**PHẦN I: ĐẶT VẤN ĐỀ**

Trong quá trình giảng dạy môn Hóa học ở trường THPT, đặc biệt là trong quá trình ôn luyện cho học sinh thi học sinh giỏi các cấp và ở các kì thi Đại học; chuyên đề điện phân dung dịch là một chuyên đề hayvà khá quan trọng nên các bài tập về điện phân thường có mặt trong các kì thi lớn của quốc gia.

Với hình thức thi trắc nghiệm như hiện nay thì việc giải nhanh các bài toán Hóa học là yêu cầu hàng đầu của người học; yêu cầu tìm ra được phương pháp giải toán một cách nhanh nhất, đi bằng con đường ngắn nhất không những giúp người học tiết kiệm được thời gian làm bài mà còn rèn luyện được tư duy và năng lực phát hiện vấn đề của người học.

Trong thực tế tài liệu viết về điện phân dung dịch còn ít nên nguồn tư liệu để giáo viên nghiên cứu còn hạn chế do đó nội dung kiến thức và kĩ năng giải các bài tập điện phân cung cấp cho học sinh chưa được nhiều. Vì vậy, khi gặp các bài toán điện phân các em thường lúng túng trong việc tìm ra phương pháp giải phù hợp.

Qua quá trình tìm tòi, nghiên cứu trong nhiều năm tôi đã hệ thống hóa các dạng bài tập điện phân dung dịch và phương pháp giải các dạng bài tập đó cho học sinh một cách dễ hiểu, dễ vận dụng, tránh được những lúng túng, sai lầm và nâng cao kết quả trong các kỳ thi. Trên cơ sở đó, tôi mạnh dạn chọn đề tài “ ***Phương pháp giải bài tập điện phân dung dịch***” làm sáng kiến kinh nghiệm cho mình. Với hy vọng đề tài này sẽ là một tài liệu tham khảo phục vụ cho việc học tập của các em học sinh 12 và cho công tác giảng dạy của các bạn đồng nghiệp.

 

**PHẦN II: GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ**

**A. Những thuận lợi và khó khăn khi giải bài tập điện phân trong dung dịch.**

**I. Thuận lợi:**

- HS viết được phương trình điện phân tổng quát và tính toán theo phương trình đó.

- HS biết áp dụng công thức Faraday ( ) vào giải các bài tập điện phân .

- HS viết được các bán phản ứng xảy ra ở các điện cực.

**II. Khó khăn:**

- Tài liệu viết về điện phân còn ít nên nguồn tư liệu để giáo viên nghiên cứu còn hạn chế do đó nội dung phần điện phân cung cấp cho học sinh chưa được nhiều.

- Đa số các bài tập điện phân thường tính toán theo các bán phản ứng ở các điện cực nhưng học sinh thường chỉ viết phương trình điện phân tổng quát và giải theo nó.

- Học sinh ít sử dụng công thức hệ quả của Faraday ( ne trao đổi) để giải nhanh bài toán điện phân .

- Học sinh thường lúng túng khi xác định trường hợp H2O bắt đầu điện phân ở các điện cực (khi bắt đầu sủi bọt khí ở catot hoặc khi pH của dung dịch không đổi).

- Học sinh nhầm lẫn quá trình xảy ra ở các điện cực.

- Học sinh viết sai thứ tự các bán phản ứng xảy ra ở các điện cực → tính toán sai.

- Học sinh thường bỏ qua các phản ứng phụ có thể xảy ra giữa các sản phẩm tạo thành như: điện phân dung dịch NaCl không màng ngăn tạo ra nước Gia–ven và có khí H2 thoát ra ở catot ; Phản ứng giữa axit trong dung dịch với kim loại bám trên catot.
 **B. PHƯƠNG PHÁP GIẢI BÀI TẬP ĐIỆN PHÂN TRONG DUNG DỊCH**

**I. CÁC QUÁ TRÌNH ĐIỆN PHÂN**

**I.1. ĐIỆN PHÂN DUNG DỊCH MUỐI**

**I.1.1. Điện phân các dung dịch muối của Kim loại kiềm, kiềm thổ, Nhôm**

**a. Ở catot (cực âm)**

Các ion kim loại kiềm, kim loại kiềm thổ và ion Nhôm không bị điện phân vì chúng có tính oxi hóa yếu hơn H2O; H2O bị điện phân theo phương trình:

 2H2O + 2e → H2 + 2OH–.

**b. Ở anot (cực dương):**

- Nếu là S2-, Cl-, Br-, I- thì chúng bị điện phân trước H2O theo thứ tự tính khử:

 S2->I- > Br- > Cl- > H2O (F- không bị điện phân )

Phương trình điện phân tổng quát: S2- → S + 2e; 2X- → X2 + 2e

Sau khi hết các ion đó, nếu tiếp tục điện phân thì H2O sẽ điện phân theo phương trình:

2H2O → O2 + 4H+ + 4e

- Nếu là các ion: NO3-, SO42-, CO32-, PO43-...thì chúng không bị điện phân mà H2O bị điện phân.

***Ví dụ 1****:Viết PTHH xảy ra khi điện phân dung dịch NaCl :*

NaCl → Na+ + Cl-

 Catot (-) Anot (+)

 Na+ không bị điện phân 2Cl- → Cl2 + 2e

 2H2O + 2e → H2 + 2OH-

→ Phương trình : 2Cl- + 2H2O → Cl2 + H2 + 2OH-

2NaCl + 2H2O → 2NaOH + Cl2 + H2

*** Xảy ra tương tự khi điện phân các dung dịch : NaCl , CaCl2 , MgCl2 , BaCl2 , AlCl3***

***→ Không thể điều chế kim loại từ : Na → Al bằng phương pháp điện phân dung dịch .***

***Ví dụ 2*** *: Viết PTHH xảy ra khi điện phân dung dịch Na2SO4 :*

Na2SO4 → 2Na+ + SO42-

Catot (-) Anot (+)

 Na+ không bị điện phân SO42- không bị điện phân

 2H2O + 2e → H2 + 2OH- 2H2O → O2 + 4H+ + 4e

→ Phương trình điện phân:

