



การหาปริมาณน้ำหนักแก้ววิธีการลอยตัว

ในการวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำหนักแก้วโดยวิธีการลอยตัวอาศัยหลักที่ว่าน้ำและน้ำ  
หนักแก้วมีความหนาแน่นแตกต่างกันประมาณร้อยละ ๑๐ และความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำจะเปลี่ยน  
ไปตามปริมาณของแก้วที่เริ่มที่มีอยู่

Davy เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ใช้อุปกรณ์ในการหาความถ่วงจำเพาะ  
(specific gravity) โดยใช้หาความหนาแน่น (density) ของพวกโลหะแอลคาไล  
(alkali metal) ต่อมา Pisati และ Reggiani (๘) ใช้วิธีการลอยตัวในการศึกษา  
ของเหลว (liquid) โดยเริ่มหาความหนาแน่นของน้ำทะเลด้วยหลัก ๒ ประการ คือ

๑. ใช้อุปกรณ์ (sinker) ทำด้วยโลหะแพลตตินัม ที่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะ นำไป  
ลอมลอยในสารละลายพร้อมกับเติมน้ำกลั่นลงในสารละลาย (solution) จนกระทั่งอุปกรณ์จมแขวน  
ลอยอยู่ในของเหลวนั้นพอดี

๒. เป็นการหาความถ่วงจำเพาะที่จุดสมดุลระหว่างอุปกรณ์และสารละลาย โดยการ  
เพิ่มแพลตตินัมที่ลอมลอยในปี ค.ศ. ๑๘๕๖ Nansen (๙) นำวิธีการของ Pisati และ Reggiani  
มาใช้หาความเค็มของน้ำทะเล โดยการเพิ่มแพลตตินัมที่ลอมลอยจนกระทั่งใกล้จุดสมดุล  
(equilibrium) และปรับสมดุลครั้งสุดท้ายด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย  
ในปี ค.ศ. ๑๘๕๙ Warrington (๑๐) ก็ใช้วิธีการดังกล่าวและพบว่ามีความถูกต้อง  
(accuracy) สูงพอสมควร ต่อมา Richard และผู้ร่วมงานของเขา (๑๑ - ๑๓)  
ได้ปรับปรุงวิธีการในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แล้วนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของสาร  
ละลาย (solution)

วิธีการใหม่ซึ่งเสนอโดย Richards และผู้ร่วมงานของเขา เป็นการหาอุณหภูมิของสารละลายตัวอย่างที่มีความหนาแน่นเท่ากับลูกลอย ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีความหนาแน่นสูงขึ้น อุณหภูมิของจุดสมดุของการลอย (floating-equilibrium) ก็จะสูงขึ้นด้วย

Lamb และ Lee (๑๘) ได้เสนอวิธีใหม่แทนการใช้ลูกลอยดังนี้

๑. ใช้ตุ้มน้ำหนัก (sinker) ซึ่งไม่แข็งเกินไป และเปลี่ยนแปลงการลอยด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศเหนือของเหลว

๒. นำเหล็กอ่อนชิ้นเล็ก ๆ ใส่ในกระเปาะของลูกลอยด้วยการผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังวงจรไฟฟ้าภายนอกที่เหมาะสม แล้วผูกด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางตั้งฉากกับกระเปาะ Lamb และ Lee มักจะใช้วิธีจากข้อ ๒ ด้วยเหตุผลที่ว่าวิธีการแรกมีความยุ่งยากในการเปลี่ยนแปลงการละลายของอากาศในสารละลายเมื่อความดันของอากาศเปลี่ยนแปลงอย่างไรก็ตาม วิธี temperature float ของ Richards และผู้ร่วมงานของเขา และวิธี pressure float ของ Lamb และ Lee เป็นวิธีที่ใช้กันมากในการหาปริมาณของน้ำหนัก ส่วนวิธี magnetic float ก็ยังคงมีใช้กันอยู่บ้าง

วิธีการลอยตัวแบบ temperature float เป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์หาปริมาณของถั่วที่เริ่มที่มีอยู่ในน้ำ ผู้ที่ชาวซิดนีย์ Lewis & Mac Donald (๑๕) Briscoe & ผู้ร่วมงานของเขา (๑๖, ๑๗) Dole (๑๘) และใช้ในห้องทดลองของมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย

หลักการของ temperature float เป็นแบบง่าย ๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน กล่าวคือ เป็นการหาอุณหภูมิที่ลูกลอยควอซ (หรือลูกลอยที่ทำจากแก้วอโรซิลิเกต) มีความหนาแน่นเท่ากับตัวอย่างน้ำ (ที่จุดนี้ลูกลอยจะไม่เคลื่อนที่ขึ้นหรือลง) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ลูกลอยมีความหนาแน่นเท่ากับน้ำมาตรฐาน จากค่าของอุณหภูมิที่แตกต่างกันและจากสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวของน้ำ, ควอซ และของน้ำชนิดหนัก จะทำให้สามารถหาความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างตัวอย่างน้ำและน้ำมาตรฐานได้

เงื่อนไขที่สำคัญในการวิเคราะห์ไอโซโทปด้วยวิธีนี้คือ

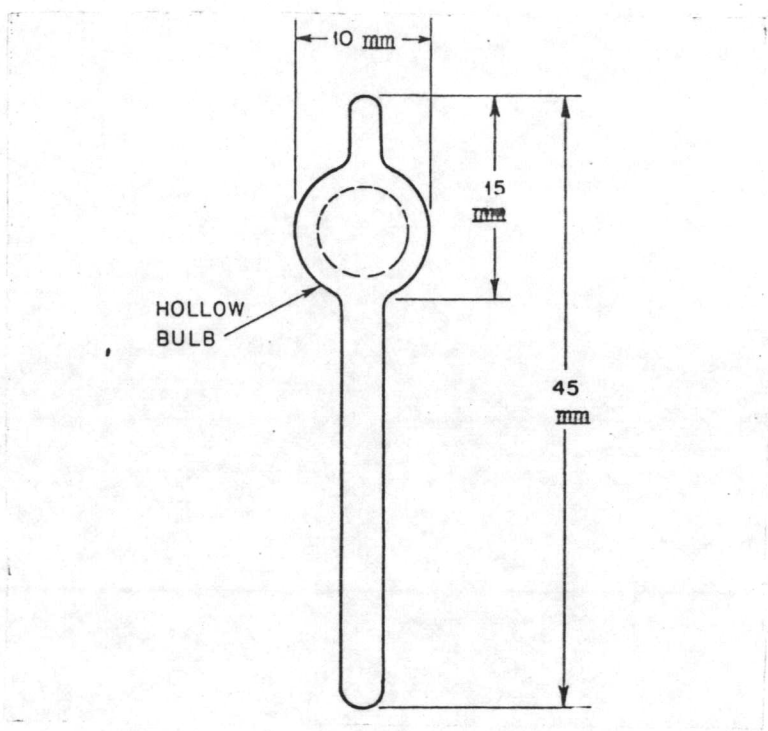
๑. จะต้องสามารถทำให้ของเหลวนี้บริสุทธิ์ได้โดยไม่เกิดไอโซโทปเฟรคชันเนชัน
๒. จะต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของไอโซโทปนั้น ๆ กับอุณหภูมิที่ถูกต้อง ความถูกต้องแน่นอนในการเปรียบเทียบการวัดด้วยวิธีการลอยตัวนี้สูงถึง  $2 \times 10^{-4}$  กรัม/ลบ.ซม. หรือสมมูลกับความแตกต่าง  $0.0002\%$  ของปริมาณน้ำหนัก ( $D_2O$ ) การที่จะให้ได้ความถูกต้องแน่นอนสูงถึงขนาดนี้ จำเป็นต้องอ่านค่าของอุณหภูมิการลอยตัวละเอียดถึง  $0.0001^\circ C$  และจะต้องทำน้ำที่ใช่เป็นมาตรฐานให้บริสุทธิ์อย่างระมัดระวังที่สุด ความถูกต้องแน่นอนที่สูงขนาดนี้ จำเป็นจะต้องใช้ในการหาปริมาณของน้ำหนักหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งมีความเข้มข้นประมาณ  $0.015\% \pm 0.005\%$

003811

### ๓.๑ ลูกลอย

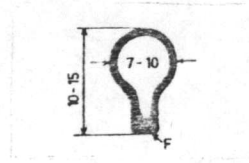
วัตถุที่จะนำมาทำลูกลอยมีความสำคัญ ควอทซ์เป็นวัตถุที่เหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นลูกลอย เพราะว่ามีประสิทธิภาพการขยายตัวมีค่าต่ำ, มีความยืดหยุ่นมาก, มีความแข็งในทางกลศาสตร์, มีความคงทนถาวรและไม่ละลายในสารละลาย ในการออกแบบลูกลอยมีความสำคัญ และมีแบบต่าง ๆ กัน เช่น Richards และ Shipley (๑๑) ออกแบบลูกลอยคล้าย ๆ กับปลา Emelius (๑๒) ออกเป็นแบบทรงกรวยออกบาง ๆ ในการออกแบบลูกลอยมักจะคำนึงถึงความไว และความแน่นอนเมื่อความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ลูกลอยที่ออกแบบโดย Emelius มีความยาว ๙ มิลลิเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๘ มิลลิเมตร และมีห่วงติดอยู่ที่ตอนบนเพื่อสะดวกต่อการนำลูกลอยขึ้น - ลง ด้วยวงแหวน

ลูกลอยอีกแบบหนึ่ง ซึ่งใช้กันในห้องทดลอง Trail ทำจากควอทซ์ที่หลอม (fused quartz) และปรับให้แขวนลอยอยู่ได้ในน้ำมาตรฐานที่ ๒๔°C ดังรูป ๓.๑



รูป ๓.๑ แบบของลูกลอยที่ทำจากควอทซ์

ลูกลอยที่ออกแบบโดย P. Baertschi และ M. Thurkauf มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๗ - ๑๐ มิลลิเมตร และมีความยาว ๑๐ - ๑๕ มิลลิเมตร ดังรูป ๓.๒



รูป ๓.๒ ลูกลอยทำควายแก้ว หรือควอทซ์

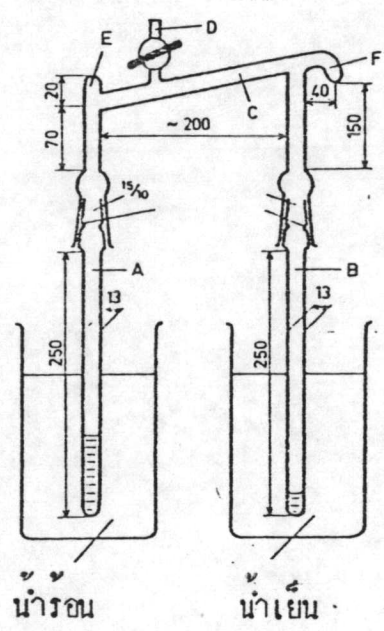
Voskuyl และผู้ร่วมงานของเขาออกแบบลูกกลอยเป็นแบบขีกราว ซึ่งต้านปลายกว้างกว่าด้านบน ความหนาแน่นของลูกกลอย ขึ้นอยู่กับน้ำหนักและปริมาตร สำหรับปริมาตรหาได้จากขนาดของช่องว่างของอากาศในลูกกลอย ส่วนน้ำหนักหาได้จากปริมาณของ แก้วหรือควอทซ์ที่ใช้ทำลูกกลอย การปรับน้ำหนักโดยประมาณทำได้โดยการเพิ่มปรอทลงในช่องว่างของลูกกลอย และปรับความหนาแน่นครั้งสุดท้าย ด้วยการเพิ่มหรือลดควอทซ์ที่บริเวณปลายลูกกลอย แต่ถาลูกกลอยนั้นทำด้วยควอทซ์ การเปลี่ยนความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยกระทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ลูกกลอยเพื่อให้ควอทซ์ร้อนเป็นไอระเหยไปเสียบ้าง ตัวลูกกลอยอาจจะทำจากแก้วไพเรกซ์ (pyrex glass) ก็ได้ ซึ่งเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ด้วยการเป่าปลายลูกกลอย ลูกกลอยที่เป่าโคที่แล้วจะต้องนำมาทำลายความเครียด เพื่อให้ความหนาแน่นคงที่ จะได้ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในภายหลัง การแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายตัวของลูกกลอย เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีอยู่ในตารางหัวข้อที่เกี่ยวกับการแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการขยายตัวของลูกกลอย ลูกกลอยที่ทำเรียบร้อยแล้วนำมาทำความสะอาดอย่างน้อยอาทิตย์ละ ๑ ครั้ง ด้วยกรดโครมิกเข้มข้น หรือด้วยของผสมร้อน ๆ ระหว่างกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก แล้วนำลูกกลอยมาล้างให้สะอาด และเก็บไว้ในน้ำบริสุทธิ์ผสมกับน้ำชนิดหนักที่มีความหนาแน่นในช่องวัดของลูกกลอยนั้น การหย่อนลูกกลอยลงในหลอดแก้วที่วัดทำได้ด้วยวงแก้ว

