

1 次の文章を読み、下の問い(問 1～4)に答えなさい。

硫黄を含む石油を燃焼させると、その排煙には、公害の原因となる物質として知られている硫黄酸化物が含まれている。今、3.0%の硫黄を含む重油 1.0 トンをすべて燃焼させたあと、以下の異なる方法で処理した。

〔方法 1〕 排煙中の二酸化硫黄を、触媒上で酸化しすべて三酸化硫黄に変えて、アンモニア水で吸収して除去した。

〔方法 2〕 二酸化硫黄を触媒上で酸化してすべて三酸化硫黄に変え、硫酸を合成した。

問 1 下線部①の反応で何 kg の二酸化硫黄が発生するか。有効数字 2 けたで答えなさい。計算過程も示しなさい。ただし、排煙中の硫黄酸化物はすべて二酸化硫黄とする。

問 2 下線部②の反応を二段階の化学反応式で示しなさい。

問 3 下線部②で最後に生成する化合物は化学肥料として広く用いられる。その化合物名を答えなさい。

問 4 方法 2 の処理により、下線部①で発生した二酸化硫黄から、何 kg の硫酸が製造可能か。有効数字 2 けたで答えなさい。計算過程も示しなさい。

2 次の文章を読み、下の問い(問 1～6)に答えなさい。

炭素とケイ素は、周期表中で同族の典型元素であり、他の原子と **ア** 結合をつくり、単原子イオンにはならない。

炭素の同素体として有名なものに **イ** と黒鉛(グラファイト)があり、**イ** では炭素原子が規則正しく次々に結合した構造をもち、結晶全体を1つの巨大な分子とみなすことができる。**イ** は無色透明で、物質の中で最高の硬度を有する。また、融点がきわめて高く、電気伝導性がない。一方、黒鉛では、炭素原子が **ウ** の各頂点に位置し、**ア** 結合でつくられた **エ** 構造がさらに分子間力によって層状に重なり結晶をつくっている。

ケイ素の単体(シリコン)は、結晶および非晶質(アモルファス)の状態で既に実用化されている。ケイ素の化合物である二酸化ケイ素は酸性酸化物のひとつであり古くから用いられている素材である。特に純度が高く透明な二酸化ケイ素は、通信用に用いられている。

問 1 炭素とケイ素の電子配置の共通点を答えなさい。

問 2 上の文章の **ア** ～ **エ** にあてはまる言葉をかきなさい。

問 3 同素体の定義を 50 字以内で述べなさい。

問 4 二酸化ケイ素の結晶では、1 個のケイ素原子に何個の酸素原子が結合しているか。また、それらはどのような形状の立体を形成しているか答えなさい。

問 5 ①ケイ素の単体の製法、および②二酸化ケイ素と炭酸ナトリウムを高温で融解させた時の反応をそれぞれ化学反応式で示しなさい。

問 6 炭素やその化合物の燃焼により生ずる二酸化炭素は、無色・無臭の気体であり、石灰石から製造することができる。その製造方法として①酸を用いる方法と、②酸を用いない方法について、それぞれ化学反応式で示しなさい。

3 次の文章を読み、下の問い(問 1～5)に答えなさい。

図に示すような容量 4.1 l の球形の密閉された容器があり、内部には水素と酸素の混合気体が充てんしてある。混合気体中の水素と酸素のモル比は、1 対 2 である。外部からニクロム線が挿入してあり、スイッチを入れることにより、電流が流れるようになっている。内部の混合気体の全圧力は 0.90 atm、温度は 27 °C である。ただし、気体は理想気体としてふるまうとする。反応によって、容器の容量は変化しないものとする。また、気体定数を $0.082 \text{ atm} \cdot \text{l}/(\text{K} \cdot \text{mol})$ とし、1 atm を 760 mmHg とする。

