

การทดลองที่ 3 ความร้อนของสารละลาย

วัตถุประสงค์

- 3.1 หาความร้อนของสารละลายของผลึกโซเดียมคลอไรด์
- 3.2 คำนวณพลังงานโครงสร้างผลึกของโซเดียมคลอไรด์โดยอาศัยวงจรรบอร์-ฮาเบอร์และเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากสูตร

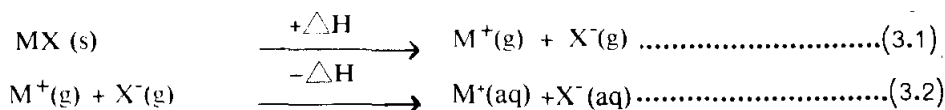
$$\Delta H_{\text{lattice}} = - \frac{N_0 A e^2 Z^2}{(4.184 \times 10^{10}) r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) - 2 RT$$

- 3.3 หาค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์

ทฤษฎี

ความร้อนของสารละลาย (ΔH_1) หมายถึง พลังงานที่ถูกดูดเข้าไปหรือคายออกมาต่อหนึ่งโมลของตัวถูกละลายเมื่อตัวถูกละลายนั้นละลายอยู่ในตัวทำละลายชนิดหนึ่ง ค่าความร้อนของสารละลายเป็นปริมาณที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลาย ดังนั้น จำเป็นต้องทราบจำนวนโมลของตัวทำละลายที่ใช้ละลายตัวถูกละลาย 1 โมลด้วย แต่โดยทั่วไปเรามักสนใจค่าความร้อนของสารละลายที่เจือจางมาก ซึ่งหมายถึงความร้อนที่ได้จากการละลายของตัวถูกละลาย 1 โมล ในตัวทำละลายที่มีปริมาณมากเกินพอ เพราะฉะนั้นกรณีสารละลายเจือจางมาก ความร้อนของสารละลายของตัวถูกละลายต้องเป็นค่าคงที่

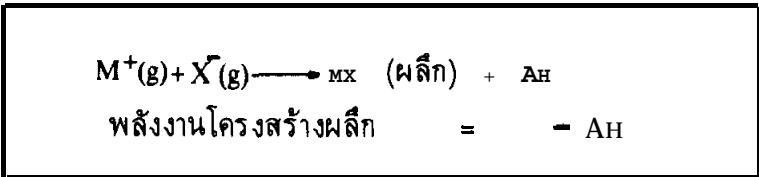
พลังงานที่สังเกตได้นี้เป็นผลรวมของพลังงานที่ได้จากการสร้างพันธะใหม่ระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายและพลังงานที่ต้องใช้ในการสลายพันธะหรือสลายแรงดึงดูดเดิมระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลายและตัวทำละลายกับตัวทำละลาย เพราะฉะนั้นถ้าเรามีสารประกอบไอออนิกที่มีสูตรเป็น $MX(S)$ ละลายในน้ำซึ่งอาจแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ค่าความร้อนของสารละลายในกรณีนี้จะแสดงถึงผลรวมระหว่างพลังงานที่ต้องใช้ในการแตกโครงสร้างผลึก (ΔH ที่มีค่าบวก) กับพลังงานที่ได้จากการล้อมของโมเลกุลน้ำ

การทดลองที่ 3

รอบอ็อน ซึ่งเรียกว่า **พลังงานไฮเดรชัน** (ค่า ΔH เป็นลบ) พลังงานที่ต้องใช้ในการแตกโครงสร้างผลึกมีค่าเท่ากับพลังงานโครงสร้างผลึก (lattice energy ซึ่งในที่นี้เขียนแทนด้วย $\Delta H_{\text{lattice}}$) แต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน ทั้งนี้เพราะเรานิยามค่าพลังงานโครงสร้างผลึก ไว้ว่าหมายถึง พลังงานที่เกิดจากการสร้างผลึก 1 โมล จากอ็อนที่เป็นก๊าซ ดังนี้