### ๓.๒ การทำตัวอย่างน้ำให้บริสุทธิ์

น้ำที่จะใช้เป็นของเหลวมาตรฐานจะต้องทำให้บริสุทธิ์เพื่อขจัดสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่จะรบกวนการวัดความหนาแน่น การเจือปนเกลือเพียง ๑% ส่วนในล้านส่วน หรือ ๐.๐๐๑% (สมนัยกับความต้านทานจำเพาะประมาณ ๓๐,๐๐๐ Ω cm) จะทำให้การวัดปริมาณของน้ำชนิดหนักคลาดเคลื่อนไป ๐.๐๑% เช่นเดียวกับน้ำที่อิ่มตัวด้วยอากาศ จะทำให้ความหนาแน่นลดลง ๑๐<sup>-๖</sup> กรัม/ลบ.ซม. หรือมีค่าเท่ากับทำให้ปริมาณของน้ำชนิดหนักลดลง ๑๐<sup>-๓</sup> %

การทำตัวอย่างน้ำให้บริสุทธิ์หลายวิธี กล่าวคือ

๓.๒.๑ การกลั่นแบบสูญญากาศ กระทำโดยเริ่มต้นด้วยการออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ ก่อนที่จะนําน้ำไปกลั่น และกระทำโดยควบแน่นน้ำในหลอดแก้ว A (รูปที่ ๓.๓) ที่เติมด่างทับทิม และแวเรียมออกไซด์ อย่างละ ๒ - ๓ กรัม ก่อนนำไปกลั่นในระบบที่แสดงในรูป ๓.๓



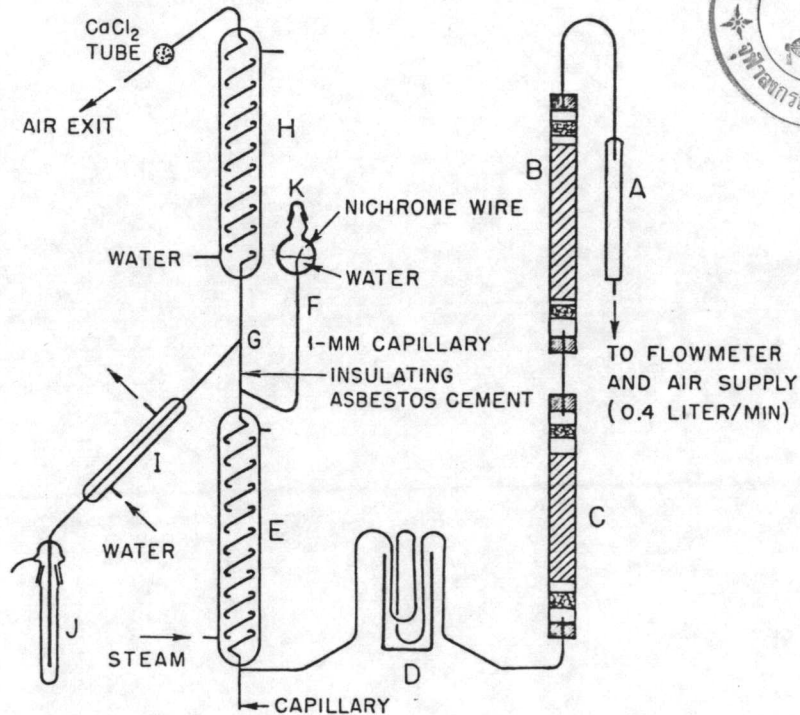
รูปที่ ๓.๓ ระบบการทําน้ำที่ใสเป็นมาตรฐานให้บริสุทธิ์ (ขนาดเป็น มม.)

นำหลอดแก้ว A (ที่มีน้ำที่ผ่านการออกซิไดซ์ด้วย  $KMnO_4$  และแบบเตรียมออกไว้แล้ว) และหลอดแก้ว B ที่สะอาดแห้งเป็ยกออยู่ (ถ้าสามารถทำให้แห้งได้ก็จะดี) ต่อเข้ากับซากลัน C ทำให้ซากลัน C และหลอดแก้วร้อนขึ้นแล้วดูอากาศและความชื้นออกด้วยวอเตอร์ เวทปัมพ์ด้วยการบังคับด้วยวาล์ว D หลังจากที่มีเอาอากาศออกแล้ว ทำให้หลอดแก้ว A และ C ร้อนขึ้นเล็กน้อย ไอน้ำบางส่วนจะมาเกาะที่หลอดแก้ว B เพื่อแทนที่อากาศที่ยังเหลืออยู่ หลังจากนั้นจึงเป็ยกวาล์ว D เพื่อทำให้เกิดสูญญากาศอีก กังที่กล่าวไว้ข้างต้นทำเช่นนี้เรื่อย ๆ ไปจนกระทั่งแน่ใจว่าระบบกลันเป็นสูญญากาศแน่นอน

หลังจากนั้นจึงนำหลอดแก้ว A และ B จุ่มลงในน้ำร้อน (สำหรับหลอดแก้ว ) และน้ำเย็นสำหรับหลอดแก้ว B ในกรณีที่ระบบกลันเป็นสูญญากาศที่ค้ำน้ำในหลอดแก้ว A จะถูกกลันมาอยู่ที่หลอดแก้ว B หมกใน ๑ ชั่วโมง ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง A และ B ควรจะอยู่ประมาณ  $30^{\circ}C$  และอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ที่มีหลอดแก้ว B ควรจะต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (อาจใช้น้ำแข็งผสมกับน้ำประปา) บลาาย E และ F มีไว้สำหรับเป็นที่คักละออง น้ำที่อาจหลุดออกจากน้ำที่กลันได้ หลังกลันแล้วน้ำในหลอดแก้ว B ควรใส ไม่มีสี เมื่อการกลันน้ำคักสิ้นลงแล้วจึงนำคูลอยใส่ลงในหลอดแก้ว B

๓.๒.๒ การกลันแบบธรรมดา การกลันแบบนี้จะต้องเติมกางทับทิม ประมาณ ๑ - ๒ กรัมลงในน้ำหลายร้อย ลบ.ซม. และเติมโลหะโซเดียมเล็กน้อยเพื่อทำให้เป็นสารละลายกาง แล้วนำของผสมที่ได้ไปรีฟลักซ์ (reflux) ๒ - ๓ ชั่วโมง แล้วจึงนำไปกลันซ้ำ ๆ ที่ความดัน ๑ บรรยากาศ บางครั้งอาจจะตามด้วยการกลันอีกครั้งหนึ่งจากกรดโครมิก หรือโดยการกลันแบบสูญญากาศในการกลันแต่ละครั้งควรจะกลันอย่างช้า ๆ เพื่อกันไม่ให้หยดเล็ก ๆ ของของเหลวติดไปกับไอ น้ำ การใช้น้ำหลายร้อย ลบ.ซม. เพื่อให้มีความผิดพลาดจากการกลันน้อยที่สุด กล่าวคือเป็นการป้องกันการกลันไม่สมบูรณ์ (incomplete)

๓.๒.๓ การกลั่นแบบการระเหย (evaporator) วิธี Dole (๑๕) ได้ประกอบเครื่องมือไว้ดังรูป ๓.๔



รูป ๓.๔ แผนภาพของเครื่องระเหย A, CuO furnace (๕๕๐°C), B, CaCl<sub>2</sub> column, C sodalime column, D dry-ice trap. I, ๑๕๐ - mm condenser

(K) เป็นสถานะที่ไข้บรรจุตัวอย่างน้ำเพื่อทำให้บริสุทธิ์ พร้อมกับปล่อยให้ตัวอย่างน้ำไหลอย่างช้า ๆ (ประมาณ ๑ ลบ.ซม./นาที) ผ่านหลอดแก้วเล็ก ๆ (F) (และความคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วนิโครม) ไปยังตัวทำให้ระเหย (E) ซึ่งมีขดท่อผ่านไอน้ำร้อนเข้า ในทางตรงกันข้ามกับการไหลของน้ำจะมีไอของอากาศแห้ง (ประมาณ ๐.๔ ลิตรต่อนาที) น้ำเมื่อรวมกับอากาศในขดท่อจะกลายเป็นไอไปยังคอนเดนเซอร์ (H) ซึ่งไอรวมตัวและความแน่น และตกไปยังสถานะ (G)



แล้วจะไหลต่อไปยังหลอดที่ใช้เก็บตัวอย่าง (J) ซึ่งหลอดดังกล่าวนี้จะนำไปใช้เป็นภาชนะที่ใช้สำหรับลอบดูกลอย

### ข้อดีของวิธีการระเหย

๑. สามารถระเหยตัวอย่างน้ำได้หมด เพื่อกันไม่ให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ไอโซโทปเฟรคชันเนชัน

๒. เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศใต้มัน้ำ หลังจากที่ทำตัวอย่างน้ำให้บริสุทธิ์แล้ว ควรจะทำความสะอาดเครื่องมือด้วยการพ่นไอน้ำที่บริสุทธิ์ก่อนที่จะลงมือทำตัวอย่างน้ำต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนกันระหว่างตัวอย่างน้ำแต่ละชนิด ซึ่งมีความหนาแน่นแตกต่างกัน จากนั้นก็ทำให้แห้งก่อนใช้ด้วยการใช้ไฟลนหรือโดยการผ่านไอน้ำไปยังหลอดที่หมักคอนเดนเซอร์

วิธีการระเหยดังกล่าวมาแล้ว ถ้าจัดได้เฉพาะสารที่ระเหยไม่ได้เท่านั้น ส่วนก๊าซที่ละลายได้ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, กรดไนตริก, กรดไฮโดรคลอริก จะละลายอยู่ในไอน้ำได้เล็กน้อย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

น้ำกลั่นในห้องทดลอง : น้ำกลั่นที่มีกรนำไฟฟ้าจำเพาะ (specific conductance)  $K = 5 \times 10^{-6}$  mho/cm  
เมื่อผ่านไปยัง เครื่องมือดังกล่าวข้างต้นจะได้น้ำที่มีค่า  $K = 1 \times 10^{-6}$  mho/cm

น้ำที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ : ถ้าเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงในน้ำกลั่นจนมีความเข้มข้น  $0.001$  M หลังจากนั้นก็นำน้ำดังกล่าวไปผ่านการระเหย (evaporator) ปรากฏว่าความเข้มข้นลดลงเหลือ  $0.0002$  M

น้ำที่มีแอมโมเนีย

- : เมื่อนำน้ำที่มีแอมโมเนียไปผ่านวิธีการระเหย ๑ ครั้ง จะลดความเข้มข้นของแอมโมเนียจาก ๐.๐๑ M ( $K = ๑.๐๖ \times ๑๐^{-๔}$  mho/cm) เป็น ๐.๐๐๑ M ( $K = ๓.๕ \times ๑๐^{-๕}$  mho/cm) ถ้าผ่านครั้งที่ ๒ จะลดลงเหลือ ๐.๐๐๐๑ M ( $K = ๑ \times ๑๐^{-๕}$  mho/cm)

น้ำที่มีกรดไนตริก

- : โดยการเติมกรดไนตริก จำนวนเล็กน้อยลงใน น้ำกลั่นจนกระทั่งมีค่า  $K = ๖ \times ๑๐^{-๕}$  mho/cm แล้วนำไปผ่านกระบวนการระเหย (evaporator) การนำไฟฟ้าจำเพาะจะลดลงแล้วจะเพิ่มขึ้น แสดงว่ากรดไนตริกอาจสะสมอยู่ในกระบวนการระเหย ดังตารางที่ ๓.๑

ตารางที่ ๓.๑ ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะของน้ำที่มีกรดไนตริกสะสมอยู่ในภายหลังจากการนำไปผ่านกระบวนการระเหยแล้ว

ปริมาณน้ำที่ได้อ (ลบ.ซม.)	$K \times 10^6$ mho/cm	(ในลำกัมของตัวอย่าง)
๑๑		๑.๗
๒๕		๐.๘
๑๔		๐.๕
๓๓		๑.๒
๑๔		๓.๘
๗		๕.๘

กรดไนตริกสามารถทำให้เป็นกลางได้ควยแบริยมไฮดรอกไซด์ : สำหรับสารละลาย  
เจือจางของกรดไนตริก ๐.๐๐๕M จะต้องใช้แบริยมไฮดรอกไซด์ใหม่มากเกินไป หลังจากนั้น  
ก็นำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกรรมวิธีข้างต้นก็จะได้น้ำที่มีค่า  $K = ๐.๘ \times ๑๐^{-๖}$  mho/cm หรือ  
น้อยกว่านี้

แอมโมเนียสามารถทำให้เป็นกลางได้ควยกรกฟอสฟอริก : ในการทำให้สารละลาย  
แอมโมเนียที่เข้มข้น ๐.๐๐๑ M เป็นกลางจะต้องใช้กรกฟอสฟอริกจำนวนมากพอควร จากนั้นก็  
ผ่านสารละลายที่เป็นกลางไปยังกระบวนการระเหยจะได้น้ำที่มีค่า  $K = ๐.๓๕ \times ๑๐^{-๖}$  mho/cm

น้ำที่มีแคลเซียมไนเตรตบรรจุอยู่ (๐.๒ %) นำไปผ่านกระบวนการระเหย ๑ ครั้ง  
จะได้น้ำที่มีค่า  $K = ๑.๑ \times ๑๐^{-๖}$  mho/cm

