เคมีนิวเคลียร์

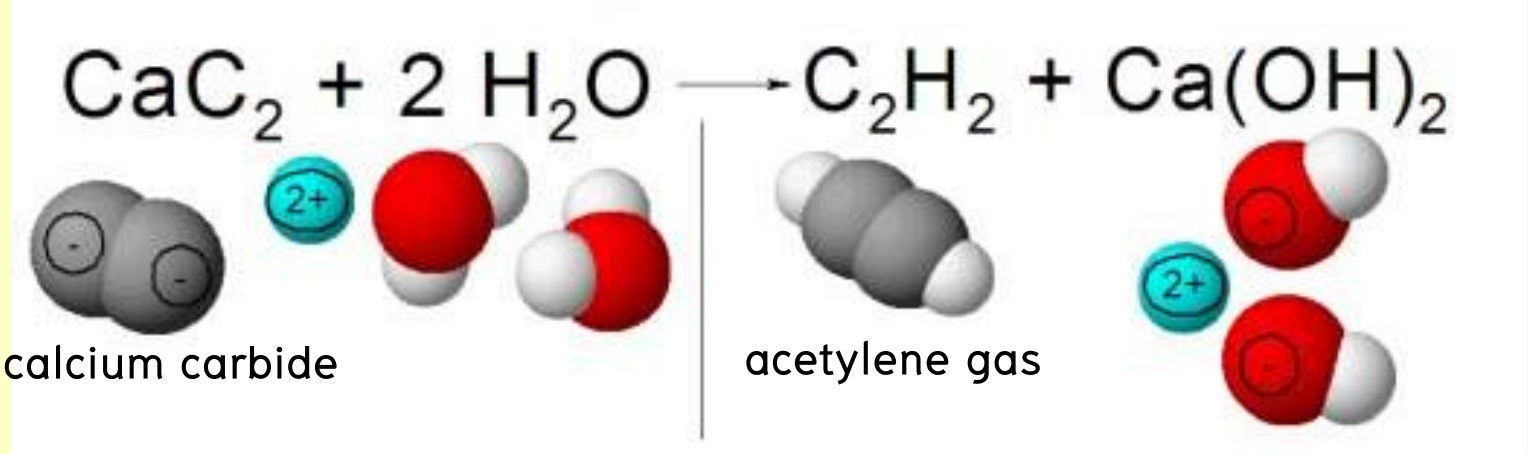
(Nuclear Chemistry)

โดย อ.ดร. สายรุ้ง เมืองพิล

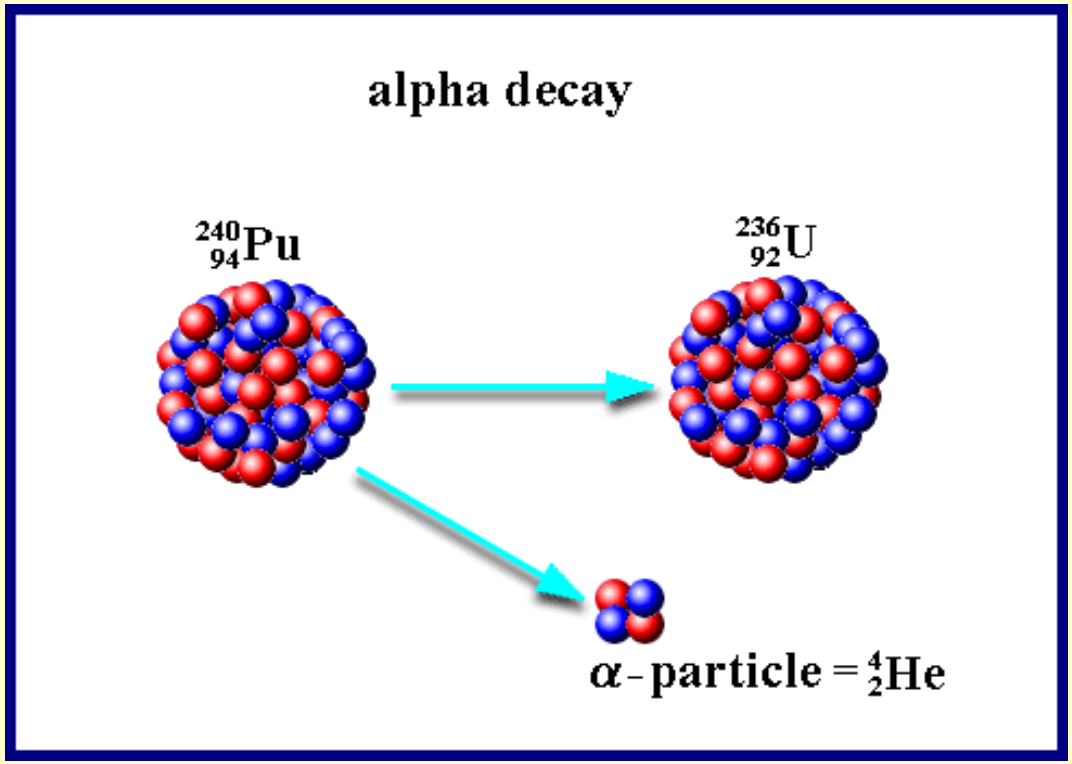
- 3 ชั่วโมง
- 6.5%
- สอบกลางภาค 5 มี.ค. 58 (8.00–11.00 น.)

ความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาเคมีทั่วไปกับปฏิกิริยานิวเคลียร์

Chemical Reaction	Nuclear Reaction
1. ไอโซโทปของธาตุมีสมบัติทางเคมีเหมือนกัน	1. ไอโซโทปมีสมบัติทางนิวเคลียร์ต่างกัน
2. สลายพันธะเคมีเดิมและเกิดพันธะใหม่	2. เปลี่ยนไอโซโทปของธาตุเดิม หรือเปลี่ยนเป็นธาตุอื่น
3. เกี่ยวข้องเฉพาะอิเล็กตรอนวงนอกสุด	3. เกี่ยวข้องกับ p , n , e^-
4. มีการดูดหรือคายพลังงานปริมาณเล็กน้อย	4. เกี่ยวข้องกับพลังงานปริมาณมาก
5. อัตราเร็วของปฏิกิริยา ขึ้นกับอุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้น ตัวเร่งปฏิกิริยา	5. อัตราเร็วของปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับปัจจัยภายนอก

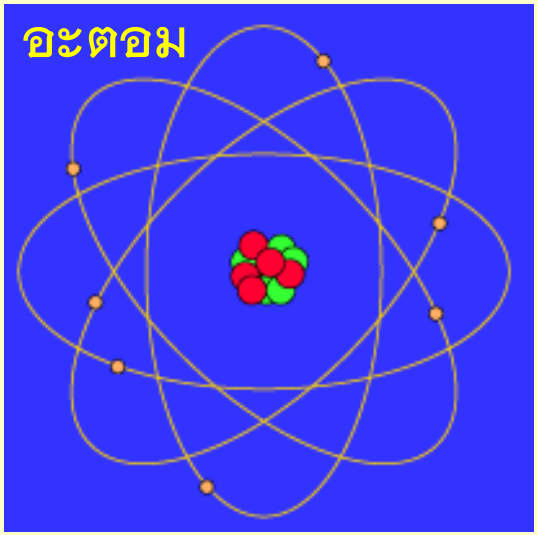


https://shschemistry1.wikispaces.com/Chemical+Equations+and+Reactions



http://cikguwong.blogspot.com/2011/08/physics-form-5-chapter-5-radioactive.html

สมบัติของนิวเคลียส



- อะตอม: ประกอบด้วยนิวเคลียส (n และ p) และมี electron (e) กระจายอยู่ในที่ว่างรอบ ๆ
- นิวเคลียส: มีขนาดเล็กมากและมีปริมาตรน้อยมาก แต่มีมวลมาก

มวล p = 1.007276 amu

n = 1.008665 amu

e = 0.000549 amu

(amu = atomic mass unit, 1 amu = 1.66×10^{-24} กรัม)

- รูปร่างของนิวเคลียสถือเป็น ‘ทรงกลม’
- บางครั้งถูกเรียกว่า ‘nucleon’

$${}^{A}_{Z}X$$

A = mass number (เลขมวล) = p + n

Z = atomic number (เลขอะตอม) = p = e

ประเภทของอะตอม

แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามจำนวนของ โปรตอน (p) นิวตรอน (n) และ เลขมวล (A)

1. เมื่อ p เท่ากัน

เช่น $^{11}_{6}C$ $^{12}_{6}C$ $^{13}_{6}C$ $^{14}_{6}C$ – สมบัติทางเคมีเหมือนกัน

– เลขอะตอมเท่ากัน (p เท่ากัน)

– เลขมวล (A) ต่างกัน (n ต่างกัน)

– เรียกว่า ไอโซโทป (isotope)

2. เมื่อ n เท่ากัน

เช่น $^{9}_{3}Li$ $^{10}_{4}Be$ $^{11}_{5}B$ $^{12}_{6}C$ – จำนวน n เท่ากัน n = 6

– เลขมวล (A) และเลขอะตอม (p) ต่างกัน

– เรียกว่า ไอโซโทน (isotone)

3. เมื่อเลขมวล (A) เท่ากัน

เช่น $^{12}_{5}B$ $^{12}_{6}C$ $^{12}_{7}N$ – เลขมวล (A) เท่ากัน

– เลขอะตอม (p) และ จำนวน n ต่างกัน

– เรียกว่า ไอโซบาร์ (isobar)

ขนาดของนิวเคลียส

- ปริมาตรของนิวเคลียสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเลขมวล

$V \propto A$ เมื่อ V = ปริมาตร

A = เลขมวล

- รูปร่างนิวเคลียสเป็นทรงกลม

$V \propto R^3$ เมื่อ R = รัศมีของนิวเคลียส

แสดงว่า $R^3 \propto A$ หรือ $R \propto A^{1/3}$

จากการทดลองของรัทเทอร์ฟอร์ด:

$R = R_0 A^{1/3}$ เมื่อ $R_0 = 1.2 - 1.5$ f (f = Fermi, 1 f = 10^{-13} cm)