ส่วนพลังงานไฮเดรชันนั้นที่จริงแล้วเกิดจากการรวมของพลังงานอีก 2 ชนิด คือ พลังงานที่ต้องใช้สลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายบางตัวกับพลังงานที่ปล่อยมาจากการที่อ็อนของตัวถูกละลายถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลน้ำ แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถหาค่าพลังงานทั้ง 2 ชนิดนี้แยกจากกันได้

ถ้าพลังงานไฮเดรชันมีค่ามากกว่าพลังงานโครงสร้างผลึก (ไม่พิจารณาเครื่องหมาย) จะทำให้ความร้อนของสารละลายมีค่าเป็นลบ แสดงว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบคายความร้อน (exothermic) ถ้าพลังงานไฮเดรชันมีค่าน้อยกว่าพลังงานโครงสร้างผลึก จะทำให้ความร้อนของสารละลายมีค่าเป็นบวก แสดงว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน (endothermic) ตัวอย่างเช่น

สารละลาย เจือจางมาก	พลังงานไฮเดรชัน (กิโลคาลอรีต่อโมล)	พลังงานโครงสร้างผลึก (กิโลคาลอรีต่อโมล)	ความร้อนของสารละลาย (กิโลคาลอรีต่อโมล)
AgF	-222.6	+217.7	-4.9
KCl	-163.5	+167.6	+4.1

แสดงว่า ถ้านำผลึก AgF มาละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ถ้านำผลึก KCl มาละลายน้ำที่มากเกินพอ สารละลายที่ได้จะมีอุณหภูมิลดลง

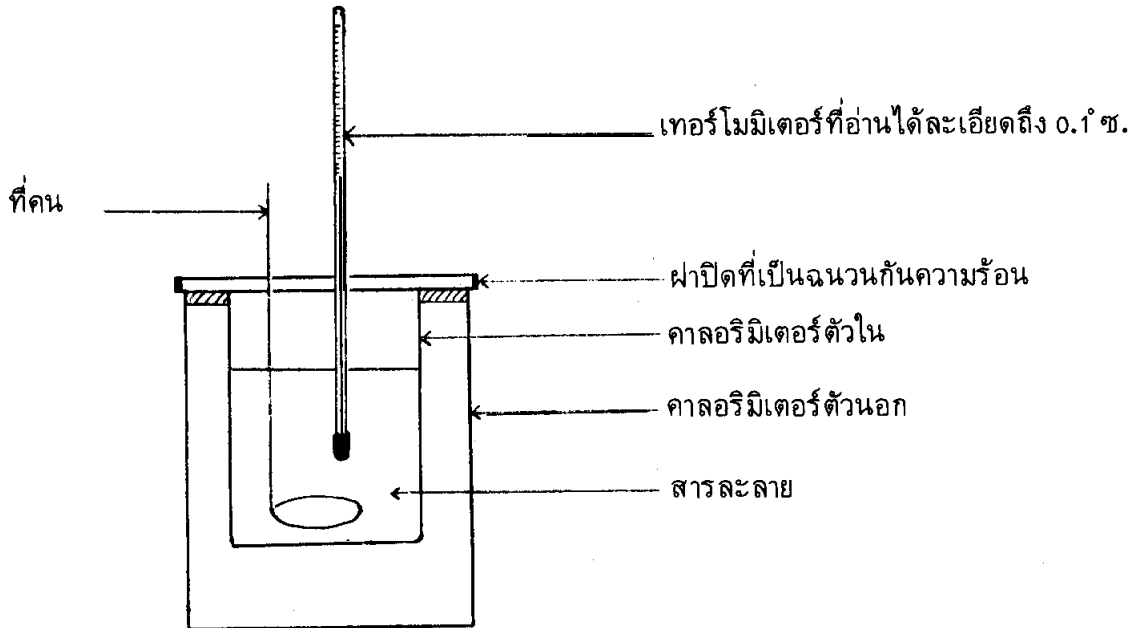
อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความร้อนของสารละลายเป็นปริมาณที่สามารถหาค่าได้ง่ายจากการทดลองโดยใช้เครื่องมือคาลอริมิเตอร์ ดังนั้นเราจึงไม่ต้องณิยหาพลังงานไฮเดรชันและพลังงานโครงสร้างผลึกที่ละส่วนแล้วนำมารวมกัน แต่สามารถหาความร้อนของสารละลายได้โดยตรงจากการทดลอง