น้ำกลั่นที่มีกรกฟอสฟอริกจำนวนเล็กน้อย : น้ำกลั่นจะมีค่า  $K = ๐.๓ \times ๑๐^{-๖}$   
mho/cm บางครั้งจำเป็นจะต้องทิ้งน้ำส่วนแรกที่กลั่นได้นิดหน่อย แต่จริง ๆ แล้วน้ำส่วนนี้ไม่  
ควรทิ้ง ควรใช้ระบบกลั่นคืน เพื่อป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากแปรผันเนชัน  
(fractionation) และน้ำในช่วงสุดท้ายที่เหลืออยู่นิดหน่อยในกระบวนการระเหย ควรจะใช้  
เครื่องดูด ดูดออกมาให้หมด พร้อมกับใช้ไฟอ่อน ๆ ลนที่ก้นขวดกลั่นในขณะที่ผ่านไอน้ำไปยังปลอก  
ของคอนเดนเซอร์ ถ้าทำได้อย่างนี้จะได้อัตราการระเหยถึง ๕๕ % ที่เหลือ นอกจากนั้นจะสูญเสียไปใน  
รูปของไอน้ำออกไปทางคอนเดนของคอนเดนเซอร์

สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ ไม่สามารถจัดได้หมดโดยวิธีการระเหย ถ้ายังมีสารอินทรีย์  
ที่ระเหยได้จะต้องนำตัวอย่างน้ำมาผ่านกระบวนการอีกชนิดหนึ่งก่อน Davis และ Saxer (๒๐)  
นำตัวอย่างน้ำประมาณ ๒๐ กรัม เติมห่างทับทิมและแบริยมไฮดรอกไซด์ ๐.๐๑ กรัม แล้วนำไป  
กลั่นที่ความดันของบรรยากาศ โดยกลั่นผ่านเตาควบเปอร้ออกไซด์ ซึ่งมีอุณหภูมิ ๕๕๐ °C  
หลังจากนั้นก็นำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการระเหยต่อไป (จะต้องเติมแบริยมไฮดรอกไซด์  
ประมาณ ๐.๐๐๑ กรัม) ไปในตัวอย่างน้ำก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการระเหย)

สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนอยู่มาก เช่น ชัคเฟอร์ โคออกไซด์ หรือแอมโมเนีย ควรจะต้องผ่านกระบวนการต่อไปนี้

๑. นำตัวอย่างน้ำมาโคเจส (digest) ประมาณ ๒ ชั่วโมง โดยใส่สารทันทิมและ แผลเรียบออกไซด์ให้มากเกินไป

๒. นำตัวอย่างน้ำจากข้อ ๑ มากลั่นผ่านเตาคอปเปอร์ออกไซด์

๓. กลั่นน้ำที่ได้อีกทีหนึ่ง โดยใส่สารทันทิมและแผลเรียบออกไซด์จำนวนเล็กน้อย โดย กลั่นด้วยเตาคอปเปอร์ออกไซด์

๔. นำตัวอย่างน้ำจากข้อ ๓ มาทำการระเหย (evaporator) อีก ๑ ครั้ง หรือมากกว่า ๑ ครั้ง ในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีคิที่เริ่มมากกว่า ๐.๐๕ โมลเปอร์เซ็นต์ การทำให้เจือจางด้วยน้ำธรรมดา โดยทำในบรรยากาศปกติ จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ จึงควรระวังไม่ให้ตัวอย่างสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ ควรจะแห้ง อย่างไรก็ตาม Voskuyl, Davis และ Sauer พบว่าถึงจะทำการป้องกันก็มีความผิดพลาดจากการทำให้เจือจาง ๐.๑ ถึง ๐.๕ % (๑ % = ๐.๐๐๐๘๒๗ mole % deuterium) ในตัวอย่างน้ำที่มีคิที่เริ่ม ๑ % ถ้าทำการเจือจางในวันที่อากาศชื้นและถ้าไม่ระวังเหตุดังกล่าวข้างต้นจะมีความผิดพลาด ๕ ถึง ๑๐ %

ไอโซโทปิคเฟรคชันเนชัน (Isotopic fractionation) จาก Capillary-drip-evaporator มีค่าน้อย กล่าวคือจะมีข้อผิดพลาด ๐.๑ ถึง ๐.๒ % ถ้าตัวอย่างประกอบด้วยคิที่เริ่ม ๑ % สำหรับน้ำที่มีคิที่เริ่มตามธรรมชาติ จะมีข้อผิดพลาดน้อยกว่า ๐.๑ %

การกลั่นผ่านเตาคอปเปอร์ออกไซด์จะสามารถกลั่นได้ถึง ๘๕ % (สำหรับตัวอย่างน้ำ ๒๐ กรัม) ส่วนที่หายไป จะทำให้เกิดความไม่แน่นอน ๐.๐๕ % ในกรณีของตัวอย่างน้ำธรรมดา

และจะทำให้เกิดความไม่แน่นอน ๐.๖ % ในกรณีของตัวอย่างน้ำที่มีคิที่เริ่ม ๑ % สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดอย่างมาก และในกรณีที่ตัวอย่างน้ำมีสารอินทรีย์ละลายปนอยู่มาก มักจะใช้การระเหย (flash evaporation) ผ่านเตาเล็ก ๆ แทนการกลั่นผ่านเตาคอปเปอร์ออกไซด์

### ๓.๓ ระบบที่ใช้วัดและการหาอุณหภูมิของการลอยตัว

นำตัวอย่างที่กลั่นเรียบร้อยแล้ว มาใส่หลอดแก้วที่มีขนาดพอเหมาะในการที่จะลอย  
 ลูกลอยหลอดแก้วที่ใช้ควรจะทำความสะดวกเช่นเกี่ยวกับการทำความสะอาดลูกลอย ก่อนที่จะ  
 นำมาใช้การหย่อนลูกลอยทำได้ควยวงแก้วที่มีขนาดพอเหมาะ แล้วนำหลอดแก้วที่บรรจุตัวอย่างน้ำ  
 และลูกลอยมาจุ่มในเทอร์โมสแตต (thermostat) ซึ่งประกอบด้วยถัง ๒ ใบ ถึงตอนนอกมี  
 ขนาดเล็กบรรจุน้ำและเครื่องกวนซึ่งชั้นนี้จะเป็นฉนวนอย่างดี อุณหภูมิของถังตอนในจะคงที่อยู่  
 ระหว่าง  $\pm 0.0003^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลานานพอที่จะสังเกตอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงของลูกลอยได้

สำหรับงานที่ต้องการความแม่นยำสูง จะวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบ  
 แพลตตินัมรีซิสแตน (platinum resistance thermometer) โดยใช้ Muller bridge  
 และกัลวานมิเตอร์ที่ไว (กล่าวคือมีความไว  $0.2 \mu\text{V}/\text{mm}$ . ซึ่งถ้าใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้  
 จะสามารถวัดอุณหภูมิที่แตกต่างกันแค่  $0.0003^{\circ}\text{C}$  ได้

ที่  $25^{\circ}\text{C}$  ความแตกต่างของอุณหภูมิจะสัมพันธ์กับความแตกต่างของความหนาแน่น  
 $0.0002$  / กระแสที่ผ่านเทอร์โมมิเตอร์แบบแพลตตินัมรีซิสแตน อาจจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น  
 เล็กน้อย ซึ่งแก้ไขได้โดยใช้เวลาในการอ่านให้มากขึ้น

สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดน้อยกว่านี้ก็จะใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบ เบคแมน  
 (Beckmann) แทนแบบ Muller bridge และแบบรีซิสแตนเทอร์โมมิเตอร์

ความแม่นยำของการอ่านด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบ เบคแมน ( $\sim 0.0009^{\circ}\text{C}$ )  
 จะทำให้ความหนาแน่นที่  $25^{\circ}\text{C}$  ผิดไป  $0.26$  / อย่างไรก็ตามอุณหภูมิและความดันของห้อง  
 ที่เปลี่ยนไป, การขยายตัวของแก้ว, ปรอทที่ติดอยู่ในหลอดแก้วเล็ก ๆ ของเทอร์โมมิเตอร์ และ  
 อื่น ๆ จะเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้น ดังนั้นควรจะใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบ เบคแมน  
 ๒ อัน และในการอ่านควรใช้วิธี standardize เพื่อแก้ความผิดพลาดอันเกิดจากผู้ทำการ  
 ทดลอง ควรจะทำ blank เทียบโดยทดลองทำกับน้ำมาตรฐานหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้มีข้อ

บทพระองค์น้อยที่สุด และควรจะควบคุมอุณหภูมิห้อง ให้อยู่ระหว่าง  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  ในทางปฏิบัติเมื่อ  
 ระมัดระวังทุกอย่างแล้ว ผลที่ได้เมื่อใช้เทอร์มอมิเตอร์แบบเบคแมนควรจะผิดไม่เกิน ๐.๓ ถึง  
 ๐.๔ %

การ calibrate ลูกกลอยทำโดยหาอุณหภูมิของการลอยตัวในน้ำมาตรฐาน กล่าวคือ  
 หาอุณหภูมิที่ลูกกลอยหยุดนิ่ง ในการวิเคราะห์น้ำที่มีปริมาณคิวที่เรียมต่ำ (จนถึง ๑ %) จะใช้น้ำกลั่น  
 ธรรมดาเป็นน้ำมาตรฐาน และสังเกตตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของลูกกลอยด้วยกล้องจุลทรรศน์หรือ  
 Cathetometer หลังจาก calibrate เรียบร้อยแล้ว ก็นำลูกกลอยที่ได้ไปล้างด้วยน้ำที่มี  
 ความหนาแน่นใกล้เคียงตัวอย่างน้ำที่ต้องการหา และนำไปใส่ในหลอดแก้วที่มีตัวอย่างน้ำที่ต้องการหา  
 ปริมาณของคิวที่เรียม

นำหลอดแก้วที่บรรจุตัวอย่างน้ำและลูกกลอยไปใส่ในถังคอนในของเทอร์โมสแตคและปรับ  
 อุณหภูมิของเทอร์โมสแตคจนกระทั่งลูกกลอยหยุดนิ่ง ในช่วงนี้จะต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อรอให้  
 ถึงคอนในและหลอดแก้วถึงจุดสมดุล (ทางความร้อน)

ความหนาแน่นของลูกกลอยหาได้โดย calibrate กับน้ำมาตรฐาน ซึ่งเป็นความหนา  
 แน่นของอุณหภูมิของการลอยในน้ำมาตรฐาน แต่ไม่ได้เป็นความหนาแน่นของอุณหภูมิของการลอยตัว  
 ในตัวอย่างน้ำ อุณหภูมิของการลอยตัวในน้ำมาตรฐานและในตัวอย่างน้ำจะแตกต่างกันไม่มากนัก  
 เราสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำจากน้ำมาตรฐานได้ โดยจะต้องคำนึงถึงการ  
 ขยายตัวทางความร้อนของควอทซ์, ของไฟเรกซ์ หรือของวัสดุที่นำมาใช้ทำลูกกลอย และด้วยเหตุ  
 ที่ควอทซ์มีการขยายตัวโดยความร้อนน้อยมาก ดังนั้นจึงนิยมนำมาทำเป็นลูกกลอย

ในการคำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำมักจะคำนวณที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งที่แน่นอน  
 กล่าวคือ  $20$  หรือ  $25^{\circ}\text{C}$  และใช้ค่าของ ส.ป.ส. ของการขยายตัวทางความร้อนของน้ำและ  
 ของน้ำชนิดหนักที่ทราบค่าแน่นอน สำหรับน้ำมาตรฐานก็คำนวณหาความหนาแน่นเช่นเดียวกับ  
 ตัวอย่างน้ำ



จากความแตกต่างของความหนาแน่นของทั้ง ๒ ตัวอย่าง (ตัวอย่างน้ำและน้ำมาตรฐาน)  
จะทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณของตัวที่เริ่มได้โดยใช้สูตร

$$\text{Mole per cent D} = \frac{82.3 \cdot \Delta d}{1 - 0.00013 \Delta d}$$

หรือ

$$\text{Mole per cent D} = \frac{82.6 \cdot \Delta s}{1 - 0.00013 \Delta s}$$

$$\Delta s = s - 0.9998684$$

$$\Delta d = d - d_1$$

$$d = \text{ความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำ}$$

$$d_1 = \text{ความหนาแน่นของโปรเทียมออกไซด์ (protium oxide)}$$

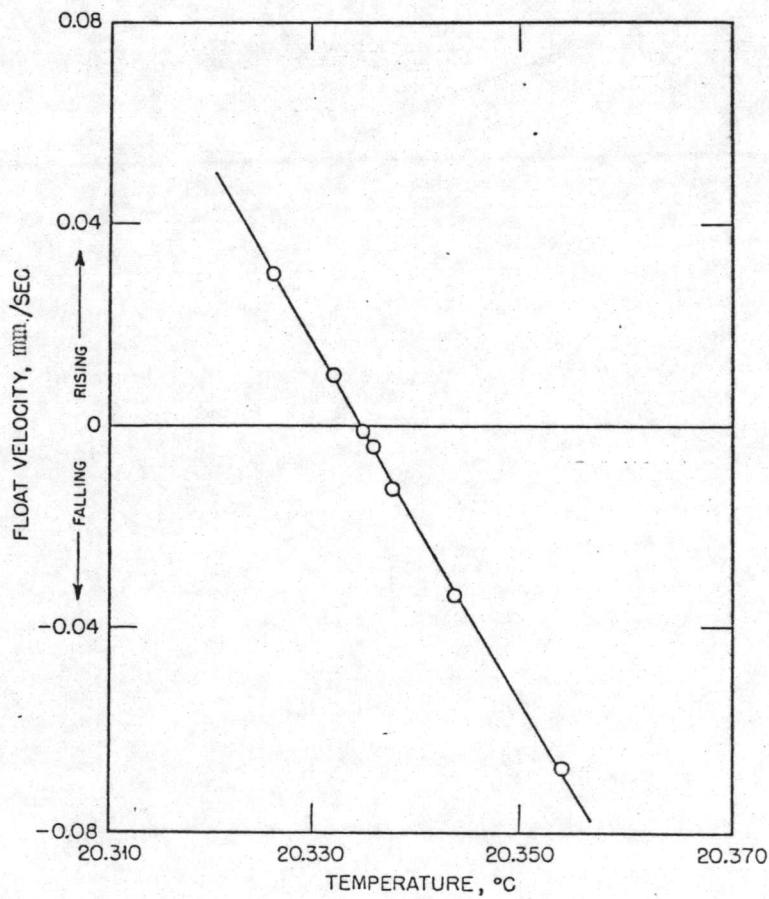
$$s = \text{ความถ่วงจำเพาะของตัวอย่างน้ำ}$$

