを反応させると、高分子化合物 J が得られた。

問 6 化合物 F, G, H の構造式を書け。

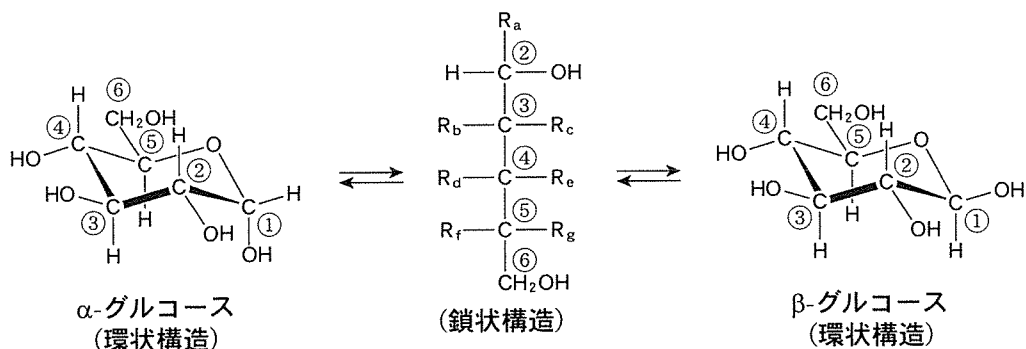
問 7 高分子化合物 J の構造式を書け。

〔4〕 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

〔I〕

グルコースは、水溶液中では、 α -グルコースと β -グルコースの2つの環状構造が鎖状構造との平衡状態にある。 α -グルコースと β -グルコースの環を構成する原子は、下の図のような位置関係にあり、同一平面上にはない。このような構造は、いす型構造と呼ばれる。

図中の数字①から⑥は、炭素の番号を示し、太い実線は手前側の結合を示す。鎖状構造中の R_a から R_g は、原子あるいは官能基を示し、①の炭素は官能基 R_a に含まれる。また、図中の鎖状構造では、②から⑤の炭素に関して、それぞれの左右の結合は紙面より手前に、上下の結合は紙面より奥にある。従って、②から⑤の炭素を順番に見ていくと、炭素鎖は紙面の奥に向かう。



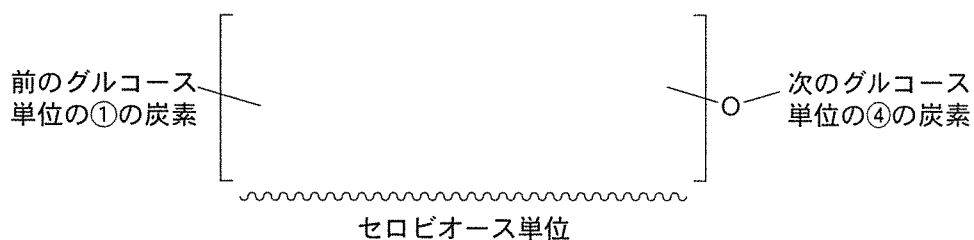
デンプンとセルロースは、いずれもグルコース分子が繰り返し縮合した構造をもっている。このうちデンプンは、80℃の熱水に浸けておくと、溶ける部分と溶けない部分に分かれる。溶ける部分は、ア と呼ばれ、^(a)

イ の①の炭素に結合したヒドロキシ基と④の炭素に結合したヒドロキシ基で次々と縮合した構造をもつ。ア は、らせん構造をとるため、

ウ 反応により鋭敏に濃青色を呈する。一方、セルロースは、^(b)

ア と異なり、エ の①と④の炭素に結合したヒドロキシ基で次々と縮合し、直線状になる。

- 問 1 文中の ア ~ エ に適切な語句を記入せよ。
- 問 2 鎖状構造の立体配置を正確に表すように、 $R_a \sim R_g$ にあてはまる原子または官能基を書け。
- 問 3 下線部(a)の熱水に溶けない部分と ア の構造上の違いを 50 字以内で説明せよ。
- 問 4 セルロースは、下線部(b)のように、全体として直線状になる。それがわかるように、セルロース中のセロビオース単位の構造を書け。ただし、前ページの図を参考にして、それぞれのグルコース単位はいす型構造で書くこと。

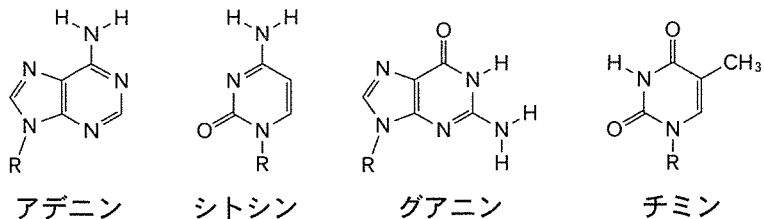


【II】

核酸は、生体内に存在する高分子化合物の一種である。環状構造の塩基(核酸塩基)と **オ** が、炭素原子数が **カ** 個の単糖に結合した物質を **キ** とよび、核酸の繰り返し単位となっている。デオキシリボ核酸(DNA)に含まれる核酸塩基は、アデニン、シトシン、グアニン、チミンの4種類である。アデニンはチミンと、グアニンはシトシンと水素結合を介して、^(c)それぞれ塩基対を形成する。このような塩基どうしの関係を相補性といい、相補的な2本のDNAは二重らせん構造をつくる。二重らせん構造をとるDNA(二重鎖DNA)の水溶液をゆっくり加熱すると、ある温度で1本ずつのDNAに解離する。この温度を融解温度とよび、二重鎖DNAの安定性を示す指標となる。

問5 文中の **オ** ~ **キ** に適切な語句または数字を記入せよ。

問6 下線部(c)について、二重鎖DNA中におけるそれぞれの塩基対の水素結合の様子を示せ。核酸塩基の化学構造は、下図の表記を用いること。なお、下図中のRは単糖を示す。



問7 二重鎖DNAに含まれるアデニンを、以下のW~Zで置き換えた時、融解温度が上昇するものはどれか、記号で答えよ。また、融解温度が上昇する理由を60字以内で説明せよ。なお、下図中のRは単糖を示す。

