

4 3 4 4 4 5 【理学部】

理 科 問 題

2024(令和6)年度

【注意事項】

- 理科は2科目を解答すること。試験時間は2科目合計で180分である。
- 試験開始の合図まで、この問題冊子を開いてはいけない。ただし、表紙はあらかじめよく読んでおくこと。
- この問題冊子の印刷は1ページから15ページまであり、解答用紙は問題冊子中央に9枚はさみこんである。

科 目	問 題	解答用紙
物 理	1ページから6ページ	3枚 (43-1, 43-2, 43-3)
化 学	7ページから10ページ	3枚 (44-1, 44-2, 44-3)
生 物	11ページから15ページ	3枚 (45-1, 45-2, 45-3)

- 問題冊子に落丁、乱丁、印刷不鮮明な箇所等があった場合および解答用紙が不足している場合は、手をあげて監督者に申し出ること。
- 試験開始後、解答する科目の解答用紙の所定欄に、受験番号と氏名を記入すること（1枚につき受験番号は2箇所、氏名は1箇所）。
- 解答は必ず解答用紙の指定された箇所に記入すること。解答用紙の裏面に記入してはいけない。
- 解答する科目の問題番号に対応した解答用紙に解答していない場合は、採点されない場合もあるので注意すること。
- 解答する字数に指定がある場合は、句読点も1字として数えること。英数字を記入する場合は、1字分のマス目に2文字まで記入してよい。
- 解答用紙を切り離したり、持ち帰ってはいけない。解答しない科目の解答用紙も提出すること（提出方法については、試験終了後の指示に従うこと）。
- 問題冊子の中の白紙部分は下書き等に使用してよい。
- 試験終了時刻まで退室を認めない。試験中の気分不快やトイレ等、やむを得ない場合には、手をあげて監督者を呼び、指示に従うこと。
- 試験終了後は問題冊子を持ち帰ること。

44 化学

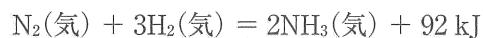
7 ページから 10 ページ

[I] ハーバー・ボッシュ法によって、窒素 N_2 と水素 H_2 からアンモニア NH_3 を大量合成することが可能となった。 NH_3 から硝酸 HNO_3 が合成され、化学肥料の大量生産によって農作物の収穫量は飛躍的に増加した。また、大量の火薬・爆薬が二度の世界大戦の戦場に供給され、戦争規模が大幅に拡大した。この NH_3 合成反応について以下の問いに答えなさい。

(1) H_2 の電子式を以下に示す。この例に倣って N_2 , NH_3 の電子式をそれぞれ示しなさい。

(例) $H:H$

NH_3 合成反応の熱化学方程式を以下に示す。



(2) この反応の濃度平衡定数 K_c を表す式を示しなさい。

(3) N_2 9.0 mol, H_2 22.0 mol, NH_3 2.0 mol を 100 L の容器に入れ、ある一定の温度 T_1 に保った。平衡状態に到達したときに容器内の NH_3 の物質量は 10.0 mol となった。

(ア) 表1は反応前、平衡状態に到達後、および変化した3つの気体の物質量を示している。表1の5つの空欄に入る適当な数値を、解答欄の表にすべて記入しなさい。ただし、変化した物質量の欄では増加を正、減少を負として表すこと。

表1 各状態での N_2 , H_2 , NH_3 の物質量

	N_2	H_2	NH_3
反応前の物質量(mol)	9.0	22.0	2.0
変化した物質量(mol)			
平衡状態での物質量(mol)			10.0

(イ) 温度 T_1 における濃度平衡定数 K_c を求めなさい。

N_2 14.0 mol, H_2 22.0 mol を 100 L の容器に入れ、ある一定の温度 T_2 に保った。平衡状態に到達したときに容器内の NH_3 の物質量は 8.0 mol となった。

(ウ) 温度 T_2 における濃度平衡定数 K_c を求め、 T_1 と T_2 のいずれが高温か答えなさい。
その理由について説明しなさい。

(4) 図1の曲線は300°C, 500°C, 700°Cの一定温度で圧力を変化させた場合の、平衡状態でのNH₃の割合を示したものである。A, B, Cの3つの曲線は、それぞれどの温度に相当するか答えなさい。