แทนค่า R_0 (1.4 f) แล้วคำนวณหารัศมีของนิวเคลียส ได้ค่าตั้งแต่

1.45×10^{-13} ถึง 9.2×10^{-13} cm

- รัศมีของอะตอม (R_a) คำนวณจาก

$R_a = 9.6 \times 10^{-8} (A/\rho)^{1/3}$ cm

ρ = ความหนาแน่นของธาตุในสถานะของแข็ง

เสถียรภาพของนิวเคลียส (Nuclear Stability)

นิวเคลียสที่เสถียร – ไม่แผ่รังสี

นิวเคลียสที่เสถียร – แผ่รังสี เรียก ไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope)

นิวเคลียสจะเสถียรหรือไม่ พิจารณาจาก

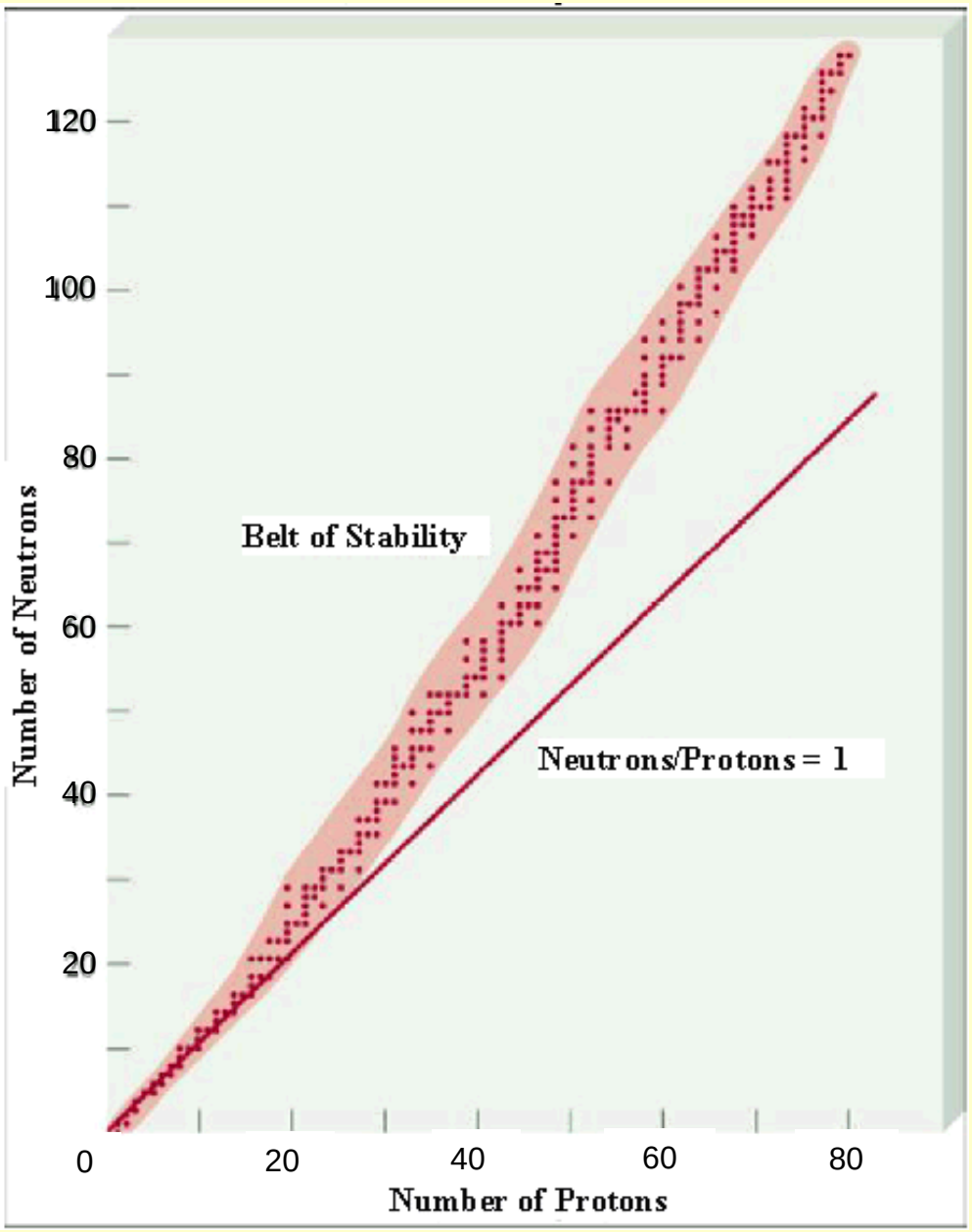
1. อัตราส่วนของ n / p
   - ธาตุที่มี atomic no. ต่ำ จะเสถียรถ้า n / p ≈ 1
   - ธาตุ atomic no. สูงขึ้น จะเสถียรถ้า n / p > 1 เพราะต้องมี neutron มากขึ้น เพื่อต้านการผลักกันของ proton

2. พิจารณาจากจำนวน n และ p
   - ธาตุที่มี n หรือ p = 2(He), 8(O), 20(Ca), 50(Sn), 82(Pb), 126 จะมีความเสถียรสูงและมีจำนวนไอโซโทปมาก
     (เลข 2, 8, 20, 50, 82, 126 เรียกว่า เลขมหัศจรรย์ (magic number))
   - ธาตุที่มีจำนวน p, n เป็นเลขคู่ (even) เสถียรกว่าเลขคี่ (odd)

จำนวนไอโซโทปที่เสถียรที่มีอยู่ในธรรมชาติ

จำนวน p	จำนวน n	จำนวนไอโซโทปที่เสถียร
เลขคี่	เลขคี่	4
เลขคี่	เลขคู่	61
เลขคู่	เลขคี่	69
เลขคู่	เลขคู่	201

แถบเสถียรภาพทางนิวเคลียร์ (Belt of Stability)



http://people.uwplatt.edu/~sundin/114/image/BELT1.gif

นิวเคลียสที่เสถียร:

- กลุ่ม $Z \leq 20$, $n/p = 1$
- กลุ่ม Z สูงๆ, $n/p > 1$, $n > p$

นิวเคลียสที่ไม่เสถียร:

- ธาตุที่มี $Z > 83$ ทุก isotopes เป็น radioactive (ไม่เสถียร)

นิวเคลียสที่เสถียร:

- n/p (หรือ N/Z) อยู่บน Belt of stability

ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear reactions)

1. การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive decay)

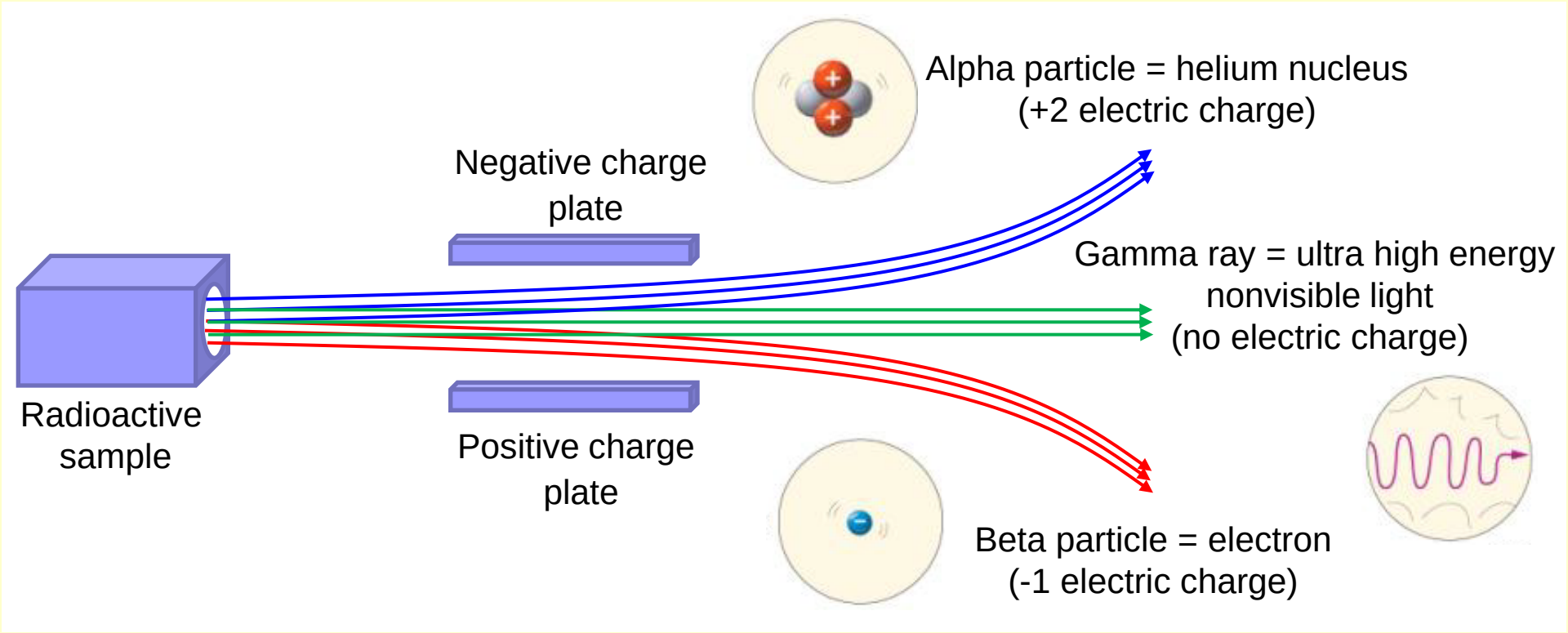
2. การแปรนิวเคลียร์ (Nuclear transmutation)

   2.1 ปฏิกิริยาการแยกนิวเคลียส (Nuclear fission reaction)

   2.2 ปฏิกิริยาการหลอมนิวเคลียส (Nuclear fusion reaction)

1. การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Radioactive decay)

เกิดจากนิวเคลียสที่ไม่เสถียรเกิดการสลายตัว และปลดปล่อยอนุภาค (particles) หรือ รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (radioactive radiation) ออกมา ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า *กัมมันตภาพรังสี* (radioactivity)

