

จากการทดลองของรัทเธอร์ฟอร์ด ทำให้ทราบว่านิวเคลียสเป็นศูนย์กลางของอะตอมที่มีประจุบวก มีขนาดเล็กมาก ในหัวข้อนี้จะได้ศึกษาถึงธรรมชาติของนิวเคลียสในรายละเอียด

### 20.1 สมบัติของนิวเคลียส

นิวเคลียสประกอบด้วยกลุ่มของ "โปรตอนและนิวตรอน" (รวมเรียกว่า **นิวคลีออน** (Nucleon)) มวลโดยรวมมากกว่า อิเล็กตรอนประมาณ 2000 เท่า แต่มีขนาดเล็กมากเทียบกับอะตอม ดังนั้นความหนาแน่นของนิวเคลียสจึงสูงมาก ความแตกต่างระหว่างนิวเคลียสของอะตอมพิจารณาจากจำนวนของนิวตรอนและโปรตอนในนิวเคลียส สามารถเขียนสัญลักษณ์ได้ เป็น  ${}^A_ZX$  โดยที่ A คือ เลขมวล (จำนวนของนิวตรอนและโปรตอน) Z คือ เลขอะตอม (จำนวนของโปรตอน) เช่น  ${}^{27}_{13}\text{Al}$

#### 20.1.1 ตระกูลทางนิวเคลียร์

- กลุ่มของนิวเคลียสที่มีเลขอะตอม (จำนวนโปรตอน) เท่ากันเรียกว่า "**ไอโซโทป**" (Isotope) เช่น  ${}^{125}\text{I}$ ,  ${}^{127}\text{I}$ ,  ${}^{131}\text{I}$
- กลุ่มของนิวเคลียสที่มีเลขมวล (จำนวนโปรตอนบวกนิวตรอน) เท่ากันเรียกว่า "**ไอโซบาร์**" (Isobar) เช่น  ${}^{131}\text{I}$ ,  ${}^{131}\text{Xe}$ ,  ${}^{131}\text{Cs}$
- กลุ่มของนิวเคลียสที่มีจำนวนของนิวตรอนเท่ากันเรียกว่า "**ไอโซโทน**" (Isotone) เช่น  ${}^{131}_{53}\text{I}$ ,  ${}^{132}_{54}\text{Xe}$ ,  ${}^{133}_{55}\text{Cs}$

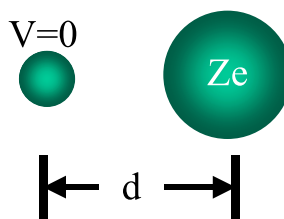
#### 20.1.2 ขนาดและโครงสร้างนิวเคลียส

จากการทดลองของรัทเธอร์ฟอร์ด ในบางกรณีอนุภาคอัลฟาจะเคลื่อนที่กลับสู่เป้าโดยตรง เกิดจากการชนกันตรง ๆ ระหว่างอนุภาคกับนิวเคลียสของอะตอม สามารถใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานในการหาขนาดโดยประมาณของนิวเคลียส

ในการชนแบบตรง ๆ ระหว่างอนุภาคกับนิวเคลียส -> พลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ของอนุภาคอัลฟา มีค่าเท่ากับ พลังงานศักย์ทางไฟฟ้าระหว่างประจุ

$$\frac{1}{2}mv^2 = k_e \frac{q_1q_2}{r} = k_e \frac{(2e)(Ze)}{d} \quad (20-1)$$

$$d = \frac{4k_eZe^2}{mv^2} \quad (20-2)$$



ภาพที่ 20-1 การประมาณขนาดของนิวเคลียสโดยใช้การทดลองของรัทเธอร์ฟอร์ด

ระยะ d ที่ได้จากการคำนวณกรณีของกระดาษทองและเงิน คือ  $3.2 \times 10^{-14}$  m และ  $2 \times 10^{-14}$  m ดังนั้นขนาดของนิวเคลียสจะอยู่ในอันดับ  $10^{-14}$  m