(5) 図2は1.0×10⁶Pa, 1.0×10⁷Pa, 1.0×10⁸Paの一定圧力で温度を変化させた場合の、平衡状態でのNH₃の割合を示したものである。D, E, Fの3つの曲線は、それぞれどの圧力に相当するか答えなさい。

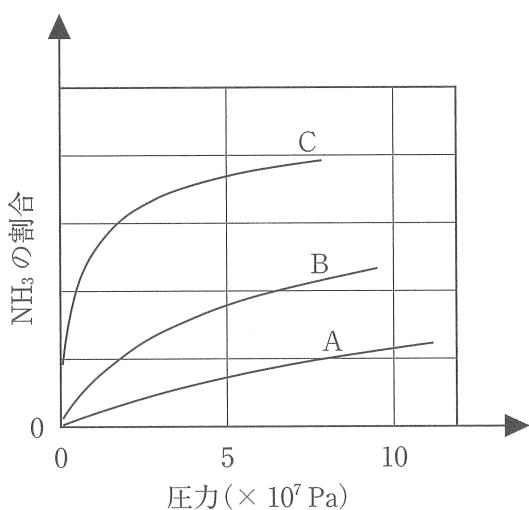


図1 一定の温度で圧力を変化させた場合の、平衡状態でのNH₃の割合

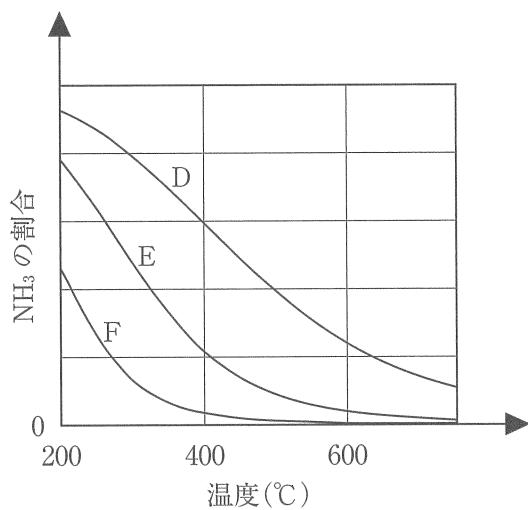


図2 一定の圧力で温度を変化させた場合の、平衡状態でのNH₃の割合

(6) 図3は温度一定の反応容器にN₂とH₂を入れ、生成したNH₃の割合と時間との関係を示したものである。図中の曲線Gは触媒を用いなかった場合、曲線Hは固体触媒を用いた場合である。

(ア) 曲線G, Hを比較すると、HはGよりも平衡状態に達するまでの時間が著しく短くなっている。その理由について100字程度で説明しなさい。

(イ) 曲線G, Hの平衡状態におけるNH₃の割合は同じである。その理由について100字程度で説明しなさい。

(ウ) 一般的な触媒反応において、固体触媒表面の働き方について100字程度で説明しなさい。

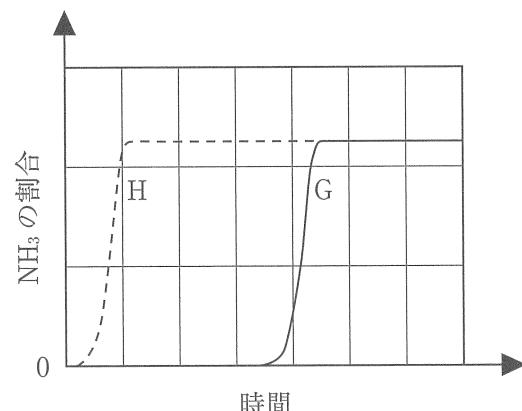


図3 一定の温度でのNH₃の割合と時間との関係(ただし、横軸の時間は対数表示である。)

[II] 次の文章を読み、下記の問い合わせに答えなさい。ただし、原子量は、H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0 とする。

