

**XÁC ĐỊNH HẲNG SỐ CÂN BẰNG CỦA AXIT PHOTPHORIC TỪ DỮ LIỆU pH
THỰC NGHIỆM BẰNG PHƯƠNG PHÁP BÌNH PHƯƠNG TỐI THIỂU
II. XÁC ĐỊNH HẲNG SỐ PHÂN LY NẮC HAI CỦA AXIT PHOTPHORIC**

Đến tòa soạn 06 – 7 - 2015

Nguyễn Thị Thanh Mai, Vũ Thị Tình, Đào Thị Phương Diệp

Khoa Hóa học, trường Đại học Sư phạm Hà Nội

SUMMARY

**DETERMINATION OF EQUILIBRIUM CONSTANTS
OF PHOSPHORIC ACID FROM EXPERIMENTAL pH VALUE USING
THE LEAST SQUARES METHOD
II. DETERMINATION OF THE SECOND DISSOCIATION CONSTANT
OF PHOSPHORIC ACID**

The second dissociation constant of phosphoric acid was determined from experimental pH values, based on iterative calculation according to the least squares method. These pH values were obtained from potentiometric titrations of monosodium phosphate solutions.

In general, these results are in good agreement with the values in reference literature. The programme was written by Pascal language.

Từ khóa: *hằng số phân li nấc hai, axit photphoric, chuẩn độ điện thế, thuật toán tính lặp, phương pháp bình phương tối thiểu.*

1. MỞ ĐẦU

Từ kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả cho thấy: trong các hệ axit - bazơ, cân bằng nào quyết định giá trị pH của hệ thì thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu cho phép xác định chính xác hằng số phân li axit tương ứng với cân bằng đó. Thực tế, từ giá trị pH đo được của dung dịch H_3PO_4 và của hệ đệm H_3PO_4 và H_2PO_4^- , phương pháp nghiên cứu chỉ

cho phép xác định chính xác giá trị K_{a1} của axit photphoric. Như vậy theo „qui luật” này thì để xác định được hằng số cân bằng (HSCB) K_{a2} , cần sử dụng giá trị pH của dung dịch muối axit H_2PO_4^- , hoặc pH của hệ HPO_4^{2-} , hoặc pH của hệ đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} , vì trong dung dịch những hệ này đều có các quá trình cho, nhận proton liên quan đến hằng số K_{a2} .

Cũng theo kết quả của nhóm nghiên cứu cho thấy: từ giá trị pH của dung dịch muối axit H_2PO_4^- (*thu được từ sự ngoại suy kết quả thực nghiệm chuẩn độ dung dịch H_3PO_4 đến điểm tương đương 1*), chúng tôi không xác định được cả 3 giá trị HSCB, kể cả giá trị K_{a2} của axit này. Điều này hoàn toàn trái ngược với kết quả thu được từ [1] và [2]: đối với axit oxalic và axit tactic, thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu cho kết quả *xác định đồng thời và chính xác nhất cả 2 giá trị HSCB K_{a1} và K_{a2} từ giá trị pH của dung dịch muối axit*. Chính vì vậy một nhiệm vụ đặt ra cho nhóm nghiên cứu chúng tôi là: *sẽ tiến hành đánh giá các giá trị HSCB của axit photphoric từ kết quả đo trực tiếp các giá trị pH của các dung dịch muối axit riêng rẽ: muối H_2PO_4^- và muối HPO_4^{2-}* . Và đây chính là nội dung cần giải quyết trong thông báo này

2. THỰC NGHIỆM

Cân chính xác 2,7576 gam muối $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, rồi pha vào bình định mức 250 mL bằng nước cất 2 lần, được dung

dịch gốc H_2PO_4^- có nồng độ $C_{0, \text{H}_2\text{PO}_4^-} = 0,0707 \text{ M}$.