ข้อควรระวังอีกอย่างหนึ่งคือความหนาแน่นของลูกกลอย จะเปลี่ยนไปตามกาลเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิการลอยตัวในน้ำมาตรฐานหลาย ๆ ครั้ง เพื่อ calibrate ลูกกลอย การจะหาบ่อยครั้งแค่ไหนขึ้นอยู่กับความแน่นอนที่ต้องการ และขึ้นอยู่กับความคงที่ของลูกกลอย

ในการหาอุณหภูมิที่ลูกกลอยหยุดนิ่ง จะต้องใช้เวลานาน ทั้งนี้จึงอาจจะใช้วิธี trial and error, Richards และ Shipley (๑๑, ๑๒) พบว่าถ้าอุณหภูมิของการลอยตัวเปลี่ยนไปเพียง ๐.๐๐๑ °C จะสามารถเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนของลูกกลอยได้ Emeleus (๑๖) พบว่าถ้าอุณหภูมิอยู่ในช่วง ๐.๑ °C ความเร็วของลูกกลอยจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับอุณหภูมิที่แท้จริงของการลอยตัว เมื่อเขียนกราฟระหว่างอุณหภูมิของการลอยตัวกับความเร็ว (ของการเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง) เราก็จะหาอุณหภูมิของจุดหยุดนิ่งได้จากกราฟดังกล่าว หรืออาจเขียนกราฟระหว่างความเร็วของลูกกลอยกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากอุณหภูมิของการลอยตัวที่แท้จริง ซึ่งจะได้จากกราฟแรก ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๒ และรูป ๓.๕ และ

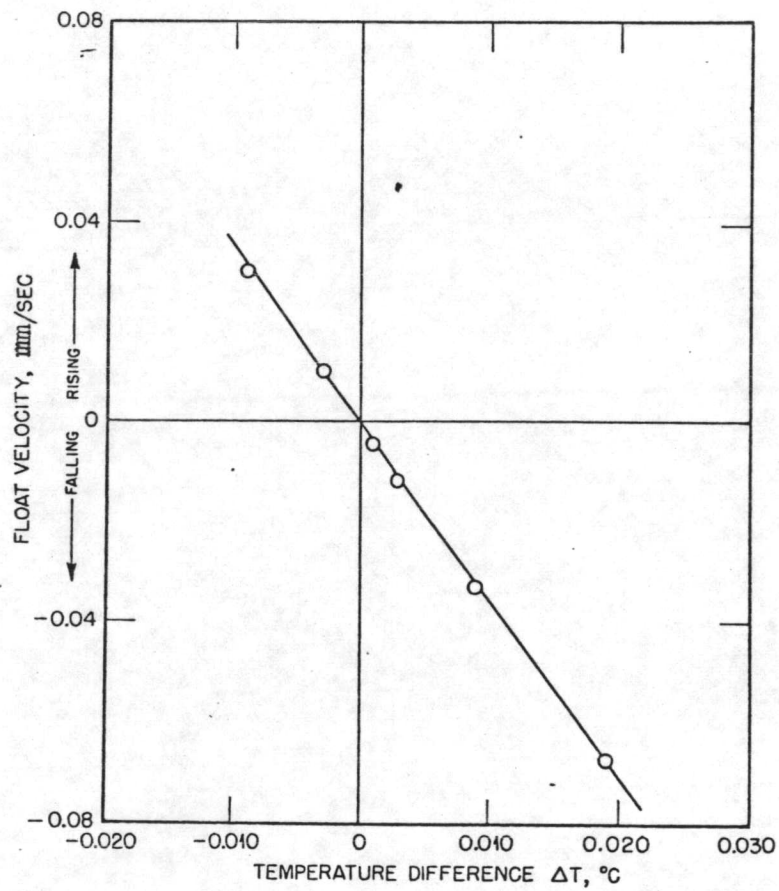
ตารางที่ ๓.๒ ความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อความเร็วของลูกลอย

อุณหภูมิ (T.) °C	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ผ่าน ๑ ม.ม. วินาที	ความเร็วเฉลี่ย ม.ม./วินาที	$\Delta T, ^\circ C$
๒๐.๓๕๔	๑๕	๐.๐๖๗ (เคลื่อนที่ลง) + ๐.๐๑๕	
๒๐.๓๔๔	๓๐	๐.๐๓๓ (เคลื่อนที่ลง) + ๐.๐๐๕	
๒๐.๓๓๘	๔๕	๐.๐๒๒ (เคลื่อนที่ลง) + ๐.๐๐๓	
๒๐.๓๓๒	๖๕	๐.๐๑๕ (เคลื่อนที่ลง) + ๐.๐๐๑	
๒๐.๓๓๕	๘๖	๐.๐๑๑ (เคลื่อนที่ลง) + ๐.๐๐๐	
๒๐.๓๓๒	๑๐๐	๐.๐๐๖ (เคลื่อนที่ขึ้น) - ๐.๐๐๓	
๒๐.๓๒๖	๑๓๓	๐.๐๐๓ (เคลื่อนที่ขึ้น) - ๐.๐๐๕	



รูป ๓.๕ ความเร็วของลูกลอยที่เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิ





รูป ๓.๖ ความเร็วของลูกลอยเป็นสัดส่วนกับความแตกต่าง  
ของอุณหภูมิ  $\Delta T$  ซึ่งมีอัตรา ๐.๐๐๓๕ ม.ม./  
วินาที/ $๐.๐๐๑^{\circ}\text{C}$

การลอยตัวของลูกลอยในของเหลวที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน สามารถหาอุณหภูมิการลอยตัวที่แท้จริง ( $T_s$ ) ได้จากการสังเกตความเร็วของลูกลอยที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน ซึ่งหาได้จากกราฟตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลในตาราง ๓.๒ และสมมติว่าลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้น ๑ มิลลิเมตรใน ๑๐๐ วินาทีที่อุณหภูมิ  $๒๐.๓๓๐^{\circ}\text{C}$

∴ จะมีความเร็ว =  $\frac{๑}{๑๐๐} = ๐.๐๑$  ม.ม./วินาที

จากกราฟ ;  $\Delta t = ๐.๐๐๓^{\circ}\text{C}$

เนื่องจากลูกลอยกำลังเคลื่อนที่ขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่เห็นจึงต่ำกว่าอุณหภูมิของการลอยตัวที่แท้จริง กล่าวคือ  $๒๐.๓๓๐ + ๐.๐๐๓ = ๒๐.๓๓๓^{\circ}\text{C}$

ในทางปฏิบัติควรจะสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกลอย ๓ ครั้ง ณ อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน ๓ อุณหภูมิ Dole, Voskuyl ก็ใช้วิธีที่กล่าวมาแล้ว ส่วน Voskuyl, Davis & Saxer (๒๐) ใช้ลูกลอยที่มีอัตราการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง  $๐.๑๕$  ม.ม./นาที/ $๐.๐๐๑^{\circ}\text{C}$  ( $๐.๐๐๒๕$  ม.ม./วินาที/ $๐.๐๐๑^{\circ}\text{C}$ )

ส.ป.ส. ของความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงหาได้โดยสังเกตที่อุณหภูมิ  $\pm ๐.๐๑^{\circ}\text{C}$  รอบ ๆ อุณหภูมิการลอยตัวที่แท้จริง ถ้าจุดจุดบรรทัดที่มีประสิทธิภาพดีในช่วงเวลา ๓ นาทีหรือมากกว่า ๓ นาที จะทำให้ความเร็วที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งมีค่า  $\pm ๐.๐๒$  ม.ม./นาที หรือมีค่าน้อยกว่านี้ ซึ่งค่านี้อาจทำให้เกิดความผิดพลาดของอุณหภูมิ  $\sim ๐.๐๐๑^{\circ}\text{C}$  และทำให้ค่าความหนาแน่นที่  $๒๕^{\circ}\text{C}$  ผิดไป  $\sim ๐.๐๒๖$  % สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดในการหาอุณหภูมิการลอยตัวมักจะหาที่  $๐.๐๐๒$  % ของอุณหภูมิที่มีอัตราการเคลื่อนที่เป็นศูนย์หลาย ๆ ครั้ง สำหรับงานประจำมักจะหาอยู่ในช่วง  $\pm ๐.๐๐๕^{\circ}\text{C}$  ของอุณหภูมิการลอยตัว

ส.ป.ส. ของการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงขึ้นอยู่กับเหตุหลายประการ คือขึ้นกับขนาดและรูปร่างของลูกลอย, ความหนืดของน้ำ, ส.ป.ส. ของการขยายตัวของน้ำและลูกลอย ดังนั้นจึงควรหา ส.ป.ส. ดังกล่าวกับลูกลอยทุก ๆ อันที่ใช้และหาทุก ๆ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่ใช้

ข้อสำคัญอีกข้อหนึ่งคือ ควรจะขจัดกาซออกจากตัวอย่างน้ำก่อนที่จะนำมาวิเคราะห์ ถ้าน้ำนั้นมีอากาศละลายปนอยู่จะมีผลต่อความหนาแน่นที่คำนวณได้ Richards และ Harris (๑๓) กล่าวว่า ตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิ ๒๐°C จะทำให้เกิดความผิดพลาด < ๐.๒ % แต่ Emeleus (๑๖) พบว่าที่อุณหภูมิ ๒๐°C จะมีความผิดพลาดมากกว่าที่กล่าวมา Titani และ Morita (๒๑) พบว่าถ้าย่างน้ำที่อุณหภูมิอากาศจะทำให้มีผลจากการละลายประมาณ ๐.๕ % ที่ ๕.๕°C Marek (๒๒) พบว่าค่าดังกล่าวจะมากขึ้น ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า ๒๐°C

ถึงแสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ ๓.๓

ตารางที่ ๓.๓ ผลต่อความหนาแน่นอันเนื่องมาจากอากาศที่อิมตัวอยู่ในน้ำ

อุณหภูมิ, °C	ความหนาแน่นลดลงเนื่องจากอิมตัวด้วยอากาศ, %
๐	๒.๕
๕	๓.๓
๑๐	๓.๕
๑๕	๓.๖
๒๐	๒.๖
๒๕	๐.๕

Voskuyl, Davis และ Saxer (๒๐) พบว่าตัวอย่างน้ำที่อิมตัวด้วยอากาศ จะทำให้ความหนาแน่นลดลง  $0.52 \pm 0.01$  % ที่ ๒๐°C และ  $0.67 \pm 0.02$  % ที่ ๖°C

จากผลที่ได้กล่าวมาแล้ว และจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำให้ของทดลองบางแห่งเพิ่มกรรมวิธีเอากาซออกจากตัวอย่างก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการเอากาซออกก็มีหลายขั้นตอนและอาจจะทำให้เกิดไอโซโทปเฟรคชันเนชัน ดังนั้นกรรมวิธีการเอากาซออกจึงได้เลิกใช้

Titani และ Morita (๒๑) ได้เปรียบเทียบน้ำประปาของ Cambridge, Mass กับของ Osaka, Japan พบว่าไม่มีผลอันเนื่องมาจากอากาศที่ละลายอยู่ในน้ำ ทั้งนี้ จะต้องทำตัวอย่างน้ำทั้ง ๒ กว ย กรรวิธีเดียวกันตลอด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ใควาถ่านนำมาตรฐาน และตัวอย่างน้ำอ้อมตัวควยอากาศเหมือนกัน ผลอันเนื่องจากอากาศที่ละลายอยู่จะหักล้างกันไปเอง

Voskuyl, Davis และ Saxer (๒๐) กล่าวว่าไม่ควรชจัดกาชออก กล่าวคือ ควรจะใช้วิธีการระเหยในการทำตัวอย่างน้ำให้บริสุทธิ์ น้ำที่อยู่ในหลอดแก้วที่ใช้สำหรับลดยตัว บางทีอาจจะมีตัวควยอากาศที่อุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ Voskuyl พบว่าความหนาแน่นของ ตัวอย่างน้ำที่ได้จากการระเหยจะสามารถหาได้ดีกว่าหาความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำที่เอากาช ออก ซึ่งดูได้จากตารางที่ ๓.๔

ตารางที่ ๓.๔ ผลอันเนื่องจากการเอากาชออกซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำกลั่นจาก มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย

Resistance\* of platinum thermometer at  
balance temperature, ohms

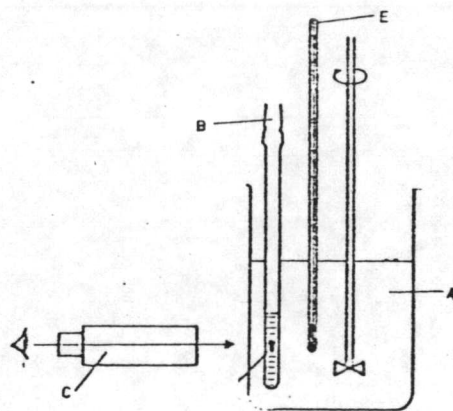
Date	Condenser temp., °C	Expt No.	Sample Containing air	Sample outgased 1 min with aspirator at 25°C
3-2-43	Roomtemp (~21)	178	28.11958	28.11977
		179	28.11959	28.11989
		180	28.11960	28.11981
			Av. 28.11959 ± 0.000007	28.11982 ± 0.00004
3-11-43	6	209	28.12093	
		210	28.12088	28.12123
		211	28.12089	28.12130
			Av. 28.12090 ± 0.00002	28.12126 <sub>5</sub> ± 0.00003 <sub>5</sub>

\*28.11958 ohms = 25.22°C; 0.00001 ohm = 0.0026 °C

ค่าความแตกต่างเฉลี่ยของตัวอย่างที่ไม่ได้เอาก๊าซออก ( $\pm 0.06$  และ  $\pm 0.05$  %) จะมีค่าน้อยกว่าของตัวอย่างที่เอาก๊าซออก ( $\pm 0.09$  และ  $\pm 0.08$  %) อย่างไรก็ตามถ้าตัวอย่างน้ำที่จะวิเคราะห์ห่อมตัวไปด้วยอากาศ บางทีจะมีฟองอากาศไปรับที่ตุลกลอย ซึ่งจะมีผลต่อความหนาแน่น ดังนั้นจึงควรขจัดฟองอากาศออกด้วยแท่งแก้วเล็ก ๆ

ระบบที่ใช้วัดอีกระบบหนึ่งนอกจากที่กล่าวมาแล้วมีดังนี้

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการหาอุณหภูมิการลอยตัวแสดงไว้ในรูป ๓.๗



รูปที่ ๓.๗ แสดงการหาปริมาณของน้ำชนิดหนักในน้ำตัวอย่าง  
ด้วยวิธีการลอยตัว

เป็นมีกเกอร์ที่น้ำได้ ๒ - ๕ ลิตร และมีเครื่องกวนอยู่ด้วย E เป็นเทอร์มอมิเตอร์ (ที่มีขีดแบ่งละเอียดถึง  $0.1^{\circ}\text{C}$ ) B เป็นหลอดแก้วที่ใส่น้ำที่ต้องการวัดหาปริมาณของน้ำชนิดหนึ่ง การหาตำแหน่งของลูกลอยกระทำได้โดยการสังเกตผ่านกล้องจุลทรรศน์ C ซึ่งเลื่อนไปมาได้ ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง การสังเกตดังกล่าวจะง่ายขึ้น ถ้าหลอดแก้ว B มีขีดแบ่ง (เช่นขีด ๐.๒ ลบ.ซม.) อยู่ข้างหลอดด้วย เพื่อเป็นตำแหน่งเทียบในการหาอุณหภูมิการลอยตัว

การหาอุณหภูมิของการลอยตัว ตามปกติถ้าความหนาแน่นของน้ำไม่เท่ากับความหนาแน่นของลูกลอย ลูกลอยจะลอยอยู่บนผิวน้ำตัวอย่าง หรือจมอยู่ที่ก้นของหลอดแก้ว ในกรณีแรกถ้าเติมน้ำร้อนลงไปให้มีกเกอร์แล้วกวนน้ำในมีกเกอร์ไปเรื่อย ๆ อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างในหลอดแก้ว B จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ตัวลอยจะค่อย ๆ จมลง จนถึงจุดหนึ่ง ลูกลอยจะหยุดนิ่งแล้วค่อย ๆ ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำตัวอย่าง อีกจุดที่ลูกลอยหยุดนิ่งนี้เป็นจุดที่ความหนาแน่นของน้ำตัวอย่าง เท่ากับความหนาแน่นของลูกลอย และที่จุดนี้อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์มอมิเตอร์ คืออุณหภูมิการลอยตัวที่ต้องการหา

ในกรณีที่ลูกลอยจมอยู่ที่ก้นของหลอดแก้ว B ในตอนแรกแสดงว่าความหนาแน่นของน้ำตัวอย่างน้อยกว่าความหนาแน่นของลูกลอย ต้องเติมน้ำเย็นลงในมีกเกอร์แล้วกวน เพื่อให้ความหนาแน่นของน้ำตัวอย่างเพิ่มขึ้น แล้วหาจุดหยุดนิ่ง และอุณหภูมิการลอยตัว เช่นเดียวกับกรณีแรก อุณหภูมิของน้ำในมีกเกอร์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง เนื่องจากการแผ่กระจายความร้อนตามธรรมชาติประมาณ  $0.1^{\circ}\text{C}$  ต่อหนึ่งนาที ซึ่งนานพอที่จะช่วยให้สามารถสังเกตจุดหยุดนิ่ง และอุณหภูมิการลอยตัวได้

### การคำนวณหาปริมาณของน้ำชนิดหนึ่ง

การหาความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างน้ำตัวอย่างและน้ำมาตรฐาน จำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำมาตรฐานกับอุณหภูมิ ซึ่งหาได้จากหนังสือคู่มือและบางส่วนได้แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๕ ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับน้ำชนิดหนึ่งกรวมอยู่ด้วย

t °C	$\rho_{H_2O}$ (Gramm/ml)	$\rho_{D_2O}$ (Gramm/ml)	$\rho_{D_2O} / \rho_{H_2O}$	$\rho_{D_2O} / \rho_{H_2O}$
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 ๓.๕ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของน้ำจืดและน้ำหนักหนัก ( $g/cm^3$ ) กับอุณหภูมิในช่วง ๕ ถึง ๖๐ °C

รูป ๓.๔  $t_s$  คือ อุณหภูมิการลอยตัวในน้ำมาตรฐานและ  $t_p$  คืออุณหภูมิลอยตัวของน้ำตัวอย่างที่กำลังทดสอบจุดตัด  $c$  เป็นจุดที่แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างน้ำมาตรฐานกับน้ำตัวอย่าง (น้ำที่มีน้ำหนักหนักปนอยู่ด้วย) ที่อุณหภูมิ  $t_p$  ความยาว BC ให้ความแตกต่างของความแน่น  $(\rho_p - \rho_s)$  ซึ่งจะนำไปใช้ในการหาน้ำหนักหนักต่อไป

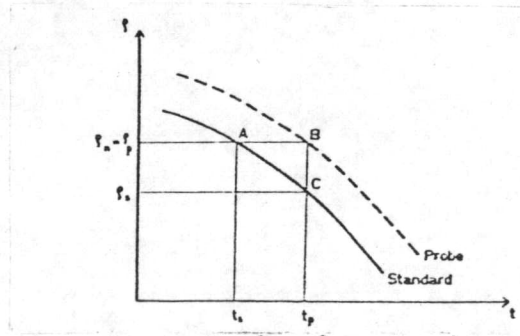
ในการหาปริมาณของน้ำหนักหนัก จะถือว่าน้ำธรรมดาและน้ำหนักหนักสามารถผสมเข้าด้วยกันได้ตามปกติ ดังนั้น ผลต่างของน้ำหนักหนักคิดเป็นร้อยละโดยปริมาตร ( $\Delta\%$ ) จะผันแปรกับ  $\rho_p - \rho_s$  นั่นคือ

$$\Delta\% = \frac{\rho_p - \rho_s}{(\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O}) t_p} \times 100 \quad \text{----- 1}$$

$(\rho_{D_2O} - \rho_{H_2O})$  ที่อุณหภูมิ  $t_p$  หาได้จากตารางที่ ๓.๕

ตามปกติมักจะคำนวณหา Mol-% หรือ Atom-% ของน้ำหนักหนักแทน Vol-% ดังนั้น จึงต้องคำนึงถึงความแตกต่างปริมาตรโมลระหว่างน้ำธรรมดากับน้ำหนักหนักด้วย ถ้ากำหนดให้  $\delta = \frac{V_{D_2O} - V_{H_2O}}{V_{H_2O}}$  เป็นความแตกต่างสัมพัทธ์ของปริมาตรโมล ปริมาตรร้อยละโดยปริมาตร  $v/o$  และปริมาณร้อยละอะตอมของ  $D_2O$  เป็น  $a/o$  และมีอีกหน่วยท้าย  $p$  สำหรับน้ำตัวอย่าง และ  $s$  สำหรับน้ำมาตรฐานจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\underbrace{[(a/o)_p - (a/o)_s]}_{\Delta a\%} = \underbrace{[(v/o)_p - (v/o)_s]}_{\Delta v\%} \left[ 1 - \delta + \frac{\delta}{100} \{ (v/o)_p + (v/o)_s \} \right] \quad \text{----- 2}$$



รูป ๓.๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของน้ำหนักหนักที่ใช้เป็นมาตรฐานและตัวอย่างน้ำที่ใช้วัดกับอุณหภูมิ





จากสมการที่ ๒ จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่าง  $\Delta a/o$  และ  $\Delta v/o$  จะเห็นได้ชัดมีอยู่ ๒ ช่วง คือ

- ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักน้อย  $\Delta a/o = \Delta v/o (1 - \beta)$
- ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักมาก  $\Delta a/o = \Delta v/o (1 + \beta)$
- ช่วงที่มีน้ำชนิดหนักพอประมาณ  $\Delta a/o = \Delta v/o ; \beta = 0$

ที่  $20^{\circ}\text{C}$  ค่าของ  $\beta = 3.53 \times 10^{-3}$

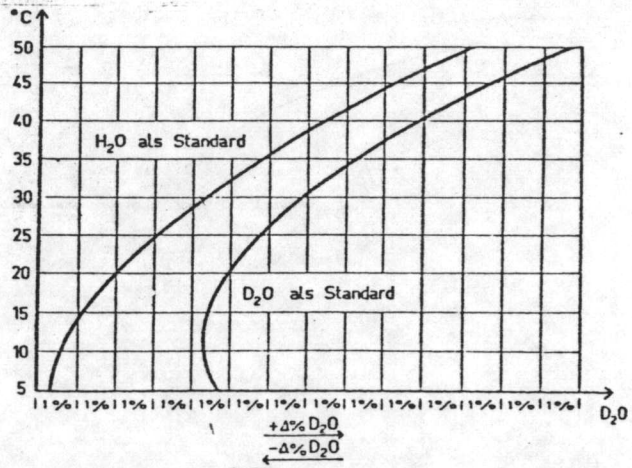
ที่  $40^{\circ}\text{C}$  ค่าของ  $\beta = 2.4 \times 10^{-3}$

การแยกคลาดเคลื่อน เนื่องจากการขยายตัวของลูกดอย

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

	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	ตัวเลขแก้ความคลาดเคลื่อน ปริมาณของน้ำชนิดหนัก ( $v/o$ หรือ $a/o$ )
ควอทซ์	$9.5 \times 10^{-6}$	$- 9.5 \times 10^{-3} \Delta t$
แก้วไพเรกซ์	$5.0 \times 10^{-6}$	$- 5.0 \times 10^{-3} \Delta t$

การใช้ตัวเลขแก้ความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิให้ดูในตัวอย่างการหาปริมาณของน้ำชนิดหนักจากการวัดอุณหภูมิการลอยตัวอาจทำได้เร็วขึ้นด้วยการใช้กราฟในรูปที่ ๓.๕ ซึ่งเป็นกราฟของความแน่นคงที่ของน้ำธรรมดา และของน้ำชนิดหนักบริสุทธิ์ กราฟดังกล่าวหาได้จากตารางที่ ๓.๖ การเลือกอุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นจุดเทียบไม่มีผลต่อการอ่านปริมาณของน้ำชนิดหนักแต่อย่างใด



รูปที่ ๓.๘ กราฟความแน่นคงที่ของน้ำธรรมดา และน้ำหนักหนักกับปริมาตรที่ใช้  
เป็นมาตรฐาน แทนจึงแสดงอุณหภูมิการลอยตัว และแทนแทน  
ปริมาณของน้ำหนักหนักเป็น % ที่ต้องเพิ่มเข้าไป เนื่องจากการ  
เพิ่มของอุณหภูมิ

t°C	$e_{D_2O} - e_{H_2O}$	$e_{H_2O}(t^\circ) - e_{H_2O}(20^\circ)$	$\Delta \text{‰} D_2O$	$e_{D_2O}(t^\circ) - e_{H_2O}(20^\circ)$	$\Delta \text{‰} D_2O$
5	0,10566	+0,00176	- 1,667	+0,00025	+ 0,2365
10	0,10632	00150	- 1,410	00065	+ 0,611
15	0,10680	00090	- 0,844	00053	+ 0,487
20	0,10717	00000	0,000	00000	0,000
25	0,10742	-0,00116	+ 1,080	-0,00091	- 0,847
30	0,10761	00255	+ 2,380	00211	- 1,970
35	0,10772	00417	+ 3,875	00361	- 3,350
40	0,10777	00598	+ 5,56	00538	- 5,01
45	0,10775	00798	+ 7,41	00740	- 6,87
50	0,10768	01016	+ 9,44	00965	- 8,96
55	0,10756	01250	+ 11,62	01211	- 11,24
60	0,10740	01499	+ 13,95	01476	- 13,75