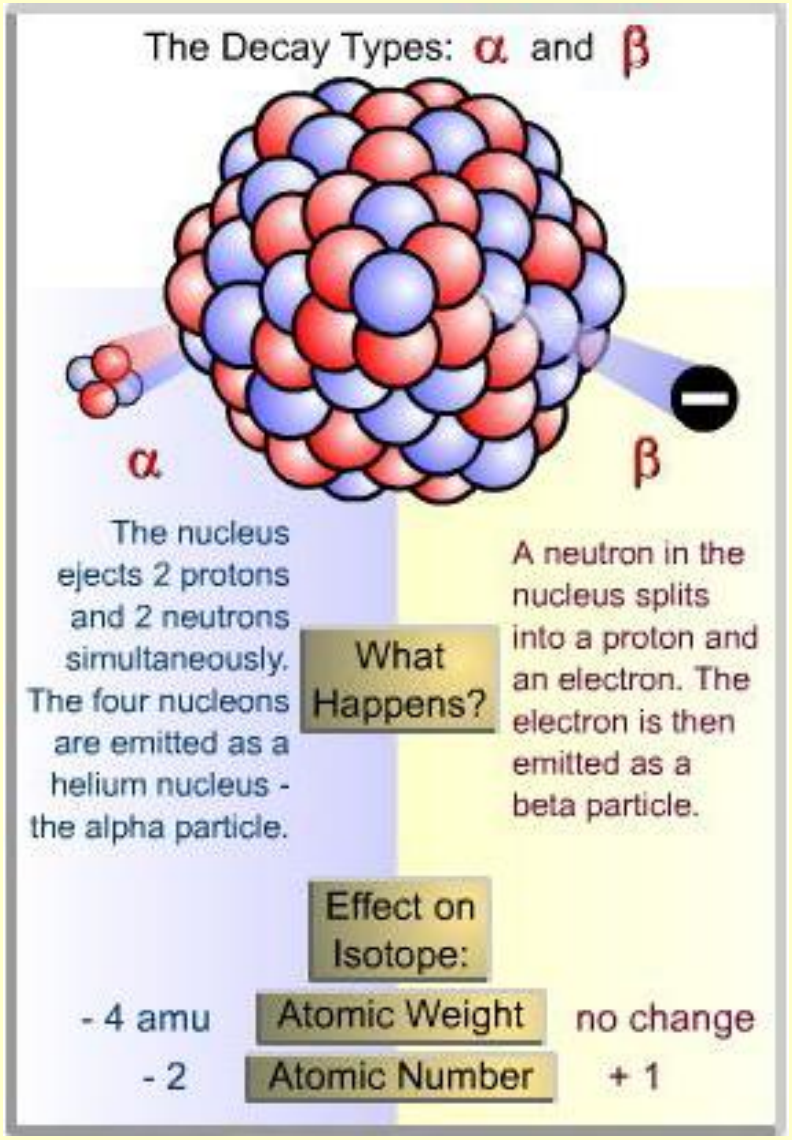


อนุภาคพื้นฐานที่คายออกมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสี

อนุภาค	สัญลักษณ์	ประจุ	มวล (amu)	สมบัติ
α	$^{4}_{2}He$	+2	4	อนุภาค
β หรือ β^-	$^{0}_{-1}e$	–1	0	อนุภาค
γ	γ หรือ $^{0}_{0}\gamma$	0	0	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
นิวตรอน (n)	$^{1}_{0}n$	0	1	อนุภาค
โปรตอน (p)	$^{1}_{1}H$	+1	1	อนุภาค
โพสิตรอน (β^+)	$^{0}_{+1}e$	+1	0	อนุภาค

1 amu = 1.66×10^{-24} กรัม

α-decay



ปล่อยอนุภาค α ออกมาจาก nucleus

$^{4}_{2}He$ ประจุ +2, มวล 4

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น:

เลขมวล ลดลง 4

เลขอะตอม ลดลง 2

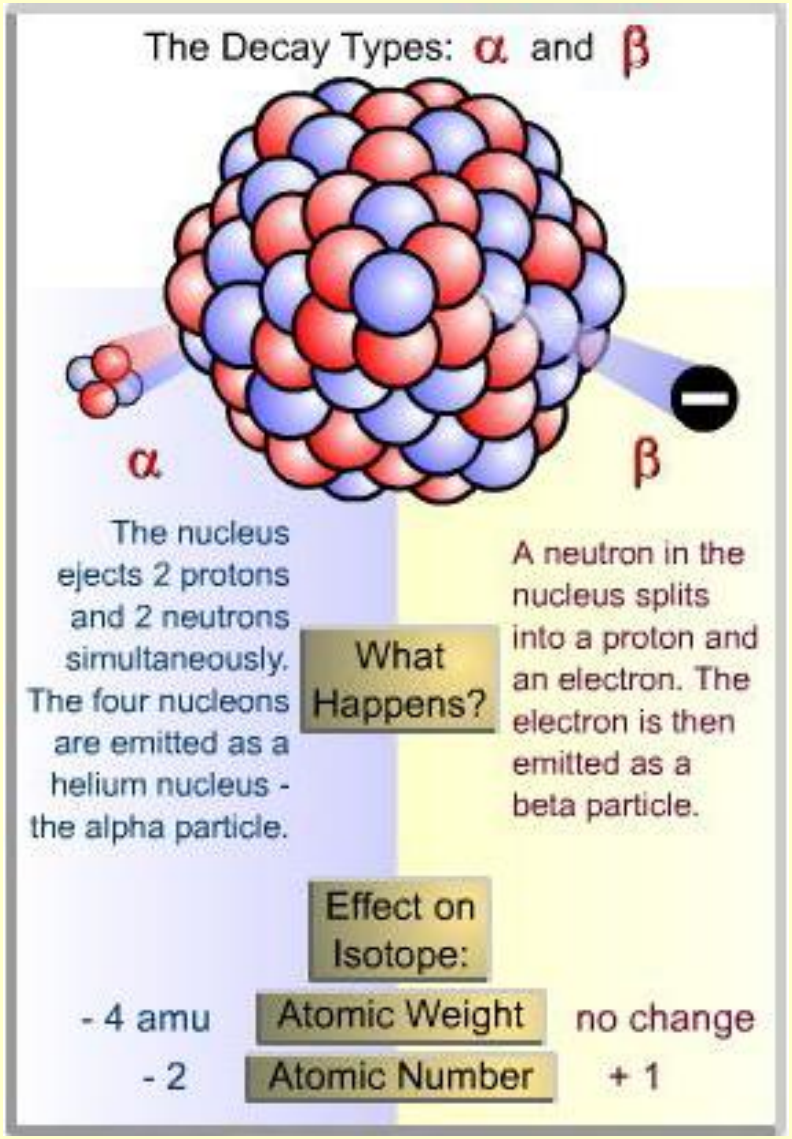
มักเกิดกับ radioactive isotope ที่มีเลขมวล (A) สูงๆ หรือเลขอะตอม (Z) > 83 เพื่อให้ได้ธาตุที่มีเลขมวลและเลขอะตอมต่ำลง และเสถียรมากขึ้น เช่น

$$^{240}_{94}Pu \rightarrow {}^{236}_{92}U + {}^{4}_{2}He$$

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$

$$^{241}_{95}Am \rightarrow {}^{237}_{93}Np + {}^{4}_{2}He$$

β–decay



ปล่อยอนุภาค β^- ออกมาจาก nucleus

$^{0}_{-1}e$ ประจุ –1, ไม่มีมวล

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น:

เลขมวล คงเดิม

เลขอะตอม เพิ่มขึ้น 1

radioactive isotope ที่มี เลขมวล (A) ต่ำๆ สามารถเกิดกระบวนการ β–decay เพื่อให้ได้อะตอมที่มีเสถียรภาพมากขึ้น เช่น

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$$

$$^{8}_{3}Li \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{0}_{-1}e$$

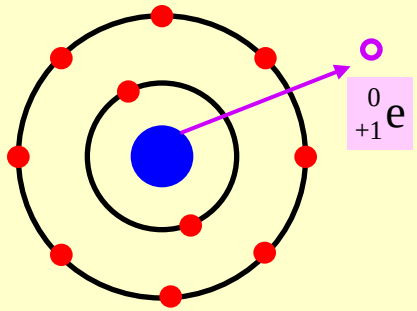
Positron (β^+) emission:

$^{0}_{+1}e$ ปล่อยอนุภาค β^+ ออกมาจาก nucleus

ประจุ +1, ไม่มีมวล

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น: เลขมวล คงเดิม

เลขอะตอม ลดลง 1



β^+ emission

(positron emission)

เช่น $^{10}_{6}C \rightarrow {}^{10}_{5}B + {}^{0}_{+1}e$

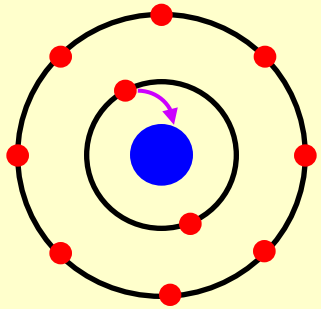
Electron capture (EC):

$^{0}_{-1}e$ นิวเคลียสจับ (capture) อิเล็กตรอนที่โคจรอยู่ใกล้

นิวเคลียสมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มาจากชั้น K (K–capture)

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น: เลขมวล คงเดิม

เลขอะตอม ลดลง 1



electron capture

เช่น $^{18}_{9}F + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{18}_{8}O$