Lấy chính xác từng thể tích khác nhau của dung dịch gốc H_2PO_4^- vừa pha ở trên ($V_{0, \text{H}_2\text{PO}_4^-}$) cho vào 8 bình định mức 100 mL; thêm tiếp vào mỗi bình chính xác 50 mL dung dịch KCl 2M và định mức bằng nước cất 2 lần đến vạch để được 8 dung dịch NaH_2PO_4 với nồng độ khác nhau (**hệ A**)

Tiến hành chuẩn độ điện thế đo pH của 8 dung dịch **hệ A** ($V_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = 25,00 \text{ mL}$) bằng dung dịch NaOH 0,050 M nhằm mục đích: 1/ để xác định chính xác nồng độ đầu của các dung dịch **hệ A**; 2/ để ngoại suy đến điểm tương đương, xác định $\text{pH}_{\text{TĐ}}$ (pH của hệ HPO_4^{2-}) và 3/ để lựa chọn các dung dịch đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} với các giá trị pH đo được. Kết quả chuẩn độ điện thế đo pH 8 dung dịch **hệ A** được trình bày trong **bảng 1**

Bảng 1: Kết quả chuẩn độ điện thế các dung dịch hệ A bằng dung dịch NaOH 0,050 M.

STT	Dung dịch 1		Dung dịch 2		Dung dịch 3		Dung dịch 4	
	$V_{\text{NaOH}} \text{ (mL)}$	pH	$V_{\text{NaOH}} \text{ (mL)}$	pH	$V_{\text{NaOH}} \text{ (mL)}$	pH	$V_{\text{NaOH}} \text{ (mL)}$	pH
1	0,00	4,68	0,00	4,67	0,00	4,59	0,00	4,47
2	0,20	5,98	0,30	5,96	0,50	5,96	0,50	5,83
3	0,40	6,41	0,60	6,43	1,00	6,42	1,00	6,26
4	0,60	6,92	0,80	6,72	1,50	6,88	1,50	6,62
5	0,80	7,78	1,00	7,08	1,80	7,32	2,00	7,06
6	0,95	9,33	1,20	7,94	2,00	7,94	2,20	7,33
7	1,00	9,71	1,30	9,02	2,10	8,89	2,30	7,50
8	1,10	10,03	1,40	9,70	2,15	9,12	2,35	7,64

STT	Dung dịch 1		Dung dịch 2		Dung dịch 3		Dung dịch 4	
	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH
9	1,20	10,24	1,60	10,18	2,20	9,40	2,40	7,81
10	1,40	10,55	1,80	10,50	2,30	9,50	2,45	8,00
11	1,60	10,74	2,00	10,71	2,40	9,65	2,50	9,17
12					2,50	9,79	2,55	9,48
13					2,70	10,24	2,60	9,64
14					2,90	10,48	2,70	9,92
15					3,10	10,65	2,90	10,28
16							3,10	10,50

STT	Dung dịch 5		Dung dịch 6		Dung dịch 7		Dung dịch 8	
	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH	V _{NaOH} (mL)	pH
1	0,00	4,46	0,00	4,42	0,00	4,35	0,00	4,31
2	1,00	6,07	1,00	6,00	1,00	5,88	1,00	5,78
3	1,50	6,37	1,50	6,26	1,50	6,11	1,50	6,02
4	2,00	6,64	2,00	6,50	2,00	6,30	2,00	6,20
5	2,50	6,97	2,50	6,75	2,50	6,47	2,50	6,38
6	3,00	7,55	3,00	7,07	3,00	6,65	3,00	6,55
7	3,15	8,20	3,20	7,25	3,50	6,85	3,50	6,72
8	3,20	8,34	3,40	7,50	4,00	7,11	4,00	6,93
9	3,25	8,91	3,50	7,68	4,50	7,54	4,50	7,21
10	3,30	9,28	3,60	7,94	4,80	8,18	4,80	7,47
11	3,35	9,54	3,70	8,67	4,90	8,78	5,00	7,72
12	3,40	9,69	3,75	8,95	5,05	9,60	5,10	8,03
13	3,50	9,87	3,85	9,48	5,10	9,68	5,20	8,36
14	3,70	10,24	4,00	9,86	5,20	9,85	5,30	9,00
15	4,00	10,47	4,20	10,18	5,30	9,99	5,35	9,19
16							5,40	9,33

Bằng cách tiến hành tương tự, chúng tôi cũng pha dung dịch gốc HPO_4^{2-} có nồng độ $C_{0, \text{HPO}_4^{2-}} = 0,0600 \text{ M}$, rồi lấy chính xác từng thể tích ($V_{0, \text{HPO}_4^{2-}}$) khác nhau của dung dịch gốc HPO_4^{2-} vừa pha ở trên cho

vào 10 bình định mức 100 mL; thêm tiếp vào mỗi bình chính xác 50 mL dung dịch KCl 2 M và định mức bằng nước cất 2 lần đến vạch để được 10 dung dịch Na_2HPO_4 với nồng độ khác nhau (**hệ B**). Tiến hành đo trực tiếp pH của các dung dịch này. Kết quả thu được được ghi trong **bảng 2**:

Bảng 2: Kết quả đo trực tiếp giá trị pH của các dung dịch muối axit HPO_4^{2-} (hệ B) được pha trực tiếp

Hệ B: Hệ muối axit HPO_4^{2-} (được pha trực tiếp với nồng độ khác nhau và có các giá trị pH được đo trực tiếp)							
Dung dịch	$V_{0, \text{HPO}_4^{2-}} \text{ (mL)}$	$C_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot 10^3 \text{ M}$	$\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}} \text{ (B)}$	Dung dịch	$V_{0, \text{HPO}_4^{2-}} \text{ (mL)}$	$C_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot 10^3 \text{ M}$	$\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}} \text{ (B)}$
1	2,70	1,6200	7,75	6	9,30	5,5800	8,37
2	4,00	2,4000	8,05	7	11,00	6,6000	8,49
3	5,40	3,2400	8,15	8	12,00	7,2000	8,40
4	6,70	4,0200	8,23	9	13,00	7,8000	8,39
5	8,00	4,8000	8,40	10	15,00	9,0000	8,38

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả chuẩn độ điện thế **hệ A (bảng 1)**, tại thời điểm $V_{\text{NaOH}} = 0,00 \text{ mL}$ chúng tôi thu được giá trị pH thực nghiệm (được bôi **vàng**, ghi ở dòng đầu tiên) của dung dịch muối H_2PO_4^- ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{TN})}$). Tương tự, để kiểm tra độ chính xác của kết quả thực nghiệm đo pH của dung dịch H_2PO_4^- , chúng tôi tiến hành tính giá trị pH theo lý thuyết ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{LT})}$) của 8 dung dịch **hệ A**, với sự chấp nhận các giá trị $\text{p}K_{\text{ai}}$ của H_3PO_4 lấy theo tài liệu [3] trong trường hợp không chế lực ion $I = 1$. Và để tính chính xác nồng độ của các dung dịch dihidrophotphat, chúng tôi sử dụng phương pháp giải tích để ngoại suy kết quả chuẩn độ điện thế đến điểm tương đương, thu được **hệ C** (gồm 8 dung dịch HPO_4^{2-} có

nồng độ khác nhau) thông qua việc xác định **pH_{TĐ}** ($\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}} \text{ (C)}$) và $V_{\text{TĐ}}$, được ngoại suy từ các giá trị thực nghiệm được đánh dấu **tím nhạt** trong **bảng 1**. Tương tự, từ các giá trị $V_{\text{TĐ}}$ xác định được, chúng tôi lựa chọn các thời điểm của từng phép chuẩn độ, ứng với mỗi giá trị V_{NaOH} (tương ứng với một giá trị pH thực nghiệm đã đo được – được đánh dấu **xanh** trong **bảng 1**), mà tại đó $0 < V_{\text{NaOH}} < V_{\text{TĐ}}$, khi đó hệ thu được là hệ đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} (**hệ D**), trong đó $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$ và $C_{\text{HPO}_4^{2-}}$ được tính tương tự [4]. Kết quả tính nồng độ ($C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$), kết quả đo pH theo thực nghiệm ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{TN})}$) và kết quả tính pH theo lý thuyết ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{LT})}$) của các dung dịch của **hệ A**, được tóm tắt trong **bảng 3**.