คาลอริมิเตอร์

คาลอริมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับหาความร้อนของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ

การทดลองที่ 3

สารละลาย เช่น ความร้อนของสารละลาย ความร้อนของการสะเทินกรด-ด่าง ความร้อนของการสันดาป เป็นต้น คาลอริมิเตอร์อย่างง่ายแสดงได้ดังรูป 3.1



รูป 3.1 แสดงคาลอริมิเตอร์อย่างง่ายแบบหนึ่งที่ใช้หาความร้อนของสารละลาย

เมื่อเติมผลึกของแข็งที่ทราบน้ำหนักแน่นอนลงในคาลอริมิเตอร์ตัวในที่บรรจุน้ำกลั่นซึ่งทราบน้ำหนักแน่นอนเช่นกันอยู่ก่อนแล้วและคนให้ละลาย หากเรารู้ค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์และค่าความร้อนจำเพาะของสารละลายและจากการสังเกตอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้คำนวณหาความร้อนของสารละลายได้ ทั้งนี้เพราะในการคำนวณ เราอาศัยหลักพื้นฐานที่ว่า “ภายในระบบที่เป็นฉนวนกันความร้อน ปริมาณความร้อนที่สูญเสียโดยวัตถุที่อุ่นกว่าต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่วัตถุที่เย็นกว่าได้รับ” โดยทั่วไป ปริมาณความร้อน (ในหน่วยคาลอรี) ที่วัตถุชนิดหนึ่งได้รับเข้ามาหรือสูญเสียออกไป ซึ่งแทนด้วย “q” จะมีค่าเป็นไปตามสมการ (3.3) คือ

$$q = m \times s \times \Delta t \dots \dots \dots (3.3)$$

- เมื่อ m เป็นมวลของวัตถุในหน่วยกรัม
- s เป็นค่าความร้อนจำเพาะของวัตถุ
- Δt เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในหน่วย องศาเซลเซียส.

ค่าความร้อนจำเพาะ เรานิยามไว้ว่า ความร้อนจำเพาะของสารชนิดหนึ่ง หมายถึง ปริมาณความร้อนในหน่วยคาลอรีที่ต้องใช้ทำให้อุณหภูมิของสารนั้น 1 กรัมเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

การทดลองที่ 3

กาน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์ บางทีเรียกว่า “ค่าคงที่ของคาลอริมิเตอร์” หรือ “ความจุความร้อนของคาลอริมิเตอร์” หมายถึง ปริมาณความร้อนในหน่วยคาลอรีที่ต้องใช้ทำให้อุณหภูมิของคาลอริมิเตอร์พร้อมอุปกรณ์ที่จำเป็น (เช่น เทอร์โมมิเตอร์ ที่คน เป็นต้น) เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส

ในที่นี้ เราใช้ไซเดียมคลอไรด์ในสภาพของแข็ง (ผงละเอียด) เป็นตัวถูกละลายในการศึกษาค่าความร้อนของสารละลาย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขณะที่ไซเดียมคลอไรด์ละลายน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบดูดความร้อน ดังนั้น โดยอาศัยหลักพื้นฐานตามที่กล่าวแล้ว จะได้ว่า

ความร้อนที่ไซเดียมคลอไรด์ได้รับ (q)

$$= \text{ความร้อนที่คาลอริมิเตอร์สูญเสีย} + \text{ความร้อนที่สารละลายสูญเสีย}$$

$$\therefore q = MS\Delta t + ms \Delta t \dots \dots \dots (3.4)$$

โดย M = มวลของคาลอริมิเตอร์

S = ความร้อนจำเพาะของคาลอริมิเตอร์

m = มวลของสารละลาย

= มวลของน้ำ + มวลของไซเดียมคลอไรด์

s = ความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 1 คาลอรีต่อองศาต่อกรัม

ให้ W = กาน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์มีค่าเท่ากับ MS ดังนั้นสมการ (3.4) จะกลายเป็น

$$q = (W+m) \Delta t \dots \dots \dots (3.5)$$

เมื่อ Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในหน่วย ๑.

