ใบความรู้เรื่อง
ทฤษฎีกรด-เบส

ในการที่จะให้นิยามของกรด-เบส และในการจำแนกสารต่างๆ ว่าเป็นกรดหรือเบสนั้น ได้มีนักวิทยาศาสตร์ ได้ศึกษาและตั้งทฤษฎีกรด-เบส ขึ้นหลายทฤษฎีด้วยกัน ทฤษฎีกรด-เบสที่สำคัญมีดังนี้

1. ทฤษฎีกรด-เบสของอาร์เรเนียส

อาร์เรเนียส เป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ได้ตั้งทฤษฎีกรด-เบส ในปี ค.ศ. 1887 (พ.ศ. 2430) อาร์เรเนียสศึกษาสารที่ละลายน้ำ (Aqueous solution) และการนำไฟฟ้าของสารละลายนั้น เขาพบว่าสารอิเล็กโทรไลต์จะแตกตัวเป็นไอออน เมื่อละลายอยู่ในน้ำ และให้นิยามกรดไว้ว่า

“กรด คือ สารที่เมื่อละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน” เช่น

$HCl\ (g) \xrightarrow{H_2O} H^+\ (aq) + Cl^-\ (aq)$

$HClO_4(l) \xrightarrow{H_2O} H^+\ (aq) + ClO_4^-\ (aq)$

$CH_3COOH\ (l) \xrightarrow{H_2O} H^+\ (aq) + CH_3COO^-\ (aq)$

$H_2SO_4\ (l) \xrightarrow{H_2O} H^+\ (aq) + SO_4^{2-}\ (aq)$

$H_2CO_3\ (l) \xrightarrow{H_2O} H^+\ (aq) + HCO_3^-\ (aq)$

“เบสคือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน” เช่น

$NaOH\ (s) \xrightarrow{H_2O} Na^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$

$Ca(OH)_2\ (s) \xrightarrow{H_2O} Ca^{2+}\ (aq) + 2OH^-\ (aq)$

$KOH\ (s) \xrightarrow{H_2O} K^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$

$NH_4OH\ (l) \xrightarrow{H_2O} NH_4^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$

ข้อจำกัดของทฤษฎีกรด-เบส อาร์เรเนียส

- ทฤษฎีกรด-เบส อาร์เรเนียส จะเน้นเฉพาะการแตกตัวในน้ำ ให้เป็น H^+ และ OH^- ไม่รวมถึงตัวทำละลายอื่นๆ ทำให้อธิบายความเป็นกรด-เบสได้จำกัด
- สารที่จะเป็นกรดได้ต้องมี H^+ อยู่ในโมเลกุล และสารที่จะเป็นเบสได้ก็ต้องมี OH^- อยู่ในโมเลกุล

2. ทฤษฎีกรด-เบส ของเบรินสเตต-เลารี

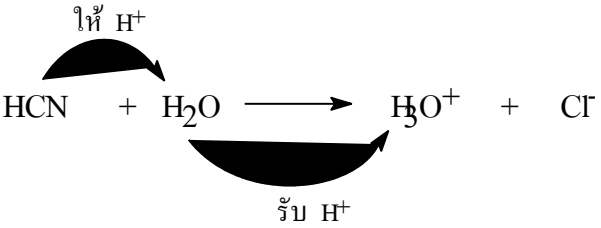
โจฮันส์ นิโคลัส เบรินสเตต นักเคมีชาวเดนมาร์ก และ โทมัส มาร์ติน ลาวรี นักเคมีชาวอังกฤษ ได้ศึกษาการให้และรับโปรตอนของสาร เพื่อใช้ในการอธิบายและจำแนกกรด-เบสได้กว้างขึ้น และได้ตั้งทฤษฎีกรด-เบสขึ้นในปี ค.ศ.1923 (พ.ศ.2466)

กรด คือ สารที่สามารถให้โปรตอนกับสารอื่นๆ ได้ (Proton donor)