Bảng 3: So sánh kết quả tính nồng độ của các dung dịch H_2PO_4^- của hệ A và kết quả xác định pH của hệ A theo thực nghiệm và lý thuyết

Dung dịch	$V_{0, \text{H}_2\text{PO}_4^-}$ (mL)	$C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} \cdot 10^{-3}$ (M)		$\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}(\text{TN})$	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}(\text{LT})$
		Tính theo $V_{0, \text{H}_2\text{PO}_4^-}$	Tính theo kết quả chuẩn độ		
1	2,50	1,7675	1,7673	4,68	4,86
2	3,60	2,5452	2,5040	4,67	4,79
3	5,80	4,1006	4,0790	4,59	4,71
4	7,00	4,9490	4,9532	4,47	4,67
5	9,20	6,5044	6,4682	4,46	4,63
6	10,50	7,4235	7,3349	4,42	4,61
7	14,00	9,8980	9,7763	4,35	4,57
8	15,00	10,6050	10,4944	4,31	4,56

Kết quả xác định $C_{\text{HPO}_4^{2-}}$ và pH_{TB} ($\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}}(C)$) của hệ C; $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$, $C_{\text{HPO}_4^{2-}}$ và $\text{pH}_{\text{hệ đệm}}$ của hệ D được trình bày trong **bảng 4**.

Bảng 4: Kết quả xác định $C_{\text{HPO}_4^{2-}}$ và pH_{TB} ($\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}}(C)$) của hệ C; $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$, $C_{\text{HPO}_4^{2-}}$ và $\text{pH}_{\text{hệ đệm}}$ của hệ D

Dung dịch	Hệ muối axit HPO_4^{2-} (hệ C)			Hệ đệm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} (hệ D)			
	V_{TB} (mL)	$C_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot 10^3 \text{ M}$	pH_{TB} ($\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}}(C)$)	V_{NaOH} (mL)	$C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} \cdot 10^3 \text{ M}$	$C_{\text{HPO}_4^{2-}} \cdot 10^3 \text{ M}$	$\text{pH}_{\text{hệ đệm}}$
1	0,88	0,1569	8,64	0,4	0,9521	0,7874	6,41
2	1,25	2,3809	8,50	0,6	1,2734	1,1719	6,43
3	2,04	3,7722	8,32	1,0	1,9990	1,9231	6,42
4	2,47	4,4958	8,62	1,5	1,8426	2,8302	6,62
5	3,23	5,7209	8,73	1,5	3,2719	2,8302	6,37
6	3,66	6,3852	8,43	2,0	3,0879	3,7037	6,50
7	4,88	8,1660	8,67	2,5	4,3421	4,5454	6,47
8	5,24	8,6640	8,66	3,0	4,0128	5,3571	6,55

Từ **bảng 3** chúng ta thấy kết quả tính $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$ theo thể tích $V_{0, \text{H}_2\text{PO}_4^-}$ của dung dịch gốc H_2PO_4^- khá phù hợp với giá trị $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$ tính theo kết quả chuẩn độ điện thế. Và kết quả thực nghiệm đo pH của các

dung dịch hệ A ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}(\text{TN})$) cũng tương đối phù hợp (chỉ lệch từ 0,12 đến 0,25 đ.v.pH) với kết quả tính theo lý thuyết ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}(\text{LT})$). Chính vì vậy chúng tôi sử dụng giá trị bộ số liệu $C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$ tính theo kết quả chuẩn độ điện thế và giá trị thực

nghiệm đo pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{TN})}$) để tính HSCB của axit H_3PO_4 .
 Từ các giá trị thực nghiệm đo pH của 3 **hệ A, C, D**, chúng tôi sử dụng thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu

để tính các giá trị HSCB của H_3PO_4 . Kết quả thu được được tóm tắt trong **bảng 5** như sau:

Bảng 5: Kết quả xác định chỉ số hằng số phân li từng nấc của axit photphoric từ giá trị thực nghiệm đo pH của các **hệ A** (H_2PO_4^-), **hệ C** (HPO_4^{2-}) và **hệ D** (hệ đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-}) theo phương pháp bình phương tối thiểu

Hệ A (H_2PO_4^-)				Hệ C (HPO_4^{2-})				Hệ D (gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-})			
$\text{pH}_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}$	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}	$\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-} \text{ (C)}}$ (pH_{TB})	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}	$\text{pH}_{\text{hệ đệm}}$	pK_{a1}	pK_{a2}	pK_{a3}
4,68	Không xác định được	7,28	5,93 Không phù hợp	8,64	Không xác định được	Không xác định được	Không xác định được	6,41	Không xác định được	7,04	8,38 Không phù hợp
4,67				8,50				6,43			
4,59				8,32				6,42			
4,47				8,62				6,62			
4,46				8,73				6,37			
4,42				8,43				6,50			
4,35				8,67				6,47			
4,31				8,66				6,55			
$\text{pK}_{a1} [3]$	$\text{pK}_{a1} = 2,15$			$\text{pK}_{a2} = 7,21$				$\text{pK}_{a3} = 12,32$			
ΔpK_{ai}	-	0,07	6,39	ΔpK_{ai}	-	-	-	ΔpK_{ai}	-	0,17	3,94