ข้อสรุปจากการทดลองที่ละเอียดขึ้นพบว่านิวเคลียสเป็นทรงกลมและมีรัศมีโดยเฉลี่ยดังนี้

$$r = r_0 A^{1/3}$$

$$r_0 = 1.2 \times 10^{-15} \text{ m} \quad (20-3)$$

A: Mass Number

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \quad (20-4)$$

โปรตอนและนิวตรอนมีมวลใกล้เคียงกัน เป็น  $m$  ดังนั้นมวลของนิวเคลียสเท่ากับ  $Am$  ความหนาแน่น ( $\rho$ ) จึงเท่ากับ

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{Am}{\frac{4}{3}\pi r_0^3 A} \quad (20-5)$$

$$\rho = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$$

$$\rho = \frac{3(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{4\pi(1.2 \times 10^{-15} \text{ m})^3} \quad (20-6)$$

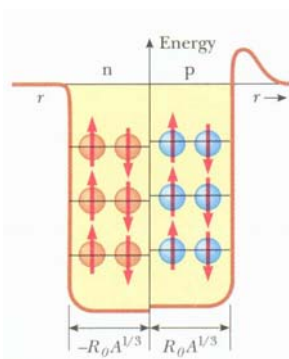
$$\rho = 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของนิวเคลียสแปรผันโดยตรงกับเลขมวลและ “ความหนาแน่นของนิวเคลียสโดยประมาณมีค่าคงที่”

### 20.1.3 แบบจำลองนิวเคลียส

นักวิทยาศาสตร์ได้เสนอ แบบจำลองขึ้นเพื่ออธิบายลักษณะของนิวเคลียสให้ใกล้เคียงความจริงที่สุด ตัวอย่างได้แก่

- Liquid-Drop Model นิวเคลียสมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่คล้ายหยดน้ำ ประกอบด้วยนิวคลีออนที่ไม่อยู่นิ่งภายใน นิวเคลียสสามารถแตกออกได้ในปฏิกิริยาฟิชชัน
- Shell Model นิวเคลียสประกอบด้วยนิวคลีออนที่มีระดับพลังงานเป็นชั้น ๆ



ภาพที่ 20-2 Shell Model

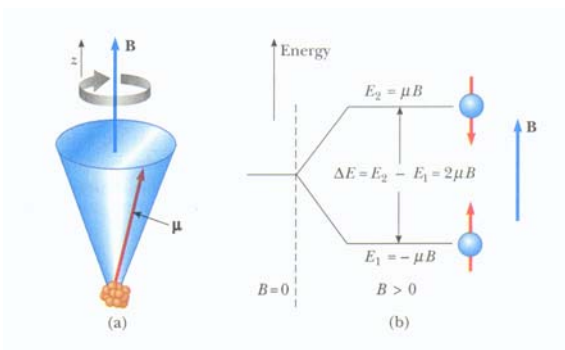
### 20.1.4 นิวเคลียร์สปิน

นิวคลีออน (โปรตรอนและนิวตรอน) มีสมบัติที่เรียกว่า สปิน การที่นิวคลีออนเคลื่อนที่ภายในนิวเคลียส ทำให้เกิดโมเมนต์เชิงมุม ค่าโมเมนต์เชิงมุม ( $L$ ) และโมเมนต์เชิงมุมในแกน  $Z$  ( $L_z$ ) มีความไม่ต่อเนื่อง ดังสมการ