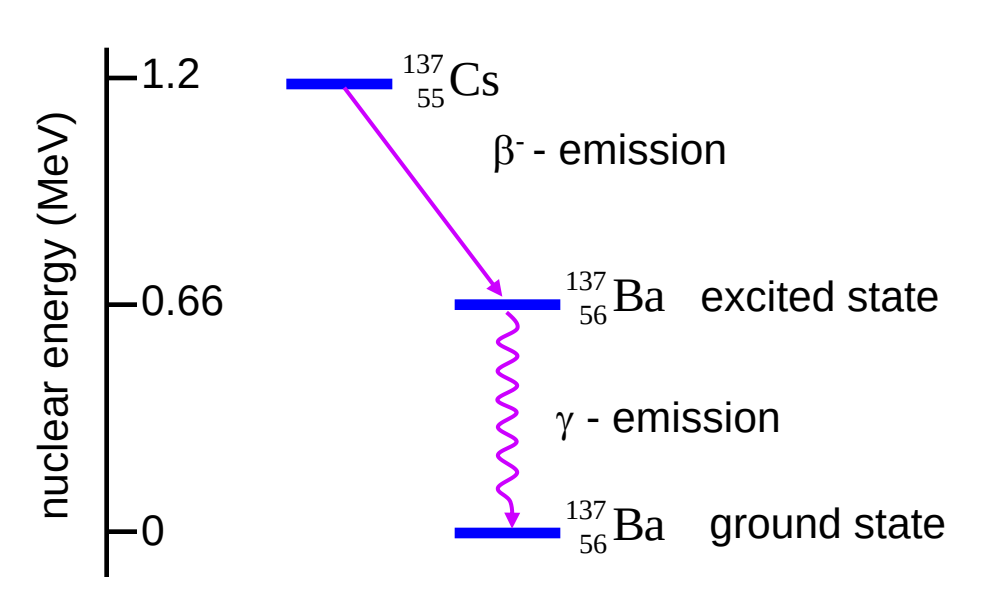
γ–emission

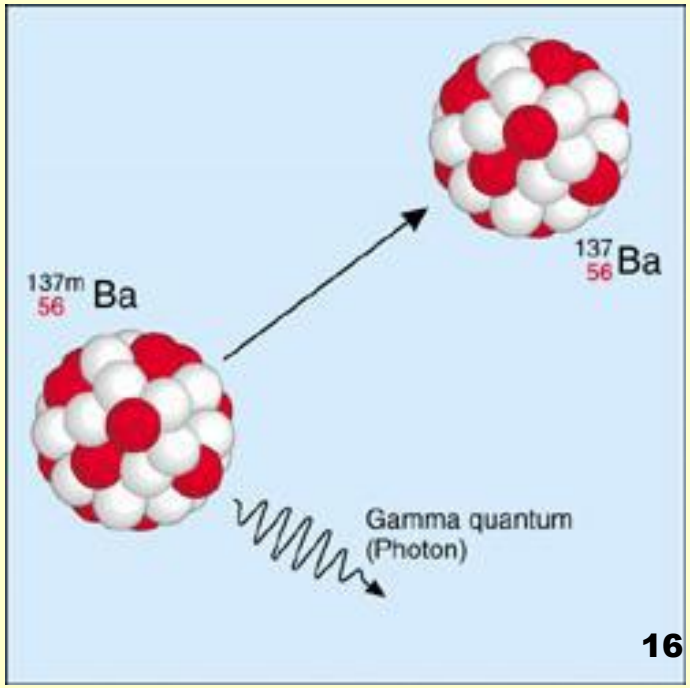
ไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ที่อยู่ในสภาวะเร้า (excited state) ปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง (γ–ray or γ–photon)

$^{0}_{0}\gamma$ ไม่มีประจุ, ไม่มีมวล

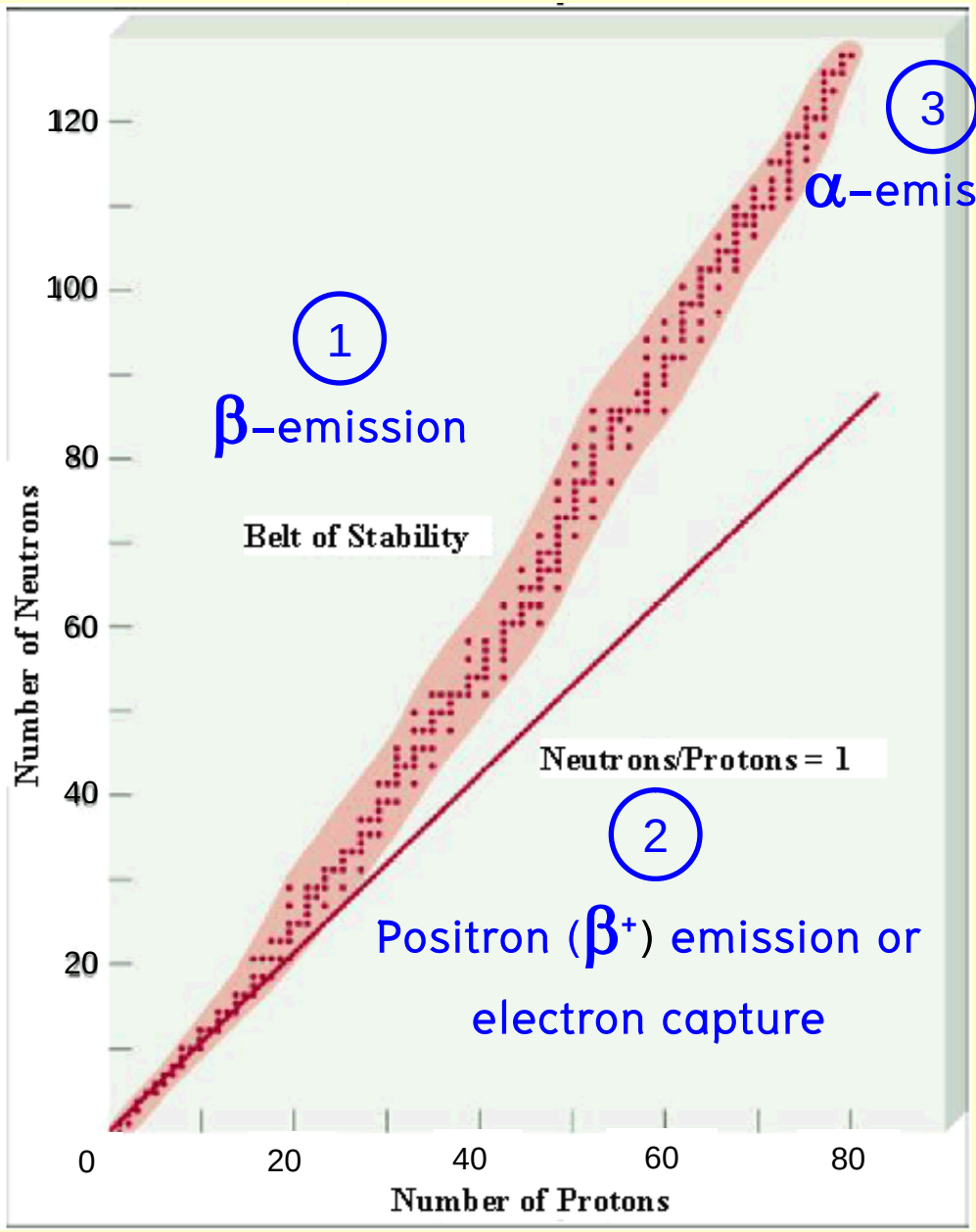
ได้<u>อะตอมเดิม</u>อยู่ใน<u>สภาวะพื้น</u>ที่เสถียร

เช่น การเกิด β^-–emission ของ Cs–137 ทำให้เกิด Ba–137 ที่สภาวะเร้า เพื่อให้ได้ Ba–137 ในสภาวะพื้นที่เสถียร ต้องมีการปลดปล่อย γ–photon ออกมา





แถบเสถียรภาพ (Belt of stability)



http://people.uwplatt.edu/~sundin/114/image/BELT1.gif

อะตอมที่อยู่นอก belt of stability

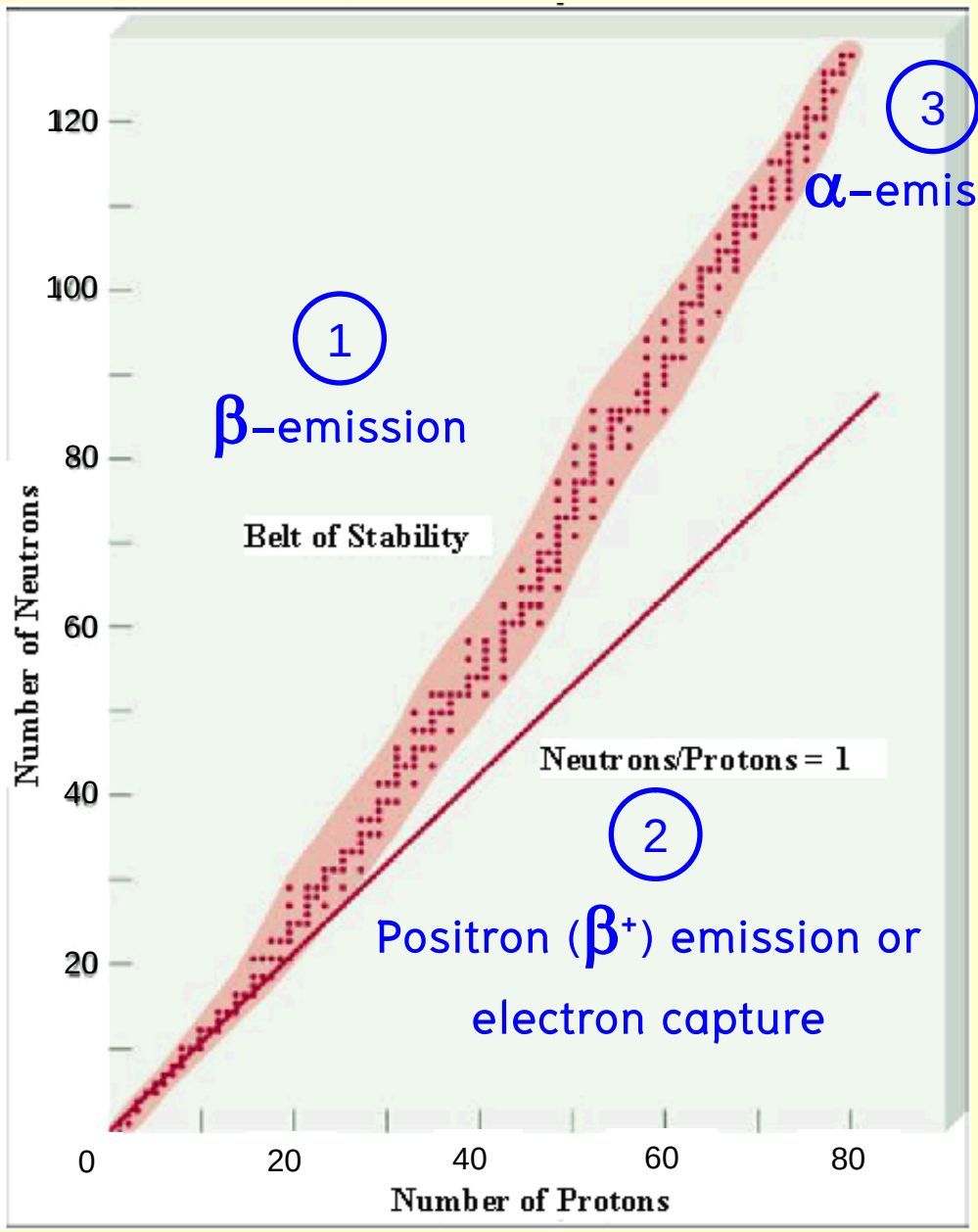
- ไม่เสถียร
- เกิด radioactive decay เพื่อให้ได้ isotope ใหม่ที่มีอัตราส่วนของ n/p เข้าสู่ belt of stability

