บทที่ ๔

อุปกรณ์และวิธีการ

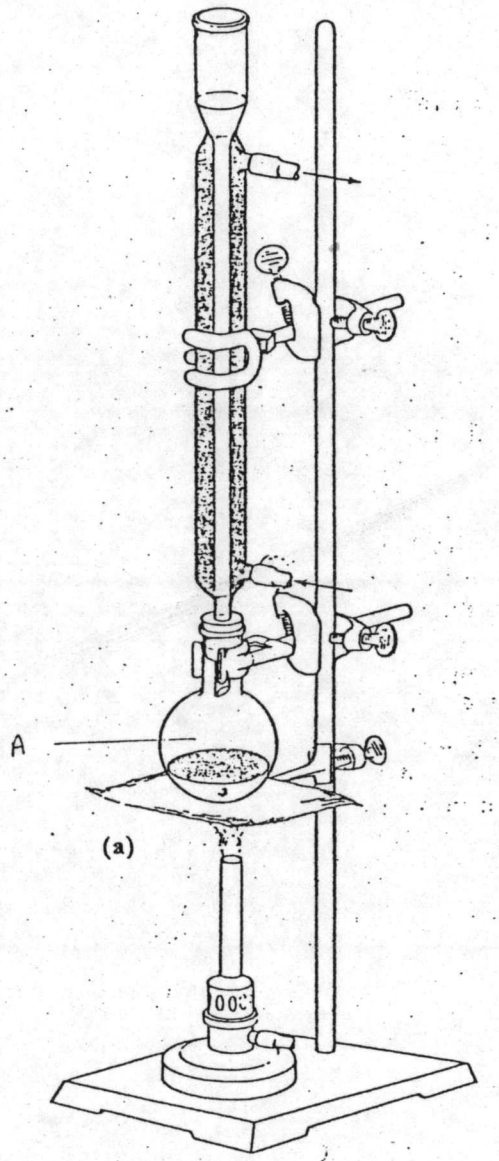
๔.๑ ตัวอย่างน้ำ การเตรียมตัวอย่างน้ำให้บริสุทธิ์

ตัวอย่างน้ำที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นำมาจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยการสุ่มตัวอย่างมาจากแต่ละภาคของประเทศ และบางส่วนก็เลือกเก็บตัวอย่างที่คาดว่าจะมีปริมาณของน้ำชนิดหนักสูง โดยใช้ช่วงเวลาเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.๒๕๒๒ ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.๒๕๒๓ เก็บตัวอย่างน้ำได้ ๑๗ ตัวอย่าง ดังรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ ๔.๑

ตารางที่ ๔.๑ รายชื่อตัวอย่างน้ำจากที่ต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำชนิดหนัก

สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ	วันที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
น้ำจาก อ.เมือง จ.ระยอง	๒ มิถุนายน ๒๕๒๒
น้ำจากแม่น้ำโขง อ.เมือง จ.นครพนม	๑๕ มิถุนายน ๒๕๒๒
Electrolyte Solution จากกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก	๑ กรกฎาคม ๒๕๒๒
น้ำทะเลจากปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช	๒ กรกฎาคม ๒๕๒๒
น้ำจากกว๊านพะเยา อ.เมืองพะเยา จ.พะเยา	๙ กรกฎาคม ๒๕๒๒
น้ำจากบ่อน้ำร้อน อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่ (๙๐°C)	๑๕ กรกฎาคม ๒๕๒๒
น้ำจากบ่อน้ำร้อน อ.พาน จ.เชียงราย (๗๕°C)	๒๒ กรกฎาคม ๒๕๒๒