ปริมาณความร้อน (q) ที่คำนวณได้จากสมการ (3.5) นี้เป็นปริมาณความร้อนที่ไซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดได้รับ ถ้าเทียบหาออกมาเป็นปริมาณความร้อนต่อหนึ่งโมลของไซเดียมคลอไรด์ คำตอบที่ได้ก็คือค่าความร้อนของสารละลาย (ΔH_1) นั่นเอง

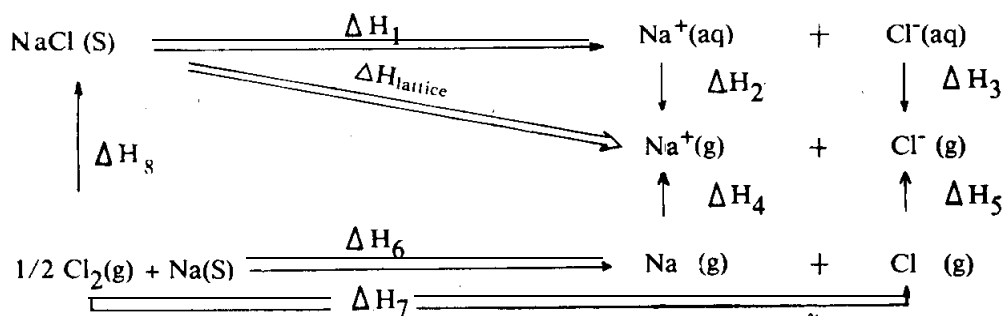
การทดลองเกี่ยวกับคาลอริมิเตอร์นี้ สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปต้องวัดให้ได้ถูกต้องแน่นอนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ กรณีที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีค่าไม่มากนัก เช่น ประมาณ 5 องศาหรือต่ำกว่า เราอาจต้องใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบเบคมันน์ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดมากถึง 0.001๑. แต่ว่าเทอร์โมมิเตอร์แบบนี้ก็มีข้อเสียเหมือนกัน คือ มีค่าความจุความร้อนสูง อาจทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิลดลงหากปริมาณความร้อนที่ออกมาหรือที่ถูกดูดเข้าไประหว่างเกิดปฏิกิริยามีค่าน้อย

การทดลองที่ 3

วงจรบอร์น-ฮาเบอร์

ในการคำนวณหาพลังงานโครงสร้างผลึกนั้น เราไม่สามารถหาค่าได้โดยตรงจากการทดลองเช่นเดียวกับการคำนวณหาความร้อนของสารละลาย ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามเราอาจคำนวณได้โดยอาศัยวงจรบอร์น-ฮาเบอร์ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานโครงสร้างผลึกกับปริมาณทางเคมีความร้อนอื่น ๆ ที่รู้ค่า วงจรบอร์น-ฮาเบอร์เป็นวงจรที่แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเคมีอันหนึ่งหรือขบวนการทางกายภาพอันหนึ่งประกอบด้วยขั้นตอนอย่างง่ายต่าง ๆ กันอย่างไร ใช้สำหรับคำนวณหาความร้อนของขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือของทั้งขบวนการก็ได้ คิดโดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน ชื่อ แมกซ์ บอร์น กับ ฟรีดริช ฮาเบอร์ ในปี ค.ศ.1919 ซึ่งทั้งสองท่านได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับ กฎของเฮสส์ (คิดโดย จี.เฮสส์ ในปี ค.ศ.1840) ที่กล่าวไว้ว่า "การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของปฏิกิริยาเคมีอันหนึ่งมีค่าคงที่เสมอไม่ว่าปฏิกิริยาจะเกิดแบบขั้นตอนเดียวหรือหลายขั้นตอนก็ตาม" โดยนัยนี้ เราสามารถรวมค่าความร้อนของปฏิกิริยาได้แบบพีซคณิต