$$L = \sqrt{I(I+1)}\hbar \quad (20-7)$$

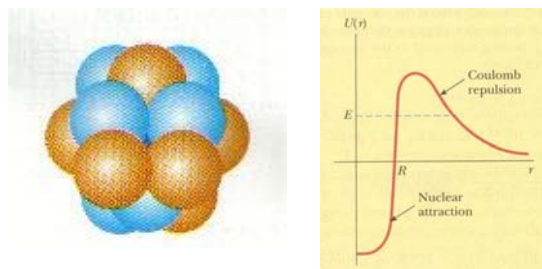
$$L_z = m_i \hbar \quad (20-8)$$

การที่นิวคลีออนมีโมเมนต์เชิงมุมส่งผลให้เกิด **โมเมนต์แม่เหล็ก** ซึ่งจะจัดเรียงตัวเมื่อมีสนามแม่เหล็กมากระทำ การทำให้นิวเคลียร์สปินคายพลังงานออกมาพร้อม ๆ กันจะเกิดปรากฏการณ์ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ชนิดสารเคมีอย่างกว้างขวาง นอกจากนี้นำไปสู่การประยุกต์ดูภาพทางการแพทย์ Magnetic Resonance Imaging (MRI)



ภาพที่ 20-3 สปินและระดับพลังงานของสปิน

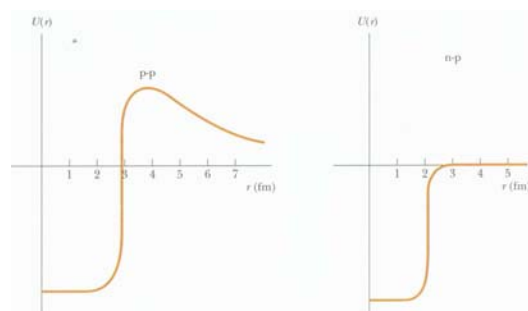
## 20.2 แรงนิวเคลียร์ (Nuclear Force)



ภาพที่ 20-4 โปรตอนที่กระจุกอยู่ในนิวเคลียส มีแรงไฟฟ้าผลักรันและแรงนิวเคลียร์ดูดกัน

เมื่อโปรตอนมาอยู่รวมกันในนิวเคลียส จะมีแรงคูลอมบ์ผลักรันระหว่างประจุบวก การที่นิวเคลียสเสถียรได้ เป็นผลมาจากแรงอีกชนิดหนึ่ง คือ แรงนิวเคลียร์

แรงไฟฟ้าที่ผลักรันถูกหักล้างโดยแรงดึงดูดที่เรียกว่า **แรงนิวเคลียร์** ระหว่างนิวคลีออน แรงนิวเคลียร์เป็นแรงที่เข้มแข็งที่สุดในธรรมชาติเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคอยู่กันใกล้กันมาก ๆ ขนาดของแรงไม่ขึ้นอยู่กัขนาดของประจุ การที่นิวคลีออนถูกยึดไว้ด้วย **พลังงานยึดเหนี่ยว** (Binding Energy) ที่มีค่ามาก ในการจะแยกนิวคลีออนออกจากกันจึงต้องใช้พลังงานมหาศาลที่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยว



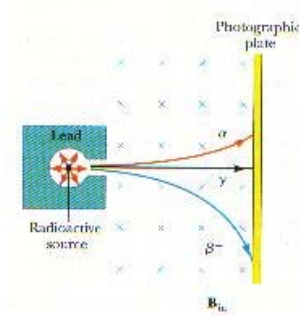
ภาพที่ 20-5 กราฟพลังงานศักย์เมื่อโปรตรอน-โปรตรอนใกล้กัน และเมื่อโปรตรอน-นิวตรอนใกล้กัน

คุณสมบัติของนิวเคลียสที่เสถียร นิวเคลียสของธาตุเบาเสถียรได้เมื่อจำนวนโปรตอนเท่ากับนิวตรอน นิวเคลียสของธาตุนักเสถียรเมื่อจำนวนของนิวตรอนมากกว่าจำนวนของโปรตอน

นิวเคลียสที่ไม่เสถียรจะปรับตัวเองโดยการปลดปล่อยรังสีออกมา เรียกว่าการปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสี

### 20.3 การแผ่กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

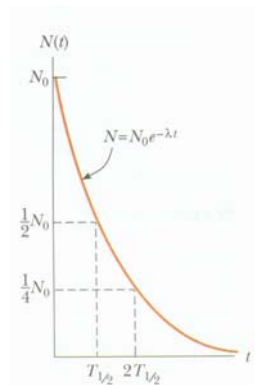
ธาตุที่ไม่เสถียรจะปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสี 3 ชนิด คือ รังสีแอลฟา (โปรตรอน 2 ตัวและนิวตรอน 2 ตัว), รังสีเบตา (อิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน พลังงานสูง) และ รังสีแกมมา (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก)



ภาพที่ 20-6 กัมมันตภาพรังสี 3 ชนิด เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก

รังสี 3 ชนิด สามารถตรวจสอบได้โดยการปล่อยให้เคลื่อนที่ผ่านสนามแม่เหล็ก รังสีแกมมาจะไม่เบี่ยงเบนในสนามแม่เหล็ก เนื่องจากไม่มีประจุ นอกจากนี้อำนาจทะลุทะลวงยังต่างกันด้วย รังสีแอลฟามีมวลมากความเร็วช้าจึงทะลุทะลวงได้น้อย รังสีแกมมามีความเร็วเท่าแสงสามารถทะลุทะลวงได้มาก ในการกั้นรังสีแกมมาจึงต้องใช้ตะกั่วแผ่นหนา ๆ

ในการวัดกัมมันตภาพรังสี สามารถใช้เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี (Radiation Detectors) ที่เรียกว่าหัววัดไกเกอร์ (หลักการทํางานสามารถอ่านได้จากคู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ 2)



ภาพที่ 20-7 การลดลงของนิวเคลียสสารกัมมันตภาพรังสีตามเวลาที่ผ่านไป

อัตราการสลายตัวจะมีค่าแปรผันโดยตรงกับจำนวนนิวเคลียสในขณะนั้น ตามสูตร

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (20-9)$$

โดยที่  $N_0$  คือ จำนวนนิวเคลียสที่  $t=0$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (20-10)$$

โดยที่  $\lambda$  เป็นค่าคงที่การสลายตัว (Decay Constant)

อัตราการสลายตัว  $R$  (หน่วยเป็น Number of Decay/s หรือ Bq) และ  $R_0$  เป็นอัตราการสลายตัวที่  $t = 0$

$$R = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N_0 \lambda e^{-\lambda t} = R_0 e^{-\lambda t} \quad (20-11)$$

$$R = \lambda N \quad (20-12)$$

**ค่าครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสี** (Half-life สัญลักษณ์  $T_{1/2}$ ) คือเวลาที่อะตอมของสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัวไปครึ่งหนึ่งของสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ (ในระบบยังคงเหลืออะตอมอีกครั้งที่ยังไม่สลายตัว)

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (20-13)$$

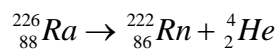
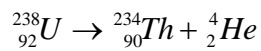
**หลักการพื้นฐานของการแผ่กัมมันตภาพรังสี**

1. ผลรวมของ A ทั้งสองข้างของสมการต้องเท่ากัน
2. ผลรวมของ Z ทั้งสองข้างของสมการต้องเท่ากัน
3. จะต้องเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงานและโมเมนตัม

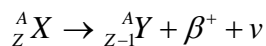
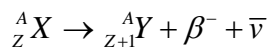
### 20.3.1 การสลายตัวที่ปลดปล่อยรังสีอัลฟา



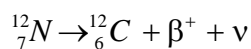
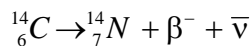
เช่น