*** Xảy ra tương tự khi điện phân các dung dịch: NaNO3, K2SO4 , Na2CO3 , MgSO4 , Al2(SO4)3....***

***Ví dụ 3:*** *Điện phân 100ml dung dịch chứa NaCl với điện cực trơ ,có màng ngăn, cường độ dòng điện I là 1.93A. Tính thời gian điện phân để được dung dịch pH = 12, thể tích dung dịch được xem như không thay đổi, hiệu suất điện phân là 100%.*

 *A. 50s B. 100s C. 150s D . 200s*

**Hướng dẫn giải**

 Vì dung dịch có PH = 12 → Môi trường kiềm .

pH = 12 → [H+] = 10-12 → [OH-] = 0,01 → Số mol OH- = 0,001 mol

NaCl → Na+ + Cl-

Catot (-) Anot (+)

 Na+ không bị điện phân

 2H2O + 2e → H2 + 2OH- Cl- → Cl2 + 2e

 0,001  0,001

→ Số mol e trao đổi là : n = 0,001 mol

Áp dụng công thức Faraday : n =

→ Chọn đáp án A

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.7***

**I.1.2. Điện phân các dung dịch muối của các kim loại đứng sau Al trong dãy điện hóa**

**1. Ở catot (cực âm)**

- Các cation kim loại bị khử theo phương trình: Mn+ + ne → M
Sau khi hết các ion đó, nếu tiếp tục điện phân thì H2O sẽ điện phân theo phương trình: 2H2O + 2e → H2 + 2OH–.

**2. Ở anot (cực dương):** (Xảy ra tương tụ mục I.1.1b)

***Ví dụ 1 :*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dịch CuSO4 :*

 CuSO4 → Cu2+ + SO42-

 Catot(-) Anot (+)

 SO42- không bị điện phân .

 Cu2+ + 2e → Cu 2H2O → 4H+ + O2+ 4e

→ Phương trình điện phân : Cu2+ + H2O → Cu + 2H+ + ½ O2

CuSO4 + H2O → Cu + H2SO4 + ½ O2

*** Xảy ra tương tự khi điện phân các dung dịch muối của kim loại từ Zn → Hg với các gốc axit NO3- , SO42- : Cu(NO3)2 + H2O → Cu + 2HNO3 + ½ O2***

***Ví dụ 2 :*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dịch ZnCl2 :*

ZnCl2 → Zn2+ + 2Cl-

 Catot (-) Anot (+)

 Zn2+ + 2e → Zn 2Cl- → Cl2 + 2e

→ Phương trình điện phân:

***Ví dụ 3:*** *Điện phân 100ml dung dịch CuSO4 0,1M với các điện cực trơ cho đến khi vừa bắt đầu sủi bọt bên catot thì ngừng điện phân. Tính pH dung dịch ngay khi ấy với hiệu suất là 100%. Thể tích dung dịch được xem như không đổi. Lấy lg2 = 0,3*

 *A. pH = 0,1 B. pH = 0,7 C. pH = 2,0 D. pH = 1,3*

**Hướng dẫn giải**

Đến khi vừa bắt đầu sủi bọt khí bên catot thì Cu2+ vừa hết .

Điện phân dung dịch : CuSO4 :

 CuSO4 → Cu2+ + SO42-

 Catot(-) Anot (+)

 SO42- không bị điện phân .

 Cu2+ + 2e → Cu 2H2O → 4H+ + O2 + 4e

 0,01*→* 0,02 0,02  0,02

→ Số mol e cho ở anot = số mol e nhận ở catot → n H+ = 0,02 mol

→ [H+] = 0,02/0,1 = 0,2 → pH = -lg0,2 = 0,7 → Chọn đáp án B

*** Áp dụng tương tự để giải các bài tập: V.3, V.4, V.5***

**I.1.3. Điện phân hỗn hợp các dung dịch muối**

**\* Ở catot:** Các cation kim loại bị khử theo thứ tự trong dãy thế điện cực chuẩn (ion có tính oxi hóa mạnh hơn bị khử trước): Mn+ + ne → M


**\* Ở anot *:*** (Xảy ra tương tụ mục I.1.1b)

***Ví dụ 1:*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dịch hỗn hợp NaCl và Cu(NO3)2 :*

NaCl → Na+ + Cl-

 Cu(NO3)2 → Cu2+ + 2NO3-

 Catot (-) Anot (+)

Na+ không bị điện phân NO3- không bị điện phân

 Cu2+ + 2e → Cu 2Cl- → Cl2 + 2e

đpdd

 2H2O + 2e → H2 + 2OH- 2H2O → 4H+ + O2 + 4eđpdd

Phương trình điện phân: 2NaCl + 2H2O 2NaOH + H2 + Cl2đpdd

 Cu(NO3)2 + H2O Cu + ½ O2 + 2HNO3Phương trình điện phân tổng quát: 2NaCl + Cu(NO3)2 Cu + Cl2 + 2NaNO3

***Ví dụ 2*: *(Trích Đại học khối A- 2010)***

*Điện phân (với điện cực trơ) một dung dịch gồm NaCl và CuSO4 có cùng số mol, đến khi ở catot xuất hiện bọt khí thì dừng điện phân. Trong cả quá trình điện phân trên, sản phẩm thu được ở anot là*

*A. khí Cl2 và O2. B. khí H2 và O2. C. chỉ có khí Cl2. D. khí Cl 2 và H2.*

→ Chọn đáp án: A

***Ví dụ 3:*** *Điện phân hoàn toàn dung dịch hỗn hợp gồm a mol Cu(NO3)2 và b mol NaCl với điện cực trơ , màng ngăn xốp . Để dung dịch thu được sau khi điện phân có khả năng phản ứng với Al2O3 thì*

*A. b = 2a B. b > 2a C. b < 2a D. b < 2a hoặc b > 2a*

**Hướng dẫn giải**

Cu(NO3)2 → Cu2+ + 2NO3-

 a a

 NaCl → Na+ + Cl-

 b b

 Catot(-) Anot (+)

 Na+ không bị điện phân NO3- không bị điện phân .

 Cu2+ + 2e → Cu 2Cl- → Cl2 + 2e

→ Phương trình : Cu2+ + 2Cl- → Cu + Cl2 (1)

a b

Nếu dư Cu2+ sau (1) : a > b/2 ( 2a > b ) thì có phản ứng : Cu2+ + 2H2O→ Cu + 4H+ + O2

→ Dung dịch thu được có axit nên có phản ứng với Al2O3

Nếu dư Cl- sau (1) : a < b/2 ( b > 2a) → có phản ứng : 2H2O + 2Cl- → 2OH- + H2 + Cl2

→ Dung dịch thu được có môi trường bazơ → Có phản ứng với Al2O3 : NaOH + Al2O3 → NaAlO2 + H2O → Chọn đáp án D .