วงจรบอร์น-ฮาเบอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณหาพลังงานโครงสร้างผลึกของโซเดียมคลอไรด์ แสดงได้ด้วยแผนภาพดังต่อไปนี้



- ΔH_1 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากการละลาย NaCl (s) ในน้ำมีค่าเท่ากับความร้อนของสารละลายซึ่งหาได้จากการทดลอง
- ΔH_2 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากการที่โซเดียมไอออนซึ่งถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลน้ำเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมไอออนในสภาพก๊าซ
- ΔH_3 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากการที่คลอรีนไอออนซึ่งถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลน้ำเปลี่ยนไปเป็นคลอรีนไอออนในสภาพก๊าซ
- ΔH_4 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากการที่ $\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g})$ มีค่าเท่ากับพลังงานไอออไนเซชัน (I) ของโซเดียมอะตอม
- ΔH_5 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีเนื่องจากการที่ $\text{Cl(g)} \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$ มีค่าเท่ากับค่าลบของค่าอิเล็กตรอนแอฟฟิเนที (-E) ของคลอรีนอะตอม

การทดลองที่ 3

ΔH_6 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีเนื่องจากการที่โซเดียมอะตอมในสภาพของแข็งเปลี่ยนไปเป็นโซเดียมอะตอมในสภาพก๊าซ มีค่าเท่ากับความร้อนของการระเหิด (L_s) ของโซเดียมอะตอม

ΔH_7 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีเนื่องจากการที่คลอรีนโมเลกุลในสภาพก๊าซเปลี่ยนไปเป็นคลอรีนอะตอมในสภาพก๊าซมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของพลังงานสลายพันธะ ($\frac{1}{2}D$) ของคลอรีนโมเลกุล

ΔH_8 คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีเนื่องจากการที่ $\frac{1}{2}Cl_2(g) + Na(s) \rightarrow NaCl(s)$ มีค่าเท่ากับความร้อนของการเกิดสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ (ΔH_f°)

$\Delta H_{lattice}$ คือ พลังงานโครงสร้างผลึกของโซเดียมคลอไรด์

จากการพิจารณาวงจรบอร์น-ฮาเบอร์ดังกล่าวและอาศัยกฎของเฮสส์ จะได้ว่า

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 - \Delta H_4 - \Delta H_5 - \Delta H_6 - \Delta H_7 + \Delta H_8 = 0 \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\text{และ } \Delta H_{lattice} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 \dots\dots\dots(3.7)$$

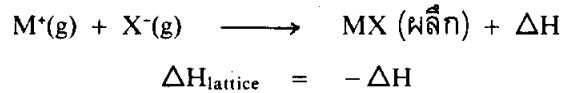
จากสมการ (3.6) สามารถคำนวณ ΔH_1 ได้เมื่อทราบค่า ΔH_2 จนถึง ΔH_8 สำหรับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของผลึกโซเดียมคลอไรด์ในขั้นตอนต่าง ๆ ได้กำหนดไว้ดังนี้

ΔH_2	=		=	96.7	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_3	=		=	86.9	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_4	=	I	=	118	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_5	=	-E	=	-87	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_6	=	L_s	=	26	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_7	=	$\frac{1}{2}D$	=	29	กิโลคาลอรีต่อโมล
ΔH_8	=	ΔH_f°	=	-98	กิโลคาลอรีต่อโมล