### 20.3.2 การสลายตัวที่ปลดปล่อยรังสีเบตา



เช่น



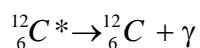
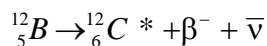
ในการสลายให้เบตามีอนุภาคอีกชนิดหนึ่งที่นำพลังงานและโมเมนตัมออกไป เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน, โมเมนตัมเชิงมุม และโมเมนตัมเชิงเส้น ซึ่งเรียกว่า **นิวตริโน** (Neutrino) และ **แอนตินิวตริโน** (Anti-neutrino) นิวตริโนถูกพบในปี 1956 ไม่มีประจุ มวลหนึ่งมีค่าเป็นศูนย์ สปินเท่ากับ 1/2

การสลายตัวของคาร์บอนสามารถใช้ในการหาอายุของซากสิ่งมีชีวิตโบราณได้ เรียกว่าเทคนิค **Carbon Dating** ในธรรมชาติ (รวมถึงสิ่งมีชีวิต) อัตราส่วน  ${}^{14}C/{}^{12}C$  จะมีค่าคงที่ เท่ากับ  $1.3 \times 10^{-12}$  แต่ในสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว อัตราส่วน  ${}^{14}C/{}^{12}C$  จะมีค่าลดลงเพราะการสลายตัวของ  ${}^{14}C$  ซึ่งเป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียร โดยครึ่งชีวิตของ  ${}^{14}C$  มีค่าเท่ากับ 5730 ปี

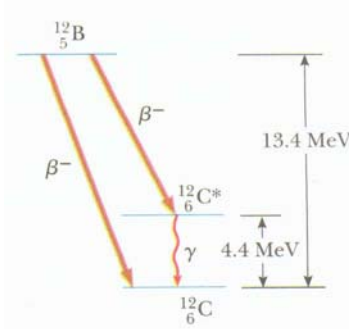
### 20.3.3 การสลายตัวที่ปลดปล่อยรังสีแกมมา



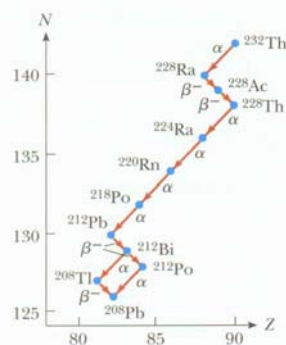
เช่น



เป็นกระบวนการที่นิวเคลียสปรับตัวจากสถานะกระตุ้นกลับลงมายังสถานะพื้น การที่นิวเคลียสอยู่ในสถานะกระตุ้นนั้นเป็นผลมาจากการสลายตัวให้กัมมันตภาพรังสีแบบอื่น ๆ



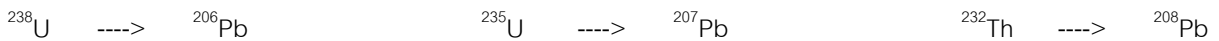
ภาพที่ 20-8 กระบวนการสลายตัวให้รังสีแกมมา



ภาพที่ 20-9 การสลายตัวเป็นอนุกรม เริ่มที่ Th

### 20.3.4 การสลายตัวในธรรมชาติ

มีลำดับการสลายตัวของนิวเคลียสที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติอยู่ 3 อนุกรม แต่ละอนุกรมเริ่มต้นจาก ธาตุหนักที่ไม่เสถียร ที่มีการปลดปล่อยรังสีทั้งสามชนิดออกมาเป็นลำดับ ทำให้เปลี่ยนธาตุไปเรื่อย ๆ จนจบลงที่ไอโซโทปต่าง ๆ ของ ตะกั่ว



ส่วนที่เหลือเกิดจากการสังเคราะห์ของมนุษย์ เช่น  $^{237}\text{Np} \quad \text{---->} \quad ^{209}\text{Bi}$