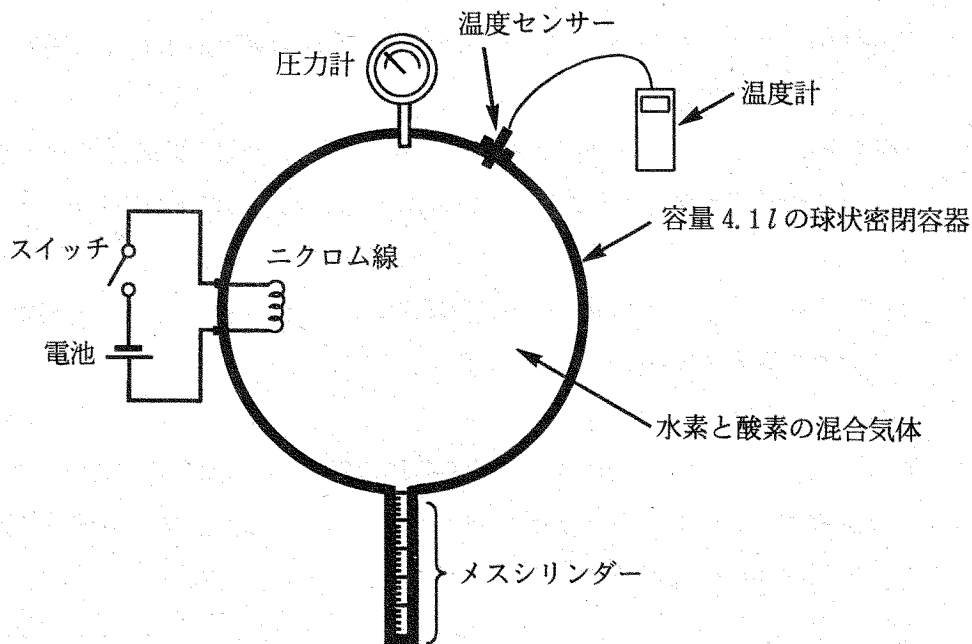
問 1 「混合気体の全圧はその各成分気体の分圧の和に等しい。」この関係を示す法則名(または原理名)をかきなさい。

問 2 この反応容器内の混合気体の全質量は何 g か。ただし、解答は有効数字 2 けたまで求め、その計算過程も示しなさい。

問 3 スイッチを入れたところ、ニクロム線が赤熱して、容器中の水素が爆発的に完全燃焼した。容器内に残る酸素の量は何 mol か。ただし、解答は有効数字 2 けたまで求め、その計算過程も示しなさい。

問 4 問 3 の反応後、メスシリンダー部を冷却して、容器内のすべての水をメスシリンダー部に凝縮させた。続いて、この容器全体(メスシリンダー部を含む)を温めて、内部の温度を 42 °C にあげたところ、メスシリンダー部分の水の量は 0.72 cm^3 まで減った。42 °C における飽和水蒸気圧は何 mmHg か。ただし、容器内は水蒸気が飽和した状態であり、液体として存在する水の体積や水に溶ける酸素の量は無視できるとする。また、水の密度は $1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$ であるとする。なお、解答は有効数字 2 けたまで求め、その計算過程も示しなさい。

問 5 さらに、容器全体を加熱し、容器内部の温度を 77°C にあげた。その温度での容器内の混合気体の全圧力は何 atm か。ただし、 77°C における飽和水蒸気圧は、 294 mmHg であり、水は気液平衡の状態にあるとする。なお、解答は有効数字 2 けたまで求め、その計算過程も示しなさい。



4

次の文章を読み、下の問い(問 1~6)に答えなさい。

図のように、水酸化ナトリウム水溶液、塩化銅(Ⅱ)水溶液、および硝酸銀水溶液を入れた電解槽をつなぎ、次の実験操作を行った。

〔操作1〕 スイッチ S_2 を開いた状態でスイッチ S_1 を閉じ、1.0 A の電流を 16 分 5 秒間流した。

〔操作2〕 スイッチ S_2 を閉じた状態でスイッチ S_1 を閉じ、0.50 A の電流を 32 分 10 秒間流したところ、(C)の炭素棒上に銅が 0.127 g 析出した。

