

## บทที่ 12 นิวเคลียส

ก่อนที่จะแนะนำให้อธิบายโครงสร้างภายในอะตอม คือ นิวเคลียส เราควรจะรู้สี่อนุภาคทางฟิสิกส์บางชนิดที่จะใช้ในบทนี้ก่อน

อิเล็กตรอน เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก มีมวล  $9.1 \times 10^{-31}$  กิโลกรัม มีประจุเป็นลบ ซึ่งมีขนาด  $1.6 \times 10^{-10}$  คูลอมป์

โปรตอน เป็นอนุภาคที่มีประจุเท่ากับอิเล็กตรอน แต่เครื่องหมายตรงกันข้าม คือโปรตอนมีประจุเป็นบวก แต่โปรตอนมีมวลประมาณสองพันเท่าของมวลของอิเล็กตรอน (โปรตอนมีมวล 1836.1 เท่าของอิเล็กตรอน)

นิวตรอน เป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ หรือมีประจุเป็นศูนย์ นิวตรอนมีมวลประมาณเท่ากับโปรตอน (นิวตรอนมีมวลเป็น 1838.6 เท่าของอิเล็กตรอน)

โปรตอนและนิวตรอน จะรวมกันอยู่ที่นิวเคลียส จึงมีชื่อเรียกทั้งโปรตอนและนิวตรอนว่านิวคลีออน (nucleon)

แกมมา (gamma) ไม่มีประจุ และมวลเป็นศูนย์ จึงทำให้ไม่มีแรงโน้มถ่วงและแรงไฟฟ้ากระทำกับมัน แกมมาจึงเป็นรังสีที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง

เบตา (beta) คือ อิเล็กตรอน ซึ่งมีทั้งประจุ และมวล เหมือนอิเล็กตรอน เมื่อเบตามีทั้งมวลและประจุ มันจึงอยู่ภายใต้ทั้งแรงดึงดูดระหว่างมวล และแรงระหว่างประจุ ดังนั้น เบตาจึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยกว่าแกมมา

แอลฟา (alpha) เป็นอนุภาคที่ประกอบด้วย โปรตอนสองตัว และนิวตรอนสองตัว ดังนั้นแอลฟาจึงมีประจุเป็นสองเท่าของโปรตอน และมีมวลประมาณสี่เท่าของโปรตอน แรงที่กระทำกับแอลฟาจึงมีมากกว่าแรงที่กระทำกับเบตา แอลฟาจึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแกมมาและเบตา

เราได้กล่าวแล้วว่า นิวเคลียสมีขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของอะตอมคือเล็กกว่าอะตอมประมาณหนึ่งหมื่นเท่า ในนิวเคลียสจะเป็นที่อยู่ของอนุภาคสองชนิด คือโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งรวมเรียกว่า นิวคลีออน

## สัญลักษณ์แทนนิวเคลียส

สัญลักษณ์ที่เขียนแทนนิวเคลียสของธาตุ คือ

Z หมายถึง ตัวเลขแสดงจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส

A หมายถึง ตัวเลขแสดงจำนวนโปรตอนกับนิวตรอนในนิวเคลียส หรือ  
หมายถึง ตัวเลขแสดงจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียสนั้นเอง

X คือ สัญลักษณ์ ซึ่งเป็นตัวอักษรหนึ่งตัว หรือสองตัวอักษร เป็นตัวย่อแทนชื่อธาตุ  
ตามปกติ เมื่อรู้ค่า Z ก็รู้ว่า X คืออะไร หรือ ถ้าเราไปเปิดตารางธาตุ เราก็จะรู้ว่า X  
คือหมายเลขธาตุที่เท่าไร

ตัวอย่างของสัญลักษณ์แทนธาตุและความหมายของสัญลักษณ์

$^1_1\text{H}$  คือ นิวเคลียสของไฮโดรเจน ซึ่งมีโปรตอนเพียงตัวเดียว  
ดังนั้น  $Z = 1$  และ  $A = 1$

$^4_2\text{He}$  คือ นิวเคลียสของฮีเลียม มีโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว  
ดังนั้น  $Z = 2$  และ  $A = 4$