### 20.3.5 ประโยชน์ของสารกัมมันตรังสี

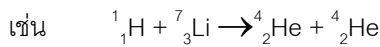
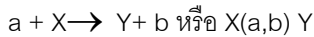
แม้ว่ากัมมันตภาพรังสีจะมีอันตรายทำให้เกิดมะเร็ง แต่สารกัมมันตรังสีก็สามารถใช้ประโยชน์ เช่น ในทางการแพทย์ ใช้รักษามะเร็งสมอง ปอด ตับ ไต ไทรอยด์ ในการเกษตรใช้ทำหมันศัตรูพืช ถนอมอาหาร ศึกษาการที่พืชดูดซึมปุ๋ย ในอุตสาหกรรมใช้ ตรวจสอบรอยเชื่อม ค้นหาน้ำมัน เปลี่ยนสีอัญมณี ผลิตสารกึ่งตัวนำ ผลิต Micropore ในเมมเบรน ทำเครื่องเตาไฟฟ้าไหม้ ทำสารเรืองแสง นอกจากนี้ยังใช้ในการวิเคราะห์ธาตุของหลักฐาน (เช่น ฝม เล็บ) ด้วยการอบนิวตรอน การถ่ายภาพด้วยนิวตรอน วิเคราะห์สารแม่เหล็ก หาอายุของโบราณ (เช่น งาช้างแมมมอธ, ภาพถ่าย)

## 20.4 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reactions)

สมการ  $E = mc^2$  หมายความว่า มวลสารที่หายไปจากจักรวาลจะเปลี่ยนเป็นพลังงาน

ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยามักจะน้อยกว่ามวลรวมตอนเริ่มต้น มวลที่หายไปในปฏิกิริยานี้เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานตามสมการของไอน์สไตน์ สมการนี้อธิบายการสลายตัวให้กัมมันตภาพรังสีได้ด้วย คือมวลหายไปเปลี่ยนเป็นพลังงานของกัมมันตภาพรังสีที่ปลดปล่อยออกมา รวมทั้งการที่มวลรวมของนิวคลีออนหายไปเมื่อรวมตัวกันเป็นนิวเคลียส ก็อธิบายได้ว่าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานยึดเหนี่ยว

พลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเรียกว่า Reaction Energy ใช้สัญลักษณ์ Q สมการปฏิกิริยานิวเคลียร์สามารถเขียนได้ในรูป



$$\text{พลังงาน } Q = (M_a + M_x - M_y - M_b)c^2$$

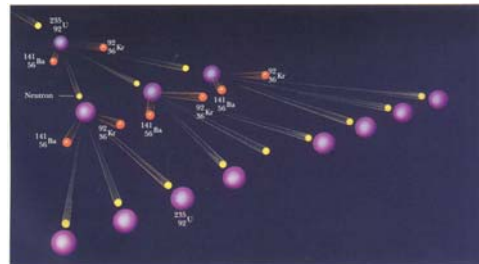
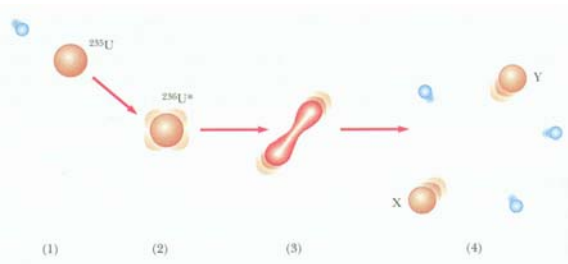
เนื่องจากมวลนิวเคลียสมีค่าน้อยเมื่อคิดหน่วยเป็นกิโลกรัม จึงมีการกำหนดหน่วยใหม่เพื่อใช้ในการนี้ เป็น u โดยที่กำหนด  ${}^{12}\text{C}$  มีมวล 12u นั่นคือ  $1u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$  หากมวล 1u หายไปในปฏิกิริยา จะเกิดพลังงาน

$$E = (1.66 \times 10^{-27})(3 \times 10^8)^2 = 1.494 \times 10^{-10} \text{ จูล} = 931 \text{ MeV}$$