Nhận xét:
 Nhằm mục đích xác định hằng số phân li axit nấc 2 của H_3PO_4 chúng tôi đã tiến hành **đo trực tiếp giá trị pH của 08 dung dịch H_2PO_4^- (hệ A) và của 10 dung dịch HPO_4^{2-} (hệ B).** Đồng thời từ quá trình chuẩn độ điện thế 08 dung dịch H_2PO_4^- chúng tôi cũng **ngoại suy thu được hệ C** (cũng gồm 08 dung dịch HPO_4^{2-}) và 08 dung dịch đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} (**hệ D**). Từ kết quả

bảng 5 chúng ta nhận thấy rằng: nếu sử dụng các giá trị pH thực nghiệm đo trực tiếp của **hệ A** (dung dịch H_2PO_4^-) và **hệ D** (hệ đệm gồm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-}) thì phương pháp nghiên cứu cũng chỉ cho phép xác định được giá trị hằng số phân li axit nấc 2 của H_3PO_4 (chỉ lệch 0,07 đến 0,17 đ.v.pK_a so với tài liệu [4]), mà không xác định được các giá trị K_{a1} và K_{a3}. Đối với hệ đệm H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} kết quả này hoàn toàn logic, bởi lẽ trong dung dịch đệm này thì cân bằng quyết định pH của hệ chính là

cân bằng cho, nhận proton giữa H_2PO_4^- và HPO_4^{2-} được phản ánh qua HSCB K_{a2} .

Riêng đối với **hệ A** (hệ muối axit H_2PO_4^-), do cả 2 quá trình cho, nhận proton của chất điện li lưỡng tính này (liên quan trực tiếp đến cả K_{a1} , K_{a2}) đều quyết định đến pH của dung dịch, nên **lẽ ra** từ pH đo được của dung dịch H_2PO_4^- “**phải**” xác định được cả 2 giá trị K_{a1} , K_{a2} tương tự như hệ hidro oxalat [1] hoặc hệ hidro tetrat [2] (đối với axit oxalic và axit tetrat, thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu cho phép *xác định đồng thời và chính xác cả 2 giá trị HSCB K_{a1} và K_{a2} từ giá trị pH của dung dịch muối axit*). Nhưng thực tế ở đây, từ kết quả đo pH của **hệ A** chúng tôi cũng chỉ đánh giá được giá trị K_{a2} của axit photphoric. Điều này có thể lý giải là do các HSCB K_{a1} , K_{a2} của axit oxalic và axit tetrat khá gần nhau, trong khi đó hằng số phân li axit nấc 1 và nấc 2 của axit photphoric lại chênh lệch nhau rất nhiều, mà theo nhận xét rút ra từ [4] thì thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu thường chỉ có khả năng xác định được đồng thời các HSCB không chênh lệch nhau nhiều.

Cũng từ **bảng 5** chúng ta thấy: từ các giá trị **pH_{TD} của hệ C** ($\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}}(\text{C})$) chúng tôi không xác định được cả 3 giá trị HSCB của axit photphoric. Điều này có thể hiểu được, bởi vì đối với dung dịch muối axit HPO_4^{2-} thì giá trị pH có thể đánh giá gần đúng theo công thức:

$$\text{pH}_{\text{HPO}_4^{2-}} \approx \frac{\text{p}K_{a2} + \text{p}K_{a3}}{2} = 9,77$$

Trong khi đó thì kết quả ngoại suy xác định **pH_{TD} của cả 8 dung dịch hệ C** từ các giá trị pH thực nghiệm đo được trong quá trình chuẩn độ điện thế dung dịch H_2PO_4^- (dao động trong khoảng từ 8,32 đến 8,73) đều lệch xa so với giá trị pH gần đúng này. Hoàn toàn tương tự như vậy, từ **bảng 2** cho thấy: các giá trị pH đo được trực tiếp của các dung dịch muối axit HPO_4^{2-} của **hệ B** cũng chỉ dao động từ 7,75 đến 8,49 và cũng không thỏa mãn. Do đó chúng tôi cũng không sử dụng bộ số liệu này để đánh giá HSCB của axit photphoric.