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.2.***

***Ví dụ 4*: *(Trích Đại học khối A- 2010)***

*Điện phân (điện cực trơ) dung dịch X chứa 0,2 mol CuSO4 và 0,12 mol NaCl bằng dòng điện có cường độ 2A. Thể tích khí (đktc) thoát ra ở anot sau 9650 giây điện phân là*

*A. 2,240 lít. B. 2,912 lít. C. 1,792 lít. D. 1,344 lít.*

**Hướng dẫn giải**

 NaCl → Na+ + Cl-

 CuSO4 → Cu2+ + SO42-

 Catot (-) Anot (+)

 (Cu2+; Na+, H2O) (SO42-, Cl-, H2O)

Na+ không điện phân SO42- không điện phân

 Cu2+ + 2e → Cu 2Cl- → Cl2 + 2e

 n e (trao đổi)= 0,2 mol 0,12 0,12

 2H2O → 4H+ +O2 + 4e

 0,02  0,08

 Vkhí = (0,06 + 0,02). 22,4 = 1,792 lít → Đáp án C

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.8.***

***Ví dụ 5*:***Điện phân 100 ml dung dịch CuSO4 0,2M và AgNO3 0.1M với cường độ dòng điện I = 3.86A.Tính thời gian điện phân để được một khối lượng kim loại bám bên catot là 1.72g ?*

*A. 250s B. 1000s C. 500s D. 750s*

**Hướng dẫn giải**

Số gam kim loại Ag tối đa được tạo thành : 0,01.108 = 1,08 gam

Số gam Cu tối đa tạo thành : 0,02.64 = 1,28 gam

Vì 1,08 < 1,72 < 1,08 + 1,28 → Điện phân hết AgNO3 , Và còn dư một phần CuSO4

→ Khối lượng Cu được tạo thành : 1,72 – 1,08 = 0,64 gam → n Cu = 0,01 mol

Áp dụng công thức Faraday :

Cho Ag : 0,01 = 3,86.t1 / 96500.1 → t1 = 250s

Cho Cu : 0,01 = 3,86.t2 / 96500.2 → t2 = 500 s

→ Tổng thời gian : 250 + 500 = 750 s → Chọn Đáp án D .

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.9***

***Ví dụ 6*: *(Trích Đại học khối B– 2009)***

*Điện phân có màng ngăn 500 ml dung dịch chứa hỗn hợp gồm CuCl2 0,1M và NaCl 0,5M (điện cực trơ, hiệu suất điện phân 100%) với cường độ dòng điện 5A trong 3860 giây. Dung dịch thu được sau điện phân có khả năng hoà tan m gam Al. Giá trị lớn nhất của m là*

*A. 4,05 B. 2,70 C. 1,35 D. 5,40*

**Hướng dẫn giải**

Số mol e trao đổi khi điện phân : mol

n CuCl2 = 0,1.0,5 = 0,05 mol ; n NaCl = 0,5.0,5 = 0,25 mol

→ n Cu2+ = 0,05 mol , n Cl- = 0,25 + 0,05.2 = 0,35 mol → Vậy Cl- dư , Cu2+ hết , nên tại catot sẽ có phản ứng điện phân nước (sao cho đủ số mol e nhận ở catot là 0,2)

Tại catot : Tại anot :

Cu2+ + 2e → Cu 2Cl- → Cl2 + 2e

0,05→0,1 0,20,2

2H2O + 2e → H2 + 2OH-

0,1 (0,2-0,1) → 0,1

Dung dịch sau khi điện phân có 0,1 mol OH- có khả năng phản ứng với Al theo phương trình : Al + OH- + H2O → AlO2- + 3/2 H2

 0,10,1

mAl max = 0,1.27= 2,7 (g) → Chọn Đáp án B

***Ví dụ 8*:***: Mắc nối tiếp hai bình điện phân: bình (1) chứa dung dịch MCl2 và bình (2) chứa dung dịch AgNO3. Sau 3 phút 13 giây thì ở catot bình (1) thu được 1,6 gam kim loại còn ở catot bình (2) thu được 5,4 gam kim loại. Cả hai bình đều không thấy khí ở catot thoát ra. Kim loại M là:
 A. Zn                            B. Cu                         C. Ni                            D. Pb*

**Hướng dẫn giải**

Do hai bình mắc nối tiếp nên ta có:
Q = I.t = → M = 64 → Cu → Chọn đáp án B

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.10, V.11.***

**I.2. ĐIỆN PHÂN CÁC DUNG DỊCH AXIT:**

**\*Ở catot:** Các ion H+ (axit) dễ bị khử hơn các ion H+ (H2O): 2H+ + 2e **→** H2

Khi ion H+ (axit) hết , nếu tiếp tục điện phân thì H2O sẽ điện phân theo phương trình:

2H2O + 2e → H2 + 2OH–.

**\* Ở anot**: (Xảy ra tương tụ mục I.1.1b)

***Ví dụ 1:*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dich HCl:*

HCl **→** H+  + Cl-

 Catot(-) Anot (+)

đpdd

 2H+ + 2e **→** H2 2Cl- → Cl2 + 2e→ Phương trình điện phân: HCl H2 + Cl2

 ***Ví dụ 2:*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dịch H2SO4*

 H2SO4 **→**  2H+ + SO42-

 Catot(-) Anot (+)

 2H+ + 2e **→** H2 SO42- Không điện phân

 2H2O → 4H+ + O2 + 4e

→ Phương trình điện phân: H2O → H2 + ½ O2

**I.3. ĐIỆN PHÂN CÁC DUNG DỊCH BAZƠ**

**\* Ở catot:**

- Nếu tạo bởi các ion kim loại từ Li+ → Al3+ thì H2O sẽ bị điện phân :

 2H2O + 2e → H2 + 2OH–
 - Nếu tạo bởi các ion kim loại sau Al trong dãy điện hóa : đó là các bazơ không tan → điện li yếu → không xét quá trình điện phân.