ปฏิกิริยานิวเคลียร์มี 2 แบบ คือ ฟิชชัน และ ฟิวชัน

#### 20.4.1 ปฏิกิริยาฟิชชัน (Nuclear Fission)

เป็นปฏิกิริยาที่ธาตุหนัก แตกตัวเป็นธาตุเบา และมวลรวมหลัง ปฏิกิริยาลดลง จึงเกิดการปล่อยพลังงานออกมา ธาตุหนักที่ใช้ในปฏิกิริยา เช่น ยูเรเนียม ที่ในธรรมชาติมี 0.7%  ${}^{235}\text{U}$  และ 99.3%  ${}^{238}\text{U}$



ภาพที่ 20-10 แบบจำลองการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน

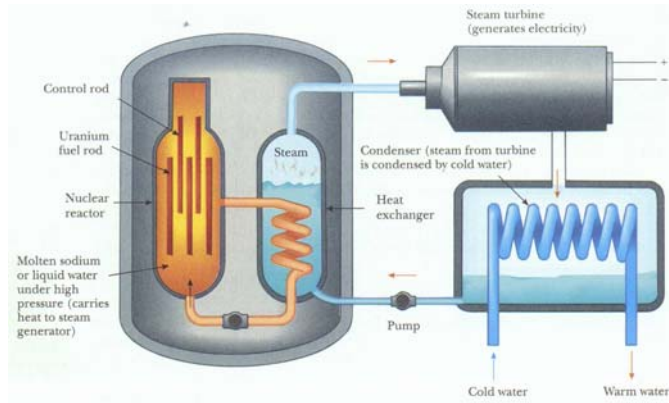
จำนวนนิวตรอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการฟิชชันแต่ละครั้ง ที่ทำให้เกิดกระบวนการฟิชชันต่อไปเป็นลูกโซ่ กำหนดด้วยค่า K หรือ Reproduction Constant เมื่อ

- $K=1$  : Self-sustained chain reaction (Critical)
- $K<1$  : Reaction dies out (Subcritical)
- $K>>1$  : Runaway reaction occurs (Supercritical)

ระเบิดนิวเคลียร์ (Nuclear Bomb) เป็นปฏิกิริยาฟิชชัน ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ( $K>>1$ )

เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactors) ใช้ผลิตพลังงานในโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ปฏิกิริยาฟิชชันที่เกิดขึ้นสามารถควบคุมได้ พลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ในเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์จะมี

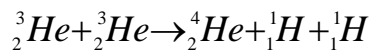
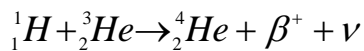
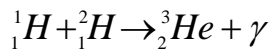
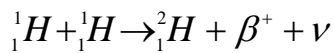
- Modulator คือ น้ำ ทำให้นิวตรอนซึ่งมีพลังงานสูงเคลื่อนที่ช้าลงเพื่อให้เกิดฟิชชันกับ  ${}^{235}\text{U}$  ได้ดีขึ้น
- Control rods คือ แท่งแคดเมียม มีสมบัติดูดกลืนนิวตรอน ค่า K ของเตาปฏิกรณ์สามารถควบคุมได้โดยการปรับจำนวนและตำแหน่งของแท่งควบคุมนี้



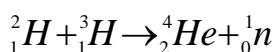
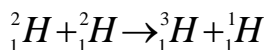
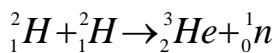
ภาพที่ 20-11 เต้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชั่น

### 20.4.2 ปฏิกริยาฟิวชั่น (Nuclear Fusion)

ในปฏิกริยาฟิวชั่น นิวเคลียสเบารวมตัวเป็นนิวเคลียสที่หนักขึ้น ตัวอย่างเช่นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ ( $Q=25\text{MeV}$ ) ซึ่งวนเป็นวัฏจักร (Proton-Proton cycle) ทำให้ดวงอาทิตย์กำเนิดพลังงานได้ไม่สิ้นสุด ที่น่าสังเกตคือเงื่อนไขของปฏิกริยา คือ ต้องเกิดที่อุณหภูมิสูง ( $10^7\text{K}$ )