問 1 〔操作1〕で G 点を流れた電気量は何 C か。計算過程も示し、有効数字 2 けたで答えなさい。

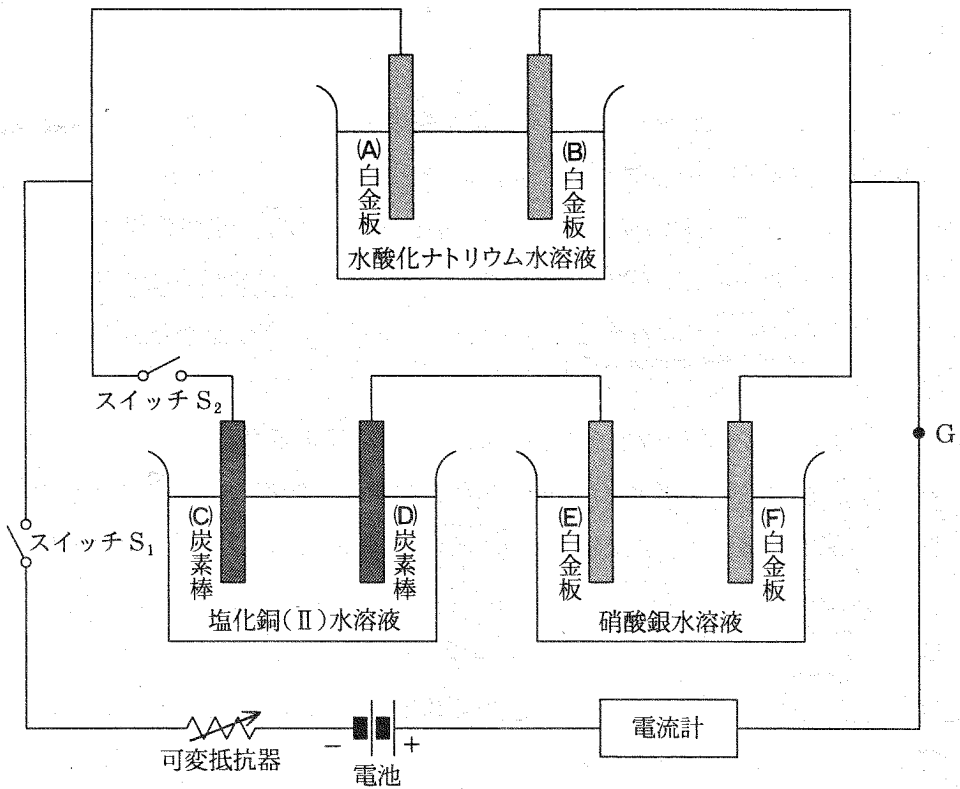
問 2 〔操作1〕で(A)の白金板で発生する気体の名称と物質量を答えなさい。計算過程も示し、有効数字 2 けたで答えなさい。ただし、ファラデー定数を 9.65×10^4 C/mol とする。

問 3 〔操作2〕で(C)の炭素棒に流れた電流は何 A か。計算過程も示し、有効数字 2 けたで答えなさい。

問 4 〔操作2〕で(E)の白金板に析出した銀は何 g か。計算過程も示し、有効数字 2 けたで答えなさい。

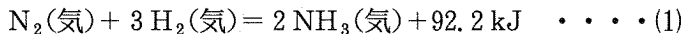
問 5 〔操作1〕と〔操作2〕で(B)の白金板でおこる変化を、電子 e^- を用いた化学反応式で示しなさい。

問 6 〔操作2〕で(B)の白金板で発生する気体と、(F)の白金板で発生する気体の物質量の比を答えなさい。また、その理由を簡潔に述べなさい。



5 次の文章を読み、下の問い(問1～4)に答えなさい。

窒素と水素の混合気体からアンモニアを生成する反応は次のように表される。



いま、窒素、水素、およびアンモニアの混合気体があり、平衡状態になっている。ここで温度を一定に保ち、混合気体を圧縮して全体積を半分にすると、(1)式の平衡は 側に移動する。また圧力を一定に保ち、混合気体の温度を下げると(1)式の平衡は 側に移動する。

