

Chuyên đề: Độ tan và Tinh thể ngậm nước

A. Lý thuyết về Độ tan

1. Định nghĩa Độ tan (S)

Độ tan của một chất trong một dung môi là số gam chất đó hòa tan trong 100 gam dung môi để tạo thành dung dịch bão hòa ở một nhiệt độ xác định.

- Công thức tính độ tan: $S = (m_{ct} / m_{dm}) * 100$

- Trong đó:

- **S**: Độ tan (gam/100g dung môi)
- **m_{ct}** : khối lượng chất tan (gam)
- **m_{dm}** : khối lượng dung môi (gam)

Ví dụ 1: Ở 25°C, hòa tan hết 72g NaCl vào 200g nước thì được dung dịch bão hòa. Tính độ tan của NaCl ở nhiệt độ này.

Giải:

Áp dụng công thức: $S = (m_{ct} / m_{dm}) * 100 = (72 / 200) * 100 = 36$ (g/100g H₂O).

Vậy độ tan của NaCl ở 25°C là 36g.

Ví dụ 2: Độ tan của đường saccarozơ (C₁₂H₂₂O₁₁) ở 20°C là 204g. Cần hòa tan bao nhiêu gam đường vào 500g nước để tạo dung dịch bão hòa ở nhiệt độ này?

Giải:

Độ tan là 204g nghĩa là 100g H₂O hòa tan được tối đa 204g đường.

Vậy 500g H₂O sẽ hòa tan được: $m_{\text{đường}} = (500 \cdot 204) / 100 = 1020 \text{ (g)}$.

2. Dung dịch bão hòa và mối liên hệ với Nồng độ phần trăm (C%)

Dung dịch bão hòa là dung dịch không thể hòa tan thêm chất tan ở một nhiệt độ xác định. Trong dung dịch bão hòa, có sự cân bằng động giữa quá trình hòa tan và quá trình kết tinh.

- Khối lượng dung dịch bão hòa: $m_{\text{dd}} = m_{\text{ct}} + m_{\text{dm}}$
- Trong dung dịch bão hòa, nồng độ phần trăm (C%) và độ tan (S) có mối liên hệ mật thiết.
- Công thức liên hệ: $C\% = [S / (100 + S)] \cdot 100\%$
- Công thức suy ra: $S = [C\% \cdot 100] / (100 - C\%)$

Ví dụ 1: Biết độ tan của KNO₃ ở 20°C là 31,6g. Tính nồng độ phần trăm của dung dịch KNO₃ bão hòa ở nhiệt độ này.

Giải:

Áp dụng công thức: $C\% = [S / (100 + S)] \cdot 100\% = [31,6 / (100 + 31,6)] \cdot 100\% \approx 24,01\%$.

Ví dụ 2: Dung dịch NaCl bão hòa ở 20°C có nồng độ 26,47%. Tính độ tan của NaCl ở nhiệt độ này.

Giải:

Áp dụng công thức: $S = [C\% \cdot 100] / (100 - C\%) = [26,47 \cdot 100] / (100 - 26,47) \approx 36 \text{ (g/100g H}_2\text{O)}$.

3. Các yếu tố ảnh hưởng đến độ tan

Độ tan của một chất phụ thuộc vào bản chất của chất tan, dung môi, nhiệt độ và áp suất.

- **Nhiệt độ:**

- Đối với hầu hết chất rắn: Độ tan tăng khi nhiệt độ tăng (ví dụ: đường, muối ăn). Đây là quá trình hòa tan thu nhiệt.
- Đối với chất khí: Độ tan giảm khi nhiệt độ tăng (ví dụ: khí CO_2 trong nước ngọt sẽ thoát ra nhanh hơn khi đun nóng).

- **Áp suất:**

- Ảnh hưởng không đáng kể đến độ tan của chất rắn và lỏng.
- Đối với chất khí: Độ tan tăng khi áp suất tăng. Ví dụ: Nước ngọt có ga được nén CO_2 ở áp suất cao. Khi mở nắp, áp suất giảm, CO_2 thoát ra tạo bọt khí.

- **Bản chất của dung môi và chất tan:**

- Nguyên tắc chung: "Các chất có bản chất tương tự nhau thì dễ hòa tan vào nhau".
- Chất phân cực (như NaCl , HCl) tan tốt trong dung môi phân cực (như nước).
- Chất không phân cực (như iot, dầu mỡ) tan tốt trong dung môi không phân cực (như benzen, xăng).

B. Tinh thể ngậm nước (Hydrat)

1. Định nghĩa và Công thức

Tinh thể ngậm nước (hydrat) là những tinh thể của chất rắn có chứa một số phân tử nước nhất định. Các phân tử nước này liên kết với các ion hoặc phân tử của chất rắn.

- **Công thức tổng quát:** $A \cdot nH_2O$

- Trong đó:

- **A** là công thức của chất khan (muối, axit, bazơ).

- **n** là số phân tử nước kết tinh.

