

บทที่ 6 ปริมาตรวิเคราะห์ (Volumetric Analysis)



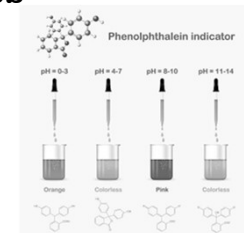
<https://www.istockphoto.com/th/search/2/image-film?phrase=titration+equipment>

<https://www.shutterstock.com/image-photo/science-laboratory-concept-chemical-titration-acid-142448174>

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)

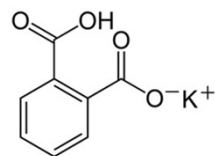
1. ต้องมีความบริสุทธิ์สูง
2. ต้องเป็นสารที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะชั่ง
3. ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูง
4. ต้องละลายได้ในสถานะแวดล้อมที่ทำการทดลอง
5. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นต้องเป็นอัตราส่วนของเลขลงตัวที่แน่นอน

4

4

ตัวอย่างที่ 6.1

จงคำนวณว่าต้องใช้สาร KHP (204.23 g/mol ; %assay= 99.8) ที่
กรัม ในการเตรียมสารละลายเข้มข้น 1.20 M จำนวน 500.00 mL .

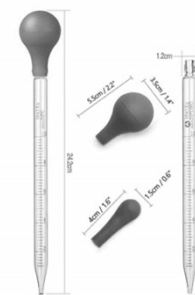
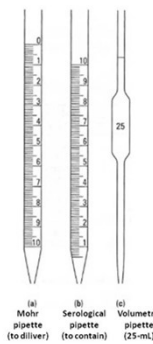


KHP

Potassium Hydrogen Phthalate

5

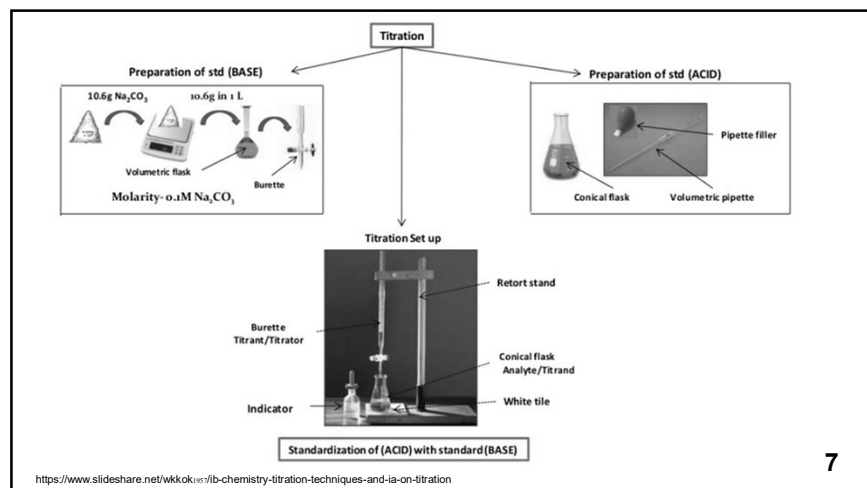
อุปกรณ์เครื่องแก้ว



<https://chemistry.stackexchange.com/questions/144155/how-to-identify-a-blow-out-pipette>

6

6



7

7

Indicator

Video on indicator

Changes colour (end point) at equivalent point

Indicator	pK_a	pH range	Colour Acid	Colour Base
Methyl orange	3.46	3.2- 4.4	RED	Yellow
Bromophenol Blue	4.10	3.0- 4.6	Yellow	Blue
Bromocresol Green	4.90	3.8- 5.4	Yellow	Blue
Methyl Red	5.00	4.8- 6.0	Red	Yellow
Bromothymol Blue	7.30	6.0- 7.6	Yellow	Blue
Phenol Red	8.00	6.6- 8.2	Yellow	Red
Phenolphthalein	9.50	8.2- 10.0	Colourless	Pink

