

## บทที่ 6 ปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric Analysis)



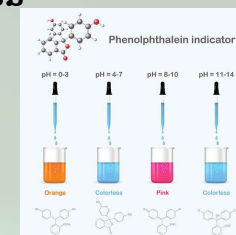
<https://www.istockphoto.com/th/search/2/image-film?phrase=titration+equipment>

<https://www.shutterstock.com/image-photo/science-laboratory-concept-chemical-titration-acid-1424348174>

1

## วัตถุประสงค์

1. สารละลายมาตรฐานและการเตรียม
2. ขั้นตอนการไทเทรต
3. การคำนวณผลการไทเทรต



<https://www.istockphoto.com/th/search/2/image-film?phrase=titration+equipment>

2

2

### 6.1 สารละลายมาตรฐาน (Standard Solutions)

สารละลายมาตรฐาน คือ สารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่ถูกต้องและแน่นอนมีวิธีการเตรียม 2 วิธี คือ

1. วิธีตรง (direct Method)
2. วิธีอ้อม (Indirect Method) โดยชั่งมาหยาบ ๆ แล้วนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอน กับสารละลายปฐมภูมิ เรียกวิธีนี้ว่า **standardization**

3

3

### 6.2 สารปฐมภูมิ (Primary standard substance)

1. ต้องมีความบริสุทธิ์สูง
2. ต้องเป็นสารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะชั่ง
3. ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูง
4. ต้องละลายได้ในสถานะแวดล้อมที่ทำการทดลอง
5. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องเป็นอัตราส่วนของเลขลงตัวที่แน่นอน

4

4



**ตัวอย่างที่ 6.2**

จงหาความเข้มข้นของสาร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ชั่งมา 21.0500 กรัม  
เตรียมในปริมาตร 100.00 mL (105.99 g/mol; %assay 99.8)

**ตัวอย่างที่ 6.3**

จงอธิบายการเตรียมสาร  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เข้มข้น 2.50 mM  
250.00 มิลลิตรจากสารละลายข้างบน

9

**ตัวอย่างที่ 6.4**

จงคำนวณปริมาตรของกรดไนตริกเข้มข้นที่ใช้เตรียมเป็น  
สารละลาย 1.50 ลบ.ดม. โดยมีความเข้มข้นประมาณ 0.15 M

จากขบวนการตรวจสอบเคมีกรดเกลือเข้มข้น จะบอกค่าต่าง ๆ ดังนี้

|                       |   |                    |
|-----------------------|---|--------------------|
| น้ำหนักโมเลกุล        | = | 63.01              |
| เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก | = | 68.00 %            |
| ความหนาแน่น           | = | 1.51 กรัมต่อลบ.ชม. |

10

เราต้องการเตรียม  $\text{HNO}_3$  0.15 M จำนวน 1500 ลบ.ชม.  
แสดงว่าต้องใช้เนื้อกรด  $0.15 \times 1.50$  ลิตร = **A** โมล

∴ ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ **A** x 63.01 = **B** กรัม

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก = 68.00 % (w/w)

$\text{HNO}_3$  68.0 กรัม อยู่ในสารละลายกรดเกลือ 100 กรัม  
กรด  $\text{HNO}_3$  **B** กรัม อยู่ในสารละลายกรดเกลือ **C** กรัม

11

จากค่าความหนาแน่นแสดงว่า

กรด  $\text{HNO}_3$  เข้มข้นหนัก 1.51 กรัม จะมีปริมาตร 1.00 ลบ.ชม.

กรดเกลือเข้มข้น **C** กรัม จะมีปริมาตร =  $\frac{\text{C} \times 1.00}{1.51}$

= **D** ลบ.ชม.

∴ นำกรด  $\text{HNO}_3$  เข้มข้นปริมาตร **D** ลบ.ชม. เตรียมให้ได้  
สารละลาย 1.50 ลบ.ดม. จะได้  $\text{HCl}$  ที่มีความเข้มข้น 0.15 M

12

การคำนวณหาปริมาณกรดเกลืออีกแบบหนึ่ง คือ

$$V = \frac{MM' \times 100}{Pd}$$

V = ปริมาตรของกรดเข้มข้นที่ต้องการเตรียม

M = ความเข้มข้น โมลต่อลบ.คม. 0.15 M

M' = น้ำหนักโมเลกุล

P = เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของ  $\text{HNO}_3$

D = ความหนาแน่นของ  $\text{HNO}_3$  เข้มข้น  
1.51 กรัมต่อลบ.คม.