การทดลองที่ 3

พลังงานโครงสร้างผลึก

พลังงานโครงสร้างผลึกเป็นพลังงานที่ใช้ยึดไอออนบวกและไอออนลบในสารประกอบของผลึกไอออนิกหรือพหุคูณหนึ่งได้ว่าเป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาเมื่อไอออนก๊าซที่มีประจุต่างกันมารวมกันเป็น 1 โมลของผลึกไอออนิก ดังตัวอย่าง



พลังงานโครงสร้างผลึกของสารประกอบไอออนิกสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta H_{\text{lattice}} = - \frac{N_0 A e^2 Z^2}{(4.184 \times 10^{10}) r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) + \Delta n RT \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

- เมื่อ $\Delta H_{\text{lattice}}$ = พลังงานโครงสร้างผลึกของสารประกอบไอออนิกในหน่วย กิโลแคลอรีต่อโมล
- E_c = พลังงานภายในโครงสร้างผลึกของสารประกอบไอออนิกในหน่วย กิโลแคลอรีต่อโมล
- $$= - \frac{N_0 A e^2 Z^2}{(4.184 \times 10^{10}) r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$
- Δn = $\Sigma_{\text{pnp}}(g) - \Sigma_{\text{nrn}}(g)$
- เมื่อ $n_p(g)$ และ $n_r(g)$ คือจำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ (g) และสารตั้งต้น (g) ตามลำดับ สำหรับ NaCl มีค่า $\Delta n = -2$
- R = ค่าคงที่ของก๊าซมีค่าเท่ากับ 1.987 แคลอรี/เคลวิน โมล
- T = อุณหภูมิคงที่ที่ทำการทดลองในหน่วยเคลวิน
- N_0 = ค่าคงที่อาโวกาโดร ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.023×10^{23} ต่อโมล
- A = ค่าคงที่มาเดสซิง (สำหรับ NaCl, A = 1.748)
- e = ประจุของอิเล็กตรอนเท่ากับ 4.803×10^{-10} e.s.u.
- Z = ประจุของไอออน (สำหรับ NaCl, Z = 1)
- r_0 = ระยะห่างระหว่างนิวเคลียสของไอออนทั้งสองในผลึก (สำหรับ NaCl, $r_0 = 2.811 \times 10^{-8}$ ซม.)
- n = แฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแรงผลึกในผลึก (สำหรับ NaCl, n = 8)

การทดลองที่ 3

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์หลัก		สารเคมี
ชุดกาลอริมิเตอร์	1 ชุด	โซเดียมคลอไรด์
เครื่องชั่งแบบ 2 จาน	1 เครื่อง	น้ำกลั่น
ปิเกอร์ขนาด 50 ลบ.ซม.	3 ใบ	
ปิเกอร์ขนาด 250 ลบ.ซม.	1 ใบ	
กระบอกตวงขนาด 100 ลบ.ซม.	1 อัน	
เทอร์โมมิเตอร์ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1°ซ.	2 อัน	
เตาไฟฟ้า	1 เต้า	

วิธีทดลอง

ตอน ก. หาค่าน้ำสมมูลของกาลอริมิเตอร์

- 3.1 ชั่งหาน้ำหนักของกาลอริมิเตอร์ตัวในที่แห้งพร้อมที่คน
- 3.2 เติมน้ำกลั่น 50 ลบ.ซม ลงในกาลอริมิเตอร์ตัวในแล้วนำไปชั่งพร้อมที่คน
- 3.3 ตั้งทิ้งไว้จนกว่าอุณหภูมิของน้ำคงที่ บันทึกไว้เป็นค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเย็น นำกาลอริมิเตอร์ตัวในใส่ลงในกาลอริมิเตอร์ตัวนอกที่แห้ง
- 3.4 ต้มน้ำกลั่นต่างหากอีก 50 ลบ.ซม ให้มีอุณหภูมิประมาณ 45°ซ. ขณะที่ต้มให้ใช้เทอร์โมมิเตอร์อีกอันหนึ่งคนไปด้วยอย่างเบา ๆ บันทึกค่าอุณหภูมิที่แน่นอนของน้ำร้อน
- 3.5 เริ่มจับเวลาแล้วรีบเทน้ำร้อนทั้งหมดลงในกาลอริมิเตอร์ที่มีน้ำเย็นอยู่แล้วจากข้อ 3.3
- 3.6 ปิดฝาทันที แล้วคนเบา ๆ ตลอดเวลา
- 3.7 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที จนกว่าครบ 5 นาที เลือกค่าที่อ่านได้ซ้ำมากที่สุดเป็นอุณหภูมิผสมหรืออุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย
- 3.8 นำกาลอริมิเตอร์ตัวในที่ยังคงมีน้ำบรรจุอยู่พร้อมที่คนไปชั่งอีกครั้งหนึ่ง