- Ví dụ: $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (đồng(II) sunfat pentahydrat), $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ (natri cacbonat decahydrat), $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (sắt(II) sunfat heptahydrat).

2. Các dạng bài toán thường gặp

Dạng 1: Xác định công thức phân tử của tinh thể ngậm nước

Phương pháp: Lập tỉ lệ mol giữa chất khan và nước để tìm n.

Công thức: $n = \frac{n_{H_2O}}{n_{\text{muối khan}}}$

Ví dụ 1: Nung nóng 25g tinh thể $CuSO_4 \cdot nH_2O$ tới khối lượng không đổi, thu được 16g chất rắn khan $CuSO_4$. Tìm công thức của tinh thể.

Giải:

Khối lượng nước bay hơi: $m_{H_2O} = m_{\text{tinh thể}} - m_{\text{muối khan}} = 25 - 16 = 9 \text{ (g)}.$

Số mol nước: $n_{H_2O} = 9 / 18 = 0,5 \text{ (mol)}.$

Số mol $CuSO_4$ khan: $n_{CuSO_4} = 16 / 160 = 0,1 \text{ (mol)}.$

Ta có tỉ lệ: $n = n_{\text{H}_2\text{O}} / n_{\text{CuSO}_4} = 0,5 / 0,1 = 5$.

Vậy công thức của tinh thể là **CuSO₄.5H₂O**.

Ví dụ 2: Hòa tan 24,8g tinh thể Na₂S₂O₃.nH₂O vào nước được dung dịch X. Cho dung dịch X tác dụng với dung dịch HCl dư, thu được 6,4g kết tủa. Tìm giá trị của n.

Giải:

Phương trình phản ứng: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{S} \downarrow + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Số mol kết tủa S: $n_{\text{S}} = 6,4 / 32 = 0,2 \text{ (mol)}$.

Theo phương trình, $n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = n_{\text{S}} = 0,2 \text{ (mol)}$.

Khối lượng của Na₂S₂O₃ khan: $m_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,2 * 158 = 31,6 \text{ (g)}$.

Khoan, đề bài cho 24,8g tinh thể. Chỗ này có vấn đề, phải là $n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3.n\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,2 \text{ (mol)}$.

Khối lượng mol của tinh thể: $M_{\text{tinh thể}} = m / n = 24,8 / 0,2 = 124 \text{ (g/mol)}$.

Lại có: $M_{\text{tinh thể}} = M_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} + 18n = 158 + 18n$.

$158 + 18n = 248 \text{ g/mol}$ mới đúng. $n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = n_{\text{S}} = 0,2 \text{ (mol)}$. $M_{\text{tinh thể}} = 24,8 / n_{\text{tinh thể}}$.

$n_{\text{tinh thể}} = n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} = 0,1 \text{ mol}$. $M_{\text{tinh thể}} = 24,8 / 0,1 = 248 \text{ g/mol}$.

Chỉnh lại ví dụ cho đúng: Hòa tan **49,6g** tinh thể Na₂S₂O₃.nH₂O ...

Giải lại ví dụ đúng:

Hòa tan 49,6g tinh thể Na₂S₂O₃.nH₂O vào nước... thu được 6,4g kết tủa.

$n_{\text{S}} = 6,4 / 32 = 0,2 \text{ (mol)}$.

Theo PTHH, $n_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ trong tinh thể}} = n_{\text{S}} = 0,2 \text{ (mol)}$.

Suy ra $n_{\text{tinh thể}} = 0,2 \text{ (mol)}$.

Khối lượng mol của tinh thể: $M_{\text{tinh thể}} = m_{\text{tinh thể}} / n_{\text{tinh thể}} = 49,6 / 0,2 = 248$

(g/mol).

Mà $M_{\text{tinh thể}} = M_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} + 18n = 158 + 18n$.

$\rightarrow 158 + 18n = 248 \rightarrow 18n = 90 \rightarrow n = 5$.

Vậy công thức của tinh thể là **$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$** .

Dạng 2: Bài toán kết tinh khi làm lạnh dung dịch bão hòa

Phương pháp: Dựa vào sự thay đổi độ tan theo nhiệt độ. Khi làm lạnh, độ tan giảm, chất tan sẽ tách ra khỏi dung dịch dưới dạng tinh thể (khan hoặc ngậm nước).

1. Tính khối lượng chất tan (m_{ct1}) và khối lượng dung môi (m_{dm1}) trong dung dịch bão hòa ban đầu ở nhiệt độ cao t_1° .
2. Gọi x là số mol tinh thể $A \cdot n\text{H}_2\text{O}$ tách ra.
3. Tính khối lượng chất tan và khối lượng nước đã tách ra theo x .
4. Tính khối lượng chất tan (m_{ct2}) và dung môi (m_{dm2}) còn lại trong dung dịch ở nhiệt độ thấp t_2° .
5. Dựa vào độ tan S_2 ở nhiệt độ t_2° , lập phương trình: **$S_2 = (m_{\text{ct2}} / m_{\text{dm2}}) * 100$** .
6. Giải phương trình tìm x , từ đó tính khối lượng tinh thể tách ra.