13

$$V = \frac{MM' \times 100}{Pd}$$

$$= \frac{(63.01)(0.15) \times 100}{(68.00)(1.51)}$$

$$= \dots\dots\dots \text{ลบ.คม./ 1.00 ลิตร}$$

$$= \dots\dots\dots \text{ลบ.คม./ 1.50 ลิตร}$$

14

13

14

### ข้อจำกัดในการวิเคราะห์แบบปริมาตรวิเคราะห์

1. ปฏิกิริยาต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดอย่างสมบูรณ์
2. จุดยุติที่มองเห็นต้องปรากฏนานอย่างน้อย 30 วินาที
3. ปฏิกิริยาต้องสามารถดุลสมการได้และไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง
4. จุดยุติต้องได้ใกล้เคียงกับจุดสมมูล

15

15

### 6.3 การหาจุดยุติ (Detection of endpoint)

#### 1. วิธีสังเกตด้วยตาเปล่า

(Visual method หรือ Chemical indicator method)

- 1.1 ไตเตรนท์ หน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์ เช่น  $\text{KMnO}_4$
- 1.2 อินดิเคเตอร์ กรด-เบส (acid – base indicators, HIn)
- 1.3 รีดอกซ์อินดิเคเตอร์ (redox indicator)
- 1.4 การเกิดสารประกอบที่ละลายได้และมีสีต่างออกไป

16

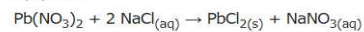
16

## 1.5 สังเกตการหายไปของสารละลายที่ถูกไทเตรต

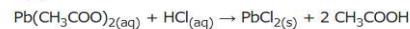
### 1.6 สังเกตการตกตะกอน เช่น $Pb^{2+}$ [https://en.wikipedia.org/wiki/Lead\(II\)\\_chloride](https://en.wikipedia.org/wiki/Lead(II)_chloride)

#### • Soluble lead compounds

##### • Lead(II) nitrate



##### • Lead(II) acetate

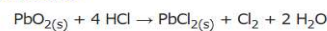


#### • Insoluble lead compounds

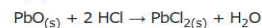
##### • Lead(II) carbonate



##### • Lead dioxide



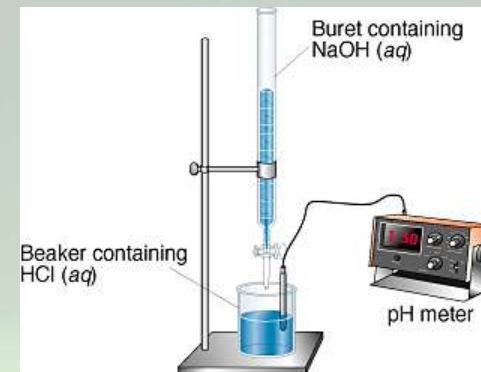
##### • Lead(II) oxide



17

17

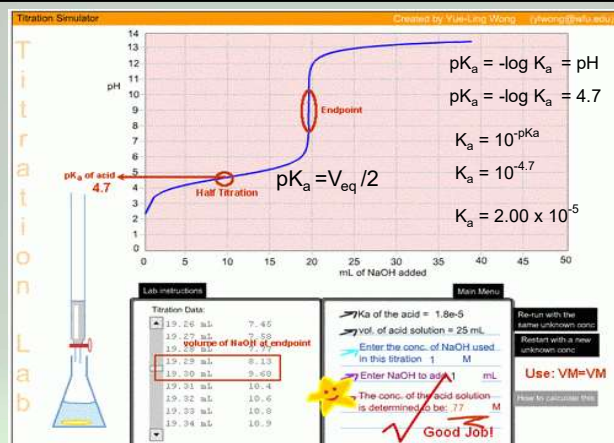
## 2. วิธีเชิงไฟฟ้า



<https://sites.google.com/site/internationalgcsechemistry/year-10-topics/relative-formula-masses-molar-volume-of-gases-03-concentration-and-volume>

18

18



[watchrit.blogspot.com/2010\\_01\\_01\\_archive.html](http://watchrit.blogspot.com/2010_01_01_archive.html)