หมายเหตุ : นักศึกษาควรทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งจนกว่าจะได้ค่าน้ำสมมูลของกาลอริมิเตอร์ที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ตอน ข. หาคำความร้อนของสารละลายของผลึกโซเดียมคลอไรด์

- 3.9 ชั่งหาน้ำหนักของกาลอริมิเตอร์ตัวในที่แห้งพร้อมที่คน
- 3.10 เติมน้ำกลั่น 100 ลบ.ซม ลงในกาลอริมิเตอร์ตัวใน แล้วนำไปชั่งพร้อมที่คน

การทดลองที่ 3

- 3.11 ตั้งทิ้งไว้จนกว่าอุณหภูมิของน้ำค้างที่ บันทึกไว้เป็นค่า *อุณหภูมิเริ่มต้น* ของสารละลาย น้ำกาลอริมิเตอร์ตัวในใส่ลงในกาลอริมิเตอร์ตัวนอกที่แห้ง
- 3.12 ชั่งโซเดียมคลอไรด์ให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 8 กรัม
- 3.13 เริ่มจับเวลาแล้วรีบเทโซเดียมคลอไรด์ทั้งหมดจากข้อ 3.12 ลงในกาลอริมิเตอร์ตัวใน ที่มีน้ำบรรจุอยู่แล้ว
- 3.14 ปิดฝาทันที แล้วคนเบา ๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา
- 3.15 บันทึกค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนทุก 30 วินาที จนกว่าได้อุณหภูมิที่มีค่าสม่ำเสมอเป็น *อุณหภูมิตสุดท้าย* ของสารละลาย
- 3.16 ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนน้ำหนักโซเดียมคลอไรด์เป็น 9 กรัม และ 10 กรัม ตามลำดับ

การวิเคราะห์ผล

ตอน ก. การคำนวณหาค่านำสมมูลของกาลอริมิเตอร์ (W หรือ MS) ยังคงอาศัยหลักพื้นฐานที่ว่า “ภายในระบบที่เป็นฉนวนกันความร้อน ปริมาณความร้อนที่สูญเสียโดยวัตถุที่อุ่นกว่า ต้องมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนที่วัตถุเย็นกว่าได้รับ” ซึ่งในที่นี้เราได้ว่า
ความร้อนที่ลดลงของน้ำร้อน = ความร้อนที่เพิ่มขึ้นของกาลอริมิเตอร์ + ความร้อนที่เพิ่มขึ้นของน้ำเย็น
ปริมาณความร้อนที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นนี้ คำนวณได้โดยใช้สมการ (3.3) และให้ถือว่า ความร้อนจำเพาะของสารละลายสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1 คาลอรีต่อองศาต่อกรัม

ตอน ข. การหาความร้อนของสารละลาย ให้คำนวณปริมาณความร้อนที่โซเดียมคลอไรด์ ทั้งหมดได้รับหรือดูดเข้าไปเสียก่อนโดยใช้สมการ (3.5) ต่อจากนั้นจึงเทียบหาปริมาณความร้อนต่อ 1 โมล ของโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นค่าความร้อนของสารละลายตามที่ต้องการ (ΔH_1) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่า ΔH_1 ที่คำนวณได้จากวงจรรบอร์น-ฮาเบอร์ โดยอาศัยสมการ 3.6 เมื่อทราบค่า ΔH_2 จนถึง ΔH_8