ตารางที่ ๓.๖ ความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของความแน่นของน้ำหนักหนัก  
บริสุทธิ์ และน้ำธรรมดากับอุณหภูมิ

จากกราฟจะเห็นว่าความไวในการหาปริมาณของน้ำชนิดหนักด้วยการกำหนดอุณหภูมิการลอยตัว จะลดลงมาก ณ บริเวณที่น้ำธรรมดา และน้ำชนิดหนักมีความหนาแน่นสูงสุด ( $4^{\circ}\text{C}$  สำหรับน้ำธรรมดา และ  $99.6^{\circ}\text{C}$  สำหรับน้ำชนิดหนัก) กราฟในรูปแบบนี้เหมาะสำหรับการวัดหาปริมาณของน้ำชนิดหนักที่มีประมาณ ๒ - ๓ % (สำหรับตัวอย่างโคควิ่ง) และมีผลต่างของอุณหภูมิการลอยตัวประมาณ  $95^{\circ}\text{C}$  และ  $100^{\circ}\text{C}$  จากกราฟจะเห็นว่าผลต่างของอุณหภูมิการลอยตัวประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  จะให้ความแตกต่างของปริมาณน้ำชนิดหนัก ๑ %

การวัดน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำชนิดหนักสูงและอิทธิพลของไอโซโทปของออกซิเจน

การวัดน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณของน้ำชนิดหนักปานกลาง (ประมาณ ๕ - ๕๕ %) ตามธรรมดา มักจะทำการ เจือจางน้ำตัวอย่าง เสียก่อนจนมีปริมาณของน้ำชนิดหนักประมาณ ๓ % แล้วจึงทำการวัดซึ่งสามารถไขว้กลอยอันเกี่ยวกับที่ใช้น้ำตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำชนิดหนักน้อย ๆ ได้ แต่ก็มีปัญหาที่การทำให้เจือจางด้วยวิธีนี้อาจเป็นทางให้ความชื้นเข้ามาปนทำให้วัดค่าผิดไปได้ และเนื่องจากปริมาณของน้ำชนิดหนักในน้ำตัวอย่างที่เจือจางแล้วมีน้อย จึงทำให้ความไวในการวัดน้อยลงไปกว่าที่ควร ดังนั้นบางครั้งการวัดหาปริมาณของน้ำชนิดหนักขนาดปานกลางดังกล่าว อาจต้องทำการวัดโดยตรง ด้วยการเตรียมมาตรฐานที่มีปริมาณของน้ำชนิดหนักใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัด

ในกรณีของ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูที่ใช้น้ำชนิดหนักเป็นตัวหน่วงนิวตรอน จำเป็นที่จะต้องวัดความเข้มข้นของน้ำชนิดหนักให้ค่าถูกต้องที่สุด การทำให้บริสุทธิ์แล้ววัดอาจเกิดผลที่ไม่ต้องการอันเนื่องมาจากความชื้นจากอากาศ และจากผนังของภาชนะที่ใส่ควย

น้ำมาตรฐานที่ใช้ได้แก่น้ำชนิดหนักที่บริสุทธิ์ ซึ่งมีส่วนผสมของไอโซโทปที่แน่นอน แต่เนื่องจากความแน่นที่วัดได้ของน้ำชนิดหนักที่บริสุทธิ์ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนค่าหนึ่งที่ ๕ ดังนั้น การวัดปริมาณของน้ำชนิดหนักด้วยพิคโนมิเตอร์ (Pycnometer) จึงมีความถูกต้องแน่นอนประมาณ ๐.๐๑ % มาตรฐานที่แน่นอนอาจเตรียมได้จากน้ำชนิดหนัก ๕๕.๗ % ให้เป็น ๕๕.๕๕ %

Handwritten text in Thai script, including the word "classified" in English. The text is written on lined paper and appears to be a note or document fragment.

Handwritten text in Thai script, possibly a signature or a specific note, located below the main text.



ตารางที่ ๓๘ การเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ในการทำตัวอย่างน้ำไขวิสุทธ์

Expt. No.	Purification procedure	Density*			
		$\Delta\gamma_1$	$\Delta\gamma_2$	$\Delta\gamma_3$	$\Delta\gamma_4$
238	No digestion; one distillation	1.5	1.1	1.4	1.2
239	followed by one or more	1.3	1.0	1.4	1.2
243	evaporations	58.2	57.8	57.6	
244		58.2		57.6	
249		57.8	57.1		
251		57.6	57.1		
265	Digestion and double distillation followed by one or more evaporations	27.4	27.4		
266	Digestion and one distillation followed by one or more evaporations	28.5	27.4	27.2	
269	Digestion and one distillation followed by one evaporation	28.2	27.9		
291	Digestion and double distillation followed by one or more evaporations	4.1	4.1		

\* $\Delta\gamma_1$  is apparent density difference from normal water after one evaporation;  $\Delta\gamma_2$ , after two evaporations;  $\Delta\gamma_3$ , after three evaporations;  $\Delta\gamma_4$ , after four evaporations.

ตารางที่ ๓๑๘ การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่มที่เริ่มประมาณ ๑ %

Sample	Aliquot	Density*		Remarks	
		$\Delta\gamma_1$	$\Delta\gamma_2$		
201-2	A	-20.2	-20.4	Standard used was 976 $\gamma$ denser than Columbia University distilled water; experiments were done on 3-8-43, a clear, cold day; average change on reevaporation was $-0.1 \pm 0.2 \gamma$ .	
	B	-19.9	-19.6		
203-4	A	+11.4	+11.4		
	B	+12.0	+11.4		
205-6	A	+10.0			
	B	+9.8	+9.7		
207-8	A	-19.2	-19.1		
	B	-18.9			
226-7	A	-30.8	-30.8		Standard used was 976 $\gamma$ denser than Columbia University distilled water; experiments were done on cool but damp days, 3-18-43 and 3-19-43; average change on reevaporation was $-0.2 \pm 0.3 \gamma$ (omitting 226-7B)
	B	-29.8	-30.8		
228-9	A	+2.5	+2.6		
	B	+2.5			
231-2	A	-5.8	-6.4		
	B	-5.4			
233-4	A	-52.1			
	B	-52.1			
234-5	A	-2.1			
	B	-1.6			
256-7	A	$\pm 0.0$		Used as reference water; $\Delta = 950 \gamma$ above Columbia University distilled water; experiments were done on a cool but damp day, 3-30-43; change on reevaporation was $-0.4 \pm 0.2 \gamma$ .	
	B	$\pm 0.0$			
258-9	A	-20.2	-20.7		
	B	-20.6	-20.6		
260-1	A	+6.5	+5.9		
	B	+6.5			
270-1	A	+0.14			Used as reference water; $\Delta = 950 \gamma$ above Columbia University distilled water; experiments were done on clear, cold days, 4-4-43 and 4-5-43
	B	-0.14			
272-3	A	+4.02	+4.22		
	B	+4.28			
274-5	A	-25.48			
	B	-25.55			
276-7	A	-0.86			
	B	-0.86			
278-9	A	-5.77			
	B	-5.74			
280-1	A	-20.22			
	B	-20.24			

\* $\Delta\gamma_1$  is the density of the water minus the density of the reference or standard water after the first evaporation;  $\Delta\gamma_2$ , after the second evaporation.

ตารางที่ ๓.๑๐ การวิเคราะห์ทฤษฎีสามารถแก้แสดงไปใช้ได้กับงาน  
บางชนิด

Deuterium concentration, mole %	Purity of sample	Precision, $\gamma$	Time per determination, hr	Determinations per sample
0.00-0.05	Some organic contamination (most inorganic salts allowable)	$\pm 0.1$	2	4
	Badly contaminated	$\pm 0.3$	2	4
	Routine analysis*	$\pm 0.7$	1	2
0.1-1	No organic or volatile inorganic contamination (except CO <sub>2</sub> )	$\pm 0.2$	2	2
	Some organic contamination and inorganic salts	$\pm 1-2$	2	4
1-3	Some organic contamination	$\pm 2-6$	2	4
Higher ranges†	No organic or volatile inorganic contamination	$\pm 2-10$	2-4	2-4

\*Similarly, in other deuterium ranges, routine determinations may be made rapidly but with a reduced precision.

†The float must be calibrated against a reference water in the desired deuterium range.

1  $\gamma$  = 0.000917 mole % deuterium



ตารางที่ ๓.๑๑ ความแน่นอนสัมบูรณ์ของควิที่เรียม ๑ โมลเปอร์เซ็นต์

Source of Error	Magnitude, $\gamma$ *
Precision of measurement	$\pm 0.2$
Change in density during evaporation and other purification steps	$\pm 0.0 - 0.5$
Temperature uncertainty	$\pm 0.3$
Expansion of quartz float	$\pm 0.5$
Thermal expansion of 1% D <sub>2</sub> O sample	$\pm 0.3$
Total	$\sim 1.3 - 1.8$

\*1 $\gamma$  = 0.000927 mole % deuterium

ตารางที่ ๓.๑๒ ความแน่นอนสัมบูรณ์ใน ๑ เปอร์เซนต์ เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน  
ที่เจือจาง

Sample No.	Density difference from normal water, $\gamma$		
	Float	Dilution	Difference, $\gamma$
285	928.5	924.4	+ 4.1
287	859.4	859.4	0.0
301	356.9	356.8	+ 0.1
302	1,167.6	1,167.6	- 0.1

๓.๘ ผลที่ได้

ตารางที่ ๓.๗ แสดงผลจากการวิเคราะห์น้ำธรรมชาติ ซึ่งทำน้ำให้สะอาดแบบธรรมชาติ (๒๐) และพบว่าค่าที่ได้แต่ละวันจะเปลี่ยนไปประมาณ ๐.๒ ٪ โดยขึ้นอยู่กับความสะอาดของเครื่องมือ กล่าวคือ ถ้าระดมการระเหยไม่สะอาดพอ กล่าวคือ ไม่โคพ่นไอน้ำข้างหลังจากที่กลั่นตัวอย่างน้ำที่ไม่บริสุทธิ์ จะมีผลต่อข้อมูลที่ได้ วิธีการในการทำน้ำที่มีสิ่งเจือปนมากให้สะอาด แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๘ ตัวอย่างที่ ๒๒๕, ๒๒๖, ๒๒๘ และ ๒๔๑ ในตาราง ๓.๘ ประกอบไปด้วย SO<sub>2</sub> และสารอินทรีย์ ส่วนตัวอย่างอื่น ๆ ไม่มี SO<sub>2</sub> จากข้อมูลในตารางที่ ๓.๘ พอจะสรุปได้ว่า สามารถจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ได้โดยการโคเจส, กลั่น ๒ ครั้ง และการระเหย ซึ่งควรระวังเรื่องไอโซโทปแฟรคชันเนชัน ตารางที่ ๓.๘ เป็นผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างซึ่งมีคิวที่เตรียม ๑ ٪ และไม่มีสารอินทรีย์ปนอยู่ (๒๐) ดังนั้น จึงใช้การระเหยในการทำน้ำให้สะอาดเพียง ๑ ครั้ง การระเหยจะทำให้ค่าของความหนาแน่นที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สำหรับงานนี้ใช้น้ำมาตรฐานที่ใช้ จะใช้น้ำมาตรฐานที่มีปริมาณคิวที่เตรียมใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่าง

ความแน่นอนของการวิเคราะห์น้ำบริสุทธิ์ที่มีคิวที่เตรียม ๑ ٪ จะมีผลเช่นเดียวกับน้ำธรรมชาติ ถ้าน้ำมาตรฐานมีคิวที่เตรียม ๑ ٪ เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ตัวลอยสามารถใช้ได้กับทุก ๆ ความเข้มข้นของตัวอย่าง โดยจะต้องใช้น้ำมาตรฐานที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำ

Voskuy1 (๒๐) ได้นำวิธีการลอยตัวไปใช้ในการวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ดังข้อมูลในตารางที่ ๓.๑๐ โดยหลักการแล้ว จะเห็นได้ถึงความแน่นอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ขึ้นอยู่กับการทำให้อาจาง และแฟรคชันเนชันระหว่างการทดลอง

วิธีการลอยตัวที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์นั้น ไม่สามารถให้ค่าที่สมบูรณ์ได้ แต่สามารถให้ค่าความแตกต่างของอนุกรมการลอยตัวของตัวอย่างน้ำ ๒ ชนิด ถ้าจะให้ค่าสมบูรณ์จะต้องเพิ่มขบวนการอีก ๒ อย่างคือ



- จะต้อง เปลี่ยนค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิการลอยตัว ไปเป็นความแตกต่างของความหนาแน่น
- จะต้องหาความหนาแน่นหรือปริมาณของคิวิที่เริ่มที่มีอยู่ในน้ำมาตรฐาน โดยสมมติว่า <sup>0</sup>18 ที่มีอยู่ในน้ำทั้ง ๒ มีค่าเหมือน ๆ กัน โดยการนอร์มาไรท์ (Normalization) ด้วย SO<sub>2</sub>

ความแน่นอนในการ เปลี่ยนค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิการลอยตัว ไปเป็นความแตกต่างของความหนาแน่น ขึ้นอยู่กับการขยายตัวในทางความร้อน