19

19

## 6.4 การแบ่งชนิดของปริมาตรวิเคราะห์

1. ปฏิกิริยาการไทเทรต กรด-เบส  
(Acid-Base titration)
2. ปฏิกิริยาไทเทรตแบบรีดอกซ์  
(oxidation-reaction หรือ redox titration)
3. ปฏิกิริยาการไทเทรตแบบเกิดสารประกอบ  
เชิงซ้อน (Complex formation titration)
4. ปฏิกิริยาการไทเทรตแบบตกตะกอน  
(Precipitation titration)



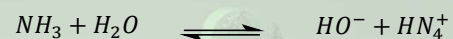
20

20

## ประเภทของการไทเทรต

แบ่งตามชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

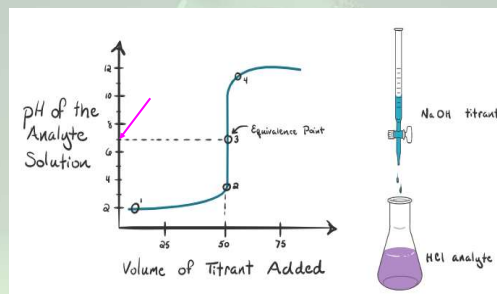
### 1. การไทเทรตระหว่างกรดและเบส (Acid-base titration)



21

21

### Titration of a strong acid with a strong base

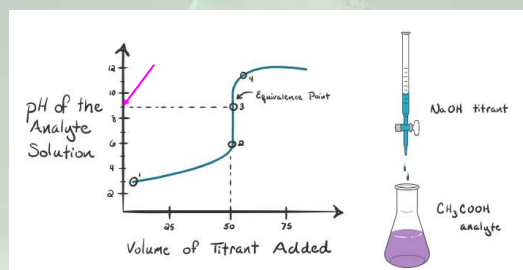


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

22

22

### Titration of weak acid and a strong base

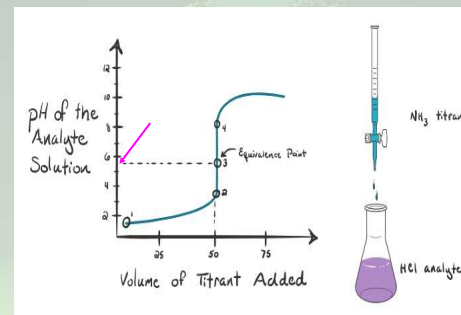


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

23

23

### Titration of weak base and a strong acid

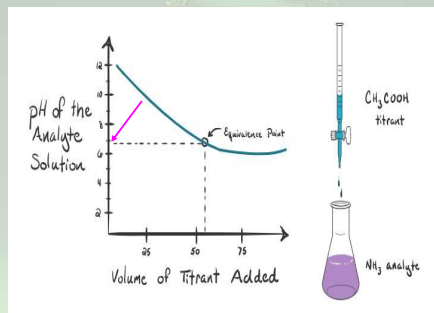


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

24

24

### Titration of weak acid and weak base



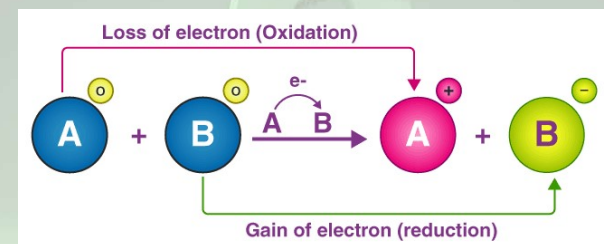
<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/weak-acid-weak-base-titration-curve>

25

25

### 2. การไทเทรตแบบออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation – reduction titration)

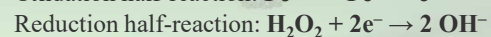
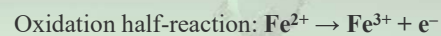
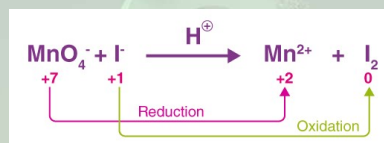
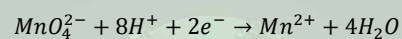
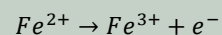
ประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาคือ ออกซิเดชัน – รีดักชัน



<https://byjus.com/jee/redox-reactions/>

26

26



<https://byjus.com/jee/redox-reactions/>

27

27

### sodium thiosulfate and iodine titration

- The half equation for reduction:



- The half equation for oxidation:



- The overall chemical equation for the reaction is:

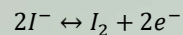


[https://www.slideserve.com/byrd/booklet-to-help-with-unit-5-pu/7utm\\_source=slideserve&utm\\_medium=website&utm\\_campaign=auto+related+load](https://www.slideserve.com/byrd/booklet-to-help-with-unit-5-pu/7utm_source=slideserve&utm_medium=website&utm_campaign=auto+related+load)

28

28

## 1. Direct titration



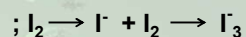
Iodimetry



## 2. Indirect titration or Replacement titration



Iodimetry



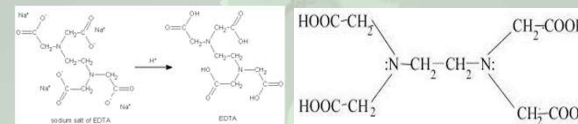
[http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical\\_Chemistry/Analytical\\_Chemistry\\_2.0/09\\_Titrimetric\\_Methods/9D\\_Redox\\_Titrations](http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical_Chemistry/Analytical_Chemistry_2.0/09_Titrimetric_Methods/9D_Redox_Titrations)

29

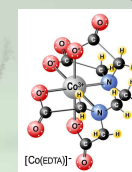
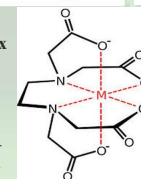
29

3. การไทเทรตแบบเกิดสารประกอบเชิงซ้อน  
(Complex metric titration)

EDTA is Ethylene Diamine Tetra Acetic acid.

EDTA = H<sub>4</sub>Y

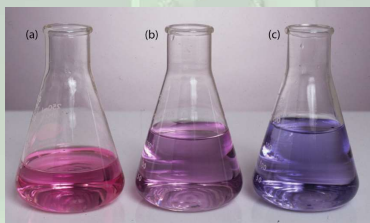
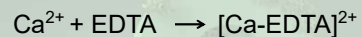
Metal-EDTA complex



<https://www.slideserve.com/messner/tybosc-paper-iv-uchu-analytical-chemistry-complexometric-titrations-by-mr-p-b-thakur-powerpoint-ppt-presentation>  
[http://www.chem.bris.ac.uk/motm/edta/synthesis\\_of\\_edta.htm](http://www.chem.bris.ac.uk/motm/edta/synthesis_of_edta.htm)  
<https://www.dti.ncsu.edu/lagerchem6.htm>

30

30

Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Y<sup>3+</sup>, La<sup>3+</sup>

[kku.ac.th/Answers.com/wiki/Cyberclass\\_Chemguide](http://kku.ac.th/Answers.com/wiki/Cyberclass_Chemguide)

31

31

## 4. การไทเทรตแบบเกิดตะกอน (Precipitation titration)

1. Mohr's Method :  
color precipitate2. Volhard's Method :  
water soluble complex3. Fajan's Method :  
Adsorption Indicator Method

32

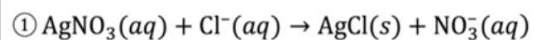
32

### Mohr's Method

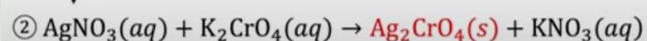
- Measures  $[Cl^-]$
- Titrant =  $AgNO_3$  (burette)
- Analyte =  $Cl^-$  ions (conical flask)
- Indicator =  $K_2CrO_4$  (conical flask)



ตะกอนสีแดงอิฐ



Excess  $AgNO_3$  used for titration (2<sup>nd</sup> reaction)

