

บทที่ 5  
เคมีนิวเคลียร์  
NUCLEAR CHEMISTRY

ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาเคมีกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ ก็คือ ปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนิวเคลียส ส่วนปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็น ปฏิกิริยาที่เกิดกับนิวเคลียสของอะตอมและพลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าพลังงานในปฏิกิริยา เคมีมากมาย ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับนิวเคลียสของอะตอมก่อนที่จะศึกษา รายละเอียดในเคมีนิวเคลียร์ต่อไป

### 5.1 สมบัติของนิวเคลียส

ในการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของอะตอมที่ผ่านมาแล้ว พอสรุปได้ว่าอะตอม ประกอบด้วยแก่นกลางเรียกว่านิวเคลียสซึ่งประกอบด้วยโปรตอนกับนิวตรอนและอิเล็กตรอน อยู่รอบนิวเคลียส โปรตอนเป็นอนุภาคที่มีประจุบวก ส่วนนิวตรอนไม่มีประจุ แต่อนุภาคทั้งสองชนิดนี้มีมวลพอ ๆ กัน ส่วนอิเล็กตรอนนั้น มีประจุเป็นลบ มีมวลน้อยมากและมีจำนวนเท่ากับจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส โดยที่โปรตอนและนิวตรอนอยู่รวมกันในนิวเคลียส จึงนิยมเรียกรวม ๆ กันว่า นิวคลีออน

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติบางประการของโปรตอน นิวตรอนและอิเล็กตรอน

อนุภาค	สัญลักษณ์	มวล		ประจุ	
		กรัม	amu	ประจุอิเล็กโตรนิก	คูลอมบ์
โปรตอน	$p, {}_1^1p, {}_1^1H$	$1.67 \times 10^{-24}$	1.007274	+ 1	$+ 1.60 \times 10^{-19}$
นิวตรอน	$n, {}_0^1n, {}_0^1n$	$1.67 \times 10^{-24}$	1.008665	0	0
อิเล็กตรอน	$e^-, {}_{-1}^0e, \beta^-$	$9.11 \times 10^{-28}$	0.000549	- 1	$- 1.60 \times 10^{-19}$

จำนวนโปรตอนที่มีอยู่ในนิวเคลียสของอะตอม เรียกว่า อะตอมมิกนัมเบอร์ (atomic number) และนิยมใช้ Z เป็นสัญลักษณ์

จำนวนโปรตอนและจำนวนนิวตรอนที่มีอยู่ในนิวเคลียสหรือจำนวนนิวคลีออน เรียกว่า แมสนัมเบอร์ (mass number) และนิยมใช้ A เป็นสัญลักษณ์

โดยทั่วไปการเขียนสัญลักษณ์ของอะตอมของธาตุ ( X ) นิยมบอกค่าอะตอมมิกนัมเบอร์ไว้ตอนล่างด้านซ้ายและค่าแมสนัมเบอร์ไว้ตอนบนด้านซ้ายของสัญลักษณ์ ดังนี้



ตัวอย่างเช่น  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$

อะตอมอาจแบ่งตามจำนวนโปรตอนและนิวตรอนในนิวเคลียสได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. อะตอมของธาตุที่มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน เรียกว่า ไอโซโทป (isotope) เช่น ออกซิเจนมี 3 ไอโซโทป คือ  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$  และ  ${}^{18}_8\text{O}$  และอะตอมเหล่านี้จะมีสมบัติทางเคมีเหมือนกัน

2. อะตอมของธาตุที่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่มีจำนวนโปรตอนไม่เท่ากัน เรียกว่า ไอโซโทน (isotone) เช่น  ${}^{30}_{15}\text{P}$  กับ  ${}^{31}_{16}\text{S}$

3. อะตอมของธาตุต่างชนิดกันที่มีแมสนัมเบอร์เท่ากันหรือมีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน เรียกว่า ไอโซบาร์ (isobar) เช่น  ${}^{40}_{18}\text{Ar}$  กับ  ${}^{40}_{21}\text{Sc}$

อะตอมที่มีการระบุสมบัติเฉพาะของนิวเคลียส (จำนวนโปรตอนและนิวตรอน) เช่นนี้ เรียกว่า นิวไคลด์ (nuclide)

อะตอมนอกจากจะมีอนุภาคทั้งสามชนิดดังกล่าวซึ่งเป็นอนุภาคที่อยู่ตัวแล้ว ยังมีอนุภาคที่ไม่อยู่ตัวอีก เช่น โพสิตรอน (positron) นิวตริโน (neutrino) เป็นต้น โพสิตรอนเป็นอนุภาคที่มีสมบัติคล้ายคลึงกับอิเล็กตรอน ผิดกันแต่จะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก มีชีวิตสั้นมาก และเชื่อกันว่าได้จากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตภาพรังสี สัญลักษณ์ของโพสิตรอนเขียนได้ดังนี้  $e^+$ ,  ${}^0_1e$ ,  $\beta^+$

## 5.2 การค้นพบสารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

ในปี ค.ศ. 1896 Henri Becquerel ได้พบสีนรแสงของธาตุยูเรเนียม ซึ่งเรียกสีนรแสงนี้ว่าพิชเบลนด์ (Pitchblende) เขาพบว่าสีนรแสงนี้มีปฏิกิริยากับกระจกถ่ายรูปหรือฟิล์มถ่าย

รูปทั้ง ๆ ที่ฟิล์มหรือกระจกถ่ายรูปห่อด้วยกระดาษสีดำ นอกจากนี้แล้วยังเรืองแสงได้ในที่มืด ฉะนั้น ทำให้เขาคิดว่าสินแร่พิชเบลนด์คงจะเปล่งรังสีอะไรซึ่งมนุษย์มองไม่เห็น เขาตั้งชื่อสมบัตินั้นว่า กัมมันตภาพรังสี (Radio - activity)

ต่อมา Madam Curie นักวิทยาศาสตร์ชาวโปแลนด์ได้ทำการวิเคราะห์สินแร่พิชเบลนด์ พบว่า นอกจากจะมีธาตุยูเรเนียมเกิดแล้วยังมีธาตุที่มีสมบัติกัมมันตภาพรังสีอื่น ๆ ไปด้วย ซึ่งต่อมา Curie พบธาตุเรเดียม (Radium) และพอโลเนียม (Polonium) สำหรับธาตุเรเดียมนับว่ามีราคาแพงมาก เพราะมีอยู่ไม่มากในโลกนี้ ฉะนั้นนักวิทยาศาสตร์ต่างพากันสนใจกันคิดว่า เรื่องราวของกัมมันตภาพรังสีมากขึ้น ซึ่งเมื่อวิชาวิทยาศาสตร์เจริญขึ้น มนุษย์ก็สามารถสังเคราะห์ธาตุกัมมันตภาพรังสีได้ในห้องปฏิบัติการ จากการค้นคว้าพบว่า ธาตุที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์สูง ๆ ส่วนมากมักมีสมบัติเป็นกัมมันตภาพรังสี เช่นธาตุที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์มากกว่า 83 ขึ้นไป

### 5.3 ชนิดของกัมมันตภาพรังสี

เราพบว่าธาตุกัมมันตภาพรังสีนั้นจะคายรังสีออกมาจากนิวเคลียส ตลอดเวลา หรือกล่าวได้ว่าสารหรือธาตุกัมมันตภาพรังสีสลายตัวอยู่ทุกขณะ และพบว่ารังสีที่ออกมา นั้น มีความแตกต่างกัน และมีชนิดต่าง ๆ ดังนี้