**\* Ở anot:** ion OH- điện phân theo phương trình sau: 4OH- → 2H2O + O2 + 4e

Nếu tiếp tục điện phân thì H2O sẽ điện phân: 2H2O → 4H+ + O2 + 4e

***Ví dụ 1 :*** *Viết PTHH xảy ra điện phân dung dịch NaOH:*

 NaOH → Na+ + OH-

 Catot(-) Anot (+)

 Na+ không bị điện phân

 2H2O + 2e → H2 + 2OH– 4OH- → 2H2O + O2 + 4e

→ Phương trình điện phân: H2O → H2 + ½ O2

***Ví dụ 2:*** *Tiến hành điện phân (với điện cực Pt) 200 gam dung dịch NaOH 10 % đến khi dung dịch NaOH trong bình có nồng độ 25 % thì ngừng điện phân. Thể tích khí (ở đktc) thoát ra ở anot và catot lần lượt là:
 A. 149,3 lít và 74,7 lít                                             B. 156,8 lít và 78,4 lít
 C. 78,4 lít và 156,8 lít**D. 74,7 lít và 149,3 lít*

***Hướng dẫn giải***:

mNaOH (trước điện phân) = 20 gam

Điện phân dung dịch NaOH thực chất là điện phân nước

Phương trình điện phân:: H2O → 1/2 O2 (anot) + H2 (catot)

→ mNaOH không đổi → mdd sau điện phân = 80 gam → mH2O bị điện phân = 200 – 80 = 120 gam

→ nH2O điện phân = 20/3 mol → VO2 = 74,7 lít và VH2 = 149,3 lít → Chọnđáp án D

 **I.4. ĐIỆN PHÂN HỖN HỢP CÁC DUNG DỊCH ĐIỆN LI ( dd muối, axit, bazơ)**

**\* Ở catot:** Thứ tự điện phân: ion có tính oxi hóa mạnh hơn bị điện phân trước:



**\* Ở anot:** Thứ tự điện phân:S2-> I- > Br- > Cl- > OH- > H2O theo các phương trình sau:

 S2- → S + 2e
 2X- → X2 + 2e

 4OH- → 2H2O + O2 + 4e

 2H2O → O2 + 4H+ + 4e

***Ví dụ 1:*** *Điện phân hỗn hợp các dung dịch: HCl, CuCl2, NaCl với điện cực trơ, có màng ngăn. Giá trị pH của dung dịch thay đổi như thế nào trong quá trình điện phân:*

*A. Tăng B. Giảm C. Tăng rồi giảm D. Giảm rồi tăng*

→ Chọn đáp án A

***Ví dụ 2*** *: Điện phân 200 ml dung dịch hỗn hợp gồm HCl 0,1M và CuSO4 0,5M bằng điện cực trơ . Khi ở catot có 3,2 gam Cu thì thể tích khí thoát ra ở Anot là*

*A.0,56 lít B.0,84 lít C.0,672 lít D.0,448 lít*

**Hướng dẫn giải**

CuSO4 → Cu2+ + SO42-

 0,1 0,1

 HCl → H+ + Cl-

 0,02 0,02

 Catot(-) Anot (+)

 SO42- không bị điện phân .

 Cu2+ + 2e → Cu 2Cl- → Cl2 + 2e

 0,1 ← 0,05 0,02 → 0,01

 2H2O → 4H++ O2 + 4e

 0,02 ← 0,08 mol

Khi ở catot thoát ra 3,2 gam Cu tức là 0,05 mol → Số mol Cu2+ nhận 0,1 mol , mà Cl- cho tối đa 0,02 mol → 0,08 mol còn lại là H2O cho

→ Từ sơ đồ điện phân khí thoát ra tại anot là : Cl2  0,01mol ; O2 0,02 mol

→ Tổng thể tích : 0,03.22,4 = 0,672 lít

→ Chọn đáp án C .

***Ví dụ 3*:** *Điện phân 100 ml hỗn hợp dung dịch gồm FeCl3 1M , FeCl2 2M , CuCl2 1M và HCl 2M với điện cực trơ có màng ngăn xốp cường độ dòng điện là 5A trong 2 giờ 40 phút 50 giây ở catot thu được:*

*A.5,6 g Fe B.2,8 g Fe C.6,4 g Cu D.4,6 g Cu*

**Hướng dẫn giải**

Theo : n Fe3+ = 0,1 mol ; n Fe2+ = 0,2 mol ; n Cu2+ = 0,1 mol ; n HCl = 0,2 mol

Sắp xếp tính oxi hóa của các ion theo chiều tăng dần : Fe2+ < H+ < Cu2+ < Fe3+

→ Thứ tự bị điện phân ở catot (-) :

Fe3+ + 1e → Fe2+ (1)

0,1 → 0,1→ 0,1

Cu2+ + 2e → Cu (2)

0,1 → 0,2→ 0,1

H+ + 1e → Ho (3)

0,2→ 0,2

Fe2+ + 2e → Fe (4)

Theo công thức Faraday số mol e trao đổi ở hai điện cực :

 n = It/96500 = 5.9650/96500 = 0,5 mol

Vì số mol e trao đổi chỉ là 0,5 mol → Không có phản ứng (4) , kim loại thu được chỉ ở phản ứng (2) → Khối lượng kim loại thu được ở catot là : 0,1.64 = 6,4 gam

 → Chọn đáp án C.

*** Áp dụng tương tự để giải bài tập V.12, V.13***

**\* Lưu ý:**

***- Môi trường dung dịch sau điện phân:***

+ Dung dịch sau điện phân có môi trường axit nếu điện phân muối tạo bởi kim loại sau Al (trong dãy điện hóa) và gốc axit có oxi như: CuSO4, FeSO4, Cu(NO3)2.....

+ Dung dịch sau điện phân có môi trường bazơ nếu điện phân muối tạo bởi kim loại đứng trước Al (Al, Kim loại kiềm, kiềm thổ) và gốc axit không có oxi như: NaCl, AlCl3, KBr....

+ Dung dịch sau điện phân có môi trường trung tính: điện phân các dung dịch điện li còn lại như : HCl, H2SO4, Na2SO4....

***- Các loại điện cực:***

\* *Điện cực trơ*: (ví dụ : platin...)

\* *Điện cực tan*: ( ví dụ: bạc, đồng...) Chính anot bị oxi hóa, ăn mòn dần (tan dần). Các ion khác có mặt trong dung dịch hầu như còn nguyên vẹn, không bị oxi hóa.