<https://www.slideshare.net/wkkok/ib-chemistry-titration-techniques-and-ia-on-titration>

<http://www.wiredchemist.com/chemistry/instructional/laboratory-tutorials/volumetric-analysis>

8

8

ตัวอย่างที่ 6.2

จงหาความเข้มข้นของสาร Na_2CO_3 ชั่งมา 15.0500 กรัม
เตรียมในปริมาตร 10.00 mL (105.99 g/mol; %assay 99.8)

ตัวอย่างที่ 6.3

จงอธิบายการเตรียมสาร Na_2CO_3 เข้มข้น 1.50 mM
250.00 มิลลิตรจากสารละลายข้างบน

9

9

ตัวอย่างที่ 6.4

จงคำนวณปริมาตรของกรดไนตริกเข้มข้นที่ใช้เตรียมเป็น
สารละลาย 2.50 ลบ.ดม. โดยมีความเข้มข้นประมาณ 0.10 M

จากขบวนการตรวจสอบเคมีกรดเกลือเข้มข้น จะบอกค่าต่าง ๆ ดังนี้

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

10

10

เราต้องการเตรียม HNO_3 0.10 M จำนวน 2500 ลบ.ชม.
แสดงว่าต้องใช้เนื้อกรด 0.10×2.50 ลิตร = A โมล

$\therefore$ ปริมาณกรดเกลือที่ใช้ $A \times 63.01$ = B กรัม

เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก = 68.00 % (w/w)

HNO_3 68.0 กรัม อยู่ในสารละลายกรดเกลือ 100 กรัม
กรด HNO_3 B กรัม อยู่ในสารละลายกรดเกลือ C กรัม

11

11

จากค่าความหนาแน่นแสดงว่า

กรด HNO_3 เข้มข้นหนัก 1.51 กรัม จะมีปริมาตร 1.00 ลบ.ชม.

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

= D ลบ.ชม.

$\therefore$ นำกรด HNO_3 เข้มข้นปริมาตร D ลบ.ชม. เตรียมให้ได้
สารละลาย 2.50 ลบ.ดม. จะได้ HCl ที่มีความเข้มข้น 0.10 M

12

12

การคำนวณหาปริมาณกรดเกลืออีกแบบหนึ่ง คือ

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

V = ปริมาตรของกรดเข้มข้นที่ต้องการเตรียม

M = ความเข้มข้น โมลต่อลบ.คม. 0.10 M

M' = น้ำหนักโมเลกุล

P = เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของ HNO_3

D = ความหนาแน่นของ HNO_3 เข้มข้น
1.51 กรัมต่อลบ.คม.

13

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

$$= \frac{(63.01)(0.10) \times 100}{(68.00)(1.51)}$$

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

$$= \dots\dots\dots \text{ลบ.คม./ 2.50 ลิตร}$$

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 KMnO_4
- 1.2 อินดิเคเตอร์ กรด-เบส (acid – base indicators, HIn)
- 1.3 รีดอกซ์อินดิเคเตอร์ (redox indicator)
- 1.4 การเกิดสารประกอบที่ละลายได้และมีสีต่างออกไป