เบส คือ สารที่สามารถรับโปรตอนจากสารอื่นได้ (Proton acceptor)

พิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้

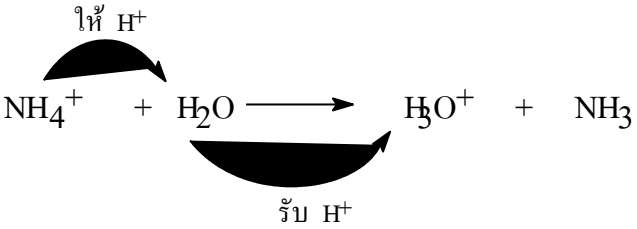
1.



HCl เป็นสารที่ให้โปรตอน (H^+) ดังนั้น HCl จึงเป็นกรด

H_2O เป็นสารที่รับโปรตอน (H^+) ดังนั้น H_2O จึงเป็นเบส

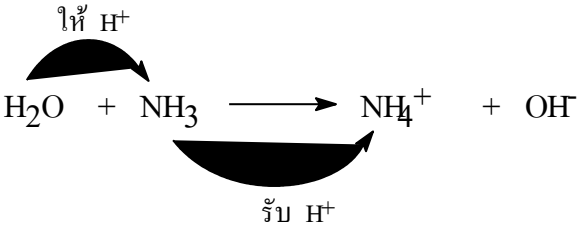
2.



NH_4^+ เป็นสารที่ให้โปรตอน (H^+) ดังนั้น NH_4^+ จึงเป็นกรด

H_2O เป็นสารที่รับโปรตอน (H^+) ดังนั้น H_2O จึงเป็นเบส

3.

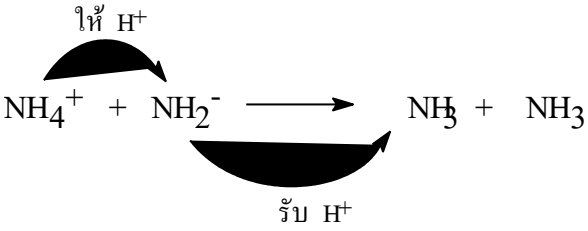


H_2O เป็นสารที่ให้โปรตอน (H^+) ดังนั้น H_2O จึงเป็นกรด

NH_3 เป็นสารที่รับโปรตอน (H^+) ดังนั้น NH_3 จึงเป็นเบส

จากปฏิกิริยาทั้ง 3 ปฏิกิริยา จะมีสารที่ให้และรับโปรตอนในแต่ละปฏิกิริยา และมี H_3O^+ และ OH^- เกิดขึ้น แต่บางปฏิกิริยาอาจจะไม่มีสารทั้งสองชนิดนี้เลย ทฤษฎีนี้ก็ยังคงอธิบายได้ เช่น

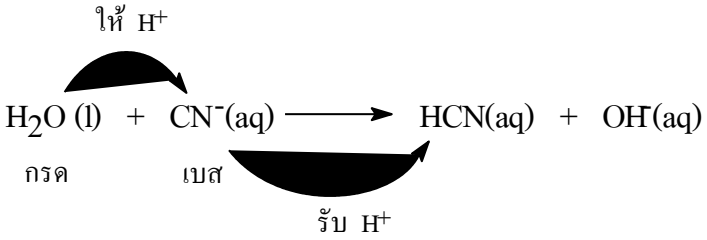
4.