 Ví dụ: Điện phân dung dịch CuSO4 với bình điện phân có anot làm bằng kim loại Cu:

 Phương trình điện phân:

***- Ý nghĩa sự điện phân***: phương pháp điện phân được ứng dụng rộng rãi trong thực tế sản xuất và trong phòng thí nghiệm nghiên cứu như dùng để điều chế kim loại tinh khiết; điều chế một số phi kim và một số hợp chất; tinh chế một số kin loại hoặc trong lĩnh vực mạ điện...

**II. ĐỊNH LƯỢNG TRONG QUÁ TRÌNH ĐIỆN PHÂN**

 \* Muốn tính khối lượng các chất giải phóng ở các điện cực ta có thể tính theo phương trình điện phân.

 Ví dụ:

 160(g ) 64(g) *→*11,2(lit) *→*1(mol)

 a(g) x (g) *→* y (lit) *→*z(mol)

 \* Khi biết cường độ dòng điện ( I) và thời gian điện phân (t) ta có thể tính theo công thức Faraday: hoặc

 Trong đó: m - khối lượng chất (rắn, lỏng, khí) thoát ra ở điện cực (gam).

 A - Khối lượng nguyên tử (đối với kim loại) hoặc khối lượng phân tử (đối với chất khí) n - số electron trao đổi

 I - Cường độ dòng điện ( A)

 t - Thời gian điện phân (s)

F - Hằng số Faraday F= 96500C

- Số mol e trao đổi ở mỗi điện cực : **.**

\* Tỉ lệ A/n được gọi là đương lượng điện hóa (Đ). Một đương lượng gam điện hóa có khối lượng A/n (gam)

 Số đương lượng gam đơn chất (hay ion ) X = Số mol nguyên tử( hay ion) X .n

Ta có : khi Q= 96500C hay 1F

**III. CÁC BƯỚC THÔNG THƯỜNG GIẢI MỘT BÀI TẬP ĐIỆN PHÂN**

Bước 1: Viết phương trình điện li của tất cả các chất điện phân; Xác định các ion ở mỗi điện cực.

Bước 2: Viết các PTHH của các bán phản ứng (Viết phương trình cho, nhận e của các ion tại các điện cực); Tính số e trao đổi ở mỗi điện cực (Nếu giả thiết cho cường độ dòng điện và thời gian điện phân) :

ne (cho ở anot) = ne (nhận ở catot).

Bước 3: Biểu diễn các đại lượng theo các bán phản ứng hoặc theo phương trình điện phân chung.

Bước 4: Tính theo yêu cầu của bài toán

*+ Trong nhiều trường hợp, có thể dùng định luật bảo toàn mol electron (số mol electron thu được ở catot bằng số mol electron nhường ở anot) để giải cho nhanh.***IV. MỘT SỐ KINH NGHIỆM GIẢI BÀI TẬP TRẮC NGHIỆM ĐIỆN PHÂN**

(1) H2O bắt đầu điện phân tại các điện cực khi:

+ Ở catot: bắt đầu xuất hiện bọt khí hoặc khối lượng catot không đổi nghĩa là các ion kim loại bị điện phân trong dung dịch đã bị điện phân hết.
 + Khi pH của dung dịch không đổi có nghĩa là các ion âm hoặc dương (hay cả hai loại) có thể bị điện phân đã bị điện phân hết. Khi đó tiếp tục điện phân sẽ là H2O bị điện phân.

(2) Khi điện phân các dung dịch:
       + Hiđroxit của kim loại hoạt động hóa học mạnh (KOH, NaOH, Ba(OH)2,…)
       + Axit có oxi (HNO3, H2SO4, HClO4,…)
       + Muối tạo bởi axit có oxi và bazơ kiềm (KNO3, Na2SO4,…)
→ Thực tế là điện phân H2O để cho H2 (ở catot) và O2 (ở anot).
 (3) Khi điện phân dung dịch với anot là một kim loại không trơ (không phải Pt hay điện cực than chì) thì tại anot chỉ xảy ra quá trình oxi hóa điện cực.
 (4) Có thể có các phản ứng phụ xảy ra giữa từng cặp: chất tạo thành ở điện cực, chất tan trong dung dịch, chất dùng làm điện cực như: Điện phân dung dịch NaCl không màng ngăn tạo ra nước Gia–ven và có khí H2 thoát ra ở catot ; Phản ứng giữa axit trong dung dịch với kim loại bám trên catot .

 (5) Khối lượng catot tăng chính là khối lượng kim loại tạo thành sau điện phân bám vào.
 -

 - Độ giảm khối lượng của dung dịch: Δm = (mkết tủa + mkhí)
 (6) Viết bán phản ứng (thu hoặc nhường electron) xảy ra ở các điện cực theo đúng thứ tự, không cần viết phương trình điện phân tổng quát và sử dụng CT: .
 - Viết phương trình điện phân tổng quát (như những phương trình hóa học thông thường) để tính toán khi cần thiết.
 (7) Từ công thức Faraday → số mol chất thu được ở điện cực .
 - Nếu đề bài cho I và t thì trước hết tính số mol electron trao đổi ở từng điện cực (ne) theo công thức: (\*) (với F = 96500 khi t = giây và F = 26,8 khi t = giờ). Sau đó dựa vào thứ tự điện phân, so sánh tổng số mol electron nhường hoặc nhận với ne để biết mức độ điện phân xảy ra.

(8) Nếu đề bài cho lượng khí thoát ra ở điện cực hoặc sự thay đổi về khối lượng dung dịch, khối lượng điện cực, pH,…thì dựa vào các bán phản ứng để tính số mol electron thu hoặc nhường ở mỗi điện cực rồi thay vào công thức (\*) để tính I hoặc t .
 (9) Nếu đề bài yêu cầu tính điện lượng cần cho quá trình điện phân thì áp dụng công thức: Q = I.t = ne.F .
 (10) Có thể tính thời gian t’ cần điện phân hết một lượng ion mà đề bài đã cho rồi so sánh với thời gian t trong đề bài. Nếu t’ < t thì lượng ion đó đã bị điện phân hết còn nếu t’ > t thì lượng ion đó chưa bị điện phân hết.
 (11) Khi điện phân các dung dịch trong các bình điện phân mắc nối tiếp thì cường độ dòng điện và thời gian điện phân ở mỗi bình là như nhau → sự thu hoặc nhường electron ở các điện cực cùng tên phải như nhau và các chất sinh ra ở các điện cực cùng tên tỉ lệ mol với nhau.
 (12) Trong nhiều trường hợp có thể dùng định luật bảo toàn mol electron (số mol electron thu được ở catot = số mol electron nhường ở anot) để giải cho nhanh.