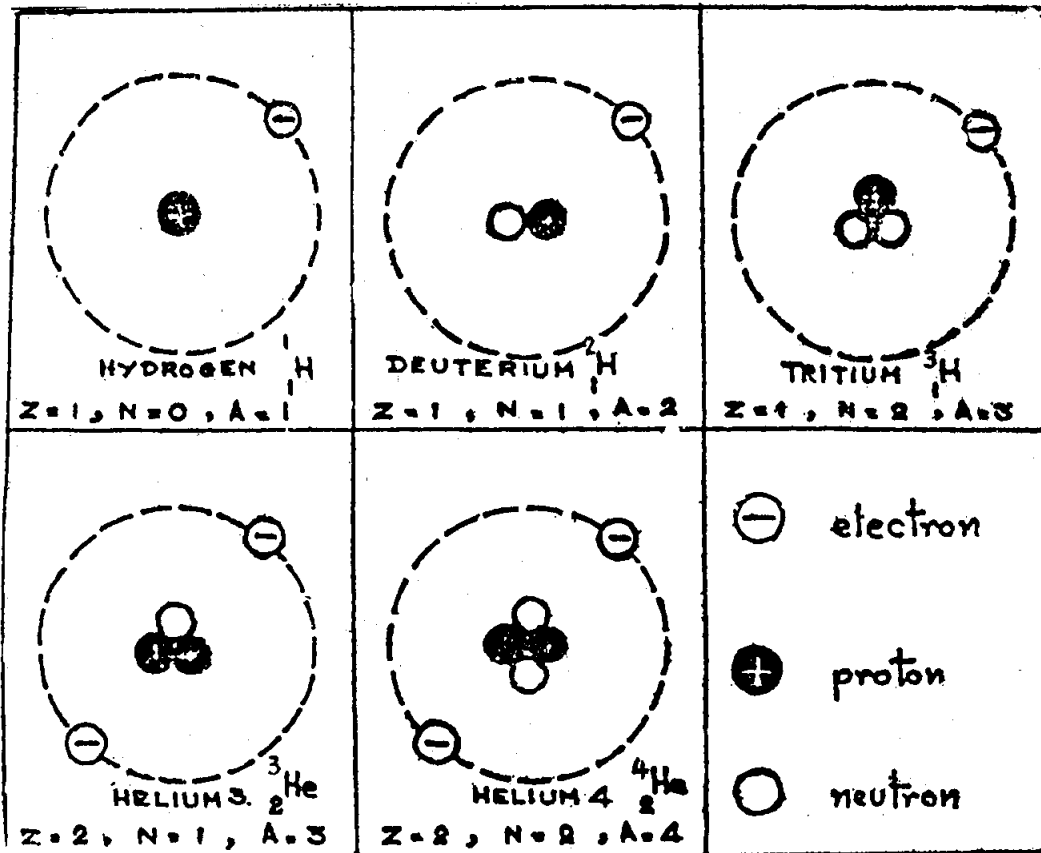
$^{12}_6\text{C}$  คือ นิวเคลียสของคาร์บอน มีโปรตอน 6 ตัว นิวตรอน 6 ตัว  
ดังนั้น  $Z = 6$  และ  $A = 12$

$^{235}_{92}\text{U}$  คือ นิวเคลียสของยูเรเนียม มีโปรตอน 92 ตัว นิวตรอน 143 ตัว  
ดังนั้น  $Z = 92$  และ  $A = 235$

เลขซึ่งแทนด้วย Z เรียกว่า เลขอะตอม (atomic number) ถ้าสงสัยว่าทำไมจึงมีชื่อว่า  
เลขอะตอม ลองนึกถึงอะตอมที่เป็นกลาง ซึ่งจะต้องมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนโปรตอน  
และอิเล็กตรอนที่อยู่นอกนิวเคลียสนี้แหละ จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของอะตอม ดังนั้นเรา  
อาจให้คำจำกัดความ Z (เลขอะตอม) ได้ใหม่ว่า คือ จำนวนอิเล็กตรอน ของอะตอมที่เป็นกลาง

ตัวเลขตัวบนซึ่งแทนด้วยอักษร A เรียกว่า เลขมวล (mass no.) ถ้าสงสัยว่าทำไมจึง  
เรียกว่า เลขมวล เพราะว่า มวลส่วนใหญ่ของอะตอมอยู่ที่นิวเคลียส หรือประมาณ 99.9 เปอร์เซ็นต์  
ของมวลอะตอมอยู่ที่นิวเคลียส ดังนั้นจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียสจะบอกมวลของอะตอม

พิจารณารูป 12.1 เราจะเห็นว่า ในแถวแรกทั้งหมด คือ นิวเคลียสของไฮโดรเจน  
(เพราะว่า  $Z = 1$ ) ตัวแรกเป็นไฮโดรเจนปกติ คือ มีโปรตอนเพียงตัวเดียวในนิวเคลียส ตัวที่สอง  
มีโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งมีชื่อเฉพาะอีกอย่างหนึ่งว่า ดิวทีเรียม ตัวที่สามมีโปรตอนกับนิวตรอน  
สองตัว อะตอมนี้มีชื่อเฉพาะว่า ไตรเทียม (tritium)



รูป 12.1 ไอโซโทปของไฮโดรเจนและของฮีเลียม

ในแถวที่ 2 ของรูป 12.1 เป็นฮีเลียมสองชนิดที่มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสต่างกัน หรือพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ มีจำนวนนิวคลีออนต่างกัน

### ไอโซโทป (isotope)

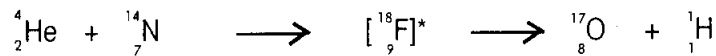
เราเรียกธาตุชนิดเดียวกันแต่มีจำนวนนิวตรอนหรือจำนวนนิวคลีออนในนิวเคลียสไม่เท่ากันว่า ไอโซโทป ธาตุบางชนิดมีหลายไอโซโทป และแต่ละไอโซโทป ก็มีเปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติต่างกัน ในธาตุใหญ่ ๆ ไอโซโทปของมันอาจเป็นไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี เราจึงแบ่งไอโซโทปตามลักษณะการแผ่รังสีของมัน ได้เป็นสามชนิด คือ ไอโซโทปที่ไม่แผ่รังสีเลย เรียกว่า ไอโซโทปเสถียรภาพ ไอโซโทปที่แผ่รังสีเหมือนกันแต่ช้ามาก เราเรียกพวกนี้ว่า ค่อนข้างเสถียร ส่วนพวกสุดท้ายคือ พวกที่แผ่รังสีได้ เราเรียกพวกนี้ว่า ไอโซโทปที่ไม่เสถียรหรือพวกกัมมันตภาพรังสี

## การแปรรูปนิวเคลียส (Nuclear Transformation)

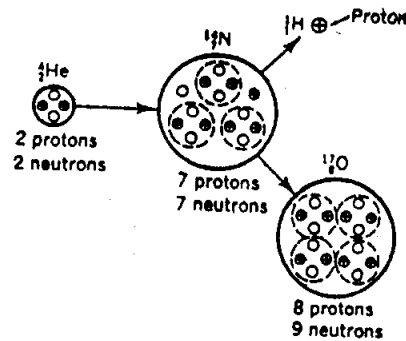
ก่อนที่จะกล่าวถึงการเปลี่ยนรูปนิวเคลียสหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction) เราจะใช้เทคนิคในการใช้สัญลักษณ์แทนธาตุมานำมาใช้กับอนุภาค เช่น โปรตอน ก็คือ  ${}^1_1\text{H}$  แอลฟา ก็คือ  ${}^4_2\text{He}$  (นิวเคลียสของฮีเลียม) นิวตรอน เขียนแทนได้ด้วย  ${}^1_0\text{n}$

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ หมายถึง การแลกเปลี่ยนนิวคลีออนกันระหว่างสองนิวเคลียสที่วิ่งมาชนกัน แล้วจัดตัวเข้าด้วยกันกลายเป็นนิวเคลียสใหม่ นิวเคลียสอาจแตกตัวออกไปเป็นนิวเคลียสที่เล็กลง

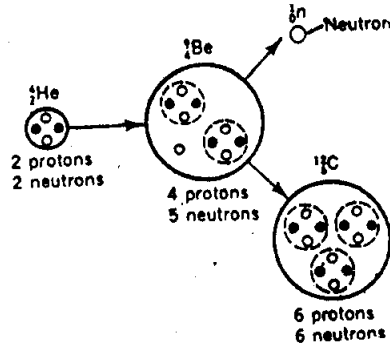
ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ ผลรวมของเลขอะตอมและเลขมวลก่อนปฏิกิริยาและหลังปฏิกิริยาต้องมีค่าคงที่ ตัวอย่างของปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น