16

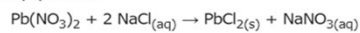
16

1.5 สังเกตการหายไปของสารละลายที่ถูกไทเทรต

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

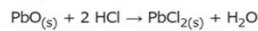
- Lead(II) carbonate



- Lead dioxide



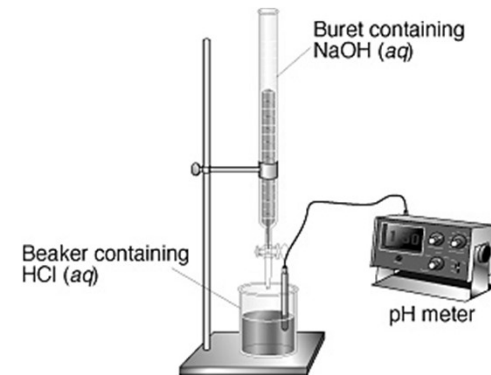
- Lead(II) oxide



17

17

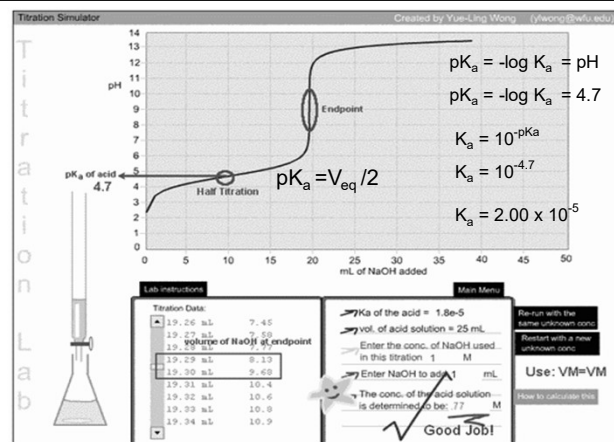
2. วิธีเชิงไฟฟ้า



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

18

18



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)



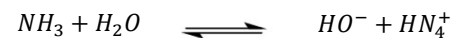
20

20

ประเภทของการไทเทรต

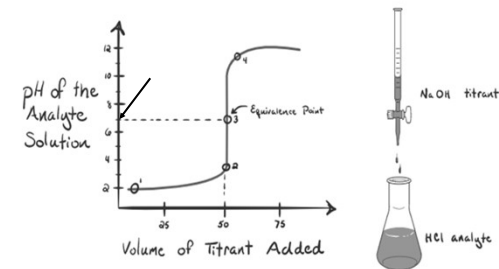
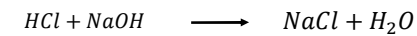
แบ่งตามชนิดของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

1. การไทเทรตระหว่างกรดและเบส (Acid-base titration)



21

Titration of a strong acid with a strong base

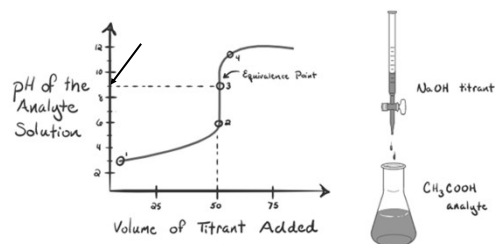
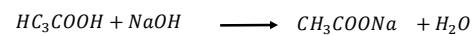


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

22

22

Titration of weak acid and a strong base

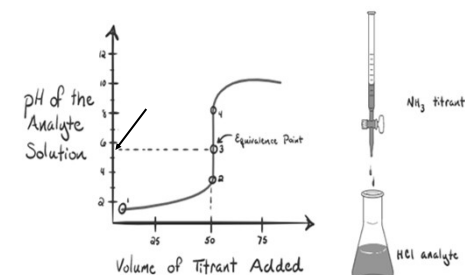


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

23

23

Titration of weak base and a strong acid

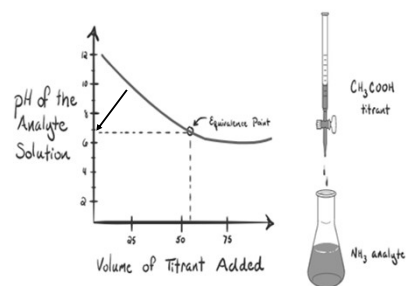
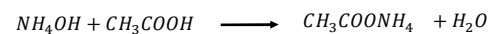


<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/acid-base-titration-curves>