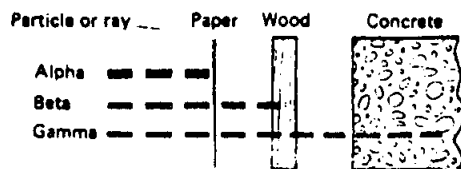
5.3.1 อนุภาคแอลฟา (alpha particles,  $\alpha$ ) อนุภาคแอลฟานี้ มีอำนาจการทะลุทะลวงผ่านสิ่งต่าง ๆ ได้น้อยที่สุด มันสามารถทะลุผ่านอากาศ หรือแผ่นอะลูมิเนียมได้เพียง 0.1 มม. ตัวอนุภาคแอลฟามีอัตราเร็วประมาณ 10,000 - 20,000 ไมล์/วินาที ทั้งนี้ต้องแล้วแต่ชนิดของธาตุนั้น ๆ

อนุภาคแอลฟามีอำนาจไฟฟ้าบวก และมีสมบัติเหมือนฮีออนบวก ถ้าให้อนุภาคแอลฟานี้ผ่านไประหว่างเพลต ซึ่งมีประจุบวกกับลบ อนุภาคนี้จะเบนเข้าหาขั้วลบ และเมื่อทดลองอำนาจแม่เหล็กพบว่าอนุภาคเหล่านี้มีปฏิกิริยาต่อสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจากการทดลองของ Rutherford สรุปผลได้ว่าอนุภาคแอลฟา คืออะตอมของฮีเลียมที่มีประจุไฟฟ้า หรือฮีออน ของ ฮีเลียมนั่นเอง

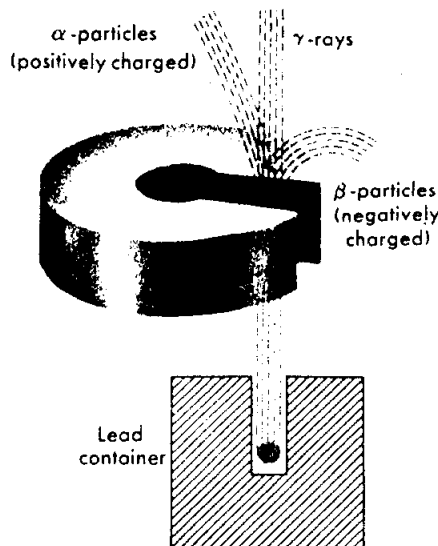
นักวิทยาศาสตร์นำเอาอนุภาคแอลฟาไปหา Avogadro number ได้

5.3.2 อนุภาคเบตา (beta particles,  $\beta$ ) นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่าอนุภาคนี้คือ อนุภาคที่มีประจุลบ หรือคืออิเล็กตรอน มันสามารถเบี่ยงเบนจากสนามแม่เหล็กได้ มีมวลน้อยมาก คือเป็น  $\frac{1}{1840}$  ของไฮโดรเจนและมีความเร็วเกือบเท่าแสง เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าอนุภาคแอลฟา คือประมาณ 100,000 ไมล์/วินาที อนุภาคเบตาสามารถทะลุทะลวงแผ่นทองคำได้ หรือสิ่งกีดขวางได้แต่ไม่อาจทะลุแผ่นอะลูมิเนียมหนา 1 ซม. ได้

5.3.3 รังสีแกมมา (gamma ray,  $\gamma$ ) จัดว่าเป็นรังสีมีอำนาจการทะลุทะลวงสูงต่าง ๆ ได้สูง อาจจะผ่านเหล็กหนา 1 ฟุต มีสมบัติคล้าย X-rays มาก มีอัตราเร็วเท่ากับแสงคือ 186,000 ไมล์/วินาที มีความยาวคลื่น  $7 \times 10^{-12} - 1.3 \times 10^{-10}$  มม.



รูปที่ 5.1 แผนภาพแสดงอำนาจการทะลุผ่านสิ่งต่าง ๆ ของอนุภาคแอลฟา, อนุภาคเบตาและรังสีแกมมา



รูปที่ 5.2 แสดงผลของแม่เหล็กที่มีต่ออนุภาคแอลฟา อนุภาคเบตาและรังสีแกมมา

ตารางที่ 5.2 แสดงสมบัติของอนุภาคพื้นฐานที่เปล่งออกมาจากธาตุกัมมันตภาพรังสี

อนุภาค/รังสี	มวลโดยประมาณ (amu)	ประจุ	สัญลักษณ์	ชนิด
แอลฟา	4	+ 2	${}^4_2\text{He}$	อนุภาค
เบตา	0	- 1	${}^0_{-1}e (\beta^-)$	อนุภาค
แกมมา	0	0	$\gamma$	รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า
นิวตรอน	1	0	${}^1_0n$	อนุภาค
โปรตอน	1	+ 1	${}^1_1p ({}^1_1\text{H})$	อนุภาค
โพสิตรอน	0	+ 1	${}^0_1e (\beta^+)$	อนุภาค

5.4 การสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ

เนื่องจากธาตุกัมมันตภาพรังสีเปล่งรังสีต่าง ๆ ชนิดกันจากนิวเคลียสของอะตอม ปรากฏว่าอะตอมที่เกิดขึ้นก็ยังเป็นอะตอมที่สามารถให้รังสีและจะเปล่งรังสีต่อไปอีกและจะเป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ จนในที่สุดจะกลายเป็นธาตุที่เสถียร ในการที่ธาตุหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกธาตุหนึ่งและธาตุอื่น ๆ เรียกว่าการแปรธาตุ (transmutation)

จากการศึกษาสมบัติและรังสีของธาตุกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ ทำให้นักวิทยาศาสตร์แบ่งธาตุกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติที่สลายตัวและเปล่งรังสีเป็นชั้น ๆ ไปจนกลายเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร เรียกว่า อนุกรมของการสลายตัว ได้เป็น 4 อนุกรมคือ

1. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series)

อนุกรมนี้เริ่มต้นจากธาตุยูเรเนียม - 238 (U-238) แล้วสลายตัวต่อไปเป็นชั้น ๆ จนไปสิ้นสุดที่ธาตุตะกั่ว -206 (Pb-206)

อนุกรมยูเรเนียมนี้พบว่าธาตุทุกธาตุมีแมส넘เบอร์เป็น  $4n + 2$  เมื่อ  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็มจึงเรียกชื่ออนุกรมนี้ย่อ ๆ ว่าอนุกรม  $4n + 2$  (ธาตุทุกธาตุในอนุกรมนี้เมื่อเอา 4 ไปหารแมส넘เบอร์ จะมีเศษเป็น 2 เสมอ)

## 2. อนุกรมทอเรียม (Thorium series)

อนุกรมนี้เริ่มต้นจากธาตุทอเรียม -232 (Th-232) แล้วสลายตัวต่อไปเป็นขั้น ๆ จนไปสิ้นสุดที่ธาตุตะกั่ว -208 (Pb -208)

อนุกรมทอเรียมนี้พบว่าธาตุทุกธาตุมีแมส넘เบอร์เป็น  $4n$  เมื่อ  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็มจึงเรียกชื่ออนุกรมนี้ย่อ ๆ ว่า อนุกรม  $4n$