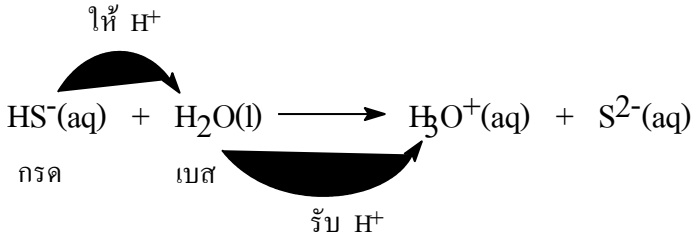
NH_4^+ เป็นกรด NH_2^- เป็นเบส

ตัวอย่างอื่นๆ ได้แก่

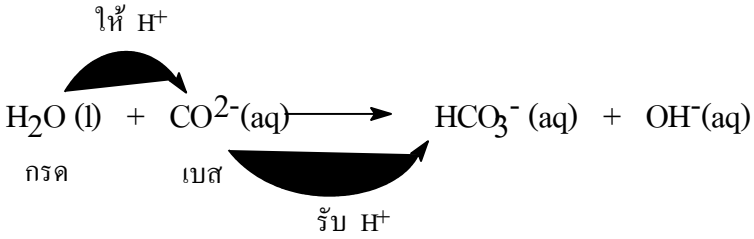
5.



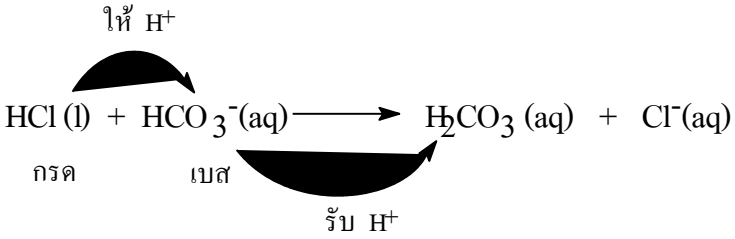
6.



7.



8.



ข้อจำกัดของทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตต-ลาวรี

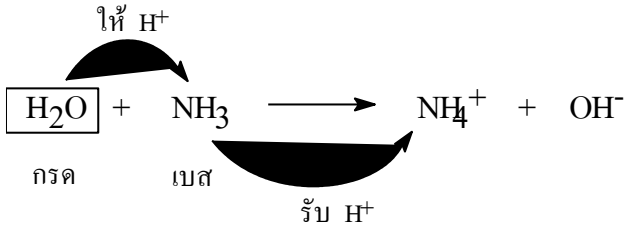
ทฤษฎีกรด-เบสของเบรินสเตต-ลาวรี ใช้อธิบายสมบัติของกรด-เบส ได้กว้างกว่าทฤษฎีของอาร์เรเนียส แต่ยังมีข้อจำกัดคือ สารที่จะทำหน้าที่เป็นกรดจะต้องมีโปรตอนอยู่ในสารนั้น

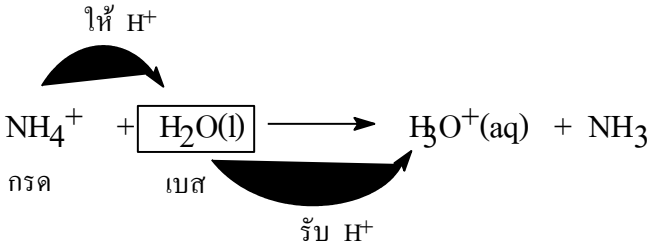
สารที่เป็นได้ทั้งกรดและเบส

(Amphoteric)

สารบางตัวทำหน้าที่เป็นทั้งกรด เมื่อทำปฏิกิริยากับสารตัวหนึ่ง และทำหน้าที่เป็นเบส เมื่อทำปฏิกิริยากับอีกสารหนึ่ง นั่นคือเป็นได้ทั้งกรดและเบส สารที่มีลักษณะนี้เรียกว่า สารเอมโพเทอริก(Amphoteric) เช่น H_2O , HCO_3^- เป็นต้น