1
- high n/p
- β–emission
- reduces Z and A remains the same

2
- low n/p
- Positron (β^+) emission or E.C.
- reduces Z and A remains the same

3
- Z > 83
- α–emission
- reduces both A and Z

ธาตุเหล่านี้เกิดการสลายตัวแบบใด?



http://people.uwplatt.edu/~sundin/114/image/BELT1.gif

$^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{0}_{-1}e$

n = 7
P = 5
n/p = 1.4 β–emission

$^{127}_{57}La + {}^{0}_{-1}e \rightarrow {}^{127}_{56}Ba$ E.C.

$\rightarrow {}^{127}_{56}Ba + {}^{0}_{+1}e$

β^+ – emission

n = 70
P = 57
n/p = 1.22

Positron (β^+) emission or
electron capture

$^{234}_{92}U$

$^{20}_{15}P$

*สามารถดูตารางธาตุประกอบได้

อนุกรมการสลายตัว (Decay series)

เมื่อ radioactive isotope ปลดปล่อยอนุภาคหรือรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสถียร จะมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องจนได้อะตอมที่เสถียรในที่สุด ซึ่งเรียกว่า ‘อนุกรมการสลายตัว’ (Decay series)

อะตอมเริ่มต้น = parent atom (unstable)

ผลิตภัณฑ์ = daughter atom (unstable)

อะตอมสุดท้าย = end product (stable)

มี 4 อนุกรมหลัก:

1. อนุกรมทอเรียม (Thorium series) (4n)

   parent atom: Th–232

   ทุกธาตุในอนุกรมมีเลขมวล = 4n

2. อนุกรมเนปทูเนียม (Neptunium series)

   parent atom: Np–237

   ทุกธาตุในอนุกรมมีเลขมวล = 4n+1

3. อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series)

   parent atom: U–238

   ทุกธาตุในอนุกรมมีเลขมวล = 4n+2

4. อนุกรมเอกทิเนียม (Actinium series)

   parent atom: U–235

   ทุกธาตุในอนุกรมมีเลขมวล = 4n+3

ธาตุต่อไปนี้อยู่ในอนุกรมการสลายตัวแบบใด?

$^{210}_{82}Pb$ 210 = 4(52) + 2 = 4n + 2 Uranium series

$^{215}_{85}At$ 215 = 4(53) + 3 = 4n + 3 Actinium series

$^{220}_{86}Rn$ 220 = 4(55) = 4n Thorium series

$^{209}_{83}Bi$ 209 = 4(52) + 1 = 4n + 1 Neptunium series

$^{221}_{87}Fr$ $^{217}_{85}At$ $^{207}_{81}Tl$

การดุลสมการนิวเคลียร์

หลักการ: จำนวน p, n ซ้าย = ขวา

(ผลรวมของ A และ Z ต้องเท่ากันทั้งซ้ายและขวาของสมการ)

<u>ตัวอย่าง</u>

$$^{212}_{84}\mathrm{Po} \rightarrow {}^{208}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

$$^{20}_{11}\mathrm{Na} \rightarrow {}^{20}_{10}\mathrm{Ne} + {}^{0}_{+1}\mathrm{e}$$

อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

- อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี หาได้จากการนับจำนวนหรือปริมาณของอนุภาคที่ได้ออกมาต่อเวลา
- การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

อัตราการสลายตัวที่เวลา $t = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$

อินทิเกรต

$$-\int_{N_0}^{N_t} \frac{1}{N} dN = \lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N_0}{N_t} = \lambda t \qquad \text{หรือ} \qquad \log \frac{N_0}{N_t} = \frac{\lambda t}{2.303}$$

N_0 = จำนวนหรือปริมาณเริ่มต้นของสารกัมมันตรังสี

N_t = จำนวนหรือปริมาณของสารกัมมันตรังสีที่เวลา t

λ = ค่าคงที่อัตราของการสลายตัว

ค่าครึ่งชีวิต (half life, $t_{1/2}$):

ระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีจนมีปริมาณเหลืออยู่ครึ่งหนึ่งของสารเดิม

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda}$$

<u>ตัวอย่าง 1</u> นักเคมีพบว่า หลังจากหนึ่งอาทิตย์พอดีที่ Rn-222 ที่มีปริมาณเริ่มต้น 10.0 μg สลายตัวให้อนุภาคอัลฟาแล้วเหลือ Rn-222 อยู่ 2.82 μg จงคำนวณหาค่าคงที่อัตราของการสลายตัว (λ = 0.181 ต่อวัน)

<u>วิธีทำ</u> หา λ จาก

$$\lambda = \frac{2.303 \log \frac{N_0}{N_t}}{t} \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{2.303 \log \frac{10.0\ \mu g}{2.82\ \mu g}}{7\ day} = 0.181\ day^{-1}$$

ตัวอย่าง 2 Ra-226 มีค่าครึ่งชีวิต 1620 ปี จงคำนวณ

ก. ค่าคงที่อัตราของการสลายตัวของ Ra-226 ($\lambda = 4.28 \times 10^{-4}$ ต่อปี)

ข. อัตราส่วนของตัวอย่างนี้ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป 100 ปี ($N_t/N_0 = 0.958$)

วิธีทำ (ก) หา λ จาก

$$t_{1/2} = \frac{0.693}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{1620\ \text{year}} = 4.28 \times 10^{-4}\ \text{year}^{-1}$$

(ข) หาอัตราส่วนของตัวอย่างที่เหลืออยู่ (N_t/N_0) เมื่อเวลา (t) ผ่านไป 100 ปี

$$\log\frac{N_0}{N_t} = \frac{\lambda t}{2.303} \Rightarrow \log\frac{N_0}{N_t} = \frac{(4.28 \times 10^{-4}\ \text{year}^{-1})(100\ \text{year})}{2.303} = 0.0186$$

$$\Rightarrow \frac{N_0}{N_t} = 10^{0.0186} = 1.044 \Rightarrow \frac{N_t}{N_0} = \frac{1}{1.044} = 0.958$$

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity หรือ activity)

Radioactivity หรือ activity หมายถึง**จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสีที่สลายตัวภายในหนึ่งหน่วยเวลา**

$$\text{Activity } (A) = \lambda N$$

Activity สูง สลายตัวเร็ว $t_{1/2}$ สั้น

λ = ค่าคงที่อัตราของการสลายตัว

N = จำนวนอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี

หน่วยของ activity

1. Becquerel (Bq) (Henri Becquerel ผู้ค้นพบ radioactivity)

   1 Bq = การสลายตัวทางกัมมันตภาพรังสี 1 ครั้ง ต่อวินาที (s^{-1})

2. Curie (Ci) (Pierre and Marie Curie ผู้ค้นพบ Radium)

   1 Ci = ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการสลายตัวของ Ra 1 กรัม

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ตัวอย่าง 3 1 มิลลิกรัมของ ^{14}C บริสุทธิ์ มีค่าครึ่งชีวิต 5730 ปี จะมี activity เป็นเท่าใด (กำหนด Avogadro's number = 6.02×10^{23})

(ตอบ 2.151×10^{10} Bq หรือ 5.81×10^{-3} Ci)

วิธีทำ หา $A = \lambda N$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{1/2}} \Rightarrow \lambda = \frac{0.693}{5730 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}\ s^{-1} = 3.835 \times 10^{-12}\ s^{-1}$$

N ของ ^{14}C 1 mg $= \frac{1 \times 10^{-3}}{14}$ โมล $= \frac{1 \times 10^{-3}}{14} \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม

$$A = \lambda N = 3.835 \times 10^{-12} \times \frac{10^{-3}}{14} \times 6.02 \times 10^{23}\ s^{-1}$$

$$= 2.151 \times 10^{8}\ s^{-1} = 2.151 \times 10^{8}\ Bq$$

$$= (2.151 \times 10^{8})/(3.7 \times 10^{10}) = 5.81 \times 10^{-3}\ Ci$$

ประโยชน์ของ ^{14}C: เนื่องจาก ^{14}C มีครึ่งชีวิต 5730 ปี ดังนั้นการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่าง ^{14}C กับ ^{12}C (stable isotope) จึงเป็นประโยชน์มากในการหาอายุของวัตถุโบราณที่มีอายุในช่วง 1000–10000 ปี เรียกเทคนิคนี้ว่า 'Radiocarbon dating' อัตราส่วนของ $^{14}C/^{12}C$ ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 1.2×10^{-12}

การบ้าน(ไม่ต้องส่ง): วัตถุโบราณชิ้นหนึ่งมีกัมมันตภาพรังสี (activity) ของ ^{14}C เท่ากับ 11.6 s^{-1} ถ้าวัตถุชิ้นนี้เริ่มต้นมี activity เท่ากับ 15.2 s^{-1} และครึ่งชีวิตของ ^{14}C เท่ากับ 5730 ปี จงหาอายุของวัตถุโบราณชิ้นนี้ (ตอบ 2236 ปี)