化合物 A は、分子量 405 で不斉炭素原子を 1 つ有し、エステル結合を 2 つ有する。化合物 A を、水酸化ナトリウム水溶液に加えて加水分解すると、炭素、水素、酸素のみからなる分子量 166 の二置換ベンゼンである化合物 B とパラ二置換ベンゼンである化合物 C、さらに分子量 136 で不斉炭素原子を 1 つ有する二置換ベンゼンである化合物 D が得られた。(A) 化合物 B 8.3 mg を元素分析装置で完全燃焼させると、二酸化炭素 17.6 mg と水 2.7 mg を生じた。化合物 B を加熱したところ、分子量が 18 減少した化合物 E が得られた。化合物 C を無水酢酸と反応させると、分子量 181 の化合物 F が得られた。また、化合物 C に臭素を作用させると、四置換ベンゼンである化合物 G が得られた。

(B) 化合物 D の水酸化ナトリウム水溶液中にヨウ素を加えると、黄色沈殿が生じるとともに、化合物 H が得られた。化合物 H を過マンガン酸カリウムで酸化したところ、化合物 B が得られた。

- (1) 下線部 (A) の結果から化合物 B の分子式を求めなさい。計算の過程も示すこと。
- (2) 下線部 (B) の反応で生じる黄色沈殿の化合物名を答えなさい。
- (3) 化合物 A～H の構造式を書きなさい。不斉炭素原子を有する化合物については、その不斉炭素原子を * 印で示すこと。
- (4) 化合物 B の構造を導き出した過程について、できるだけ詳しく文章で説明しなさい。必要に応じて計算式や図を用いてよい。
- (5) 化合物 C の構造を導き出した過程について、できるだけ詳しく文章で説明しなさい。必要に応じて計算式や図を用いてよい。

[III] 次の文章を読み、下記の問い合わせに答えなさい。原子量は O = 16.0 とする。

マンガン Mn は銀白色の金属で、酸に溶けて 色のイオンを生じる。Mn の酸化物は水に難溶で、 極活物質として乾電池に使われるほか、過酸化水素 H_2O_2 から酸素 O_2 を発生させる として働く。Mn に酸素原子 O が 4 つ配位してできた過マンガン酸イオン MnO_4^- 中の Mn の酸化数は であり、希ガス と同じ電子配置である。 MnO_4^- は(A)硫酸酸性水溶液中で強い酸化作用を示すため、河川の汚れを示す指標である化学的酸素要求量 COD を測定するために用いられる。

今回、 MnO_4^- を用いて、以下の手順で河川から採取した試料の COD を測定した。

- ① 5.00×10^{-3} mol/L の MnO_4^- 水溶液 10.00 mL に 6 mol/L 硫酸 H_2SO_4 10 mL を加えた後、試料 100.00 mL を加え 30 分加熱すると、試料中の有機物はすべて分解された。
- ② ① に過剰量の 5.00×10^{-3} mol/L シュウ酸ナトリウム $Na_2C_2O_4$ 水溶液 25.00 mL を加えると溶液が無色になった。
- ③ この溶液を $80^{\circ}C$ に加熱しながら、①で使用した MnO_4^- 水溶液により滴定したところ、4.00 mL 加えたとき終点に達した。

- (1) 文章中の空欄 ~ に当てはまる適当な語句を入れなさい。
- (2) 下線部(A)について、 MnO_4^- の反応をイオン反応式で示しなさい。
- (3) 下線部(A)について、COD を測定するために硫酸酸性水溶液の代わりに塩酸酸性水溶液は用いられない。その理由を 75 字以内で説明しなさい。
- (4) ②の操作で溶液が無色になる理由を化学反応式を用いて答えなさい。
- (5) ①から③の操作で用いた MnO_4^- の全物質量を求めなさい。途中の計算式を示すこと。
- (6) 試料中の有機物を酸化するために使われた MnO_4^- の物質量を求めなさい。途中の計算式を示すこと。
- (7) MnO_4^- の代わりに有機物を O_2 で酸化分解したとすると、 O_2 の物質量はいくらになるか答えなさい。途中の計算式を示すこと。
- (8) (7)の結果を用いて今回分析した試料の COD(単位は mg/L)を求めなさい。解答には小数点以下 1 柱まで記し、途中の計算式を示すこと。