## 3. อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series)

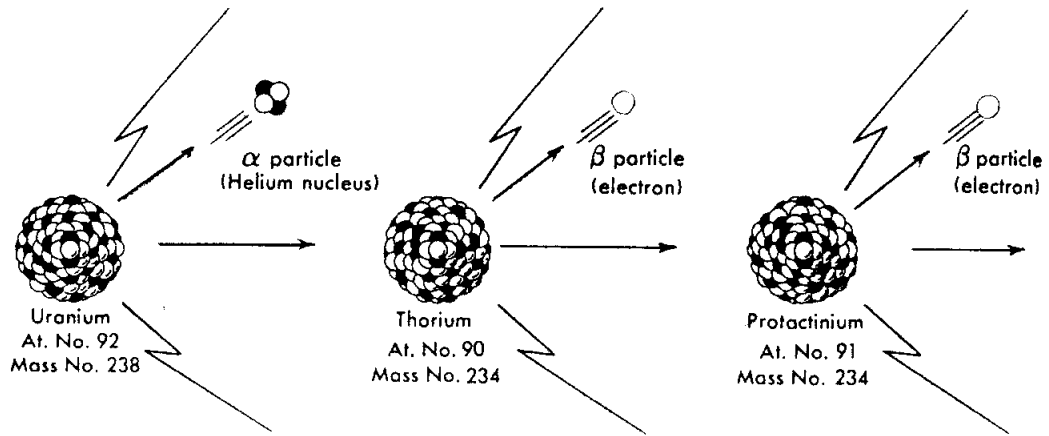
อนุกรมนี้เริ่มต้นจากธาตุยูเรเนียม -235 (U-235) แล้วสลายตัวต่อไปเป็นขั้น ๆ จนไปสิ้นสุดที่ธาตุตะกั่ว -207 (Pb -207)

อนุกรมนี้ พบว่าธาตุทุกธาตุมีแมส넘เบอร์เป็น  $4n + 3$  เมื่อ  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็มจึงเรียกชื่ออนุกรมนี้ย่อ ๆ ว่า อนุกรม  $4n + 3$

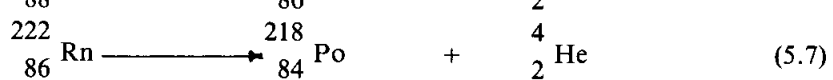
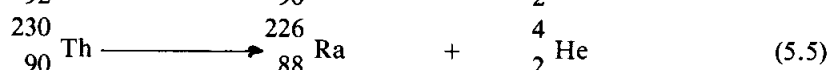
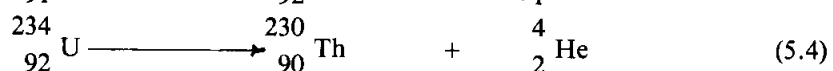
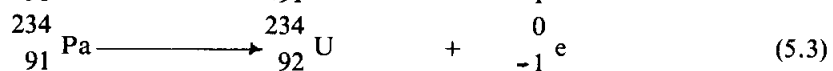
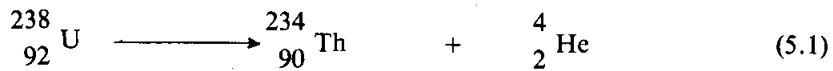
## 4. อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium series)

อนุกรมเนปทูเนียมนี้ความจริงไม่พบว่ามีในธรรมชาติเหมือน 3 อนุกรมแรก แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์สามารถสร้างนิวไคลด์ กัมมันตภาพรังสีของธาตุต่าง ๆ ที่ไม่มีในธรรมชาติได้ (รวมทั้งธาตุหลังธาตุยูเรเนียมด้วย) และจากการศึกษาการสลายตัวและสมบัติต่าง ๆ ของนิวไคลด์เหล่านั้นแล้ว พบว่าสามารถสร้างอนุกรม  $4n + 1$  ขึ้นมาได้ โดยมีธาตุเริ่มต้นเป็นเนปทูเนียม -237 (Np -237) แล้วสลายตัวต่อไปเป็นขั้น ๆ จนไปสิ้นสุดที่ธาตุบิสมัท -209 (Bi -209) จึงเรียกชื่อของอนุกรมนี้ว่าอนุกรมเนปทูเนียมหรือเรียกย่อ ๆ อนุกรม  $4n + 1$  เมื่อ  $n$  เป็นเลขจำนวนเต็ม

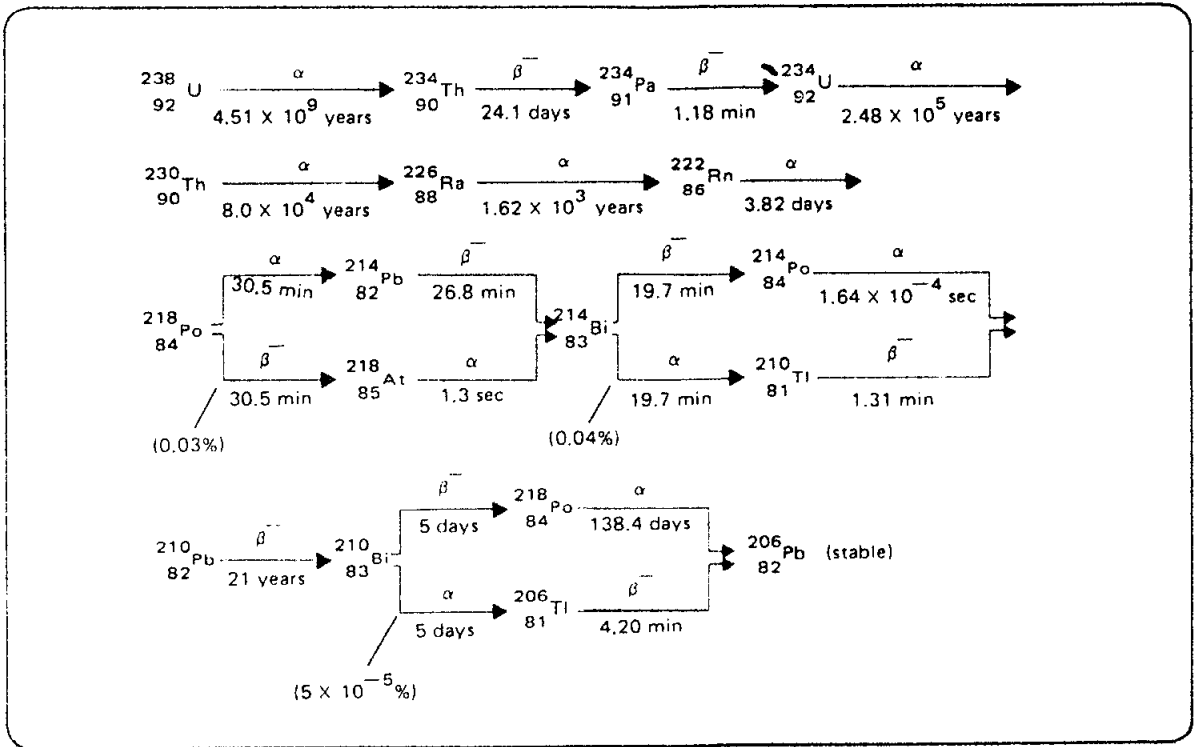
ตัวอย่างการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม



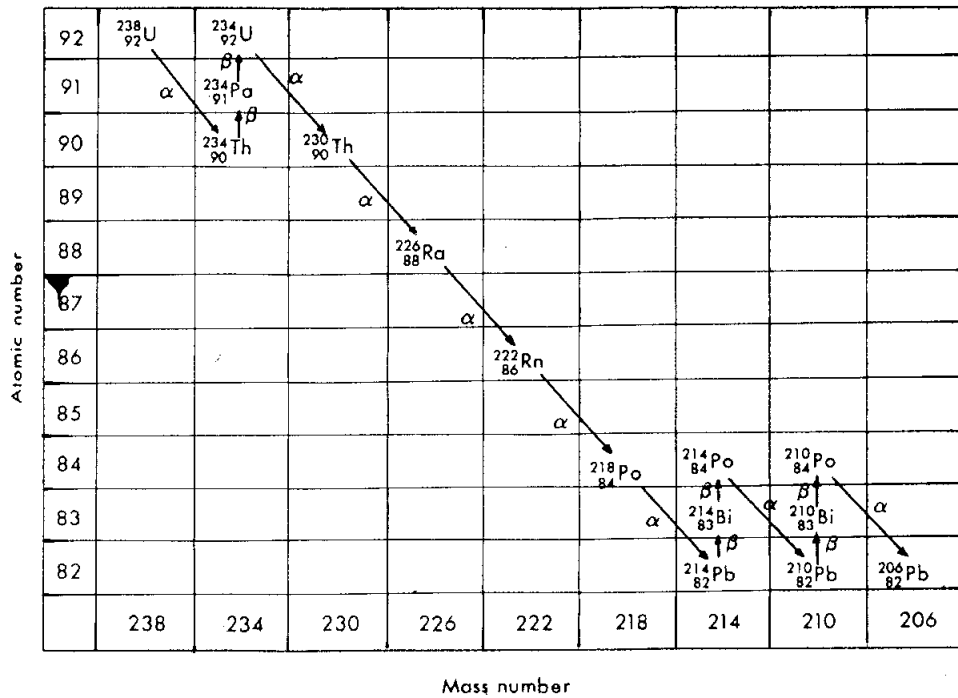
รูปที่ 5.3 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนอนุภาคแอลฟาและเบตาในการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม







รูปที่ 5.4 ก. อนุกรมการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม



รูปที่ 5.4 ข. อนุกรมยูเรเนียม (อนุกรม  $4n + 2$ )

## 5.5 ครึ่งชีวิต (half - life)

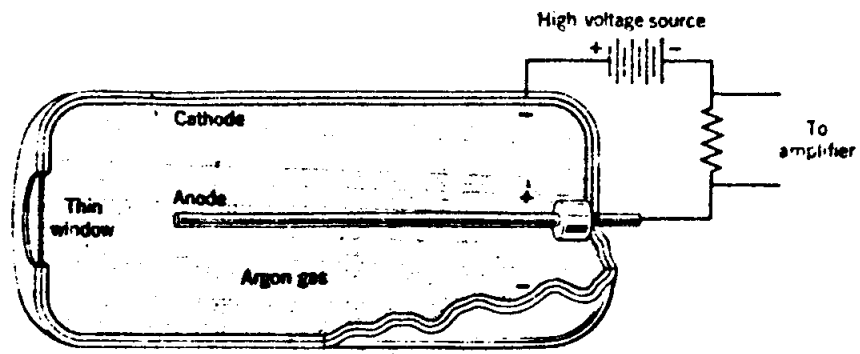
อัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีของแต่ละธาตุมีค่าไม่เท่ากัน บางธาตุสลายตัวเร็ว บางธาตุสลายตัวช้า ดังนั้นจึงนิยามวัดอัตราการสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีในรูปของครึ่งชีวิต (half - life,  $t_{1/2}$ ) ครึ่งชีวิตคือระยะเวลาที่ทำให้ธาตุกัมมันตภาพรังสีสลายตัวไปครึ่งหนึ่ง เช่น ออกซิเจน - 15 มีครึ่งชีวิต 2 นาที ไนโตรเจน - 13 มีครึ่งชีวิต 10 นาที ไอโอดีน - 131 มีครึ่งชีวิต 8 วัน เหล็ก - 59 มีครึ่งชีวิต 45 วัน

ตารางที่ 5.3 นิวไคลด์กัมมันตภาพรังสีธรรมชาติที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์ต่ำกว่า 83

นิวไคลด์	ที่มีในธรรมชาติ (%)	ครึ่งชีวิต (ปี)	นิวไคลด์	ที่มีในธรรมชาติ (%)	ครึ่งชีวิต (ปี)
$^{40}_{19}\text{K}$	0.0118	$1.3 \times 10^9$	$^{148}_{62}\text{Sm}$	11.24	$1.2 \times 10^{15}$
$^{48}_{20}\text{Ca}$	0.18	$2 \times 10^{16}$	$^{149}_{62}\text{Sm}$	13.83	$4 \times 10^{14}$
$^{50}_{23}\text{V}$	0.24	$6 \times 10^{14}$	$^{152}_{64}\text{Gd}$	0.200	$1.1 \times 10^{14}$
$^{87}_{37}\text{Rb}$	27.85	$4.7 \times 10^{10}$	$^{176}_{71}\text{Lu}$	2.59	$2.1 \times 10^{10}$
$^{115}_{49}\text{In}$	95.72	$6 \times 10^{14}$	$^{174}_{72}\text{Hf}$	0.18	$4.3 \times 10^{15}$
$^{138}_{57}\text{La}$	0.089	$1.1 \times 10^{11}$	$^{187}_{75}\text{Re}$	62.93	$7 \times 10^{10}$
$^{142}_{58}\text{Ce}$	11.07	$5 \times 10^{15}$	$^{190}_{78}\text{Pt}$	0.0127	$7 \times 10^{11}$
$^{144}_{60}\text{Nd}$	23.85	$5 \times 10^{15}$	$^{192}_{78}\text{Pt}$	0.78	$10^{15}$
$^{147}_{62}\text{Sm}$	14.97	$1.1 \times 10^{11}$	$^{204}_{82}\text{Pb}$	1.48	$1.4 \times 10^{19}$

## 5.6 เครื่องวัดรังสี Geiger-Muller

เครื่องวัดรังสี Geiger - Muller ประกอบด้วยกระบอกโลหะซึ่งบรรจุอยู่ภายในหลอดแก้ว มีผนังบางอยู่ตรงกลางกระบอกตรงกลางหลอดมีลวดโลหะทำหน้าที่เป็นขั้วบวก ส่วนกระบอกโลหะจะเป็นขั้วลบ ภายในหลอดแก้วมีแก๊สหรือไอที่มีความดันต่ำ ๆ อาจเป็นอาร์กอนหรือไอของแอลกอฮอล์ กระบอกโลหะและลวดโลหะต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงและเครื่องขยายพร้อมทั้งเครื่องนับ