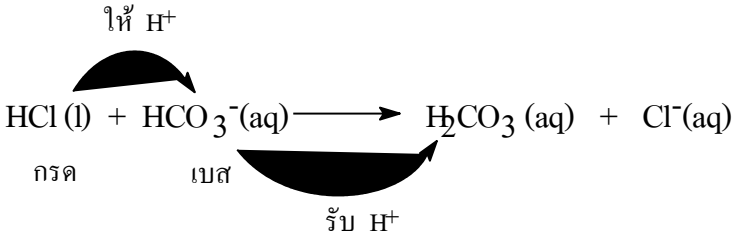
กรณีของ H_2O

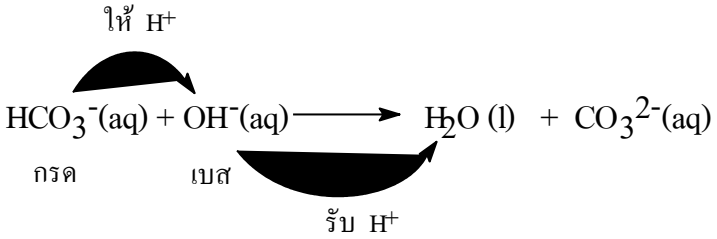




ในกรณีนี้ H_2O เป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับ NH_3 และเป็นเบสเมื่อทำปฏิกิริยากับ NH_4^+

กรณีของ HCO_3^-





ในกรณีนี้ HCO_3^- เป็นเบสเมื่อทำปฏิกิริยากับ HCl และเป็นกรดเมื่อทำปฏิกิริยากับ OH^-

ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่า สารที่เป็นเอมโฟเทอริก ถ้าทำปฏิกิริยากับสารที่ให้โปรตอนได้ดีกว่า ตัวมันเองจะรับโปรตอน (ทำหน้าที่เป็นเบส) แต่ถ้าไปทำปฏิกิริยากับสารที่ให้โปรตอนได้ไม่ดี ตัวมันเองจะเป็นตัวให้โปรตอนกับสารนั้น (ทำหน้าเป็นกรด)

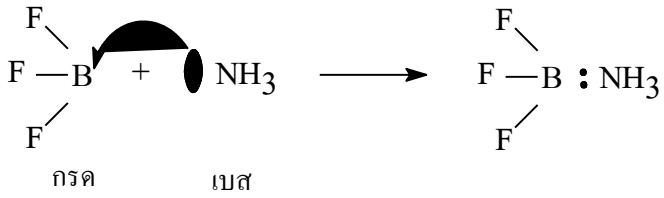
3. ทฤษฎีกรด-เบสของลิวอีส

ในปี ค.ศ. 1923 (พ.ศ. 2466) ลิวอีสได้เสนอนิยามของกรดและเบสดังนี้

กรด คือ สารที่สามารถรับอิเล็กตรอนคู่ จากเบส แล้วเกิดพันธะโคเวเลนต์

เบส คือ สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่ในการเกิดพันธะโคเวเลนต์

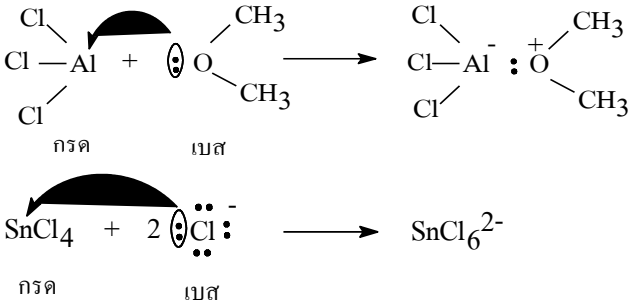
ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ตามทฤษฎีนี้ อธิบายในเทอมที่มีการใช้อิเล็กตรอนคู่ร่วมกัน กรดรับอิเล็กตรอนเรียกว่าเป็น Electrophile และเบสให้อิเล็กตรอนเรียกว่าเป็น Nucleophile และตามทฤษฎีนี้สารที่เป็นเบสต้องมีอิเล็กตรอนคู่อิสระ เช่น

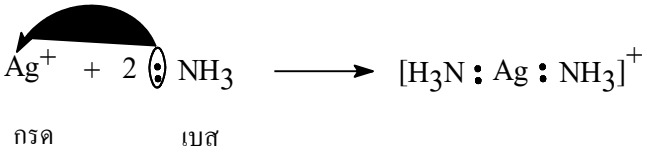


ในกรณีนี้ NH_3 เป็นเบส มีอิเล็กตรอนคู่ 1 คู่ จะให้อิเล็กตรอนคู่กับกรดในการเกิดพันธะโคเวเลนต์ และ BF_3 รับอิเล็กตรอนจาก NH_3 BF_3 จึงเป็นกรด