**V. BÀI TẬP ÁP DỤNG**

**V.1.** Khi điện phân các dung dịch: NaCl, KNO3, AgNO3, CuSO4 với điện cực trơ, màng ngăn xốp. Dung dịch có pH tăng trong quá trình điện phân là:

A. NaCl B. KNO3 C. AgNO3 D. CuSO4

**V.2**.***(Trích Đại học khối B-2007)***: Điện phân dung dịch chứa a mol CuSO4 và b mol NaCl ( với điện cực trơ, có màng ngăn xốp). Để dung dịch sau điện phân làm phenolphtalein chuyển sang màu hồng thì điều kiện của a và b là:

A. b = 2a B. 2b = a C. b > 2a D. b < 2a

**V.3**: Điện phân 100ml dung dịch CuSO4 0.2M với cường độ I = 9.65 A.Tính khối lượng Cu bám bên catot khi thời gian điện phân t1 = 200s và t2 = 500s (với hiệu suất là 100%).

A. 0.32g ; 0.64g  B. 0.64g ; 1.28g C. 0.64g ; 1.32g D. 0.32g ; 1.28g

 **V.4**.***(Trích Đại học khối B-2010)***: Điện phân (với điện cực trơ) 200 ml dung dịch CuSO4 nồng độ x mol/l, sau một thời gian thu được dung dịch Y vẫn còn màu xanh, có khối lượng giảm 8g so với dung dịch ban đầu. Cho 16,8g bột Fe vào Y, sau khi các phản ứng xảy ra hoàn toàn, thu được 12,4g kim loại. Giá trị x là

A. 2,25 B. 1,5 C. 1,25 D. 3,25

**V.5**. Hòa tan 4,5 gam tinh thể MSO4.5H2O vào nước được dung dịch X. Điện phân dung dịch X với điện cực trơ và cường độ dòng điện 1,93A. Nếu thời gian điện phân là t (s) thì thu được kim loại M ở catot và 156,8 ml khí tại anot. Nếu thời gian điện phân là 2t (s) thì thu được 537,6 ml khí . Biết thể tích các khí đo ở đktc. Kim loại M và thời gian t lần lượt là:
 A. Ni và 1400 s      B. Cu và 2800 s C. Ni và 2800 s         ****D. Cu và 1400 s

**V.6. *(Trích Đại học khối A-2007)***: Điện phân dung dịch CuCl2 với điện cực trơ, sau một thời gian thu được 0,32 gam Cu ở catôt và một lượng khí X ở anôt. Hấp thụ hoàn toàn lượng khí X trên vào 200 ml dung dịch NaOH (ở nhiệt độ thường). Sau phản ứng, nồng độ NaOH còn lại là 0,05M (giả thiết thể tích dung dịch không thay đổi). Nồng độ ban đầu của dung dịch NaOH là (cho Cu = 64)

A. 0,15M. B. 0,2M. C. 0,1M. D. 0,05M.

**V.7.** Điện phân dung dịch NaCl (d=1,2g/ml) chỉ thu được một chất khí ở điện cực. Cô cạn dung dịch sau điện phân, còn lại 125g cặn khô. Nhiệt phân cặn này thấy giảm 8g. Hiệu suất của quá trình điện phân là:

A**.** 25% B.30%  C.50% D.60%

**V.8**: Điện phân 2 lít dung dịch hỗn hợp gồm NaCl và CuSO4 đến khi H2O bị điện phân ở hai cực thì dừng lại, tại catốt thu 1.28 gam kim loại và anôt thu 0.336 lít khí (ở điều kiện chuẩn). Coi thể tích dung dịch không đổi thì pH của dung dịch thu được bằng

 A. 2 B. 13 C. 12 D. 3

**V.9**: Điện phân 200 ml dung dịch hỗn hợp AgNO3 0,1 M và Cu(NO3)2 0,2 M với điện cực trơ và cường độ dòng điện bằng 5A. Sau 19 phút 18 giây dừng điện phân, lấy catot sấy khô thấy tăng m gam. Giá trị của m là:
 A. 5,16 gam                B. 1,72 gam                C. 2,58 gam  D. 3,44 gam

 **V.10**. Có hai bình điện phân mắc nối tiếp nhau. Bình 1 chứa dung dịch CuCl2, bình 2 chứa dung dịch AgNO3. Tiến hành điện phân điện cực trơ, kết thúc điện phân thấy trên catot bình 1 tăng 1,6 gam. Khối lượng catot bình 2 tăng:

A. 2,52 gam B. 3,24 gam  C. 5,40 gam D. 10,8 gam

**V.11**. Mắc nối tiếp 3 bình điện phân A, B, C đựng 3 dung dịch tương ứng CuCl2, XSO4, và Ag2SO4 rồi tiến hành điện phân với điện cực trơ cường độ dòng điện là 5A. Sau thời gian điện phân t thấy khối lượng kim loại thoát ra tại catot bình A ít hơn bình C là 0,76g, và catot bình C nhiều hơn catot bình B và bình A là 0,485g. Khối lượng nguyên tử X và thời gian t là:

 A. 55 và 193s B. 30 và 133s C. 28 và 193s D. 55 và 965s

**V.12**. Điện phân dung dịch hỗn hợp chứa 0,15 mol FeCl3; 0,3 mol CuCl2; 0,1mol NaCl đến khi catot bắt đầu sủi bọt khí thì ngừng điện phân. Tại thời điểm này, catot đã tăng:

A. 27,6 gam B. 8,4 gam C. 19,2 gam D. 29,9 gam

**V.13*.*** Hoà tan a mol Fe3O4 bằng dung dịch H2SO4 vừa đủ, thu được dung dịch X. Điện phân X với 2 điện cực trơ bằng dòng điện cường độ 9,65A. Sau 1000 giây thì kết thúc điện phân và khi đó trên catot bắt đầu thoát ra bọt khí. Giá trị của a là

A. 0,025.                   B. 0,050.                          C. 0,0125.                     D. 0,075.

**PHẦN III: KẾT LUẬN**

Trên đây là một số kỹ năng và phương pháp giải một số dạng bài toán cơ bản về điện phân dung dịch. Quá trình tìm tòi nghiên cứu tôi đã giải quyết được những vấn đề sau:

 - Nghiên cứu cơ sở lí thuyết của điện phân dung dịch; các quá trình xảy ra trong đó.