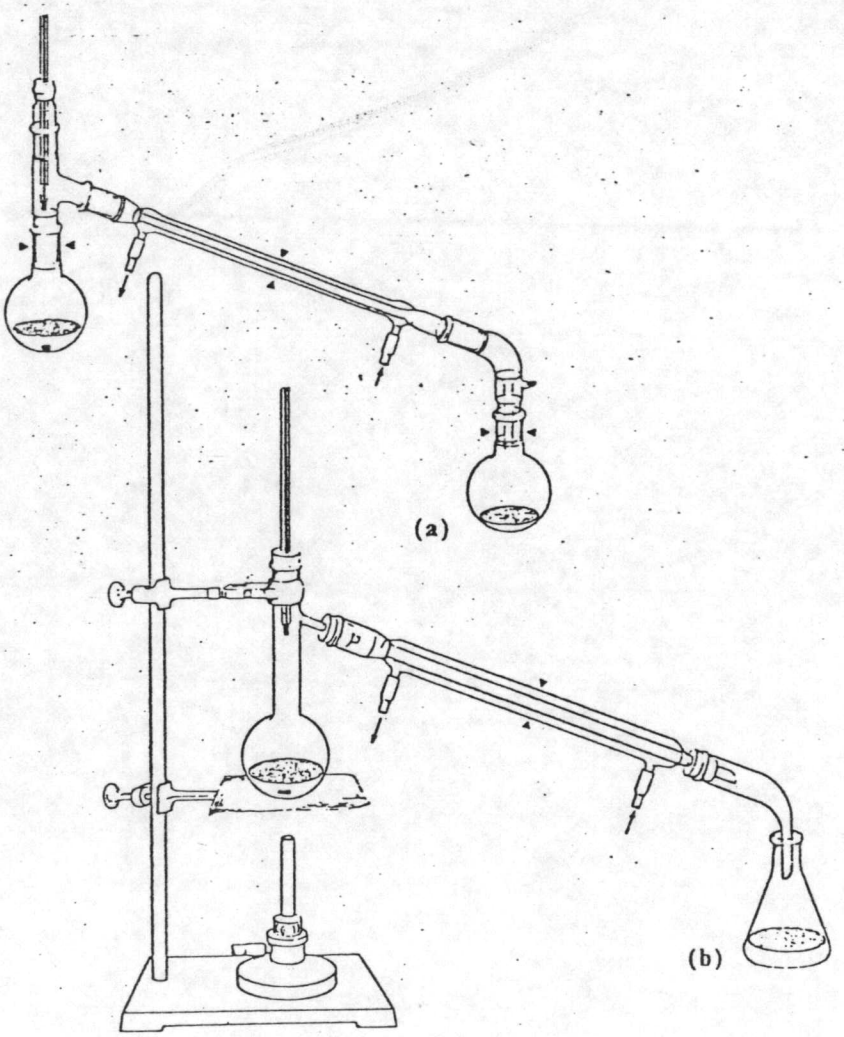
หลักฐานเกี่ยวกับ ๆ เช่น ข้อความในหน้าต่อ ที่ถูกปิด
เป็นความลับ " ปกปิด (classified) "



รูป ๔.๑ การทำน้ำให้บริสุทธิ์ด้วยการรีฟลักส์

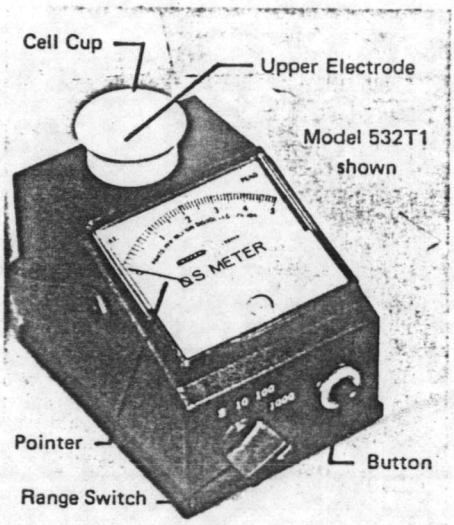
นำน้ำจากขวดก้นกลม A มากลั่น ๓ ครั้ง ดังแสดงไว้ในรูป ๔.๒ ในการกลั่นแต่ละครั้ง จะต้องระวังเรื่องความสะอาด กล่าวคือ ขวดก้นกลม A, คอนเดนเซอร์ (condenser) และภาชนะที่ใช้รองรับน้ำที่กลั่นแล้ว (pyrex glass) จะต้องสะอาด โดยแช่ในกรดกัดแก้ว แล้วล้างให้สะอาดด้วยน้ำและน้ำกลั่นตามลำดับ และทำให้แห้ง