Vấn đề đặt ra cho nghiên cứu tiếp theo của nhóm tác giả là làm thế nào để xác định được hằng số phân li axit nấc 3 của axit photphoric?

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở phân tích đề bước đầu tìm được qui luật chọn hệ nghiên cứu thích hợp cho việc xác định HSCB axit-bazơ, chúng tôi đã đánh giá được HSCB K_{a2} của axit photphoric từ kết quả thực nghiệm đo pH của dung dịch muối dihidrophotphat và pH của dung dịch đệm gồm muối dihidrophotphat và muối monohidrophotphat thu được trong quá trình chuẩn độ điện thế dung dịch muối dihidrophotphat. Kết quả thu được từ thực nghiệm phù hợp tốt với kết quả đã được công bố trong tài liệu tham khảo [3] và đã góp phần khẳng định tính đúng đắn của thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu xác định hằng số phân li axit vừa đơn giản vừa hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đào Thị Phương Diệp. (2010) *Xác định hằng số cân bằng của axit oxalic từ dữ liệu pH thực nghiệm bằng phương pháp bình phương tối thiểu*. Tạp chí Hóa học, T. 48 (4C), tr. 590-596.
- [2] Đào Thị Phương Diệp, Nguyễn Thị Thanh Mai, Vũ Thị Tình. (2014) *Xác định hằng số cân bằng của axit tataric từ dữ liệu pH thực nghiệm bằng phương pháp bình phương tối thiểu*. Tạp chí Khoa học, Khoa học Tự nhiên T.59, Số 4, tr. 61-68.

- [3] Nguyễn Tinh Dung. *Hoá học phân tích. Cân bằng ion trong dung dịch*. NXB Đại học Sư phạm Hà Nội 2005; tái bản lần thứ ba, (2013) có sửa chữa và chỉnh lý.
- [4] Đào Thị Phương Diệp, Đào Văn Bảy, Nguyễn Thị Thanh Mai. (2013) *Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu và phương pháp đơn hình để xác định hằng số cân bằng của đơn axit rất yếu từ dữ liệu thực nghiệm đo pH của dung dịch đơn axit và đơn bazơ liên hợp*. Tạp chí Hóa học, T. 51 (2AB), tr. 581-588.

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VẬT LIỆU XỬ LÝ ARSEN.....(tiếp theo tr. 151)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Karim, M. M., (2000) Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh. *Water Research*, 34 (1), 304-310.
2. WHO, *Guidelines for drinking water quality*. Geneva, Switzerland, 1993.
3. Kartinen Jr, E. O.; Martin, C. J., (1995) An overview of arsenic removal processes. *Desalination*, 103 (1-2), 79-88.
4. (a) Harper, T. R.; Kingham, N. W., (1992) Removal of Arsenic from Wastewater Using Chemical Precipitation Methods. *Water Environment Research*, 64 (3), 200-203; (b) Nenov, V.; Zouboulis, A. I.; Dimitrova, N.; Dobrevsky, I., (1994) As(III) removal from aqueous solutions using non-stoichiometric coprecipitation with iron(III) sulphate and filtration or flotation. *Environmental Pollution*, 83 (3), 283-289.
5. Asadullah, M.; Jahan, I.; Ahmed, M. B.; Adawiyah, P.; Malek, N. H.; Rahman, M.

- S., (2014) Preparation of microporous activated carbon and its modification for arsenic removal from water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (3), 887-896.
6. Anderson, M. A.; Ferguson, J. F.; Gavis, J., (1976) Arsenate adsorption on amorphous aluminum hydroxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 54 (3), 391-399.
 7. Pierce, M. L.; Moore, C. B., (1982) Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide. *Water Research*, 16 (7), 1247-1253.
 8. Liu, Y.; Lin, C.; Wu, Y., (2007), Characterization of red mud derived from a combined Bayer Process and bauxite calcination method. *Journal of Hazardous Materials* 146 (1-2), 255-261.
 9. Kemer, B.; Ozdes, D.; Gundogdu, A.; Bulut, V. N.; Duran, C.; Soyak, M., (2009) Removal of fluoride ions from aqueous solution by waste mud. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (2-3), 888-894.