24

24

Titration of weak acid and weak base



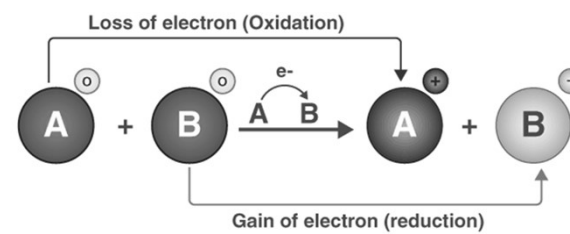
<https://www.khanacademy.org/test-prep/mcat/chemical-processes/titrations-and-solubility-equilibria/a/weak-base-titration-curves>

25

25

2. การไทเทรตแบบออกซิเดชัน – รีดักชัน (Oxidation – reduction titration)

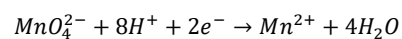
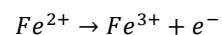
ประกอบด้วย 2 ปฏิกิริยาคือ ออกซิเดชัน – รีดักชัน



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

26

26



Oxidation half-reaction: $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$

Reduction half-reaction: $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$

<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:

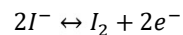


https://www.slideserve.com/byrd/booklet-to-help-with-unit-5-pu7utm_source=slideserve&utm_medium=website&utm_campaign=auto+related+load

28

28

1. Direct titration

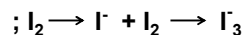


Iodimetry

2. Indirect titration or Replacement titration



Iodimetry



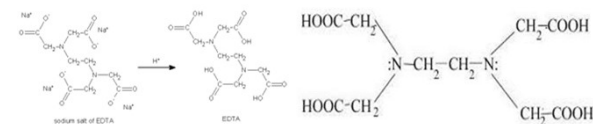
http://chemwiki.ucdavis.edu/Analytical_Chemistry/Analytical_Chemistry_2.0/09_Titrimetric_Methods/9D_Redox_Titrations

29

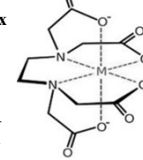
29

3. การไทเทรตแบบเกิดสารประกอบเชิงซ้อน
(Complex metric titration)

EDTA is Ethylene Diamine Tetra Acetic acid.

EDTA = H₄Y

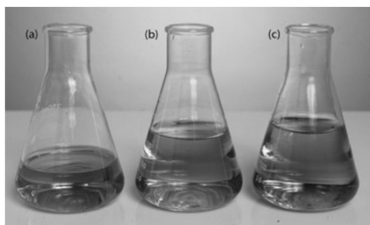
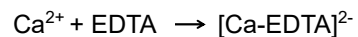
Metal-EDTA complex



<https://www.slideserve.com/messner/tyboc-paper-iv-uchw-analytical-chemistry-complexometric-titrations-by-mr-p-b-thakur-powerpoint-ppt-presentation>
http://www.chem.bris.ac.uk/motm/edta/synthesis_of_edta.htm
<https://www.dit.ncsiam.edu/liger/chem8.htm>

30

30

Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Al³⁺, Y³⁺, La³⁺

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

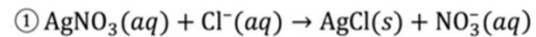
32

Mohr's Method

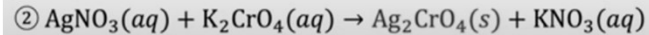
- Measures $[Cl^-]$
- Titrant = $AgNO_3$ (burette)
- Analyte = Cl^- ions (conical flask)
- Indicator = K_2CrO_4 (conical flask)



ตะกอนสีแดงอิฐ



Excess $AgNO_3$ used for titration (2nd reaction)