VoskuyL (๒๐) คำนวณความผิดพลาดในการคำนวณความแตกต่างของความหนาแน่น (density difference) จากความแตกต่างของอุณหภูมิในน้ำที่มีคิวิที่เริ่ม ๑ % โดยใช้มาตรฐานเป็นมาตรฐาน แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๑๑ และมีการตรวจสอบโดยการเจือจางสารมาตรฐานที่มีคิวิที่เริ่ม ๑ % ๔ ครั้ง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของลูกลอยที่คำนวณได้จากข้อมูลของการเจือจาง ปรากฏว่ามีข้อผิดพลาดจากการเจือจาง (dilution error) ประมาณ ± ๑ หรือ ๒ % ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ๓.๑๒ แสดงว่าความผิดพลาดเฉลี่ยประมาณ ๑ % หรือ ๐.๐๐๑ % คิวิที่เริ่ม

สำหรับคิวิที่เริ่มที่มีความเข้มข้น ๑ % จะทำให้เกิดความไม่แน่นอน ๐.๑ % ซึ่งข้อผิดพลาดดังกล่าวจะน้อยลงถ้านำมาตรฐานที่โซลมีปริมาณคิวิที่เริ่มใกล้เคียงกับของตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาปริมาณ

ถ้ามีคิวิที่เริ่มในช่วง ๐.๐ ถึง ๐.๑ mole % จะมีความไม่แน่นอนในการคำนวณน้อยมาก และความแน่นอนในการคำนวณความแตกต่างของความหนาแน่นจะมีค่าใกล้เคียงเท่ากับความแน่นอนในการวัดอุณหภูมิ สามารถคำนวณความแตกต่างของคิวิที่เริ่มในตัวอย่างน้ำ และในน้ำมาตรฐานได้จากความแตกต่างของความหนาแน่นที่ ๒๕°C โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{Mole per cent D} = \frac{81.3 \cdot 3 \Delta d}{1 - 0.000125 \Delta d}$$

$$\Delta d = \text{ความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำ} - \text{ความหนาแน่นของโปรเทียมออกไซด์}$$

$$= d - d_1$$

หรืออาจจะคำนวณได้จาก

$$p'' - p' = 927.35 \left[ \frac{d'' - d_1}{1 - 0.0329(d'' - d_1)} - \frac{d' - d_1}{1 - 0.0329(d' - d_1)} \right] \dots \dots \dots 2$$

- $p'$  = โมลเปอร์เซ็นต์ที่เริ่มในน้ำมาตรฐาน
- $p''$  = โมลเปอร์เซ็นต์ที่เริ่มในตัวอย่างน้ำ
- $d'$  = ความหนาแน่นของน้ำมาตรฐาน
- $d''$  = ความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำ

สำหรับน้ำที่มีปริมาณดิวทีเรียมสูงจากสมการ ๒ จะได้

$$p'' - p' = 927.35(d'' - d') \left\{ 1 + 0.0329 [(d'' - d_1) + (d' - d_1)] \right\} \dots \dots \dots 3$$

ถ้ามีดิวทีเรียม ๐ - ๑ % จะได้

$$p'' - p' = 927.35 (d'' - d') \dots \dots \dots 4$$

สำหรับน้ำที่มีดิวทีเรียม ๑๐ % และน้ำมาตรฐานมีดิวทีเรียมห่างไปจากตัวอย่างน้ำ ๑ %  
 ถ้าใช้สูตรในสมการ ๔ จะมีความผิดพลาด ๐.๗ % (๐.๐๐๐๗ mole % D)

ค่าความแตกต่างของดิวทีเรียมสามารถเปลี่ยนไปหาค่าของดิวทีเรียมที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำได้ ถ้ารู้ปริมาณของดิวทีเรียมในน้ำมาตรฐาน น้ำมาตรฐานที่ใช้จะใช้น้ำที่ปราศจากดิวทีเรียม (deuterium free water), น้ำธรรมดา (น้ำกลั่นในห้องทดลองหรือน้ำประปา) หรือน้ำมาตรฐานที่มีปริมาณของดิวทีเรียมสูง โดยการผสมกันระหว่างน้ำธรรมดากับน้ำหนักหนัก (D<sub>2</sub>O) ในสัดส่วนที่พอเหมาะ

ในงานที่ต้องการความละเอียดมาก ๆ มักจะใช้น้ำที่ปราศจากคิวที่เริ่มเป็นน้ำมาตรฐาน  
ความไม่แน่นอน (uncertainty) ของปริมาณคิวที่เริ่มในน้ำมาตรฐานที่เข้มข้นขึ้นอยู่กับ

- (๑) ความไม่แน่นอนของคิวที่เริ่มในน้ำธรรมดา
- (๒) ความไม่แน่นอนของคิวที่เริ่มที่มีอยู่ในน้ำชนิดหนักที่นำมาเจือจาง
- (๓) ความผิดพลาดในการเตรียมน้ำมาตรฐาน

ความไม่แน่นอนดังกล่าวสังเกตได้จากสมมติฐาน ๒ ข้อ ดังต่อไปนี้

๑. การเตรียมน้ำมาตรฐานที่บรรจุคิวที่เริ่ม ๑ % ใช้น้ำกลั่นของมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย  
๑๘๐.๑๖๐ ± ๐.๐๐๑ กรัม และน้ำชนิดหนักที่มีความถ่วงจำเพาะ ๑.๑๐๓๖๘๖ ที่ ๒๕°C  
จำนวน ๒.๐๐๒๗ ± ๐.๐๐๐๒ กรัม

ปริมาณของคิวที่เริ่มในน้ำธรรมดา  
(จากตารางที่ ๓.๑๓) = ๐.๐๑๘๗ ± ๐.๐๐๐๒ mole %

ปริมาณของคิวที่เริ่มในน้ำชนิดหนัก  
(คำนวณจากสูตรข้างต้น) = ๘๘.๘๘ ± ๐.๐๓\* mole %

ดังนั้นปริมาณของคิวที่เริ่มในน้ำมาตรฐาน = ๑.๐๐๘๖ ± ๐.๐๐๐๒ mole %  
ความไม่แน่นอน ๐.๐๐๐๒ mole % ขึ้นอยู่กับ

(๑) ความผิดพลาด ± ๐.๐๐๑ กรัม ในการชั่งน้ำหนักน้ำธรรมดาจะมีผลทำให้เกิด  
ความไม่แน่นอน ± ๐.๐๐๐๐ mole % D

(๒) ความผิดพลาด ± ๐.๐๐๐๒ กรัม ในการชั่งน้ำชนิดหนักจะทำให้เกิดความ  
ไม่แน่นอน ± ๐.๐๐๐๑ mole % D

(๓) ความผิดพลาด ± ๐.๐๐๐๒ mole % ของคิวที่เริ่มในน้ำธรรมดา จะทำ  
ให้เกิดความไม่แน่นอน ± ๐.๐๐๐๒ mole % D

\* ข้อผิดพลาดนี้เกิดจากความไม่แน่นอนของค่าความถ่วงจำเพาะของ D<sub>2</sub>O No.๐๐๐๐๓

(๔) ความผิดพลาด  $\pm 0.003$  mole % ของคิ่วที่เริ่มที่มีอยู่ในน้ำชนิดหนัก จะทำให้เกิดความไม่แน่นอน  $\pm 0.0003$  mole % D

ความผิดพลาด 0.0006 mole % D จะเท่ากับความไม่แน่นอนของความหนาแน่น 0.6 %

๒. การเตรียมน้ำมาตรฐานใหม่คิ่วที่เริ่มประมาณ ๑๐ % ใช้น้ำกลั่นจากมหาวิทยาลัย โคโลัมเบีย  $๑๘.๐๑๖๐ \pm 0.๐๐๐๒$  กรัม และใช้น้ำชนิดหนักที่มีความถ่วงจำเพาะ  $๑.๑๐๓๖๘๖$  ที่  $๒๕^{\circ}\text{C}$  จำนวน  $๒.๐๐๒๗ \pm 0.๐๐๐๒$  กรัม

คิ่วที่เริ่มที่มีในน้ำธรรมดา =  $0.๐๑๘๓ \pm 0.๐๐๐๒$  โมล %

คิ่วที่เริ่มที่มีในน้ำชนิดหนัก =  $๘๘.๘๕ \pm 0.๐๓$  โมล %

ดังนั้นคิ่วที่เริ่มในน้ำมาตรฐาน =  $๘.๐๘๘๓ \pm 0.๐๐๓๘$  โมล %

ความไม่แน่นอน 0.๐๐๓๘ โมล % ขึ้นอยู่กับ

(๑) ความผิดพลาด  $\pm 0.๐๐๐๒$  กรัม ในการชั่งน้ำธรรมดา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอน  $\pm 0.๐๐๐๑$  โมล %

(๒) ความผิดพลาด  $\pm 0.๐๐๐๒$  กรัม ในการชั่งน้ำชนิดหนักจะทำให้เกิดความไม่แน่นอน  $\pm 0.๐๐๐๔$  โมล %

(๓) ความผิดพลาด  $\pm 0.๐๐๐๒$  mole % ของคิ่วที่เริ่มในน้ำธรรมดา จะทำให้เกิดความไม่แน่นอน  $\pm 0.๐๐๐๒$  mole % D.

(๔) ความผิดพลาด  $\pm 0.๐๓$  โมล % ของคิ่วที่เริ่มในน้ำชนิดหนักจะทำให้เกิดความไม่แน่นอน  $\pm 0.๐๐๒๗$  โมล %

ความผิดพลาด 0.๐๐๓๘ mole % D จะสัมพันธ์กับความไม่แน่นอนของความหนาแน่น ๔ % ถ้ารวมความไม่แน่นอนดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๑๐ จะเห็นว่าความไม่แน่นอนในการหาปริมาณคิ่วที่เริ่มที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำประมาณ ๑ % จะมีค่า 0.๐๐๑ ถึง 0.๐๐๒๕ โมล % D

ตารางที่ ๓.๑๓ ปริมาณดิวทีเรียมในน้ำกลั่นจากมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย

Standard used for comparison	No. of aliquots	Equilibration method		No. of aliquots	Zinc method		Average content in distilled water, mole % D
		Total no. of spectrometer analyses	Analysis of distilled water, mole % D*		Total no. of spectrometer analyses	Analysis of distilled water, mole % D*	
I	3	10	0.0147 ± 0.0001	5	11	0.0149 ± 0.0001	0.0148
III	2	7	0.0146 ± 0.0000	4	11	0.0146 ± 0.0001	0.0146
IV	2	8	0.0148 ± 0.00005	4	9	0.0149 ± 0.00015	0.0149
V	2	8	0.0146 ± 0.0001	6	19	0.0145 ± 0.0001	0.0145
VI	2	8	0.0146 ± 0.0001	4	11	0.0146 ± 0.0002	0.0146

Av. 0.0147 ± 0.0001, †

\*The ± indicates the a.d. for the aliquots. To obtain the A.D., these deviations should be divided by the square root of the number of aliquots analyzed. This has not been done because of the statistically small number of aliquots analyzed in some cases.

†Taking into consideration the uncertainty in the absolute values of some of the light waters, the total error should be about ±0.0002 mole % deuterium.

(๑ ถึง ๒.๕๙) ซึ่งความผิดพลาดดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นน้ำธรรมชาติหรือน้ำที่มีควิที่เริ่ม ๑ % ที่ใช้เป็นน้ำมาตรฐานเช่นกัน ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณควิที่เริ่มสูง ๆ ความผิดพลาดดังกล่าวมากจะมีค่าสูงขึ้นด้วย

ในการวิเคราะห์น้ำโดยไซแมสสเปกโตรมิเตอร์ จะให้ผลใกล้เคียงกับผลที่ได้จากวิธีการลอยตัว ถ้านำวิธีการทั้ง ๒ มาเปรียบเทียบกันดังแสดงไว้ในตารางที่ ๓.๑๔ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จาก Mc Kown (๒๓) ตัวอย่างที่มีในตารางเป็นตัวอย่างน้ำที่มีออกซิเจนปนอยู่มาก และได้ทำการ normalize ด้วย SO<sub>2</sub> ก่อนที่จะนำมาคำนวณหาปริมาณควิที่เริ่ม แต่ไม่ได้แสดงค่าความแน่นอนเอาไว้

Huffman (๒๔) ได้รวบรวมตัวอย่างที่มีปริมาณออกซิเจนปนอยู่ดังตารางที่ ๓.๑๕ และได้แสดงความแน่นอนเอาไว้

การใช้ดูกลอยในการวิเคราะห์ไอโซโทปิก (isotopic) มีข้อมูลอยู่ในตารางที่ ๓.๑๖ ตารางที่ ๓.๑๔ การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วยดูกลอยและวิธีการสมมูลย์

Float analysis, mole % D

Sample	Before normalization* with SO <sub>2</sub>	After normalization	Equilibration analysis mole % D
1 st electrolyte	0.074	0.071	0.069
2 d electrolyte	0.22๕	0.220	0.219
3 d electrolyte	0.615	0.599	0.602
4 th electrolyte	1.48	1.46	1.48

\* Apparent mole % D because samples were enriched in O<sup>18</sup>



ตารางที่ ๓.๑๕ การเปรียบเทียบการวิเคราะห์หาคะตุกด้วยกับแมสสเปคโตรมิเตอร์

Sample No.	Float	Analysis, mole % D	
		Mass-spectrometer	Difference
10	0.0105 ± 0.0003	0.0105	+ 0.0000
27	0.0112 ± 0.0003	0.0106	+ 0.0006
2A	0.0087	0.0080 ± 0.00005	+ 0.0007
9A	0.0096	0.0080 ± 0.00005	+ 0.0016

ตารางที่ ๓.๑๖ การวิเคราะห์ไอโซโทปของตัวอย่างน้ำกัญญกลอย

Sample	$\Delta\gamma_1$	Density*			Isotopic composition,† mole %	
		$\Delta\gamma_2$	$\Delta\gamma_D$	$\Delta\gamma_O$	Deuterium	$O^{18}$
Columbia University distilled water (standard)	0.00	2.8 3.0‡ 2.6	0.00	0.00	0.0147‡	0.198‡
M-4	58.1 58.4‡ 57.6	27.9	25.1	32.9	0.0380	0.225
M-6	57.1	27.4	24.5	32.6	0.0374	0.225
M-8	57.8 57.6	27.4 27.4‡	24.6	33.1	0.0382	0.226

\* $\Delta\gamma_1$  = density of sample minus density of Columbia University distilled water

$\Delta\gamma_2$  = density of sample after normalization with sulfur dioxide minus density of Columbia University distilled water

$\Delta\gamma_D$  = part of  $\Delta\gamma_1$  due to excess deuterium, i.e.,  $\Delta\gamma_D = \Delta\gamma_2 - 2.8$

$\Delta\gamma_O$  = part of  $\Delta\gamma_1$  due to excess  $O^{18}$ , i.e.,  $\Delta\gamma_O = \Delta\gamma_1 - \Delta\gamma_2 + 2.8$

†Calculated on the basis 1  $\gamma$  = 0.00092 mole % deuterium and 1  $\gamma$  = 0.00083 mole %  $O^{18}$ .