Ví dụ: Cho độ tan của CuSO_4 ở 80°C là 50g và ở 20°C là 20g. Làm lạnh 600g dung dịch CuSO_4 bão hòa từ 80°C xuống 20°C . Tính khối lượng tinh thể $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ tách ra.

Giải:

Ở 80°C (S = 50g):

100g H₂O hòa tan 50g CuSO₄ tạo 150g dung dịch bão hòa.

Vậy trong 600g dung dịch bão hòa có:

$$m_{\text{CuSO}_4 (1)} = (600 \cdot 50) / 150 = 200 \text{ (g)}.$$

$$m_{\text{H}_2\text{O} (1)} = 600 - 200 = 400 \text{ (g)}.$$

Khi làm lạnh xuống 20°C:

Gọi x là số mol CuSO₄.5H₂O tách ra. (M = 250 g/mol)

Khối lượng CuSO₄.5H₂O tách ra = 250x (g).

Khối lượng CuSO₄ bị kết tinh = 160x (g).

Khối lượng H₂O bị kết tinh = 90x (g).

Dung dịch bão hòa ở 20°C (S = 20g):

Khối lượng CuSO₄ còn lại: $m_{\text{CuSO}_4 (2)} = 200 - 160x \text{ (g)}.$

Khối lượng H₂O còn lại: $m_{\text{H}_2\text{O} (2)} = 400 - 90x \text{ (g)}.$

Ta có phương trình độ tan ở 20°C:

$$S_{20} = [m_{\text{CuSO}_4 (2)} / m_{\text{H}_2\text{O} (2)}] \cdot 100 = 20$$

$$\rightarrow [(200 - 160x) / (400 - 90x)] \cdot 100 = 20$$

$$\rightarrow 100 \cdot (200 - 160x) = 20 \cdot (400 - 90x)$$

$$\rightarrow 20000 - 16000x = 8000 - 1800x$$

$$\rightarrow 12000 = 14200x$$

$$\rightarrow x \approx 0,845 \text{ (mol)}.$$

Khối lượng tinh thể CuSO₄.5H₂O tách ra là: $m = 0,845 \cdot 250 \approx 211,27 \text{ (g)}.$

Dạng 3: Bài toán kết tinh khi cô cạn (bay hơi) dung dịch

Phương pháp: Tương tự dạng 2, nhưng khối lượng dung môi giảm do bay hơi, dẫn đến dung dịch trở nên bão hòa và chất tan kết tinh.

Ví dụ: Dung dịch A chứa 800g KNO_3 trong 1200g nước ở 20°C . Biết độ tan của KNO_3 ở 20°C là 31,6g. Hỏi phải bay hơi bao nhiêu gam nước để dung dịch trở thành bão hòa và có bao nhiêu gam tinh thể KNO_3 tách ra nếu bay hơi 400g nước?

Giải:

a) Lượng nước cần để hòa tan hết 800g KNO_3 tạo dd bão hòa ở 20°C :

100g H_2O hòa tan được 31,6g KNO_3 .

x (g) H_2O hòa tan được 800g KNO_3 .

$$\rightarrow x = (800 * 100) / 31,6 \approx 2531,6 \text{ (g)}.$$

Lượng nước ban đầu là 1200g, ít hơn lượng nước cần thiết, do đó dung dịch ban đầu chưa bão hòa và có một phần KNO_3 không tan.

(Chỉnh lại đề bài cho hợp lý hơn)

Ví dụ mới: Có 1655g dung dịch NaCl bão hòa ở 100°C ($S=39,8\text{g}$). Làm nguội dung dịch xuống 0°C ($S=35,7\text{g}$). Tính khối lượng muối NaCl kết tinh.

Giải:

Ở 100°C ($S = 39,8\text{g}$):

Trong $(100 + 39,8) = 139,8\text{g}$ dd bão hòa có 39,8g NaCl .

Vậy trong 1655g dd bão hòa có: $m_{\text{NaCl}(1)} = (1655 * 39,8) / 139,8 \approx 471,1 \text{ (g)}$.

Khối lượng nước: $m_{\text{H}_2\text{O}} = 1655 - 471,1 = 1183,9 \text{ (g)}$.

Ở 0°C (S = 35,7g):

100g H₂O hòa tan được 35,7g NaCl.

Vậy 1183,9g H₂O hòa tan được: $m_{\text{NaCl}(2)} = (1183,9 * 35,7) / 100 \approx 422,6 \text{ (g)}$.

Khối lượng NaCl kết tinh khi làm nguội:

$$m_{\text{kết tinh}} = m_{\text{NaCl}(1)} - m_{\text{NaCl}(2)} = 471,1 - 422,6 = 48,5 \text{ (g)}.$$