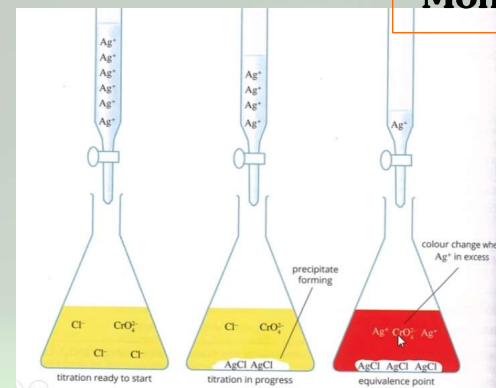


<https://www.youtube.com/watch?v=CPzBcyDrzs>

33

33

### Mohr's Method



<https://www.youtube.com/watch?v=rjEMcWsls>

34

34

### Volhard's Method

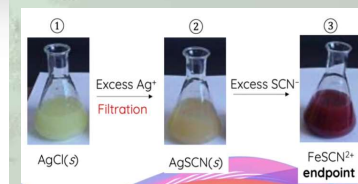
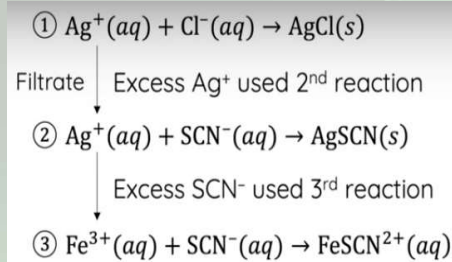
- Measures  $[Cl^-]$
- Excess  $AgNO_3$  is added to chloride solution
- Filtration:** filtrate is titrated against  $NaSCN$  (burette)
- Indicator:**  $Fe(NO_3)_3$  (conical flask)

<https://www.youtube.com/watch?v=CPzBcyDrzs>

35

35

### Volhard's Method



สารละลายสีแดง

<https://www.youtube.com/watch?v=CPzBcyDrzs>

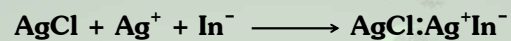
36

36

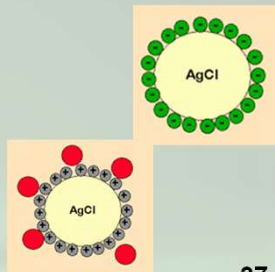
### Fajans Method

or Adsorption Indicator Method

**fluorescein** : **dichlorofluorescein** เป็นอินดิเคเตอร์  
แตกตัวจะได้ไอออน  $\text{FI}^-$  จะมีสีเขียวเหลือง



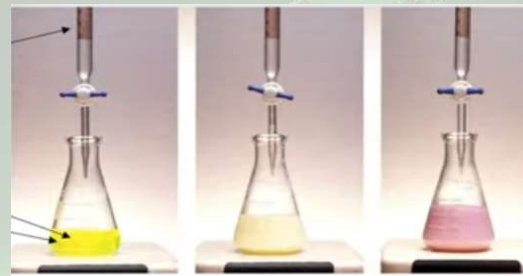
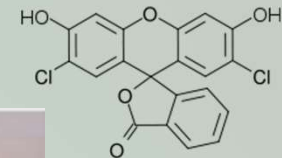
$\text{In}^-$  : **dichlorofluorescein**



37

37

### dichlorofluorescein



<https://www.youtube.com/watch?v=CPnBcyDnX>

38

38

### การคำนวณ

$$X = \frac{\text{จำนวนของโมลของไตเตรนต์ที่เติม}}{\text{จำนวนโมลของสารตัวอย่าง}}$$

$$= \frac{C_t^o V_t}{C_s^o V_s} \quad (6.1)$$

$$C_s = \frac{C_s^o V_s}{V_s + V_t} \quad (6.2)$$

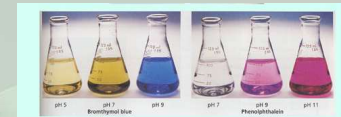
$$C_t = \frac{C_t^o V_t}{V_s + V_t} \quad (6.3)$$

39

39

$$X = \frac{C_t}{C_s}$$

$$= \frac{C_1 V_1}{C_2 V_2}$$



ถ้าการไตเตรดยังไม่ถึงจุดสมมูล  $X < 1$

ที่จุดสมมูล  $X = 1$

ถ้าเกินจุดสมมูล  $X > 1$

40

40

**ตัวอย่างที่ 6.6**

จงหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ปิเปตมา 10.00 ลบ.ซม. ไปไทเทรตกับสารละลาย KHP เข้มข้น 1.25 M ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.20 ลบ.ซม.

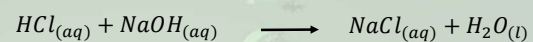
จากนั้น นำสารละลาย NaOH ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย HCl 10.00 mL ซึ่งใช้สารละลาย NaOH เฉลี่ยเท่ากับ 4.50 mL จงหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl

41

**ขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้****ขั้นที่ 1**

$$\text{mol } A = \text{mol } B$$

$$V_A M_A = V_B M_B$$



42



$$\frac{M_B V_B}{b} = \frac{M_A V_A}{a}$$

$$aM_B V_B = bM_A V_A$$

43



$$\frac{(MV)_A}{a} = \frac{(MV)_B}{b}$$



44

41

42

43

44

ขั้นที่ 2



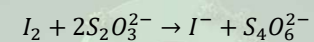
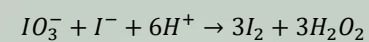
$$[\text{NaOH}] = [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

$$MV_{\text{NaOH}} = MV_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$



$$\frac{[\text{AgNO}_3]}{2} = \frac{[\text{BaCl}_2]}{1}$$

45



$$\frac{(\text{MV})_{\text{A}}}{a} = \frac{(\text{MV})_{\text{B}}}{b}$$

$$\frac{(\text{CV})_{\text{IO}_3^-}}{1} = \frac{(\text{CV})_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}}{6}$$