ในการกลั่นแต่ละครั้งจะต้องกลั่นจนหมดตัวอย่างน้ำ โดยค่อย ๆ ใช้ไฟลนบริเวณขวดก้นกลมจนหมดตัวอย่างน้ำ มิฉะนั้นจะทำให้ปริมาณของน้ำชนิดหนักผิดไปจากความเป็นจริง

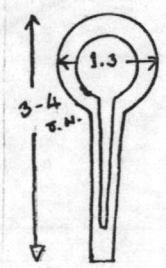


รูปที่ ๔.๒ การทำน้ำให้บริสุทธิ์ด้วยการกลั่น

นำน้ำที่ได้จากการกลั่นครั้งสุดท้ายไปวัดการนำไฟฟ้า (conductivity) ด้วยเครื่องดีเอสมิเตอร์ (DS Meter Myron L532 T.$_1$) ดังแสดงไว้ในรูป ๔.๓



รูป ๔.๓ DS Meter



รูป ๔.๔ แบบของลูกลอย

ดีเอสมิเตอร์ที่ใช้จะบอกปริมาณของของแข็งทั้งหมดที่ละลายปนอยู่ (total dissolved solid) ในรูป PPM. ตัวอย่างน้ำที่บริสุทธิ์ควรจะมีค่า TDS น้อย ๆ ถ้าค่า TDS ที่วัดได้มีค่ามาก แสดงว่าตัวอย่างน้ำที่เตรียมได้ไม่บริสุทธิ์เท่าที่ควร

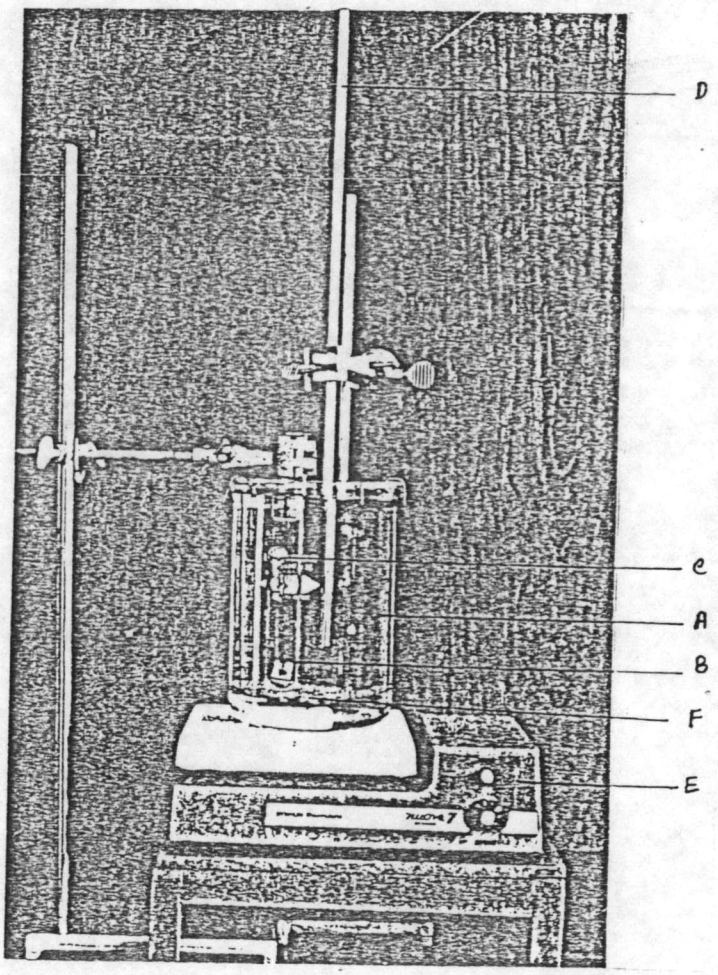
๔.๒ วัสดุและอุปกรณ์ในการหาอุณหภูมิการลอยตัว