ทฤษฎีของลิวอิสนี้มีข้อดีคือ สามารถจำแนกกรด-เบส ที่ไม่มีทั้ง H หรือ OH^- ในสารนั้น และแม้ว่าสารนั้นไม่ได้อยู่ในรูปสารละลาย แต่อยู่ในสถานะก๊าซก็สามารถใช้ทฤษฎีลิวอิสอธิบายความเป็นกรดเบสได้

ตัวอย่างอื่นๆ เช่น





ตัวอย่างที่ 4 ปฏิกิริยาต่อไปนี้ สารตั้งต้นใดทำหน้าที่เป็นกรด สารใดทำหน้าที่เป็นเบสตามทฤษฎีของอาร์เรเนียส

ก. HSO_4^- (aq) + H_2O (l) $\rightleftharpoons$ SO_4^{2-} + H_3O^+

ข. LiOH (s) $\xrightleftharpoons{H_2O}$ Li^{2+} + OH^-

ค. H_2O + H_2O $\rightleftharpoons$ H_3O^+ + OH^-

วิธีทำ

ก. HSO_4^- (aq) + H_2O (l) $\rightleftharpoons$ SO_4^{2-} + H_3O^+

HSO_4^- ให้ H^+ ในน้ำ HSO_4^- ทำหน้าที่เป็นกรด

ข. LiOH (s) เป็นเบสเพราะ แตกตัวให้ OH^- ในน้ำ

ค. H_2O เป็นทั้งกรดและเบส โมเลกุลหนึ่งให้ H_3O^+ (เป็นกรด) อีกโมเลกุลหนึ่งแตกตัวให้ OH^- (เป็นเบส)

ตัวอย่างที่ 5 ในปฏิกิริยาต่อไปนี้ HCO_3^- ไอออนทำหน้าที่เป็นกรดในปฏิกิริยาใด

ก. HCO_3^- (aq) + H_2O (l) $\rightleftharpoons$ H_2CO_3 (aq) + OH^- (aq)

ข. HCO_3^- (aq) + OH^- (aq) $\rightleftharpoons$ H_2O (l) + CO_3^{2-} (aq)

ค. HCO_3^- (aq) + HSO_4^- (aq) $\rightleftharpoons$ H_2CO_3 (aq) + SO_4^{2-} (aq)

ง. HCO_3^- (aq) + CH_3COOH (aq) $\rightleftharpoons$ H_2O (l) + CO_2 (g) + CH_3COO^- (aq)

วิธีทำ

ก. HCO_3^- (aq) ไม่ใช่กรด แต่เป็นเบสเพราะรับ H^+

ข. HCO_3^- (aq) เป็นกรด เพราะให้ H^+ กับ OH^-

ค. HCO_3^- (aq) เป็นเบส เพราะรับ H^+

ง. HCO_3^- (aq) เป็นเบส เพราะรับ H^+ จาก CH_3COOH (aq) ได้ H_2O (l) + CO_2 (g)

ตัวอย่างที่ 6 สารต่อไปนี้ ข้อใดทำหน้าที่ได้ทั้งกรดและเบส

ก. $HC_2O_4^{2-}$

ข. CO_3^{2-}

ค. CN^-

ง. HSO_4^-

เฉลย

ข้อ ก และ ง เป็นได้ทั้งกรดและเบส เพราะสามารถให้ และรับ H^+ ได้

ข้อ ข และ ค. เป็นเบสได้เพียงอย่างเดียว เพราะให้โปรตอนไม่ได้เนื่องจากไม่มี H แต่สามารถรับโปรตอนได้ กลายเป็น HCO_3^- และ HCN ตามลำดับ