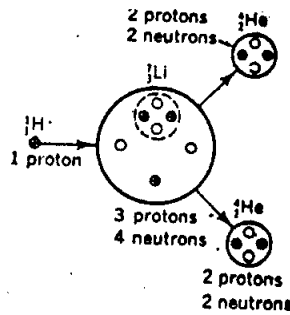
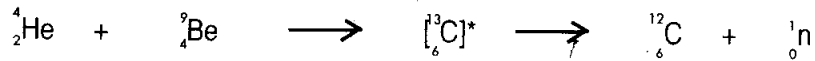
[ . . . ] \* = compound nucleus



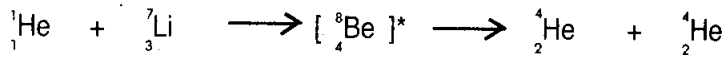
รูป 12.2



รูป 12.3

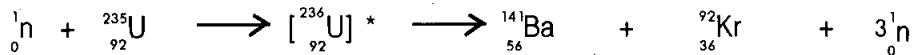


รูป 12.4



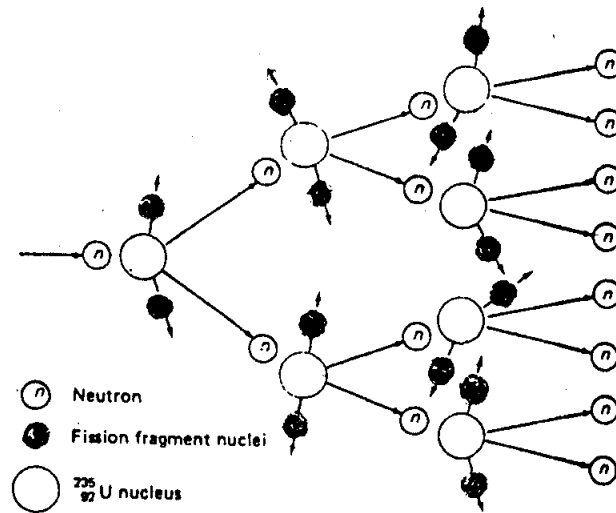
**ฟิชชัน (Fission)**

ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 11 ว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ทดลองครั้งแรก ที่เตาปฏิกรณ์ที่ชิคาโก และปฏิกิริยานี้ ที่นำไปสู่การผลิตระเบิดปรมาณูลูกแรก คือปฏิกิริยาที่แสดงในรูป 12 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า



เราจะเห็นว่าในปฏิกิริยาข้างบนนั้น เริ่มจากการใช้นิวตรอนหนึ่งตัวยิงเข้าไปในนิวเคลียสของยูเรเนียม -235 แล้วได้นิวตรอนออกมาอีกสามตัว นิวตรอนที่หลุดออกมานี้

ก็มีโอกาสที่จะไปชนนิวเคลียสอื่นอีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไปคล้ายลูกโซ่ จึงเรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่นี้ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก รูป 12.5 เป็นการแสดงปฏิกิริยาลูกโซ่



รูป 12.5 ปฏิกิริยาลูกโซ่

จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ทั้งสี่แบบที่กล่าวถึงข้างต้นนั้น เราจะเห็นว่า  ${}^{16}_9\text{F}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^8_4\text{Be}$ ,  ${}^{236}_{92}\text{U}$  จะแตกออกเป็นนิวเคลียสเล็กกว่าสองหรือสองอัน และอาจจะมือนุภาคออกมาด้วยหลายตัว ตัวอย่างเช่น compound nucleus  ${}^{236}\text{U}$  แตกตัวออกเป็น  ${}^{141}_{56}\text{Ba}$  และ  ${}^{92}_{36}\text{Kr}$  รวมกันนิวตรอน อีก 3 ตัว เราเรียกปฏิกิริยาที่นิวเคลียสของธาตุใหญ่กว่า แตกตัวเป็นนิวเคลียสของธาตุที่เล็กกว่า ว่า ฟิชชัน ในปฏิกิริยาฟิชชันจะมีมวลบางส่วนหายไป อย่างเช่น ในปฏิกิริยาที่ 4 มวลของ  ${}^{236}_{92}\text{U}$  จะมีค่ามากกว่ามวลของ  ${}^{141}_{56}\text{Ba}$  บวกมวลของ  ${}^{92}_{36}\text{Kr}$  บวกมวลของนิวตรอนสามตัว มวลที่หายไปจะกลายเป็นพลังงานที่เราเรียกว่า พลังงานนิวเคลียร์ หรือ พลังงานปรมาณู ซึ่งค่าพลังงานมีความสัมพันธ์กับมวลที่หายไปตามสมการที่มีชื่อเสียงมากของ ไอสไตน์ คือ