๔.๒.๑ ลูกลอย ลูกลอยที่ใช้ทำจากแก้วไพเรกซ์ (pyrex glass) โดยมีขนาดและรูปร่างดังรูป ๔.๔ ในการเป่าลูกลอยควรจะเป่าหลาย ๆ ลูก และนำลูกลอยที่เป่าได้ไปหาความหนาแน่น โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะลูกที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำชนิดหนักซึ่งมีค่า = ๑.๑๐๕ กรัม/ลบ.ซม.

ลูกลอยที่ฝนได้ที่แล้ว จะต้องนำมาทำความสะอาดด้วยกรดโครมิคเข้มข้นแล้วล้างด้วยน้ำและน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จนสะอาด และเก็บไว้ในน้ำบริสุทธิ์ผสมกับน้ำชนิดหนักที่มีความแน่นในช่วงวัดของลูกลอยนั้น

๔.๒.๒ ระบบที่ใช้วัด

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการหาอุณหภูมิการลอยตัวแสดงไว้ในรูป ๔.๖



รูป ๔.๕ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการหาอุณหภูมิการลอยตัว

A เป็นบีคเกอร์ที่บรรจุน้ำได้ ๒ ลิตร และมีแผ่นตะแกรงลวด F ติดอยู่เพื่อกันไม่ให้แท่งกวนขึ้นมากระทบหลอดแก้ว และเทอร์มอมิเตอร์หล่นกระทบบีคเกอร์

B เป็นหลอดแก้วที่ใส่น้ำที่ต้องการวัดหาปริมาณของน้ำชนิดหนัก พร้อมกับมีขีดแบ่งระยะเพื่อสังเกตุตำแหน่งของลูกลอยและหาจุดหยุดนิ่ง

C เป็นลูกลอยที่เตรียมเรียบร้อยแล้ว ซึ่งทำจากแก้วไพเรกซ์

D เป็นเทอร์มอมิเตอร์ซึ่งสามารถอ่านอุณหภูมิได้ละเอียดถึง ๐.๐๑°C

E เป็นเครื่องกวนด้วยแม่เหล็กที่เรียกว่าแมกเนติคสเตอเลอร์ (Magnetic Strirrer) เพื่อให้น้ำในบีคเกอร์ A มีอุณหภูมิเท่ากันตลอด

G เป็นแว่นขยายที่ขยายได้หลายเท่า เพื่อใช้สังเกตจุดหยุดนิ่งของลูกลอย และใช้อ่านอุณหภูมิจากเทอร์มอมิเตอร์

๔.๓ การหาอุณหภูมิของการลอยตัว

ในการหาอุณหภูมิการลอยตัว จะต้องจัดเครื่องมือดังในรูป ๔.๖ ในกรณีที่ลูกลอยอยู่บนผิวน้ำตัวอย่างแสดงว่าความหนาแน่นของลูกลอยน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ ให้เติมน้ำร้อนลงในบีคเกอร์ A พร้อมกับคนน้ำในบีคเกอร์ A ให้ทั่วด้วยเครื่องคน E และปล่อยทิ้งไว้สักครู่ให้ถึงจุดสมดุลย์ ลูกลอยจะค่อย ๆ จมลง ถ้าลูกลอยไม่จมเนื่องจากมีแรงตึงผิว (surface tension) ควรใช้แท่งแก้วเล็ก ๆ ที่สะอาดช่วยดันนิดหน่อยลูกลอยจะค่อย ๆ จมลง จนถึงจุด ๆ หนึ่ง ลูกลอยจะหยุดนิ่งและค่อย ๆ เคลื่อนที่ขึ้น ในช่วงนี้จะต้องใช้แว่นขยาย G ส่องดูเพื่อหาจุดหยุดนิ่ง เมื่อพบจุดหยุดนิ่งแล้ว รีบบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิการลอยตัวที่ต้องการหา