มวลนิวเคลียสและพลังงานยึดเหนี่ยว

- การตรวจสอบนิวเคลียสต่างๆ มักพบว่า มวลของนิวเคลียส (มวลอะตอมในตารางธาตุ) มีค่าน้อยกว่าผลรวมของมวลของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส (p + n)
- ผลต่างของมวล (Δm) เรียกว่า มวลพร่อง (mass defect)
- มวลที่หายไป (Δm) เปลี่ยนเป็นพลังงานที่ยึดเหนี่ยว p และ n ให้อยู่รวมกันได้ในนิวเคลียส
- เรียกพลังงานนี้ว่า Nuclear Binding Energy (NBE)
- NBE คำนวณได้จาก

Einstein's equation: $\Delta E = \Delta mc^2$

ตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณ NBE ของ $^{19}_{9}F$

atomic mass $^{19}_{9}F$ = 18. 9984 amu --- (1)

Mass ของ p + n ⇨ $^{19}_{9}F$ มี 9p × 1.0078 = 9. 0702 amu

10n × 1.0087 = 10.0870 amu

รวม = 19.1572 amu --- (2)

Δm = (1) – (2) = 19.1572 – 18. 9984 amu

= 0.1588 amu

Δm = มวลที่หายไปเปลี่ยนเป็นพลังงานยึดเหนี่ยว

ตามสมการของ Einstein: $\Delta E = \Delta mc^2$

$= (0.1588 \text{ amu})(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2$

$= 1.43 \times 10^{16} \text{ amu. m}^2/\text{s}^2$

(เนื่องจาก 1 amu. $\text{m}^2/\text{s}^2 = 1.66 \times 10^{-27}$ J)

$\Delta E = (1.43 \times 10^{16})(1.66 \times 10^{-27})$

$\Delta E = 2.37 \times 10^{-11}$ J/atom

ΔE = NBE = พลังงานที่คายออกมาเมื่อนำโปรตอนและนิวตรอนมาหลอมรวมกันเป็นนิวเคลียส

พลังงานที่ถูกคายออกมามีค่าน้อย เพราะคิดต่อ 1 นิวเคลียส (อะตอม) แต่หากคิดต่อ 1 โมลของธาตุ จะพบว่าพลังงานที่คายออกมามหาศาล

ถ้าคิดต่อ 1 โมลของ $^{19}_{9}F$

1 โมล มี 6.02×10^{23} อะตอม

ต่อ 1 โมล ⇨ $\Delta E = (2.37 \times 10^{-11})(6.02 \times 10^{23})$

$\Delta E = 1.43 \times 10^{13}$ J/mol

$\Delta E = 1.43 \times 10^{10}$ kJ/mol

ข้อสังเกต: mass defect สูง Δm มาก = พลังงานสูง

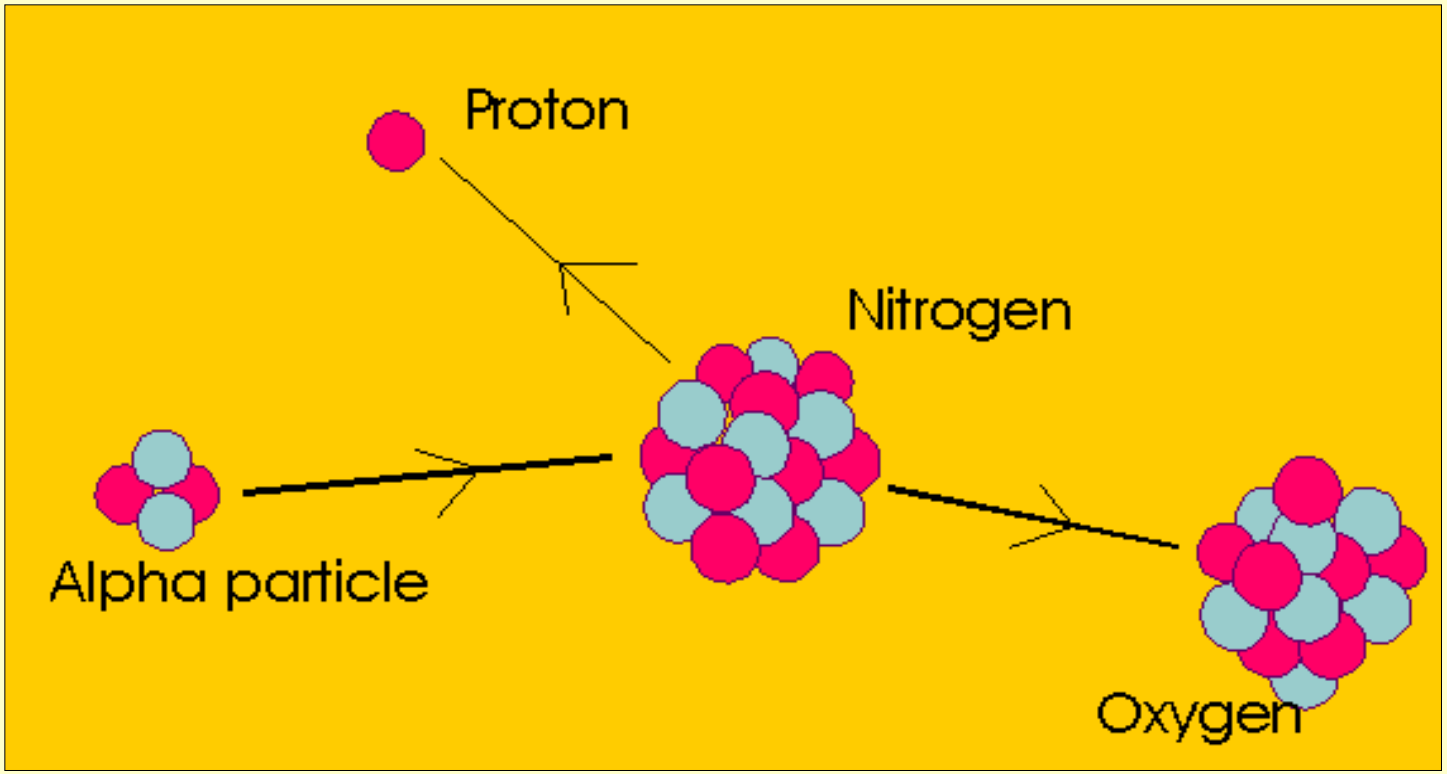
การบ้าน (ไม่ต้องส่ง) จงคำนวณ NBE ของ $^{127}_{53}I$

(กำหนด atomic mass ของ $^{127}_{53}I$ = 126. 9004 amu)

(ตอบ 1.73×10^{-10} J/atom)

2. การแปรนิวเคลียร์ (Nuclear transmutation)

เกิดจากการยิง (bombardment) นิวเคลียสที่เสถียรด้วยอนุภาคต่างๆ เช่น โปรตอน นิวตรอน อนุภาคอัลฟา หรือรังสีแกมมา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส ได้เป็นอะตอมใหม่และมีอนุภาคหรือรังสีถูกปลดปล่อยออกมาด้วย



http://library.thinkquest.org/27954/proton.html

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

$$^{14}_{7}\mathrm{N}(\alpha, \mathrm{p})^{17}_{8}\mathrm{O}$$

เขียนสมการทั่วไปของปฏิกิริยา

$$X + a \rightarrow Y + b$$

เขียนเป็น X(a, b)Y

X คือ นิวเคลียสที่เป็นเป้า (target nucleus)

Y คือ นิวเคลียสของธาตุใหม่ที่ได้ (product nucleus)

a คือ อนุภาคที่ใช้ยิง (bombarding particle or radiation)

b คือ อนุภาคหรือรังสีที่ปลดปล่อยออกมา (induced particle or radiation)

ตัวอย่างปฏิกิริยาการแปรนิวเคลียส

$$^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{27}_{14}\mathrm{Si} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad {}^{24}_{12}\mathrm{Mg}(\alpha,\mathrm{n})\,{}^{27}_{14}\mathrm{Si}$$

$$^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \qquad {}^{24}_{12}\mathrm{Mg}(\mathrm{p},\mathrm{n})\,{}^{27}_{13}\mathrm{Al}$$

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$$^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{10}_{4}\mathrm{Be} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

ไอโซโทปสังเคราะห์ (Artificial Isotope)

กระบวนการแปรนิวเคลียส (nuclear transmutation) ใช้สังเคราะห์หรือสร้างธาตุกัมมันตรังสีได้ โดย

- ผลิตภัณฑ์ของ nuclear transmutation อาจได้เป็น stable nuclide หรือเป็น radioactive nuclide ก็ได้ ถ้าเป็น radioactive ก็จะสลายตัวต่อไป
- นิยมใช้ neutron อนุภาคที่ใช้ยิงเนื่องจาก neutron เป็อนุภาคที่เป็นกลาง ไม่มีประจุ ไม่ถูกต่อต้านโดยนิวเคลียสเป้าหมาย
- ถ้าใช้อนุภาคอื่นที่มีประจุ เช่น α (+2) หรือ p (+1) แทน neutron จะมีแรงผลักระหว่างนิวเคลียสกับอนุภาค จึงต้องเร่งความเร็ว เพื่อเพิ่มพลังงานให้เอาชนะแรงต้านจากนิวเคลียสของอะตอมเป้าหมาย ด้วยเครื่องเร่งอนุภาค (Particle accelerator)

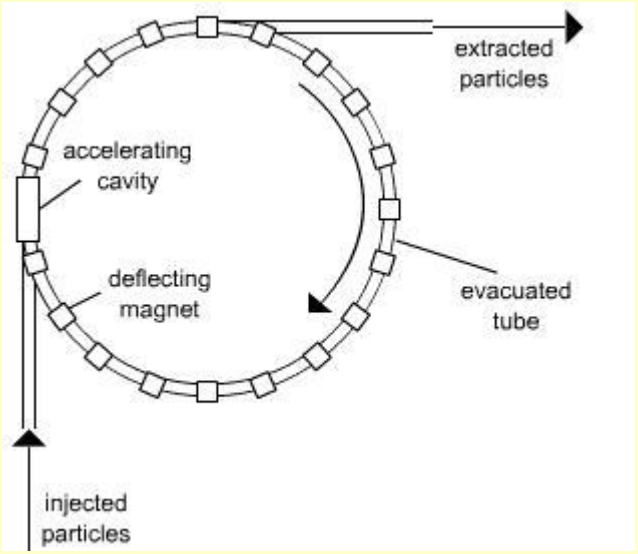
เครื่องเร่งอนุภาค (Particle accelerator)