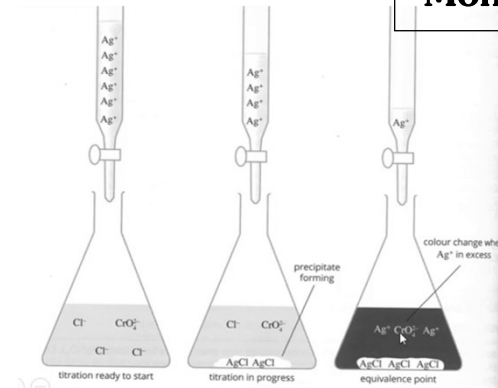


<https://www.youtube.com/watch?v=CP7-BcyDrzs>

33

33

Mohr's Method



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

34

34

Volhard's Method

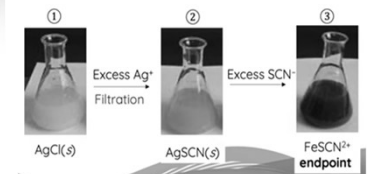
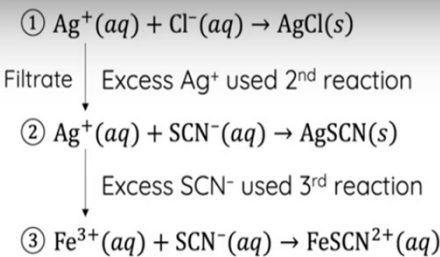
- Measures $[Cl^-]$
- Excess $AgNO_3$ is added to chloride solution
- Filtration: filtrate is titrated against $NaSCN$ (burette)
- Indicator: $Fe(NO_3)_3$ (conical flask)

<https://www.youtube.com/watch?v=CP7-BcyDrzs>

35

35

Volhard's Method



สารละลายสีแดง

<https://www.youtube.com/watch?v=CP7-BcyDrzs>

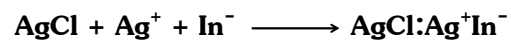
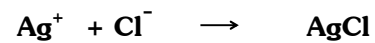
36

36

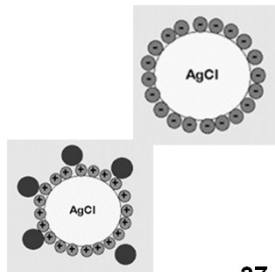
Fajans Method

or Adsorption Indicator Method

fluorescein : dichlorofluorescein เป็นอินดิเคเตอร์
แตกตัวจะได้ไอออน FI^- จะมีสีเขียวเหลือง



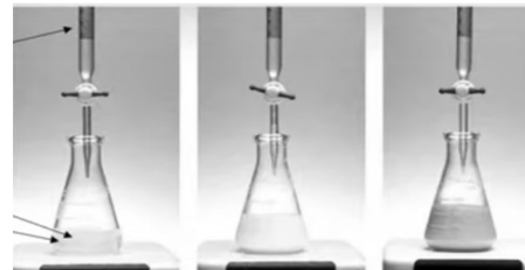
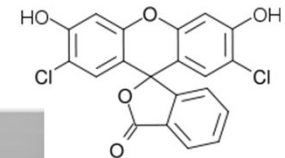
In^- : dichlorofluorescein



37

37

dichlorofluorescein



<https://www.youtube.com/watch?v=CPnBcyDn8>

38

38

การคำนวณ

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

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

$$C_s = \frac{C_s^0 V_s}{V_s + V_t} \quad (6.2)$$

$$C_t = \frac{C_t^0 V_t}{V_s + V_t} \quad (6.3)$$

39

39

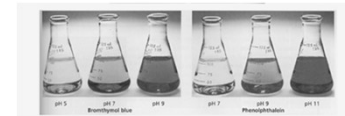
$$X = \frac{C_t}{C_s}$$

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

ถ้าการไตเตรตยังไม่ถึงจุดสมมูล $X < 1$

ที่จุดสมมูล $X = 1$

ถ้าเกินจุดสมมูล $X > 1$



40

40

ตัวอย่างที่ 6.6

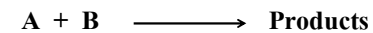
จงหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ปิเปตมา 25.00 ลบ.ซม. ไปไทเทรตกับสารละลาย KHP เข้มข้น 1.20 M ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.20 ลบ.ซม.