ในกรณีที่ลูกลอยจมอยู่ที่ก้นหลอดแก้ว B ควรเติมน้ำเย็นลงในบีกเกอร์ A พร้อมกับคนน้ำในบีคเกอร์ A ให้ทั่วด้วยเครื่องคน E และปล่อยทิ้งไว้ให้ถึงจุดสมดุลย์ ลูกลอยจะเคลื่อนที่ขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ลูกลอยจะหยุดนิ่ง และค่อย ๆ เคลื่อนที่ลง ในช่วงนี้ควรใช้แว่นขยาย G ส่องดูเพื่อหาจุดหยุดนิ่ง เมื่อพบจุดหยุดนิ่งแล้ว รีบบันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ ซึ่งจะเป็นอุณหภูมิการลอยตัวที่ต้องการหา

ตัวอย่างน้ำแต่ละชนิด ควรจะหาอุณหภูมิการลอยตัว อย่างน้อย ๓ ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณของน้ำชนิดหนักต่อไป

๔.๔ การคำนวณหาปริมาณของน้ำชนิดหนัก

ในการคำนวณหาปริมาณของน้ำชนิดหนัก คำนวณได้จากสูตร

$$\Delta v/_{o} = \frac{\rho_p - \rho_s}{(\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O})_{t_p}} \cdot 100 \quad \text{---- 1}$$

โดยที่ Δ v/o = ปริมาณของน้ำชนิดหนักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตร

ρ_p = ความหนาแน่นของน้ำตัวอย่าง

ρ_s = ความหนาแน่นของน้ำมาตรฐาน

t_p = อุณหภูมิลอยตัวของน้ำตัวอย่างที่กำลังทดลอง

$\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O}$ = ความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำชนิดหนักและน้ำธรรมดา ซึ่งหาได้จากตารางที่ ๔.๒ ตามปกติมักจะคำนวณของปริมาณของน้ำชนิดหนักเป็นเปอร์เซ็นต์ของโมล หรือเปอร์เซ็นต์ของอะตอมแทนเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรซึ่งจะมีได้ ๓ กรณี คือ

๑. ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักน้อย

$$\Delta a/o = \Delta v/o\ (1-\delta)$$

๒. ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักมาก

$$\Delta a/o = \Delta v/o\ (1+\delta)$$

๓. ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักพอประมาณ

$$\Delta a/o = \Delta v/o \quad ; \text{ ค่า } \delta = 0$$

โดยที่ $\delta = \dfrac{v_{D_2O} - v_{H_2O}}{v_{H_2O}}$; v = ปริมาตร

$\Delta a/o$ = ปริมาณของน้ำชนิดหนักคิดเป็นอะตอมเปอร์เซ็นต์

<u>การแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายตัวของลูกลอย</u>

เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ $\Delta t = t_p - t_s$ ระหว่างน้ำตัวอย่างและน้ำมาตรฐาน ทำให้ค่าของปริมาณน้ำชนิดหนักที่ได้จากการคำนวณสูงเกินไป จึงจำเป็นจะต้องแก้ความคลาดเคลื่อนดังนี้

วัสดุที่ใช้ทำลูกลอย	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	ตัวเลขแก้ความคลาดเคลื่อน ปริมาณของน้ำชนิดหนัก (v/o หรือ a/o)
ควอทซ์	๑.๕×๑๐^{-๖}	$-๑.๔ \times ๑๐^{-๓}\Delta t$
แก้วไพเรกซ์	๙.๐×๑๐^{-๖}	$-๘.๔ \times ๑๐^{-๓}\Delta t$