46

ขั้นที่ 3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่ถูกไทเทรต (B)

$$\text{B (g)} = (\text{no mol}_B) (\text{MW}_B) = V_A M_A R (\text{MW}_B)$$

ขั้นที่ 4 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่ถูกไทเทรต (B)

$$\%B = \frac{\text{g B}}{\text{g Sample}} \times 100$$

47

$$\text{สรุป} \quad \text{B(g)} = V_A M_A R (\text{MW}_B) (\text{mol})$$

$$\%B = \frac{V_A M_A R (\text{MW}_B)}{\text{g Sample}} \times 100$$

48

45

46

47

48

## ตัวอย่างที่ 6.4

- (1) การเตรียมสารมาตรฐาน  $\text{AgNO}_3$  (MW = 169.87 g/mol, %assay = 99.0) โดยชั่ง  $\text{AgNO}_3$  อย่างละเอียดมา 8.5000 กรัม ละลายในขวดปริมาตรขนาด 100.00 ลบ.ซม. จนสารละลายพอดีขีด จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน  $\text{AgNO}_3$
- (2) นำสารละลาย  $\text{BaCl}_2$  มา 10.00 มล. ไทเทรตกับ  $\text{AgNO}_3$  ใช้  $\text{AgNO}_3$  เท่ากับ 10.20 มล. จงหาความเข้มข้นของ  $\text{BaCl}_2$

49

49

วิธีทำ

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{AgNO}_3 \text{ ที่ใช้เตรียม} = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่ง}}{\text{MW}}$$

=

$$= \dots\dots\dots \text{mol/100 mL}$$

50

50

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย } \text{AgNO}_3 = \dots\dots\dots$$

$$= \dots\dots\dots \text{mol/L}$$

$$= \dots\dots\dots \text{M}$$

51

51

การสแตนด์ไตซ์สารละลาย  $\text{KMnO}_4$ 

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^- / 2 = \text{จำนวนโมลของ } \text{C}_2\text{O}_4^{2-} / 5$$

$$\frac{MV_{\text{MnO}_4^-}}{2} = \frac{MV_{\text{C}_2\text{O}_4^{2-}}}{5}$$

52

52

การหาปริมาณ  $\text{Fe}^{2+}$  ในสารละลายตัวอย่าง



$$\frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{Fe}^{2+}}{5} = \frac{\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^-}{1}$$

$$(MV)_{\text{Fe}^{2+}} = 5(MV)_{\text{MnO}_4^-}$$

53

53

### ตัวอย่างที่ 6.5

จงหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง

- เตรียมสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  (158.034 g/mol) ต้องการเตรียมที่ความเข้มข้น 1.20 M ต้องชั่งสารมากี่กรัม ในปริมาตร 250 mL
- ปิเปตต์น้ำบาดาลมา 10.00 มล. ไทเทรตกับสารละลาย  $\text{KMnO}_4$  ปริมาตรเท่ากับ 9.50 มล. ในน้ำบาดาลมีเหล็ก (26 g/atom) กี่กรัม

54

54

การหาปริมาณ  $\text{CuSO}_4$  ในสารละลายตัวอย่าง



$$\frac{\text{จำนวนโมล } \text{Cu}^{2+}}{\text{จำนวนโมล } \text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = 1$$

$$M_{\text{Cu}^{2+}} = \frac{V(\text{S}_2\text{O}_3^{2-}) \times M(\text{S}_2\text{O}_3^{2-})}{10.00}$$

55

55

### ตัวอย่างที่ 6.6 จงหาปริมาณทองแดงในนมตัวอย่าง

- เตรียมสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (158.11 g/mol) %assay = 99.4% ต้องการเตรียมที่ความเข้มข้น 0.250 M ต้องชั่งสารมากี่กรัม
- ปิเปตต์นมมา 25.00 มล. ไทเทรตกับสารละลาย  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  18.72 มล. จงหาความเข้มข้นของไอโอดีนในนม

56

56