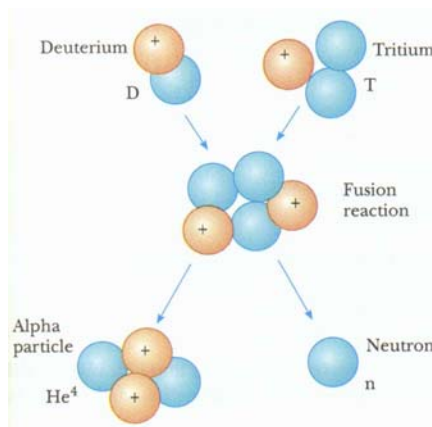


ในความพยายาม ที่จะทำให้เกิดปฏิกริยาฟิวชั่น บนโลกเพื่อผลิตพลังงานอย่างไม่สิ้นสุดนั้น ได้มีการวิจัยปฏิกริยา



แต่ละปฏิกริยา ให้  $Q=3.27, 4.03$  และ  $17.59\text{ MeV}$  ตามลำดับ

ปัญหาที่ไม่สามารถทำให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟิวชั่น เป็นจริงได้คือ พลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกริยา จะมากกว่าพลังงานที่ปลดปล่อยออกมา และการปลดปล่อยพลังงานยากแก่การควบคุม



ภาพที่ 20-12 แบบจำลองการเกิดปฏิกริยาฟิวชั่น



<b>หนังสืออิเล็กทรอนิกส์</b>	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
<b>การทดลองเสมือน</b>	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
<b>แบบฝึกหัดกลาง</b>	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คติปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
<b>ความรู้รอบตัว</b>	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

<b>● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●</b>	
<b>1. การวัด</b>	<b>2. เวกเตอร์</b>
<b>3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ</b>	<b>4. การเคลื่อนที่บนระนาบ</b>
<b>5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน</b>	<b>6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน</b>
<b>7. งานและพลังงาน</b>	<b>8. การดลและโมเมนตัม</b>
<b>9. การหมุน</b>	<b>10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง</b>
<b>11. การเคลื่อนที่แบบคาบ</b>	<b>12. ความยืดหยุ่น</b>
<b>13. กลศาสตร์ของไหล</b>	<b>14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน</b>
<b>15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก</b>	<b>16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร</b>
<b>17. คลื่น</b>	<b>18. การสั่น และคลื่นเสียง</b>
<b>● การเรียนการสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●</b>	
<b>1. ไฟฟ้าสถิต</b>	<b>2. สนามไฟฟ้า</b>
<b>3. ความกว้างของสายฟ้า</b>	<b>4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน</b>
<b>5. ศักย์ไฟฟ้า</b>	<b>6. กระแสไฟฟ้า</b>
<b>7. สนามแม่เหล็ก</b>	<b>8. การเหนี่ยวนำ</b>
<b>9. ไฟฟ้ากระแสสลับ</b>	<b>10. ทรานซิสเตอร์</b>
<b>11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ</b>	<b>12. แสงและการมองเห็น</b>
<b>13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ</b>	<b>14. กลศาสตร์ควอนตัม</b>
<b>15. โครงสร้างของอะตอม</b>	<b>16. นิวเคลียร์</b>
<b>● การเรียนการสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ●</b>	
<b>1. จลศาสตร์ (kinematic)</b>	<b>2. จลพลศาสตร์ (kinetics)</b>
<b>3. งานและโมเมนตัม</b>	<b>4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง</b>
<b>5. ของไหลกับความร้อน</b>	<b>6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า</b>
<b>7. แม่เหล็กไฟฟ้า</b>	<b>8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง</b>
<b>9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์</b>	