工業的なアンモニアの合成は、一般に高温・高圧下で行われる。この際、 Fe_3O_4 と Al_2O_3 および K_2O の混合物などが加えられる。これらの混合物は触媒^②として作用するため、反応時間を することができる。

問1 ～ に入る言葉をかきなさい。

問2 下線部①の理由を述べなさい。また、このように反応の平衡と、温度、濃度、圧力などの関係を示す原理(法則)を一般に何と呼ぶか、かきなさい。

問3 (1)式の平衡状態になっている窒素、水素、およびアンモニアの混合気体に下線部②の触媒を加えると、その平衡はどうなるか、かきなさい。

問4 水素分子の結合エネルギーを 436 kJ/mol 、窒素分子の結合エネルギーを 945 kJ/mol とすると、アンモニアにおける N-H の結合エネルギーは何 kJ/mol になるか、有効数字3けたまで求めなさい。計算過程も示しなさい。

6 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えなさい。

サリチル酸は **A** としての性質と **I** としての性質の両方を示す化合物である。このサリチル酸に関して以下の4つの実験を行った。

(実験1) サリチル酸に適切な触媒存在下でメタノールを反応させると **A** が生成した。

(実験2) サリチル酸と適切な触媒存在下で無水酢酸が反応すると **B** が生成した。

(実験3) サリチル酸二ナトリウム水溶液に CO_2 を吹き込むと **C** が生成した。

(実験4) サリチル酸に NaHCO_3 水溶液を加えると CO_2 の気泡が生じて **C** が生成した。

A と **B** はともに医薬品として用いられる。実験1と2の反応は **ウ** 化であるが、とくに実験2の反応はアセチル化と呼ばれる。また実験1の反応は **ア** としての性質に基づくものであり、実験2の反応は **I** としての性質による。

問1 化合物 **A** と **B** の構造式をかきなさい。

問2 **A** ～ **C** のうち、塩化鉄(Ⅲ)で呈色する化合物をすべて選び、記号で答えなさい。

問3 **ア** ～ **ウ** に該当する語句を、以下の語群のなかから選び番号で答えなさい。

- [語群]
- | | | |
|----------|----------|----------|
| 1. フェノール | 2. ベンゼン環 | 3. カルボン酸 |
| 4. 炭化水素 | 5. アルコール | 6. ジアゾ |
| 7. エステル | 8. スルホン | 9. ニトロ |

問 4 実験 3 と 4 の化学反応式を示しなさい。

問 5 (1) 実験 3 および 4 と同様な酸-塩基反応が生じる実験を以下の実験 5 ～ 実験 8 のなかから選び、番号で答えなさい。

(2) また、実験 5 ～ 実験 8 において反応生成物が確実にえられるものを 2 つ選び、番号で答えなさい。

(実験 5) ベンゼンに濃硫酸を加えて加熱する。

(実験 6) 酢酸に NaHCO_3 水溶液を加える。

(実験 7) フェノールに NaHCO_3 水溶液を加える。

(実験 8) ベンゼンスルホン酸ナトリウム水溶液に CO_2 を吹き込む。

問 6 実験 1 に関して、反応生成物 A を 7.6 g えた。理論上必要なメタノールとサリチル酸の質量を有効数字 2 けたで答えなさい。

7 次の文章を読み、下の問い(問1～4)に答えなさい。

3種類の構造未知の芳香族化合物A, B, Cから成る混合物がある。この混合物を2つに分け、それぞれについて次の操作を行った。

〔操作1〕 一方の混合物に水酸化ナトリウム水溶液とジエチルエーテルを加えてよく混合した。しばらく放置後、2層に分離した上層から弱い塩基性の液体(物質A)がえられた。この液体を塩酸に溶かし、冷却しながら亜硝酸ナトリウム水溶液と反応させ、生成した塩化物にフェノールの水酸化ナトリウム水溶液を加えると、橙色のアゾ色素がえられた。このアゾ色素の分子式は $C_{12}H_{10}N_2O$ であった。