 - Từ đó rút ra các bước thông thường để giải một bài toán điện phân.

- Sắp xếp một cách có hệ thống các dạng bài tập điện phân dung dịch

- Đưa ra được các dạng bài tập cơ bản nhất và hướng dẫn giải chi tiết, ngắn gọn các dạng bài tập đó.

Trong các năm giảng dạy và ôn luyện thi với việc áp dụng phương pháp trên tôi thấy khả năng giải bài tập điện phân dung dịch của học sinh đã được nâng cao ; các em hứng thú hơn trong học tập. Ở các lớp luyện thi với đối tượng là học sinh trung bình khá thì số học sinh hiểu và có kỹ năng giải được các dạng bài tập trên là tương đối. Đặc biệt được đồng nghiệp xem đây là một tài liệu rất bổ ích dùng để bổ trợ ôn thi học sinh giỏi và ôn thi đại học. Mặc dù tôi đã cố gắng tìm tòi, nghiên cứu song không tránh khỏi những hạn chế và thiếu sót. Rất mong nhận được sự quan tâm đóng góp của các bạn đồng nghiệp trong toàn tỉnh.

**Phần** **IV. Kiến nghị và đề xuất**

Qua thực tế giảng dạy nhiều năm khi áp dụng các phương pháp trên, tôi thấy rằng để có thể giúp học sinh chủ động hơn trong quá trình lĩnh hội kiến thức và giải nhanh các bài tập điện phân dung dịch thì vai trò chủ yếu thuộc về giáo viên giảng dạy. Muốn làm được điều đó *giáo viên cần*:

***-*** Nghiên cứu, tìm tòi các tài liệu liên quan đến bài tập điện phân dung dịch, hệ thống các nội dung cơ bản và phân loại các dạng bài tập, đặc biệt tìm ra được phương pháp giải phù hợp nhất để truyền thụ cho học sinh một cách có hiệu quả.

- Trong quá trình giảng dạy các tiết liên quan đến kim loại cần lồng ghép các bài tập điện phân dung dịch để rèn luyện kỹ năng giải bài tập điện phân cho học sinh.

*\* Đối với học sinh:*

- Cần nắm được bản chất của các quá trình điện phân.

- Có kỹ năng nhận dạng bài tập, biết cách vận dụng linh hoạt các phương pháp giải, công thức tính phù hợp.

*\* Đối với nhà trường:*

- Nhà trường cần tổ chức các buổi hội giảng nhiều hơn nữa để thúc đẩy sự đổi mới phương pháp giảng dạy, nâng cao hiệu quả nghiên cứu cho giáo viên; có tủ sách lưu lại các chuyên đề bồi dưỡng học tập của giáo viên hàng năm để làm cơ sở nghiên cứu phát triển thành đề tài.

- Đề nghị các cấp lãnh đạo tạo điều kiện giúp đỡ học sinh và giáo viên có nhiều tài liệu, sách tham khảo trong nhà trường; cần có thiết bị điện phân cho các phòng thí nghiệm; các chuyên đề SKKN hàng năm đưa lên các trang web của sở GD- ĐT để giáo viên tham khảo.

 *Điện phân dung dịch là một mảng trong chuyên đề điện phân, rất mong các đồng nghiệp có thể mở rộng đề tài này góp phần vào việc nâng cao chất lượng học tập của học sinh.*

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Lê Xuân Trọng (chủ biên), *Sgk Hóa học 12 (nâng cao)-* NXB giáo dục, Hà nội 2008.

2. Đề thi Đại học – Cao đẳng các năm 2007, 2008, 2009, 2010.

3. Hoàng Nhâm, *Hóa học vô cơ – Tập 1* – NXB giáo dục, 2003.

4. Ngô Ngọc An, *Phản ứng oxi hóa- khử và điện phân*- NXB giáo dục, Hà nội 2006.

5. Nguyễn Xuân Trường, *Bài tập Hóa học ở trường phổ thông* - NXB sư phạm, 2003.

6. Nguyễn Xuân Trường, *Ôn luyện kiến thức hóa học đại cương và vô cơ trung học phổ thông* – NXB Giáo dục, Hà Nội 2008.

**PHẦN V: PHỤ LỤC**

**HƯỚNG DẪN GIẢI CÁC BÀI TẬP ĐỊNH LƯỢNG PHẦN BÀI TẬP ÁP DỤNG**

**V.3**: n CuSO4 = 0,2.0,1 = 0,02 mol

Tính thời gian để điện phân hết 0,02 mol CuSO4 là :

Phương trình điện phân :

CuSO4 + H2O → Cu + H2SO4 + ½ O2

- Khi điện phân trong thời gian t1 = 200 s :

 mol → Khối lượng Cu = 0,01.64 = 0,64 gam

- Khi điện phân trong 500 s : Vì để điện phân hết 0,02 mol CuSO4 hết 400s , nên 100s còn lại sẽ điện phân H2O theo phương trình : H2O → H2 + ½ O2

Khối lượng kim loại Cu thu được : 0,02.64 = 1,28 gam **→ Chọn đáp án B** .

**V.4:** CuSO4 + H2O → Cu + H2SO4 + ½ O2

 a a a ½ a mol

64.a + ½ a.32 = 8 a = 0,1

nFe = 0,3 mol

Fe + H2SO4 →FeSO4 + H2

0,1← 0,1 mol

mFe còn lại = 16,8 – 0,1.5,6 = 11,2g

Fe + CuSO4 → FeSO4 + Cu (3)

nCuSO4 (3) = mol

x = **→ Chọn đáp án C** .