รูปที่ 5.5 เครื่องวัดรังสี Geiger - Muller

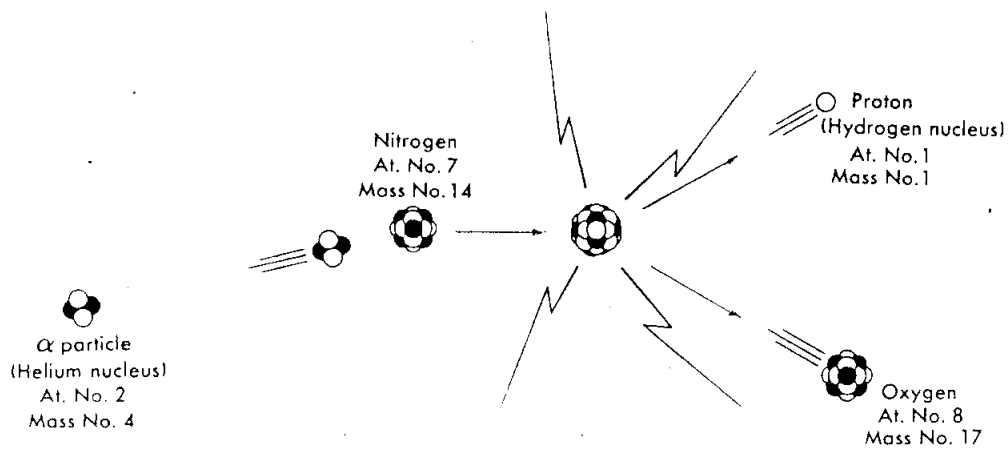
เมื่อให้วัตถุที่มีกัมมันตภาพรังสีเข้าใกล้เครื่องวัดนี้ อนุภาคและรังสีจากสารกัมมันตภาพรังสีจะวิ่งมากระทบกับโมเลกุลของแก๊สที่บรรจุอยู่ภายในกลายเป็นไอออนจะเกิดอิเล็กตรอน ซึ่งถูกดูดไปยังอะโนดส่วนไอออนที่เกิดขึ้นอีกประเภทหนึ่งจะวิ่งไปยังแคโทดจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นชั่วระยะสั้นและกระแสไฟฟ้านี้จะวิ่งต่อไปยังเครื่องขยายและต่อไปยังเครื่องนับ ซึ่งสามารถนับจำนวนอนุภาคที่วิ่งมากระทบกับหลอดแก้ว

### 5.7 การแปรธาตุเทียม (Artificial Transmutation)

ตามปกติธาตุกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติจะสลายตัวกลายเป็นธาตุอื่นและให้อนุภาคแอลฟา อนุภาคเบตา หรือรังสีแกมมา สูดแล้วแต่ชนิดของธาตุ นั่นคือการแปรธาตุตามธรรมชาติ

ต่อมาใน ค.ศ. 1919 Rutherford เป็นคนแรกที่ทำกรทดลองโดยใช้อนุภาคแอลฟา ซึ่งได้มาจากธาตุยูเรเนียมไปกระทบกับนิวเคลียสของไนโตรเจน ปรากฏดังสมการและแผนภาพข้างล่างนี้



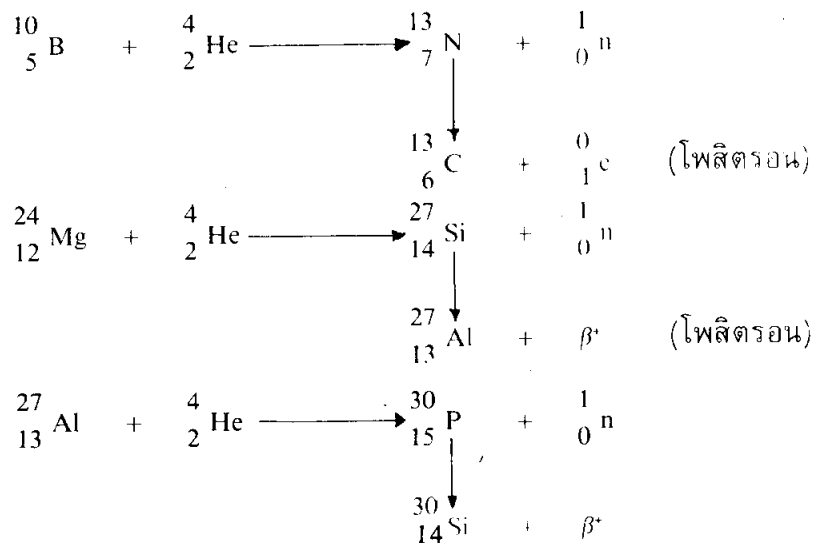


ปฏิกิริยานี้ทราบโดยใช้วิธีถ่ายภาพ fog tracks ของอนุภาคที่ใช้และอนุภาคที่เกิดขึ้น นับว่าเป็นครั้งแรกที่มนุษย์สามารถเปลี่ยนธาตุหนึ่งให้เป็นอีกธาตุหนึ่งได้

ใน ค.ศ. 1932 Chadwick ได้พบนิวตรอน โดยการยิงธาตุเบริลเลียมด้วยอนุภาคแอลฟา จะเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

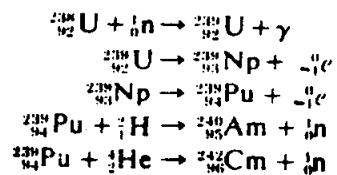


ใน ค.ศ. 1934 I. Curie และ F. Joliot พบว่า ถ้าใช้อนุภาคแอลฟายิงธาตุโบรมีน แมกนีเซียม หรืออะลูมิเนียม จะให้นิวตรอนและโพสิตรอนออกมาเหมือนกัน ดังนี้



ธาตุ  $^{30}_{15}\text{P}$  ที่เกิดขึ้นโดยวิธีนี้มีแมส넘เบอร์แตกต่างจากฟอสฟอรัสธรรมชาติ คือ มันทให้รังสีได้ จึงมักเรียกว่าไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี

สำหรับธาตุที่มีสมบัติเป็นกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติ ได้แก่ ธาตุยูเรเนียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์ 92 ส่วนธาตุที่มีอะตอมมิกนัมเบอร์ตั้งแต่ 93 ขึ้นไปไม่มีในธรรมชาติ แต่สังเคราะห์ขึ้นได้ โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคเพื่อให้มีพลังงานสูงมาก ๆ เช่น cyclotron หรือ Synchrotron จึงเรียกกันว่า man made elements เช่น ถ้ายิงธาตุยูเรเนียมด้วยนิวตรอนจะได้ธาตุใหม่ ๆ ขึ้นอีก ดังนี้



ฉะนั้นธาตุที่สังเคราะห์ซึ่งมีอะตอมมิกนัมเบอร์สูงกว่า 93 อาจเรียกว่าธาตุหลังธาตุยูเรเนียม (Transuranium elements) ขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ได้พบธาตุถึง 105 แล้ว ดังรายละเอียดในตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 ปฏิกิริยาการเตรียมครั้งแรกของธาตุหลังธาตุยูเรเนียม