$$E = mc^2$$

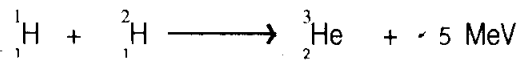
เมื่อ E คือ พลังงาน m คือ มวลที่หายไป c คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศซึ่งมีค่าเท่ากับ  $3.0 \times 10^8$  เมตร/วินาที<sup>2</sup>

ดังได้กล่าวแล้วว่า ปฏิกิริยาลูกโซ่เกิดขึ้นเร็วมาก ดังนั้นถ้าเราไม่ควบคุมการเกิดปฏิกิริยา จะทำให้มันเกิดระเบิดได้พลังงานมากพอที่จะเผาผลาญตึกกรมบ้านช่อง หรือคร่าชีวิตมนุษย์เป็น

จำนวนแสนในชั่วเวลาอันสั้น เหมือนกับเหตุการณ์ที่อิโรชิมาและนาคาซากิ ดังนั้นในการที่จะนำปฏิกิริยานี้มาใช้ประโยชน์ เขาต้องควบคุมการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของมัน อย่างเช่น อาจจะต้องเอนิวตรอนออกมาทิ้งเสียบ้าง

### ฟิวชัน (Fusion)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดขึ้นกับธาตุเบา ๆ ดังสมการข้างล่างนี้



เราเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ฟิวชัน กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ปฏิกิริยาฟิวชัน เกิดจาก นิวเคลียสของธาตุเล็กกว่าสองธาตุ รวมกันแล้วได้นิวเคลียสของธาตุที่ใหญ่ขึ้น

ในปฏิกิริยาข้างบนนั้น มวลของ  ${}^1_1\text{H}$  บวก มวลของ  ${}^2_1\text{H}$  จะมีค่ามากกว่ามวลของ  ${}^3_2\text{H}$  หมายความว่า มีมวลสูญหายไปเป็นปฏิกิริยาฟิวชัน มวลที่หายไปจะกลายเป็นพลังงาน ซึ่งมีค่าประมาณ 5 MeV ต่อหนึ่งปฏิกิริยา ตัวอย่างของปฏิกิริยาแบบนี้ คือ ปฏิกิริยาบนดวงอาทิตย์ สำหรับการค้นคว้าทดลองของมนุษย์นั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก แต่อย่างไรก็ดี สองมหาอำนาจได้ทุ่มทุนวิจัยค้นคว้าเรื่องนี้อยู่ โดยมีความหวังว่าสักวันหนึ่งจะได้ใช้พลังงานจากฟิวชันแทนพลังงานจากฟิสชัน ซึ่งเชื่อว่า พลังงานจากฟิวชัน จะทำให้เกิดมลภาวะ (Pollution) น้อยกว่าฟิสชัน

## แบบฝึกหัด

- 12.1 อัตรากิริยาเชิงนิวเคลียร์มีกี่แบบ แต่ละแบบเป็นอย่างไร
- 12.2 ภายในนิวเคลียสประกอบด้วยอนุภาคอะไร และแต่ละอนุภาคมีคุณสมบัติอย่างไร
- 12.3 เลขอะตอม (atomic number) เลขมวล (mass number) และไอโซโทป (isotope) หมายถึงอะไร
- 12.4 กัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมาจากสารกัมมันตรังสีที่สำคัญมีอะไรบ้าง และแต่ละอย่างมีคุณสมบัติเป็นอย่างไร
- 12.5 ปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์ แตกต่างกับปฏิกิริยาทางเคมีอย่างไร และการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะต้องเป็นไปตามหลักการคงตัวอย่างไรบ้าง
- 12.6 กระบวนการฟิชชัน (nuclear fission) ของปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นได้อย่างไร
- 12.7 กระบวนการฟิวชัน (nuclear fusion) ของปฏิกิริยานิวเคลียร์เกิดขึ้นได้อย่างไร