**V.5:** Gọi = x mol

**Tại anot**: điện phân trong t (s) thì thu được mol khí điện phân trong 2t (s) thu được 0,014 mol khí số mol khí thoát ra ở catot là: mol

Các quá trình: Tại catot(-): Tại anot (+)

 M2+ + 2e → M 2H2O → O2 + 4H+ + 4e

 x → 2x 0,014 → 0,056

 2H2O + 2e → H2 + 2OH-

 0,02  0,01

Áp dụng định luật bảo toàn e: 2x + 0,02 = 0,056 x = 0,018 M = 64 Cu

Tại thời điểm điện phân t(s):só mol e trao đổi ở anot: 4.n1 =

**→ Chọn đáp án D**

**V.6**: nCu = mol ; nNaOH dư = 0,2.0,05 = 0,01 mol

Phương trình điện phân: CuCl2 → Cu + Cl2

0,005 **→** 0,005

Cl2 + 2NaOH → NaCl + NaClO + H2O

0,005 **→** 0,01

→ mol = 0,2.CM → CM = 0,1 M **→ Chọn đáp án C**

**V.7:** Khi điện phân có một khí thoát ra ở điện cực là H2, Cl2 tạo thành tác dụng với NaOH tạo thành khi điện phân. Chất rắn thu được gồm NaCl ( nếu dư), NaCl và NaClO tạo thành.

Khối lượng giảm khi nhiệt phân là do NaClO phân huỷ, có oxi thoát ra

Số mol oxi = = 0,25 mol

nNaCl = nNaClO = 2nO2  = 2.0,25 = 0,5 mol

mNaCl + mNaClO = 0,5.58,5 +0,5.74,5 = 66,5gam

mNa tạo thành = 2.0,5.23 = 23 gam

mNaCl dư = 125 - 66,5 = 58,5 gam mNa = 23 gam

Hiệu suất điện phân: **→ Chọn đáp án C**

**V. 8**: nCu(sinh ra)=0.02 mol , nKhí=0.015 mol

đpdd

CuSO4 + 2NaCl  Cu + Cl2 + Na2SO4

 a mol a mol

+ Vì nKhí = 0.015 mol nên CuSO4 dư

CuSO4 + H2O Cu + H2SO4 + O2

 b mol 0.5b

+Theo đề ta có hệ b = 0.01mol nH+ = 0.02mol [H+] = 0.01pH = 2

**→ Chọn đáp án A** .

**V.9**: mol; mol
- Ta có ne (trao đổi) = mol
- Thứ tự các ion bị khử tại catot:
Ag+ + 1e → Ag (1) → sau (1) còn 0,06 – 0,02 = 0,04 mol electron
0,02   0,02  0,02
Cu2+ + 2e → Cu (2) → sau (2) còn dư 0,02 mol Cu2+
0,02 0,04      0,02
m catot tăng = m kim loại bám vào = 0,02.(108 + 64) = 3,44 gam → **Chọn** **đáp án D**

**V.10**: Catot (1): Cu2+ + 2e  Cu

 Catot (2): Ag+ + e  Ag

Catot bình (1) có Cu bám vào, bình (2) có Ag bám vào

nCu = mol

Do bình (1) và bình (2) mắc nối tiếp nên trong cùng một khoảng thời gian lượng electron mà catot giải phóng ra là như nhau

 nAg = 2. nCu = 2.0,025 = 0,05 mol

Khối lượng Ag = 0,05.108 = 5,4 gam **→ Chọn đáp án C** .

**V.11**: CuCl2 Cu + Cl2

 2XSO4 + 2H2O 2X +2H2SO4 +O2

 4AgNO3 +2 H2O 2Ag + 4HNO3 +O2

Ta có: ĐCu =32, ĐAg =108, ĐX =X/2 ( Đ: Đương lượng điện hóa)

Cả ba bình mắc nối tiếp nên số đương lượng gam thoát ra trên catot ở 3 bình như nhau, kí hiệu là x (đlg). Khi đó ta có:

108x – 32x = 0,76  x = 0,01 đlg

Mặt khác: 108x – (32 + A.x/2) = 0,485 A = 55  t = 0,01.96500/55 = 193s

**→ Chọn đáp án A** .

**V.12:**

 Tại catot thứ tự điện phân là : Fe3+ , Cu2+ , OH- ( H2O) , Na+

Khi bắt catot bắt đầu sủi bọt khí( H2O bắt đầu bị điện phân) thì Fe3+ , Cu2+ đã điện phân hoàn toàn. Na+ không bị điện phân

mkl = mFe + mCu = 0,15.56 + 0,3.64 = 27,6 gam **→ Chọn đáp án A** .

**V.13**: PTHH: Fe3O4 + 4H2SO4 → FeSO4 + Fe2(SO4)3 + 4H2O

 a mol → a mol → a mol

Đến khi vừa bắt đầu sủi bọt khí ở catot thì các ion kim loại vừa hết

Ở catot: ;

→ Thứ tự bị điện phân ở catot (-) :

Fe3+ + 1e → Fe2+

 2a → 2a → 2a

Fe2+ + 2e → Fe

3a → 6a→ 3a

(nhận) = 2a + 6a = 8a (mol) (1)

Theo công thức Faraday số mol e trao đổi ở hai điện cực : (2)

Từ (1), (2) 8a = 0,1 a = 0,0125 (mol)

**→ Chọn đáp án C**

**MỤC LỤC**

 **Trang**

Phần I: Đặt vấn đề 1

Phần II: Giải quyết vấn đề 2

A. Những thuận lợi và khó khăn khi giải bài tập về điện phân 2

B. Phương pháp giải bài tập điện phân trong dung dịch 2

I. Các quá trình điện phân 2

 I.1. Điện phân dung dịch muối 2

I.1.1. Điện phân dung dịch muối kim loại kiềm, kiềm thổ, Nhôm 2

I.1.2. Điện phân các dd muối của các kim loại đứng sau Nhôm trong dãy điện 4

I.1.3. Điện phân hỗn hợp các dung dịch muối 6

I.2. Điện phân các dung dịch axit 9

I.3. Điện phân các dung dịch bazơ 10

I.4. Điện phân hỗn hợp các dung dịch điện li ( muối, axit, bazơ) 11

II. Định lượng trong quá trình điện phân 13

III. Các bước thông thường giải một bài tập điện phân 14

IV. Một số kinh nghiệm giải bài tập trắc nghiệm điện phân dung dịch 15

V. Bài tập áp dụng 16

Phần III: Kết luận 19

Phần IV: Kiến nghị- đề xuất 19

Tài liệu tham khảo 21

Phần V: Phụ lục 22