t °C	ρ_{H_2O} g/cm^3	ρ_{D_2O} g/cm^3	$\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O}$	ρ_{D_2O}/ρ_{H_2O}
5	0,999992	1,10565	0,10566	1,10566
6	0,999968	1,10579	0,10582	1,10582
7	0,999930	1,10588	0,10595	1,10596
8	0,999876	1,10596	0,10608	1,10609
9	0,999809	1,10601	0,10620	1,10622
10	0,999728	1,10605	0,10632	1,10635
11	0,999633	1,10605	0,10642	1,10646
12	0,999525	1,10604	0,10652	1,10657
13	0,999404	1,10602	0,10662	1,10668
14	0,999271	1,10598	0,10671	1,10679
15	0,999127	1,10593	0,10680	1,10689
16	0,998970	1,10586	0,10689	1,10700
17	0,998802	1,10577	0,10697	1,10710
18	0,998623	1,10566	0,10704	1,10719
19	0,998433	1,10554	0,10711	1,10728
20	0,998232	1,10540	0,10717	1,10736
21	0,998021	1,10525	0,10723	1,10744
22	0,997799	1,10508	0,10728	1,10752
23	0,997567	1,10490	0,10733	1,10759
24	0,997326	1,10471	0,10738	1,10767
25	0,997074	1,10449	0,10742	1,10774
26	0,996813	1,10427	0,10746	1,10781
27	0,996542	1,10404	0,10750	1,10788
28	0,996262	1,10380	0,10754	1,10795
29	0,995974	1,10355	0,10758	1,10802
30	0,995676	1,10329	0,10761	1,10808
31	0,995369	1,10301	0,10764	1,10814
32	0,995054	1,10272	0,10767	1,10821
33	0,994731	1,10243	0,10770	1,10827
34	0,994399	1,10212	0,10772	1,10833
35	0,994059	1,10179	0,10773	1,10837
36	0,993712	1,10146	0,10775	1,10843
37	0,993357	1,10112	0,10776	1,10848
38	0,992994	1,10076	0,10777	1,10853
39	0,992623	1,10039	0,10777	1,10857
40	0,992246	1,10002	0,10777	1,10861
45	0,99025	1,09800	0,10775	1,10881
50	0,98807	1,09575	0,10768	1,10898
55	0,98573	1,09329	0,10756	1,10912
60	0,98324	1,09064	0,10740	1,10923

ตารางที่ ๔.๒ ความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของน้ำธรรมดาและน้ำชนิดหนัก (g/cm^3) กับอุณหภูมิในช่วง ๕° ถึง ๖๐°C

ตัวอย่างการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำชนิดหนักด้วยวิธีการลอยตัว

ก. ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักต่ำ

มาตรฐาน : น้ำธรรมดา (น้ำกลั่น)

อุณหภูมิลอยตัวในน้ำตัวอย่าง (น้ำจากเขื่อนอุบลรัตน์) t_p = ๒๕.๗๐°C

อุณหภูมิลอยตัวในน้ำธรรมดา (น้ำประปากลั่น) t_s = ๒๕.๖๕°C

Δt = ๒๕.๗๐ − ๒๕.๖๕

= ๐.๐๑°C

ความแน่นของน้ำธรรมดา (กรัม/มิลลิลิตร) ได้จากตารางที่ ๔.๒ ที่อุณหภูมิ t_p และ t_s

๒๕.๖๕°C ρ_p = ๐.๙๙๕๗๖๘๓๘

๒๕.๗๐°C ρ_s = ๐.๙๙๕๗๖๕๔

$\rho_p - \rho_s$ = ๖.๔๘ × ๑๐$^{-๖}$

จากสมการที่ ๑

$$\Delta v/o = \frac{(\rho_p - \rho_s)\ 100}{(\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O})\ t_p}$$

$$= \frac{๖.๔๘ \times ๑๐^{-๖} \times ๑๐๐}{๐.๑๐๗๖๐๑}$$

= ๖.๗๖๔๔๘๐๔ x๑๐$^{-๓}$

การแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายตัวของแก้วไพเรกซ์

ค่าที่ยังไม่ได้แก้ความคลาดเคลื่อน $\Delta v/o$ = + ๖.๗๖๔๔๘๐๔ x ๑๐$^{-๓}$

ความคลาดเคลื่อน (Δt = ๐.๐๑°C); − ๘.๔ x ๑๐$^{-๓}$ x ๐.๐๑ = − ๘.๔ x ๑๐$^{-๕}$

ค่าที่แก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว $\Delta v/o$ = ๖.๗๖๔๔๘๐๔ x ๑๐$^{-๓}$