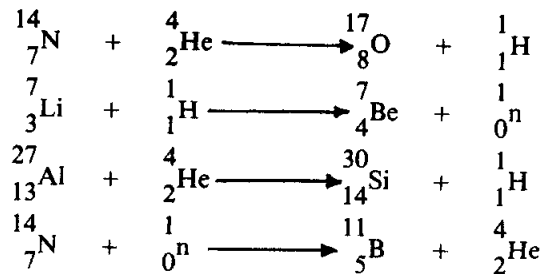
อะตอมมิก นัมเบอร์	ชื่อธาตุ	สัญลักษณ์	ปฏิกิริยานิวเคลียร์
93	neptunium	Np	${}_{92}^{238}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{93}^{239}\text{Np} + {}_{-1}^0\text{e}$
94	plutonium	Pu	${}_{92}^{238}\text{U} + {}_1^2\text{H} \rightarrow {}_{93}^{238}\text{Np} + {}_0^1\text{n}$ ${}_{93}^{238}\text{Np} \rightarrow {}_{94}^{238}\text{Pu} + {}_{-1}^0\text{e}$
95	americium	Am	${}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{95}^{241}\text{Am} + {}_{-1}^0\text{e}$
96	curium	Cm	${}_{94}^{239}\text{Pu} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{96}^{242}\text{Cm} + {}_0^1\text{n}$
97	berkelium	Bk	${}_{95}^{241}\text{Am} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{97}^{243}\text{Bk} + {}_0^1\text{n}$
98	californium	Cf	${}_{96}^{242}\text{Cm} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{98}^{245}\text{Cf} + {}_0^1\text{n}$
99	einsteinium	Es	${}_{92}^{238}\text{U} + 15{}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{99}^{253}\text{Es} + 7{}_{-1}^0\text{e}$
100	fermium	Fm	${}_{92}^{238}\text{U} + 17{}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{100}^{255}\text{Fm} + 8{}_{-1}^0\text{e}$
101	mendelevium	Md	${}_{99}^{253}\text{Es} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{101}^{256}\text{Md} + {}_0^1\text{n}$
102	nobelium	No	${}_{96}^{246}\text{Cm} + {}_6^{12}\text{C} \rightarrow {}_{102}^{254}\text{No} + 4{}_0^1\text{n}$
103	lawrencium	Lr	${}_{98}^{252}\text{Cf} + {}_5^{10}\text{B} \rightarrow {}_{103}^{258}\text{Lr} + 4{}_0^1\text{n}$
104	kurchatovium	Ku	${}_{94}^{242}\text{Pu} + {}_{10}^{22}\text{Ne} \rightarrow {}_{104}^{260}\text{Ku} + 4{}_0^1\text{n}$
104	rutherfordium	Rf	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_6^{12}\text{C} \rightarrow {}_{104}^{257}\text{Rf} + 4{}_0^1\text{n}$
105	hahnium	Ha	${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_7^{15}\text{N} \rightarrow {}_{105}^{260}\text{Ha} + 4{}_0^1\text{n}$
106			${}_{98}^{249}\text{Cf} + {}_8^{18}\text{O} \rightarrow {}_{106}^{263}\text{?} + 4{}_0^1\text{n}$
107			${}_{83}^{209}\text{Bi} + {}_{24}^{54}\text{Cr} \rightarrow {}_{107}^{261}\text{?} + 2{}_0^1\text{n}$

## 5.8 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reactions)

ปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับนิวเคลียสของอะตอม ผลที่ได้หลังจากการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ทำให้นิวเคลียสของอะตอมนั้นเปลี่ยนไปกลายเป็นนิวเคลียสของอะตอมอื่น ๆ และมีสมบัติเป็นธาตุกัมมันตภาพรังสีและมีพลังงานเกิดขึ้นมากมาย

5.8.1 สมการนิวเคลียร์เป็นสมการที่แสดงถึงปฏิกิริยาของนิวเคลียสของธาตุที่เข้าทำปฏิกิริยากันและผลที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยานั้น ๆ วิธีเขียนสมการนิวเคลียร์มีดังนี้

1. เขียนสูตร ธาตุและอนุภาคพร้อมทั้งกำหนดค่าแมสนิ่งเบอร์และอะตอมมิกนัมเบอร์
2. เขียนผลที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์
3. ทำสมการให้ดุลทั้งซ้ายและขวา โดยคิดค่าผลบวกของอะตอมมิกนัมเบอร์ทั้งสองข้างต้องเท่ากัน ในทำนองเดียวกันแมสนิ่งเบอร์ก็ต้องเท่ากันทั้งสองข้างด้วย
4. ในกรณีที่ใช้ออนุภาคยิงนิวเคลียสของอะตอมของธาตุ ให้เขียนนิวเคลียสของธาตุที่ถูกยิงไว้หน้า ต่อไปจึงเป็นอนุภาคที่ใช้อย่าง ถัดจากนั้นจึงมีลูกศรตรงกลางชี้ไปทางขวามือ ถัดจากนั้นคือผลที่ได้เช่น



ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างของปฏิกิริยานิวเคลียร์

ชนิด	ปฏิกิริยา	กัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์
(α, n)	${}^{75}_{33}\text{As} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{78}_{33}\text{Br} + {}^1_0\text{n}$	$\beta^+$
(α, p)	${}^{106}_{46}\text{Pd} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{109}_{47}\text{Ag} + {}^1_1\text{H}$	stable
(p, n)	${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$	ec
(p, γ)	${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + \gamma$	$\beta^+$
(p, α)	${}^9_4\text{Be} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$	stable
(d, p)	${}^{31}_{15}\text{P} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{32}_{15}\text{P} + {}^1_1\text{H}$	$\beta^-$
(d, n)	${}^{209}_{83}\text{Bi} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{210}_{84}\text{Po} + {}^1_0\text{n}$	$\alpha$
(n, γ)	${}^{59}_{27}\text{Co} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$	$\beta^-$
(n, p)	${}^{45}_{21}\text{Sc} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{45}_{20}\text{Ca} + {}^1_1\text{H}$	$\beta^-$
(n, α)	${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{24}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$	$\beta^-$

5.8.2 วิธีเขียนสมการแบบ Short - hand Notations เป็นการเขียนแบบย่อโดยเขียนนิวเคลียสที่เป็นตัวที่ถูกยิง ซึ่งต้องเขียนให้ครบทั้งอะตอมมิกนัมเบอร์และแมสนัมเบอร์ภายในวงเล็บเขียนอนุภาคที่ใช้เป็นตัวยิง ต่อไปคืออนุภาคที่เกิดพลังงานจากถูกยิง และธาตุที่เกิดขึ้นในภายหลังเป็นตัวต่อมา ดังตัวอย่างเช่น



จากสมการ (5.8)

${}_{7}^{14}\text{N}$  คือ นิวเคลียสของธาตุไนโตรเจนที่จะถูกเปลี่ยน

$\alpha$  คือ นิวเคลียสของฮีเลียมหรืออนุภาคแอลฟา

p คือ โปรตอน

${}_{8}^{17}\text{O}$  คือ สัญลักษณ์ของธาตุออกซิเจนที่เกิดขึ้นภายหลัง

สัญลักษณ์ของอนุภาคต่าง ๆ มีดังนี้

p คือ โปรตอน

n คือ นิวตรอน

$\alpha$  คือ นิวเคลียสของฮีเลียมหรืออนุภาคแอลฟา

$\beta^{-}$  คือ อิเล็กตรอน

$\gamma$  คือ รังสีแกมมา

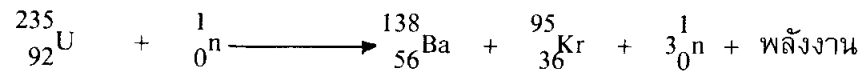
d คือ ดิวטרอน (deuteron)

t คือ ทรีเตียม (tritium)