〔操作2〕 他方の混合物に塩酸水溶液とジエチルエーテルを加えてよく混合し、2層に分離した上層からは、物質Aはえられず、常温で固体の粉末(物質B)がえられた。この物質は、トルエンを過マンガン酸カリウムの酸性水溶液で酸化した場合にえられる物質と同じであった。

もう一つの物質Cは上記の操作1, 2のいずれの場合にもジエチルエーテル混合後、2層に分離した下層にあった。この物質は炭素, 水素, 窒素, 酸素から構成され、不斉炭素原子と2種の官能基をもつ分子式 $C_8H_9NO_2$ の物質であった。

問1 物質Aの名称をかきなさい。また、この物質は操作1では上層にあったが、操作2では上層になかったのはなぜか、その理由を60字以内で述べなさい。

問2 物質Bの構造式をかきなさい。

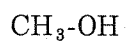
問3 物質Cの可能な構造式の一例を示し、不斉炭素原子を丸で囲みなさい。

問4 操作1, 2の下層中における物質Cの2種の官能基の存在状態を電子式で示しなさい。電子式は次の例にならってかきなさい。

例

官能基(-OH)

電子式

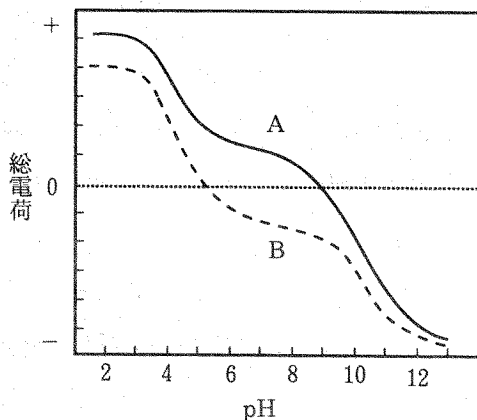


8 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えなさい。

α-アミノ酸は酸性溶液中では水素イオンが結合して陽イオンとなり、アルカリ水溶液中では水素イオンがとれて陰イオンを生じる。側鎖にアミノ基をもつα-アミノ酸を塩基性アミノ酸、カルボキシル基をもつα-アミノ酸を酸性アミノ酸とよぶ。塩基性アミノ酸および酸性アミノ酸では、側鎖の官能基の電離もアミノ酸のイオン化状態(電荷状態)に影響を与える。タンパク質はα-アミノ酸が結合したポリマーである。タンパク質分子全体としてのイオン化状態には、α-炭素に結合しているアミノ基やカルボキシル基よりも、側鎖のイオン化状態が大きく影響する。図にいろいろなpHの水溶液中での2種類のタンパク質AとBのイオン化状態を示した。図を参考にして、以下の操作に従ってタンパク質A、Bが溶けている混合液から、各々を分離した。

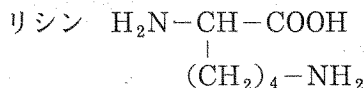
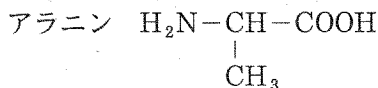
〔操作1〕 pH 4 に調整したタンパク質混合溶液を、陽イオン交換樹脂をつめたガラス管に流す。

〔操作2〕 次に、樹脂のガラス管に pH 7 の低塩濃度緩衝液を十分に流して、ガラス管内の pH を 7 に置換する。

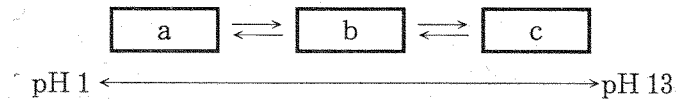


タンパク質 A, B の総電荷と pH との関係

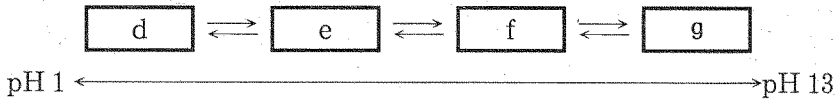
問1 次の a ～ g はアラニンとリシンの下線部①のイオン化の状態を示したものである。各々にあてはまるイオン化状態を構造式でかきなさい。ただし、リシンの側鎖のイオン化した官能基は α-炭素に結合しているものより高い pH で水素イオンを解離する。