ตอน ค. การคำนวณหาพลังงานโครงสร้างผลึก

นำค่า ΔH_1 ที่ได้จากการทดลองไปแทนค่าในสมการ 3.7 เมื่อทราบค่า ΔH_2 และ ΔH_3 เพื่อคำนวณพลังงานโครงสร้างผลึก จากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับ $\Delta H_{\text{lattice}}$ ที่คำนวณจากสมการ 3.8

การทดลองที่ 3

คำถาม

- 3.1 จงให้นิยามคำว่า “1 แคลอรี”
- 3.2 จงอธิบายคำว่า ค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์
- 3.3 ความร้อนของสารละลายของผลึกโซเดียมคลอไรด์ที่คำนวณได้จากการทดลองครั้งนี้ เป็นค่าคงที่หรือไม่ เพราะเหตุใด
- 3.4 ในการทดลอง ถ้าด้านนอกของแคลอรีมิเตอร์ตัวในเปียกน้ำ ผลจะเป็นอย่างไร

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 3
เรื่อง ความร้อนของสารละลาย

ชื่อนักศึกษา 1 รหัสประจำตัว.....
 2. รหัสประจำตัว.....
 3. รหัสประจำตัว.....**.....a
 กรุป..... ตอนที่*.....a
 วันที่ทำการทดลอง.....
 อุณหภูมิห้อง.....องศาเซลเซียส ความดันห้อง.....น้ำปรอท

ตอน ก. หาค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์

น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน	=	กรัม
น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน+น้ำเย็น	=	กรัม
น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน+น้ำเย็น+น้ำร้อน	=	กรัม
อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเย็น	=	°ซ.
อุณหภูมิของน้ำร้อน	=	°ซ.
อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย	=	°ซ.

เวลา (วินาที)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
อุณหภูมิ (°ซ.)										

ค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์ =

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 3
เรื่อง ความร้อนของสารละลาย

ชื่อนักศึกษา..... รหัสประจำตัว.....
 ชื่อผู้ร่วมงาน 1. รหัสประจำตัว.....
 2. รหัสประจำตัว.....
 กริฟ..... ตอนที่.....
 วันที่ทำการทดลอง.....
 อุณหภูมิห้อง..... องศาเซลเซียส ความดันห้อง..... นิ้วปรอท

ตอน ก. หาค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์

น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน = กรัม
 น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน+น้ำเย็น = กรัม
 น้ำหนักคาลอริมิเตอร์ตัวในพร้อมที่คน+น้ำเย็น+น้ำร้อน = กรัม
 อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเย็น = °ซ.
 อุณหภูมิของน้ำร้อน = °ซ.
 อุณหภูมิสุดท้ายของสารละลาย = °ซ.

เวลา (วินาที)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
อุณหภูมิ (°ซ.)										

ค่าน้ำสมมูลของคาลอริมิเตอร์ =

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 3 (ต่อ)
เรื่อง ความร้อนของสารละลาย

กรุป.....

ตอนที่.....

ตอน ข. หาคความร้อนของสารละลาย

รายการข้อมูล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นน. NaCl (กรัม)			
นน. น้ำกลั่น (กรัม)			
อุณหภูมิเริ่มต้น (ซ.)			
อุณหภูมิที่อ่านได้ ทุก 30 วินาที (ซ.)			
อุณหภูมิสุดท้าย (ซ.)			
Δt (ซ.)			

ใบรายการข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 3 (ต่อ)
เรื่อง ความร้อนของสารละลาย

กรัฟ.....

ตอนที่.....

ตอน ข. หาคความร้อนของสารละลาย

รายการข้อมูล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
นน.NaCl (กรัม)			
นน.น้ำกลั่น (กรัม)			
อุณหภูมิเริ่มต้น (ซ.)			
อุณหภูมิที่อ่านได้ ทุก 30 วินาที (ซ.)			
อุณหภูมิสุดท้าย (ซ.)			
$\therefore \Delta t$ (ซ.)			