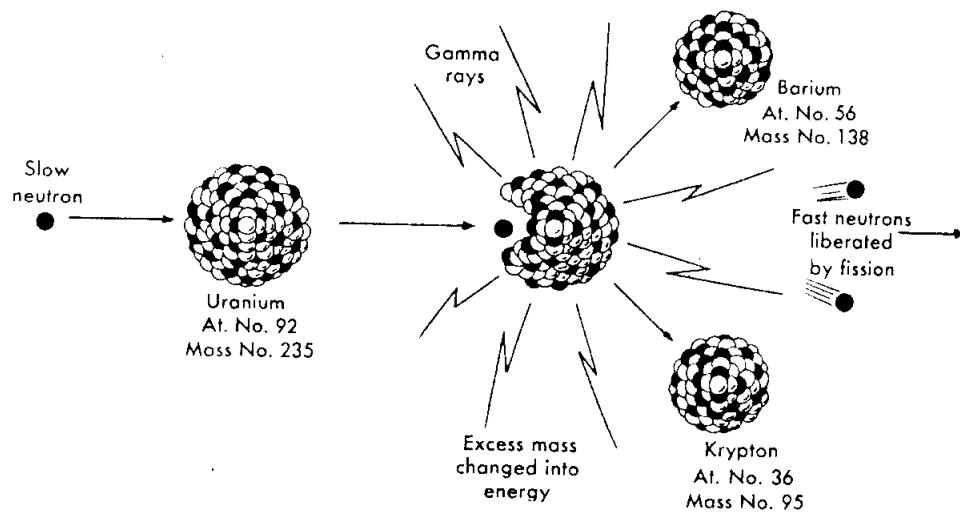


## 5.9 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน

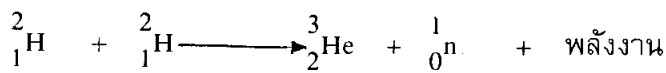
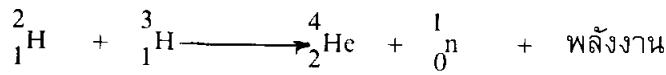
ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน จัดว่าเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญอันหนึ่ง ใน ค.ศ. 1938 Otto Hahn และ Strassmann ได้ใช้นิวตรอนยิงนิวเคลียสของธาตุยูเรเนียม ปรากฏว่า นิวเคลียสของธาตุยูเรเนียมถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนมีมวลเกือบเท่ากันและได้อนุภาคใหม่อีก



พร้อมกันนี้ก็ได้พลังงานออกมาอีกมากมาย พลังงานนี้ได้จากมวลบางส่วนของธาตุหายไประบายเป็นพลังงาน ตามกฎเกณฑ์ที่ไอน์สไตน์วางไว้ คือ  $E = mc^2$  ในการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันนี้ จะเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ด้วย จากสมการข้างบนพบว่า เกิดนิวตรอน 3 ตัวต่อ 1 อะตอมของยูเรเนียม - 235 ฉะนั้นนิวตรอนใหม่นั้นจะเป็นตัวยิงอะตอมของยูเรเนียม - 235 ที่ยังไม่ได้ถูกยิง จะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันนี้ขึ้นได้นิวตรอนใหม่อีก (ดูแผนภาพข้างล่าง) ฉะนั้น จึงก่อให้เกิดพลังงานมหาศาล







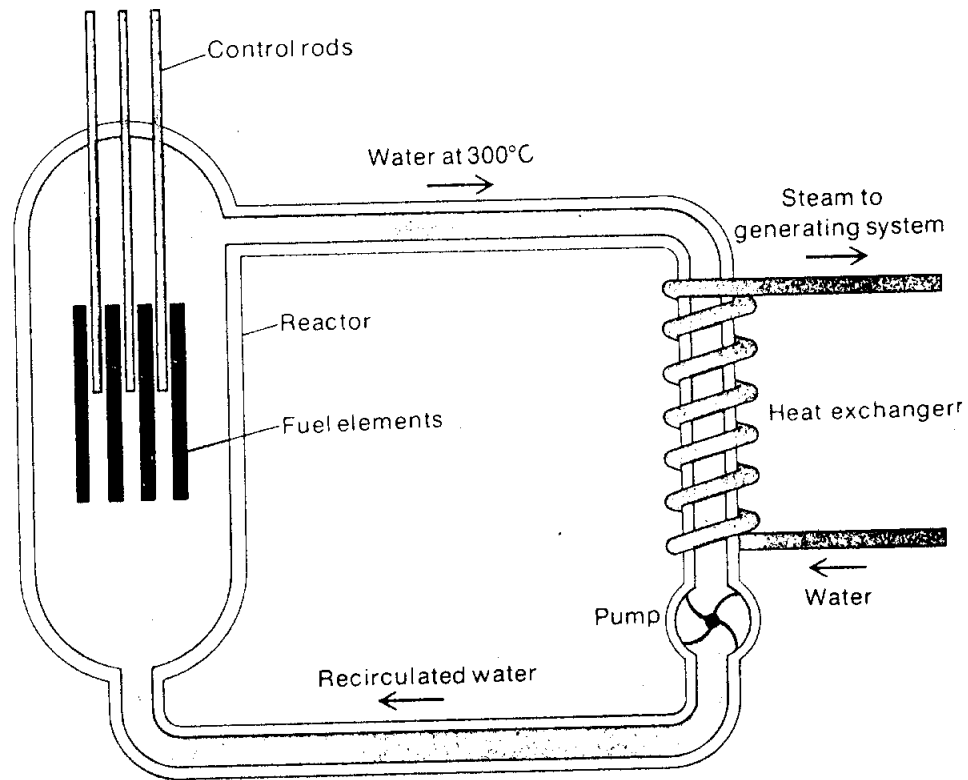
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ ให้ความร้อนออกมาอย่างมหาศาล

จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันนำไปสู่การสร้างระเบิดไฮโดรเจน (hydrogen bomb) ในดวงอาทิตย์ก็เชื่อว่าเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันตลอดเวลาและไฮโดรเจนจะรวมกันเป็นฮีเลียมตลอดเวลา

### 5.11 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear reactor)

เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู คือเครื่องมือสำหรับควบคุมปฏิกิริยาฟิชชันให้เกิดในขอบเขตที่พอเหมาะ เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูสร้างขึ้นครั้งแรกในมหาวิทยาลัยชิคาโก เมื่อ ค.ศ. 1942 ซึ่งประกอบด้วย

1. เชื้อเพลิงปรมาณู โดยทั่วไปใช้ธาตุยูเรเนียม - 235 หรือพลูโทเนียม - 239
2. โมเดอเรเตอร์ (Moderator) ทำด้วยแกรไฟต์หรือ heavy water หรือพาราฟิน ทำหน้าที่เป็นตัวลดความเร็วของนิวตรอนแต่ไม่ดูดกลืนนิวตรอน เมื่อนิวตรอนวิ่งมากระทบกับโมเดอเรเตอร์จะคายพลังงานและลดความเร็วของอนุภาคลงมาก
3. แท่งควบคุม (Control rod) ใช้ควบคุมปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันที่ควบคุมได้ โดยใช้แท่งโลหะแคดเมียมหรือโบรอนเป็นตัวดูดนิวตรอนเสียบ้าง เพราะขณะเกิดปฏิกิริยาจะมีนิวตรอนเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งเป็นข้อแตกต่างระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูกับระเบิดปรมาณูตั้งได้กล่าวมาแล้ว
4. คูแลนต์ (Coolant) ทำหน้าที่เป็นตัวระเหยความร้อนออกจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งนิยมใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อน
5. เครื่องกำบัง มีหน้าที่ป้องกันรังสีไม่ให้เล็ดลอดออกมาจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู นิยมใช้คอนกรีตและน้ำเป็นเครื่องกำบัง



รูปที่ 5.6 แสดงภายในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

## 5.12 ประโยชน์ของสารกัมมันตภาพรังสี

5.12.1 ใช้เป็นแหล่งให้พลังงาน มนุษย์ต้องการใช้พลังงานแต่เนื่องจากวัตถุดิบในโลกนั้นน่าจะร่อยหรอลงไปอาทิเช่น ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม ฉะนั้นเมื่อเป็นเช่นนั้นมนุษย์จำเป็นจะต้องหาพลังงานให้ได้ จึงได้หันมาใช้พลังงานนิวเคลียร์แทน ตามที่ทราบแล้วยูเรเนียม 1 กิโลกรัม ให้พลังงานได้เท่ากับน้ำมัน 5 ล้านแกลลอน หรือ ถ่านหิน 3 ล้านกิโลกรัม