ใช้ในการเร่งอนุภาคให้มีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงต้านจากนิวเคลียสเป้าหมาย

เครื่องเร่งอนุภาค ได้แก่ ซินโครตรอน (synchrotron)

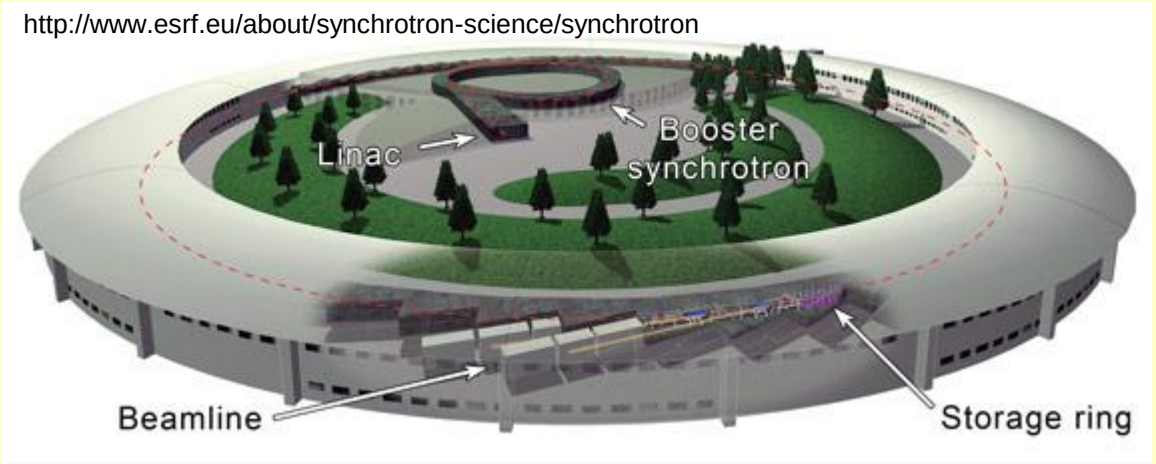
- ใช้สนามแม่เหล็กและการสลับขั้ว +,- เพื่อช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ ของอนุภาค
- สามารถออกแบบให้ความเร็วสูงสุดของอนุภาคก่อนชน nucleus ≈ 90% ของความเร็วแสง

http://www.xente.mundo-r.com/rcid/pages/phy_9.html



http://universe-review.ca/R15-20-accelerators.htm

http://www.esrf.eu/about/synchrotron-science/synchrotron



การสังเคราะห์ธาตุใหม่จากปฏิกิริยาการแปรนิวเคลียส

ธาตุถัดจากยูเรเนียม (Transuranium Elements):

ได้จากการแปรนิวเคลียสโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคสังเคราะห์ธาตุ จาก U–238 ($Z = 92$) **ได้ธาตุที่มี** $92 < Z < 109$ **ซึ่งธาตุทั้งหมดที่ได้เป็น** radioactive isotope

ตัวอย่างไอโซโทปสังเคราะห์ที่ได้จาก bombardment ของ U–238 (ส่วนใหญ่ถูกสังเคราะห์ขึ้นที่ University of California, Berkeley, USA)

โดยการยิงด้วยนิวตรอน

เนฟทูเนียม, พลูโตเนียม

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239}_{92}U \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e$$

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e$$

อเมอริเซียม

$$^{239}_{94}Pu + 2\,^{1}_{0}n \longrightarrow ^{241}_{94}Pu \longrightarrow ^{241}_{95}Am + ^{0}_{-1}e$$

โดยการยิงด้วยไอออนบวก

คูเรียม

$$^{239}_{94}Pu + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{242}_{96}Cm + ^{1}_{0}n$$

แคลิฟอร์เนียม

$$^{242}_{96}Cm + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{245}_{98}Cf + ^{1}_{0}n$$

หรือ

$$^{242}_{96}Cm + ^{12}_{6}C \longrightarrow ^{246}_{98}Cf + 4\,^{1}_{0}n$$

ธาตุที่ 104*

$$^{249}_{98}Cf + ^{12}_{6}C \longrightarrow ^{257}_{104}? + 4\,^{1}_{0}n$$

ธาตุที่ 105*

$$^{249}_{98}Cf + ^{15}_{7}N \longrightarrow ^{260}_{105}? + 4\,^{1}_{0}n$$

ธาตุที่ 106*

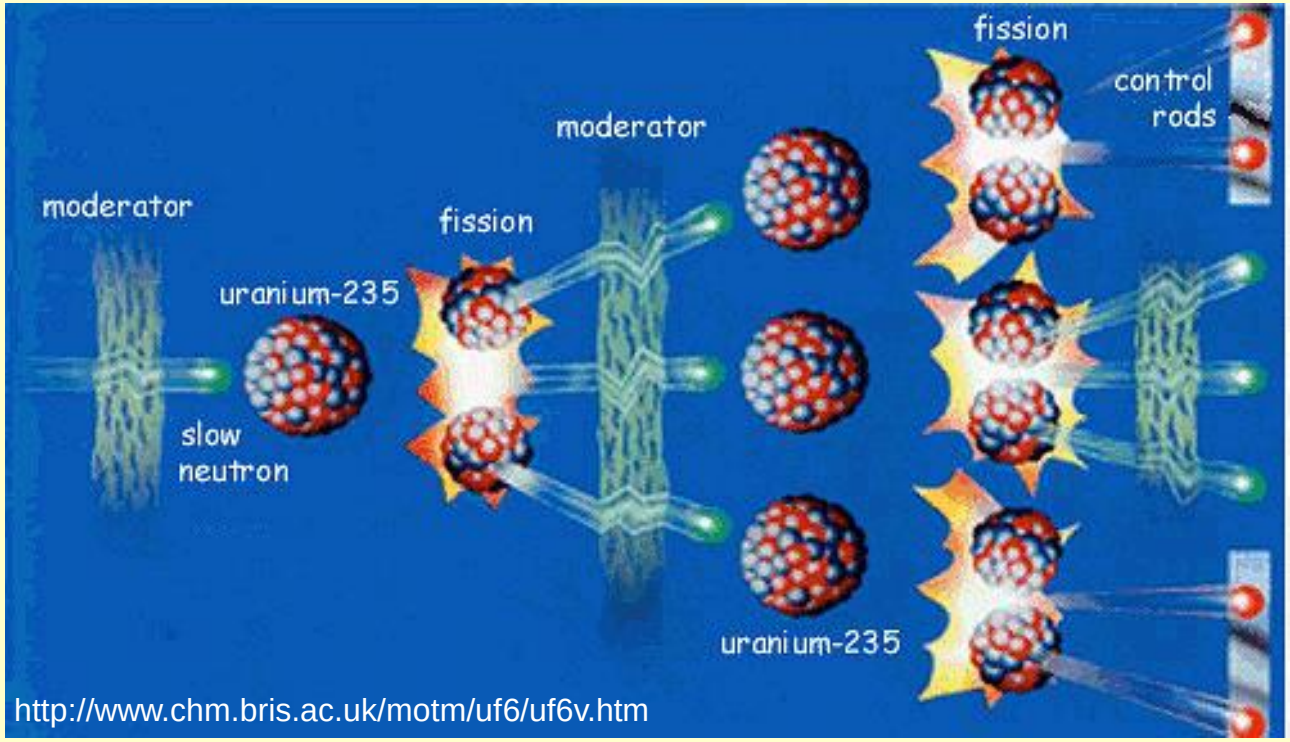
$$^{249}_{98}Cf + ^{18}_{8}O \longrightarrow ^{263}_{106}? + 4\,^{1}_{0}n$$

* ธาตุที่ 104-106 ยังไม่มีการตั้งชื่อ แต่กลุ่มเบิร์กเลย์แนะนำว่าธาตุที่ 104 และ 105 น่าจะเป็นรัทเธอร์ฟอร์เดียม และฮาห์เนียม เพื่อเป็นเกียรติแก่เออร์เนส รัทเธอร์ฟอร์ด (Ernest Rutherford) และออตโต ฮาห์น (Otto Hahn) ที่ค้นพบปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิสชัน ขณะที่นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียอยากให้เรียกชื่อว่า บอห์เรียม และ เคอร์ชาโตเวียม เพื่อเป็นเกียรติแก่ เนล บอร์ห (Neil Bohr) และ ไอ วี เคอร์ชาทอฟ (I.V. Kurchatov)

Atomic number (z)	Name	Symbol
92	Uranium	U
93	Neptunium	Np
94	Plutonium	Pu
95	Americium	Am
96	Curium	Cm
97	Berkelium	Bk
98	Californium	Cf
99	Einsteinium	Es
100	Fermium	Fm
101	Mendelevium	Md
102	Nobelium	No
103	Lawrencium	Lr
104	Rutherfordium	Rf
105	Dubnium	Db
106	Seaborgium	Sg
107	Bohrium	Bh
108	Hassium	Hs
109	Meitnerium	Mt

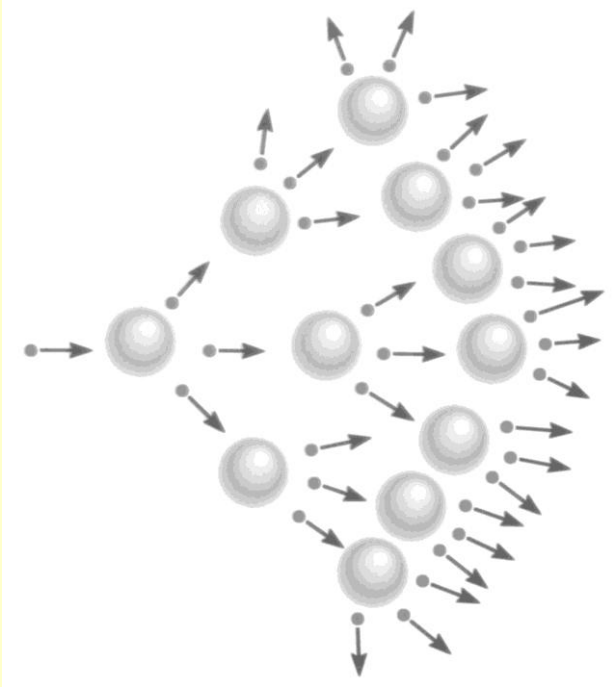
ปฏิกิริยาการแยกนิวเคลียส (Nuclear fission reaction)