− ๘.๔ x ๑๐$^{-๕}$

= ๖.๖๘๕๔๘๐๔ x ๑๐$^{-๓}$

เปลี่ยนเป็น a/o ตามสมการ

$\Delta a/o = \Delta v/o\ (1-\beta)$

$= ๖.๖๘๕๘๐๔ \times ๑๐^{-๓}$

$(๑ - ๓.๖๔๕๖๓๔๑ \times ๑๐^{-๓})$

$= ๖.๖๗๖๖๖๔๗ \times ๑๐^{-๓}$

ปริมาณสุทธิของน้ำชนิดหนักในน้ำตัวอย่าง $= ๖.๖๗๖๖๖๔๗ \times ๑๐^{-๓} + ๐.๐๑๕^{*}$

$= ๐.๐๑๗๖๗๖$ a/o

*ปริมาณของน้ำชนิดหนักในน้ำธรรมชาติ (ที่ใช้เป็นมาตรฐาน)

ข. ความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักมาก

มาตรฐาน : ๙๙.๙๙๐ % D

๐.๘๐๕ % O^{18}

๐.๐๕๕ % O^{17}

อุณหภูมิการลอยตัวในมาตรฐาน t_s $= ๖๔.๖๕^{\circ}C$

อุณหภูมิการลอยตัวในน้ำชนิดหนักตัวอย่าง t_p $= ๑๗.๑๖^{\circ}C$

$\Delta t = t_p - t_s$

$= -๗.๑๓^{\circ}C$

ความแน่นของ D_2O บริสุทธิ์จากตารางที่ ๑

๑๗.๑๖°C ρ_s $= ๑.๑๐๕๗๕๖$

๖๔.๖๕°C ρ_p $= ๑.๑๐๗๖๕๖$

$\rho_p - \rho_s$ $= -๐.๐๐๑๑๐๐$

จากสมการ (๑) $\Delta v/o = -\frac{๐.๐๐๑๑๐๐ \times ๑๐๐}{๐.๑๐๖๙๘^{*}}$

$= -\frac{๐.๑๑๐๐}{๐.๑๐๖๙๘}^{*}$

$= -๑.๐๖๘$ (*ค่าที่ ๑๗.๑๖°C)

แก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายตัวของลูกลอย

ค่าที่ยังไม่ได้แก้ความคลาดเคลื่อน $\Delta v/o$ = − ๑.๐๒๘

ความคลาดเคลื่อน (Δt = − ๗.๑๓°C); − ๑.๔ x ๑๐$^{-๓}$ x (− ๗.๑๓)

= + ๐.๐๑๐

ค่าที่แก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว = − ๑.๐๑๘

เปลี่ยนเป็น Atom − % D

$$\Delta a/o = \Delta v/o\ (1 + \delta) = -1.018\ (1 + 4 \times 10^{-3}) = -1.002$$

การแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก O^{18} และ O^{17}

ไอโซโทป	มาตรฐาน	ตัวอย่าง	ผลต่าง	ค่าแก้สำหรับดิวทีเรียม
O^{18}	๐.๔๐๕	๐.๓๕๗	๐.๐๔๘	๐.๐๔๘
O^{17}	๐.๐๕๕	๐.๐๔๘	๐.๐๐๗	๐.๐๐๔
$O^{18} + O^{17}$				+ ๐.๐๕๒ %

ปริมาณดิวทีเรียมของมาตรฐาน ๙๙.๙๙๐

ความแตกต่างที่คำนวณจากอุณหภูมิการลอยตัว − ๑.๐๖๒

ค่าแก้สำหรับ O^{18} และ O^{17} + ๐.๐๕๒ } − ๐.๙๗๐

ปริมาณดิวทีเรียมสุทธิของตัวอย่างที่วัด ๙๙.๐๖๐ a/o ± ๐.๐๐๓