アラニン



リシン



問 2 アラニンの等電点におけるイオン化状態は \boxed{a} ~ \boxed{c} のどれか、記号でかきなさい。

問 3 下線部②の理由を簡単に説明しなさい。

問 4 タンパク質 A, B に関する記述として正しいものを(1)~(4)の中から 1 つ選びなさい。

- (1) タンパク質 A はタンパク質 B より少ない数のアミノ酸から構成されている。
- (2) タンパク質 A はタンパク質 B より多い数のアミノ酸から構成されている。
- (3) タンパク質 A はタンパク質 B に比べて、構成アミノ酸のうち塩基性アミノ酸の割合が少ない。
- (4) タンパク質 A はタンパク質 B に比べて、構成アミノ酸のうち塩基性アミノ酸の割合が多い。

問 5 操作 1 を行った時に、樹脂に結合するタンパク質を記号 A, B で答えなさい。

問 6 操作 2 を行った時に、大部分が樹脂に結合しているタンパク質はどちらか、記号 A, B で答えなさい。また、その理由を簡単にかきなさい。

9 次の文章を読み、下の問い(問1～5)に答えなさい。

同じ1価の有機酸Aからなる3種類のエステルX、Y、Zの性質や構造について以下のような結果(1～7)がえられている。エステルはすべて炭素、水素、酸素からなる化合物であり、エステルX、Yの分子量は678、エステルZの分子量は176である。

〔実験結果〕

- (1) エステルXとYは、常温で固体であり、その元素組成は、炭素49.56%、水素5.60%であった。エステルZは常温で液体で、その元素組成は炭素47.72%、水素6.82%であった。
- (2) エステルXとYをそれぞれ1.36g秤量し、希硫酸を用いて完全に加水分解後、水蒸気を吹き込みながら常圧蒸留を行い、有機酸Aを回収した。回収した有機酸Aを0.100 mol/lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、それぞれ160 mlを必要とした。一方、エステルZ(0.352g)についても、同様の実験でえられた有機酸を中和するのに40 mlの水酸化ナトリウム水溶液を必要とした。ただし、有機酸の回収率は100%とする。
- (3) エステルZ(0.352g)にアニリン(0.372g)を加え、空気を遮断して加熱反応させたところ、結晶性のアミドB(元素分析結果：炭素71.09%、水素6.71%、窒素10.36%)が0.410g(収率76%)えられた。
- (4) エステルX、Yをそれぞれアルカリ加水分解してえられるアルコール部分C、Dは、いずれもフェーリングテスト陰性であったが、それぞれを希硫酸で完全加水分解した溶液はフェーリングテスト陽性であった。エステルZを同様に酸およびアルカリ加水分解処理すると同一のアルコールがえられた。このアルコールはフェーリングテスト陰性であった。
- (5) エステルX、Yからそれぞれえられるアルコール部分C、Dにインベルターゼを作用させたところアルコールCは完全に分解し化合物E、Fがそれぞれ等モルずつえられた。アルコールDはインベルターゼとマルターゼに全く反応しなかった。

- (6) エステルYを希硫酸で完全加水分解してえられる生成物は化合物Eと完全に一致した。
- (7) 化合物E, Fをそれぞれ還元(水素化)するとEからは1種類のアルコールが, Fからは2種類のアルコールが生成した。

問 1 エステルX, Y, Z各1分子にはそれぞれ何分子の有機酸Aが含まれているか答えなさい。計算の過程も明示しなさい。

問 2 結晶性アミドBの分子式および示性式をかきなさい。計算の過程も示しなさい。また, 有機酸Aの名称をかきなさい。

問 3 エステルZの構造式として最も適当なものを3種類かきなさい。
また, 実験(3)の化学反応式をかきなさい。

問 4 エステルXからえられるアルコールCの名称をかきなさい。

問 5 エステルYからえられるアルコールDの構造として可能なものはいくつあるか答えなさい。また, その理由を示しなさい。