‡See Chap. 6 for a discussion of these absolute values.

§This analysis was made upon the same aliquot that was used to obtain a previous value but after repurification.

๓.๕ ข้อเสียของวิธีการลอยตัว

๑. ความหนาแน่นของลูกลอยจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลา ดังนั้นหลังการทำลูกลอยแล้วควรทิ้งลูกลอยไว้หลาย ๆ เดือนก่อนที่จะนำมาใช้ และจะต้องนำไป calibrate จนมีค่าคงที่ จึงสมควรจะนำมาใช้

Richards และผู้ร่วมงานของเขา (๑๑,๑๓) พบว่าในช่วงแรก ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงในค่าปริมาตรอย่างมาก หลังจาก ๒ อาทิตย์ผ่านไป ความเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของลูกลอยจะลดลง ถ้าหลังจาก ๒ เดือนไปแล้ว ค่าคงถาวรจะน้อยมาก ข้อมูลของลูกลอย ๒ ชนิดซึ่งหาโดย Richards & Harris (๑๓) แสดงไว้ในตารางที่ ๓.๑๗

ความเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิการลอยตัว ๐.๒ ถึง ๐.๓°C) ของปริมาตรจะอยู่ในช่วง ๐.๐๐๕ % ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวัดที่จุดศูนย์ (Zero point) ของเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทเพียงเล็กน้อย (๒%)

ค่าที่หาโดย Emeleus แตกต่างไปจากค่าที่หาโดย Richards กล่าวคือ Emeleus (๑๖) พบว่าลูกลอยที่ทำด้วยควอทซ์ (ยาว ๓๕ ม.ม. และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๔ ม.ม.) จะมีความหนาแน่นคงที่ ภายในเวลา ๕ เดือน ทั้งนี้ เนื่องจากเหตุผลที่ว่าลูกลอยของ Emeleus ทำโดยการคั่งควอทซ์จาก ๔ ม.ม. แล้วฉนวนไฟบริเวณปลายเท่านั้น ส่วนลูกลอยของ Richards พื้นที่ผิวทั้งหมดของลูกลอยถูกฉนวนไฟทั้งหมด

Dole (๑๘) ใช้ลูกลอยที่ทำจากแก้วไฟเรกซ์ ๑๔ ม.ม. และฉนวนนำหนักควอทซ์ปรอทแล้วให้ความร้อนกับลูกลอยที่ ๑๑๐°C เป็นเวลา ๒๔ ชั่วโมง และนำไปทิ้งก่อนนำมาใช้ พบว่าความหนาแน่นจะคงที่หลังจาก ๓ เดือนไปแล้ว

VoskuyL (๒๖) พบว่า ความหนาแน่นของลูกลอยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยสัมพันธ์กับระยะเวลา

Voskuyl, Davis & Saxer (๒๐) พบว่าลูกกลอยที่ทำจากควอทซ์ จะมีความ  
แข็งลดลง โดยสัมพันธ์กับเวลาขัอมูลในตารางที่ ๓.๓ แสดงให้เห็นปรากฏการณ์อื่นเนื่องมา  
จากลูกกลอยที่ทำจากควอทซ์ถูกกัดกร่อนด้วยกรดที่ใช้ทำความสะอาดลูกกลอย ซึ่งความเปลี่ยนแปลง  
ของความหนาแน่นของลูกกลอยกับเวลาอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการ calibrate  
ลูกกลอยบ่อย ๆ กล่าวโดยสรุปก็คือความถี่ในการ calibrate ลูกกลอยขึ้นกับความแน่นอนที่  
ต้องการหาและขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของลูกกลอย

๒. ผลอื่นเนื่องมาจากการเปลี่ยนความดัน ถ้าความดันของบรรยากาศเปลี่ยนไปจะมีผล  
ต่อค่าของอุณหภูมิการลอยตัวที่พบถึง ๒ เท่า ดังนั้นถ้าความดันสูงขึ้น

- ปริมาตรของลูกกลอยลดลง และทำให้วัดความหนาแน่นได้น้อยลง
- ปริมาตรของของเหลวที่ลดลงจะมีผลให้ความหนาแน่นของลูกกลอยเพิ่มขึ้น

ความดันที่เปลี่ยนไปจะมีผลต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ความดัน  
จะไม่มีผลโดยตรงต่อลูกกลอย แต่จะมีผลต่อชนิด และความหนาของแก้วหรือของควอทซ์ เช่นเดียวกับ  
กับที่มีผลต่อรูปร่างของลูกกลอย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาความเปลี่ยนแปลงทั้ง ๒ และแสดงข้อมูล  
(๑๓) ไว้ในตารางที่ ๓.๑๔ ค่าที่เป็นลบแสดงว่าลูกกลอยถูกกัดกร่อนกว่าน้ำ ตามวงแสดงว่าลูกกลอย  
ถูกกัดกร่อนกว่าน้ำ ข้อมูลจากตารางแสดงว่ายกเว้นกรณีของลูกกลอยที่มีผนังกว้างและหนาซึ่งเป็น  
ลูกกลอยแบบ German Soft glass (I) ; ความกดเคียดที่มีต่อลูกกลอยซึ่งมีผนังบางและมี  
ปริมาตร ๗ ม.ม. จะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำ

Emeleus (๑๖) พบว่าความกดของลูกกลอยที่ทำจากควอทซ์ จะมีค่าเท่ากับของน้ำ  
เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันประมาณ ๐.๕ atm. ส่วนลูกกลอยที่บางมาก ๆ ซึ่งใช้โดย  
Lamb & Lee (๑๔) จะถูกกัดกร่อนกว่าน้ำ และลูกกลอยจะมีค่า correction = ๐.๐๐๑๕๓°C/ม.ม.  
ของปรอท ดังนั้น จึงไม่ควรจะมองข้ามผลอื่นเนื่องมาจากความดัน สิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ  
ความดันของน้ำตอมน และตอนล่างของหลอดแก้วที่ใช้ในการลอยตัวมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผล  
ต่ออุณหภูมิที่จุดสมมูลของลูกกลอยที่มีความหนาต่าง ๆ อุณหภูมิที่จุดสมมูลของลูกกลอยที่มีความหนา

มาก ๆ อุณหภูมิการลอยตัวของลูกลอย ซึ่งมีลักษณะแบบเดียวกับ I (ในตารางที่ ๓.๑๘) จะเปลี่ยนไปทุก ๆ ๒๐ ซม. ของความลึกของน้ำ ดังนั้น สมดุลย์ของลูกลอย เมื่ออยู่บริเวณตรงกลางของหลอดแก้วที่ใสลอย ค่าของอุณหภูมิการลอยตัวที่สังเกตได้ จะมีค่ามากกว่าสมดุลย์ที่บริเวณตอนบนของหลอดแก้ว  $0.0005^{\circ}\text{C}$  และจะมีค่าน้อยกว่าสมดุลย์ที่บริเวณใกล้กับก้นของหลอดแก้ว  $0.0005^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นควรจะให้ลูกลอยอยู่บริเวณตรงกลางของหลอดแก้วและไม่วางไว้ออกการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ลูกลอยที่มีผนังบางและถูกกักไว้ เคียงกับน้ำจะวางไว้ออกการ เปลี่ยนอุณหภูมิมากกว่าลูกลอยที่ไม่ถูกกัก

เทอร์มอมิเตอร์ที่ใช้ถ้าเป็นแบบ เบคแมน (Beck mann) หรือเทอร์มอมิเตอร์ที่ทำด้วยแก้วแบบอื่น ๆ ความดันจะมีผลต่อเทอร์มอมิเตอร์แบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงควรที่จะแก้ค่าก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้

ถ้าความดันภายนอกเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาตรของกระเปาะของเทอร์มอมิเตอร์เปลี่ยนไป ซึ่งจะเป็นผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น และจะทำให้ความหนาแน่นสูงขึ้น

ปริมาตรของกระเปาะของเทอร์มอมิเตอร์จะลดลง เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ เส้นผ่าศูนย์กลาง และจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของผนังของลูกลอย

จากการทดลองโดยใช้เทอร์มอมิเตอร์แบบต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า ส.ป.ส. ของความดันของเทอร์มอมิเตอร์ ซึ่งมีกระเปาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง ๕ - ๗ มม. จะมีค่า  $0.00037^{\circ}\text{C}/\text{ม.ม.}$  ของปรอท (๒๕) ซึ่งค่าดังกล่าวตรงกับค่าที่สังเกตโดย Richards & Harris (๑๓) ซึ่งพบว่าผลของความดันของเทอร์มอมิเตอร์แบบ เบคแมนมีค่า  $0.00022$  ถึง  $0.00035^{\circ}\text{C}/\text{ม.ม.}$  ของปรอท

Lamb & Lee (๑๔) กล่าวว่าค่าของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเบคแมนเทอร์มอมิเตอร์จะลดลงถ้าความดันเพิ่มขึ้น จากการหา ส.ป.ส. ที่จุดที่ความดันเป็น ๐ จะมีค่ามากกว่าค่าที่แสดงไว้ข้างบน ซึ่งเกิดจากความดันภายใน ซึ่งไม่สามารถจะตัดทิ้งได้ แต่ไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา ถ้าใช้เทอร์มอมิเตอร์ในตำแหน่งเดิมตลอด

ในการใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่ทำจากแก้ว ความแน่นอนของอุณหภูมิห้อง เป็นเรื่องสำคัญ  
 ซึ่งจะได้จากข้อมูลในตารางที่ ๓.๑๕ ซึ่งได้จากรายงานของ Voskuyl (๒๐) ดังนั้น  
 จึงควรที่จะควบคุมอุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  สำหรับงานที่ต้องการความแน่นอน เมื่อใช้  
 ลูกลอยกับตัวอย่างน้ำที่อุณหภูมิอากาศควรที่จะควบคุมอุณหภูมิห้อง เพราะวากูอากาศที่ละลาย  
 อยู่ในน้ำมีค่าเปลี่ยนไปจะทำให้อุณหภูมิที่อ่านได้เปลี่ยนไปด้วยการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่มีอยู่ใน  
 น้ำจะทำให้ค่าความหนาแน่นที่สังเกตได้เปลี่ยนไปด้วย จากตารางที่ ๓.๓

ตารางที่ ๓.๑๗ อุณหภูมิการลอยตัวจะเปลี่ยนไปเนื่องจากอายุของลูกลอย

Float 1		Float 2	
Age of float, hr	Flotation temp, $^{\circ}\text{C}$	Age of float, hr	Flotation temp, $^{\circ}\text{C}$
7	20.410	2	19.884
168	20.304	6	19.852
199	20.293	24	19.807
243	20.280	55	19.786
384	20.262	75	19.770
1632	20.1825	174	19.732
1687	20.1825	292	19.690
1752	20.1815	816	19.602

ตารางที่ ๓.๑๘ ผลของความดันที่มีต่ออุณหภูมิการลอยตัว

Float	Float material	Correction, °c/mm Hg
I	German soft glass	- 0.00041
J	Jena reagent glass	+ 0.00006
M	Jena reagent glass	0.00000
K	Durorobax glass	+ 0.00002

ตารางที่ ๓.๑๙ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องจะมีผลต่ออุณหภูมิการลอยตัว ซึ่งสังเกตได้จากเบคแมนเทอร์โมมิเตอร์

Room temperature	Date	Expt.No.	Beckmann reading
Increasing during day	1-26-43	20	3.516
		21	3.522
		22	3.523
		23	3.530
	1-30-43	34	3.525
		35	3.527
		38	3.529
		41	3.530
Controlled	2-4-43	70	3.521
		73	3.523
		76	3.523
	2-6-43	84	3.524
		87	3.522
		90	3.523