จากนั้น นำสารละลาย NaOH ไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย HCl 10.00 mL ซึ่งใช้สารละลาย NaOH เฉลี่ยเท่ากับ 8.50 mL จงหาความเข้มข้นของสารละลาย HCl

41

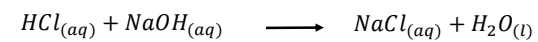
41

ขั้นตอนในการคำนวณมีดังนี้



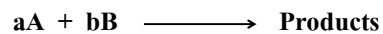
$$\text{ขั้นที่ 1} \quad \text{mol A} = \text{mol B}$$

$$V_A M_A = V_B M_B$$



42

42

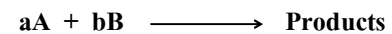


$$\frac{M_B V_B}{b} = \frac{M_A V_A}{a}$$

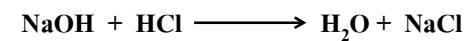
$$aM_B V_B = bM_A V_A$$

43

43



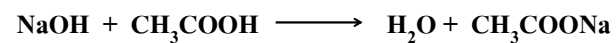
$$\frac{(MV)_A}{a} = \frac{(MV)_B}{b}$$



44

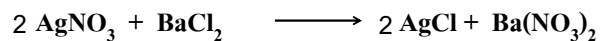
44

ขั้นที่ 2



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

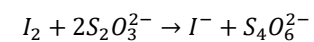
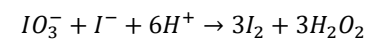
$$MV_{\text{NaOH}} = MV_{\text{CH}_3\text{COOH}}$$



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

45

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

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

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

48

ตัวอย่างที่ 6.4

- (1) การเตรียมสารมาตรฐาน AgNO_3 (MW = 169.87 g/mol, %assay = 99.0) โดยชั่ง AgNO_3 อย่างละเอียดมา 32.5000 กรัม ละลายในขวดปริมาตรขนาด 100.00 ลบ.ซม. จนสารละลายพอดีขีด จงคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน AgNO_3
- (2) นำสารละลาย BaCl_2 มา 25.00 มล. ทิเทรตกับ AgNO_3 ใช้ AgNO_3 เท่ากับ 24.20 มล. จงหาความเข้มข้นของ 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

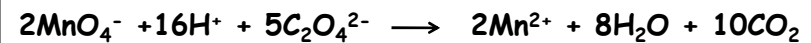
$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย } \text{AgNO}_3 = \dots\dots\dots$$

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

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

51

51

การสแตนด์ไทซ์สารละลาย KMnO_4 

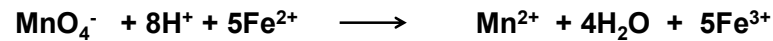
$$\text{จำนวนโมลของ } \text{MnO}_4^- / 2 = \text{จำนวนโมลของ } \text{C}_2\text{O}_4^{2-} / 5$$

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

52

52

การหาปริมาณ 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

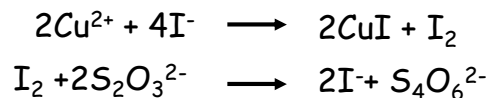
- เตรียมสารละลาย KMnO_4 (158.034 g/mol) ต้องการเตรียมที่ความเข้มข้น 5.50 mM ต้องชั่งสารมากี่กรัม ในปริมาตร 50.00 mL

- ปิเปตต์น้ำบาดาลมา 10.00 มล. ไทเทรตกับสารละลาย KMnO_4 ปริมาตรเท่ากับ 9.50 มล. ในน้ำบาดาลมีเหล็ก (26 g/atom) กี่กรัม

54

54

การหาปริมาณ 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 0.150 M ต้องชั่งสารมากี่กรัม

- ปิเปตต์นมมา 25.00 มล. ไทเทรตกับสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 19.92 มล. จงหาความเข้มข้นของไอโอดีนในนม

56

56