5.12.2 ใช้ในทางแพทย์เพื่อให้สารกัมมันตภาพรังสีไปยับยั้ง และทำลายความเจริญของโรคมะเร็ง เช่น โรคมะเร็ง โดยใช้ผลของการแผ่รังสีนั้นไปช่วยทำลาย ธาตุยูเรเนียมก็เป็นธาตุที่ใช้เพื่อรักษาโรคมะเร็ง แต่ทว่าราคาสูงมาก ต่อมาใช้เรดอนซึ่งก็เป็นแก๊สที่คายจากราเดียมและครึ่งชีวิตก็สั้นเพียง 3.28 วัน

โคบอลต์ - 60 ใช้รักษาโรคซึ่งได้มาจากโคบอลต์ - 59 โคบอลต์ - 60 นี้มีครึ่งชีวิตประมาณ 5.3 ปี

โซเดียม - 24 ใช้เป็น tracer เตรียมได้จาก  $^{24}\text{Mg}(n, p) ^{24}\text{Na}$  ใช้ดูการหมุนเวียนของโลหิต เพื่อการวิเคราะห์ของแพทย์ วิธีใช้ก็คือฉีด  $\text{Na}^{24}\text{Cl}$  เข้าไปในเส้นโลหิตแล้วใช้เครื่องวัดรังสี Geiger - Muller ตรวจ

ไอโอดีน - 131 ใช้รักษาและวิเคราะห์การทำงานของต่อมไทรอยด์

นอกจากนี้แล้วยังมีไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีอื่น ๆ ที่มีประโยชน์ในทางแพทย์อีกเท่าที่อธิบายนี้เพียงตัวอย่างที่ยกมาเพื่อชี้ให้เห็นความสำคัญของมันเท่านั้น

5.12.3 ใช้ในทางเกษตรกรรม ใช้พวกไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีในลักษณะ tracer เพื่อการศึกษาเรื่องปุ๋ยว่าพืชดูดซึมปุ๋ยได้มากน้อยเพียงใด และปุ๋ยให้ประโยชน์เพียงใด โดยใส่ปุ๋ยซึ่งมีสารพวกไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี แล้วทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง ต่อมาเอาพืชไปตรวจดูว่ามีไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีอยู่เท่าไร

บางที่ใช้ไอโซโทปกัมมันตภาพรังสี ศึกษาความเป็นอยู่ของแมลง เพื่อการควบคุมชีวิตแมลงในการที่จะกำจัดมันต่อไป หรือบางที่รังสีช่วยทำให้แมลงเป็นหมันได้

บางครั้งให้ต้นไม้รับรังสีเพื่อศึกษา mutation ที่จะเกิดผลภายหลังซึ่งอาจจะก่อให้เกิดพันธุ์ที่ดีขึ้น เราก็กักไว้ทำพันธุ์ต่อไป

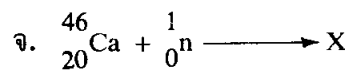
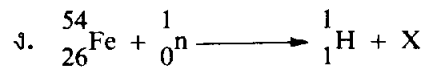
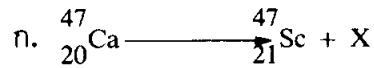
ใช้ศึกษาขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เพื่อดูว่าออกซิเจนที่พืชคายออกมานั้นได้จาก  $\text{CO}_2$  หรือ  $\text{H}_2\text{O}$  ซึ่งปรากฏว่าเป็นออกซิเจนซึ่งได้จากน้ำ

5.12.4 ใช้ในทางธรณีวิทยา เพื่อตรวจดูอายุของโลกโดยใช้สารกัมมันตภาพรังสีอนุกรมยูเรเนียม หรือบางครั้งเขาใช้สารกัมมันตภาพรังสีตัวอื่น ๆ ตรวจดูอายุไม้ อายุภูเขาอายุของแร่ เหล่านี้เป็นต้น

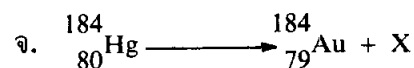
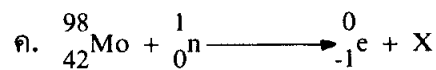
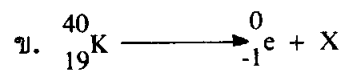
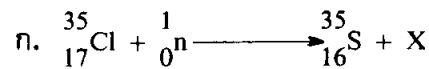
5.12.5 ใช้ในทางอุตสาหกรรม รังสีจากสารพวกไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีทำให้ควบคุมคุณภาพของสินค้าได้ เช่น ใช้วัดความหนาของแผ่นโลหะ ที่โรงงานผลิตออกมาโดยใช้วัตถุที่ผลิตผ่านเครื่องตรวจสอบ

## แบบฝึกหัด

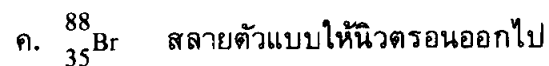
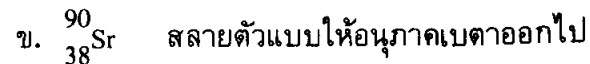
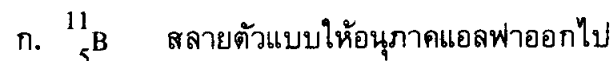
1. รังสีที่เปล่งออกมาจากสารกัมมันตภาพรังสีมีอะไรบ้างและแต่ละรังสีมีสมบัติเป็นอย่างไร
2. ความแตกต่างและความคล้ายคลึงกันที่มีระหว่างอนุภาค $\beta$  และโพสิตรอน
3. จงหาว่า X ที่มีในแต่ละสมการต่อไปนี้ เป็นธาตุหรืออนุภาคอะไร



4. จงหาว่า X ที่มีอยู่ในแต่ละสมการต่อไปนี้ เป็นธาตุหรืออนุภาคอะไร



5. จงเขียนสมการนิวเคลียร์ของแต่ละข้อต่อไปนี้



ง.  ${}_{33}^{70}\text{As}$  สลายตัวแบบให้โพสิตรอนออกไป

จ.  ${}_{19}^{41}\text{K}$  สลายตัวแบบให้โปรตอนออกไป

6. จงเขียนสมการนิวเคลียร์ของแต่ละข้อข้างล่างนี้

ก.  ${}_{96}^{242}\text{Cm} (\alpha, n) \quad {}_{98}^{245}\text{Cf}$

ข.  ${}_{48}^{108}\text{Cd} (n, \alpha) \quad {}_{48}^{109}\text{Cd}$

ค.  ${}_{7}^{14}\text{N} (n, p) \quad {}_{6}^{14}\text{C}$

ง.  ${}_{13}^{27}\text{Al} (d, \alpha) \quad {}_{12}^{25}\text{Mg}$

7. สมมติว่ามีฟอสฟอรัส - 32 ซึ่งมีครึ่งชีวิตเท่ากับ 14 วัน อยู่ในปริมาณ 500 มิลลิกรัม จงหาว่าหลังจากนี้ไปอีก 70 วัน จะมีฟอสฟอรัส - 32 เหลืออยู่เท่าไร
8. สารกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติแบ่งออกเป็นกี่อนุกรม อะไรบ้าง
9. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูคืออะไร มีความแตกต่างกับระเบิดปรมาณูอย่างไร