- การแตกตัวของนิวเคลียสหนัก (mass number (A) > 200) ที่ไม่เสถียรได้ ผลิตภัณฑ์เป็นนิวเคลียสที่เล็กลง และ อนุภาคนิวตรอนอย่างน้อย 1 อนุภาค
- ต้องมีการยิงนิวตรอนไปที่นิวเคลียสหนัก
- ให้พลังงานมหาศาล เช่น 1 mole ของ U-235 ปล่อยพลังงาน 2.0×10^{13} J (ถ่านหิน 1 ตัน ให้พลังงาน 8×10^{7} J)



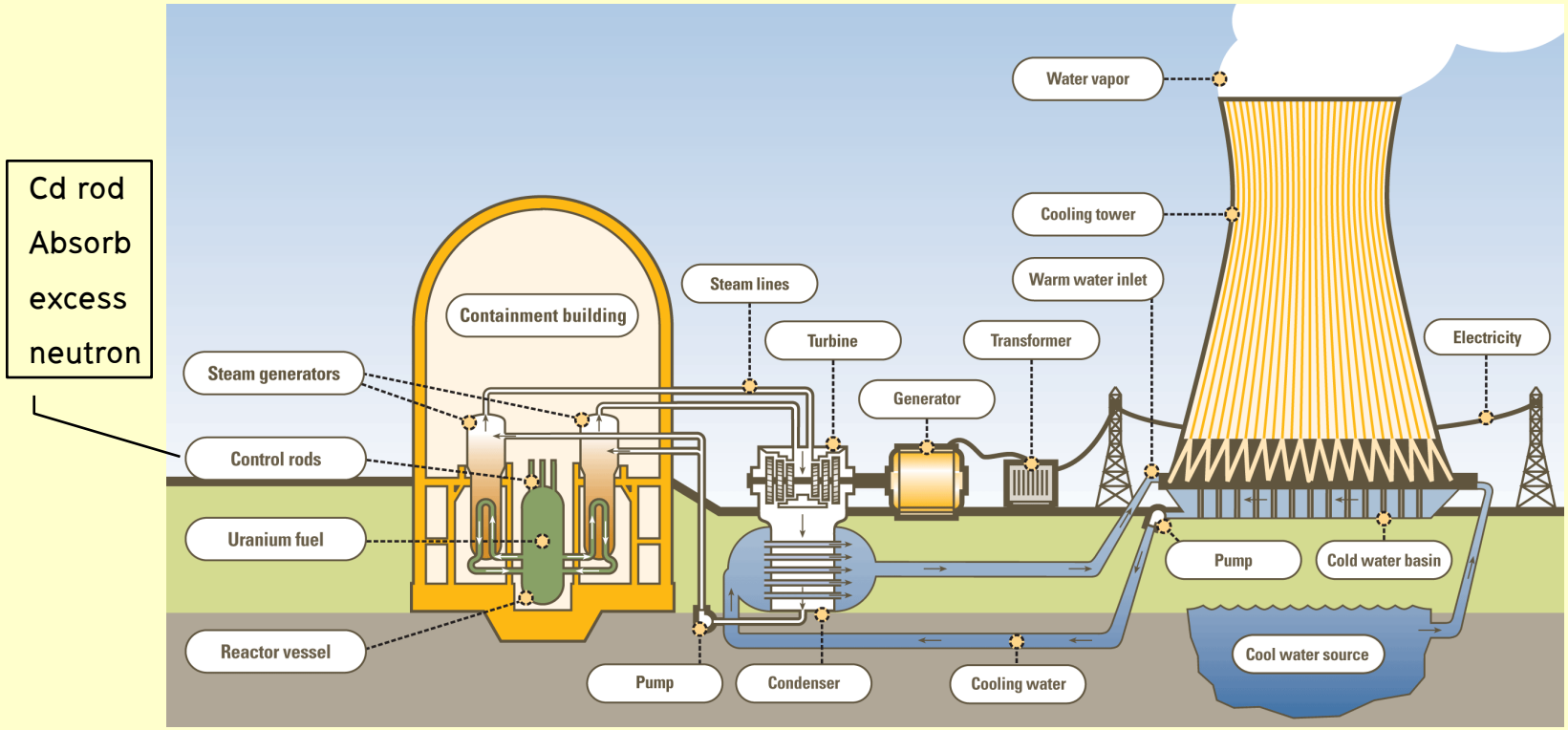
http://www.chm.bris.ac.uk/motm/uf6/uf6v.htm

- นิวตรอนที่ปล่อยจากปฏิกิริยา fission ขั้นแรกจะยิงอะตอมอื่นๆ ที่อยู่ถัดไปจนเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่ไม่สามารถควบคุมได้
- มักใช้ในระเบิดอะตอม (atomic bomb) หรือระเบิดนิวเคลียร์



* ระเบิดนิวเคลียร์ 1 ลูก ≈ 1 กิโลกรัม
อำนาจทำลายล้างเทียบเท่ากับระเบิด TNT 20,000 ตัน

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactor): เป็นการนำ nuclear fission ไปใช้ประโยชน์ในทางสันติ โดยการนำพลังงานความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้า



http://ouledali.wordpress.com/2011/05/08/nuclear-energy-or-renewable-energy/

- พลังงานความร้อนปริมาณมหาศาลที่ได้จาก nuclear fission ถูกถ่ายโอนให้เครื่องจักรไอน้ำ ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป

ปฏิกิริยาการหลอมนิวเคลียส (Nuclear fusion reaction)

- เป็นการหลอมรวมนิวเคลียสเล็กๆ ให้เป็นนิวเคลียสใหญ่ขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับ nuclear fission
- ต้องเกิดในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมากๆ เรียกว่า thermonuclear reactions เช่น ในดวงอาทิตย์ temp. $\approx 15 \times 10^6$ °C อะตอม H รวมเป็น He ได้ตลอดเวลา
- นิวเคลียสของธาตุเบา 2 นิวเคลียสหลอมรวมกันเป็นนิวเคลียสเดียวที่หนักกว่าเดิมและเสถียรกว่าเดิม จะมีการคายพลังงานออกมาเป็นจำนวนมากกว่าพลังงานที่ได้จาก nuclear fission

  ข้อดี – ใช้เชื้อเพลิงราคาถูกกว่า

  – เกิดของเสียที่เป็นกัมมันตรังสี (radioactive waste) น้อย

  ข้อเสีย – เกิด thermal pollution เพราะปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิสูงมาก

ตัวอย่าง nuclear fusion

$$^{1}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He$$

$$^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H$$

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + {}^{0}_{1}\beta$$

Hydrogen bomb ใช้ solid lithium deuteride (LiD)

ขั้นที่ 1. nuclear fission ให้ heat

$$^{6}_{3}Li + {}^{2}_{1}H \longrightarrow 2\,{}^{4}_{2}He$$

2. heat ทำให้เกิด nuclear fusion

$$^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{1}_{1}H$$

หน่วยการวัดรังสี

1. ปริมาณสารกัมมันตรังสี

วัดการสลายตัวของนิวเคลียสให้รังสีออกมาเป็นจำนวนครั้งต่อวินาที

ใช้หน่วย Becquerel, Bq (SI unit)

หรือ Curie (Ci)

1 Ci = 3.7×10^{10} ครั้ง/วินาที = 3.7×10^{10} Bq

2.ปริมาณรังสีในอากาศที่ถูกแผ่ออกมาจากสารกัมมันตรังสี (exposure หรือ exposure dose)

หน่วย Roentgen, R หรือ Coulomb/kg (SI unit)

1 R = ปริมาณรังสีเอกซ์ หรือแกมมา ที่ทำให้อากาศ 1 cm^3 ที่ STP แตกตัวเกิดเป็นไอออน 2.08×10^9 คู่

3. ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน (absorbed dose)

เมื่อรังสีตกกระทบวัตถุ รังสีบางส่วนจะทะลุทะลวงผ่านไป ส่วนที่เหลือจะถูกวัตถุดูดกลืนไว้ absorbed dose จะมากน้อยขึ้นกับชนิดของวัตถุและชนิดของรังสี

หน่วย rad หรือ Gray, Gy (SI unit)

1 rad = พลังงานปริมาณ 100 ergs ถูกดูดกลืนโดยวัตถุ 1 g

(1 erg = 1 g·cm^2/s^2 = 10^{-7} J)

1 Gy = 100 rad = 1 J/kg

1 rad ≈1 R

4.ปริมาณรังสีสมมูลที่บุคคลได้รับ (dose equivalent)

หน่วย rem (Roentgen equivalent for man) หรือ Sievert, Sv

- พิจารณาจากผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของอวัยวะในร่างกายและชนิดของรังสี
- บุคคลใดได้รับรังสีแล้วรังสีนั้นก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์ หรือแกมมา 1 rad เรียกว่าบุคคลนั้นได้รับรังสี 1 rem

1 rem = 1 rad x 1 RBE, RBE (relative biological effectiveness)

1 Sv = 100 rem

การประยุกต์ใช้งานไอโซโทปกัมมันตรังสี

1. แหล่งพลังงาน – nuclear power plant
2. อุตสาหกรรม – ลดการสึกหรอวงแหวนลูกสูบ
3. Tracer (ตัวติดตาม) : ใช้ radioactive isotope ศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงของธาตุปกติในกระบวนการทางชีวภาพ

   การเกษตร : ^{32}P ในปุ๋ยฟอสเฟต

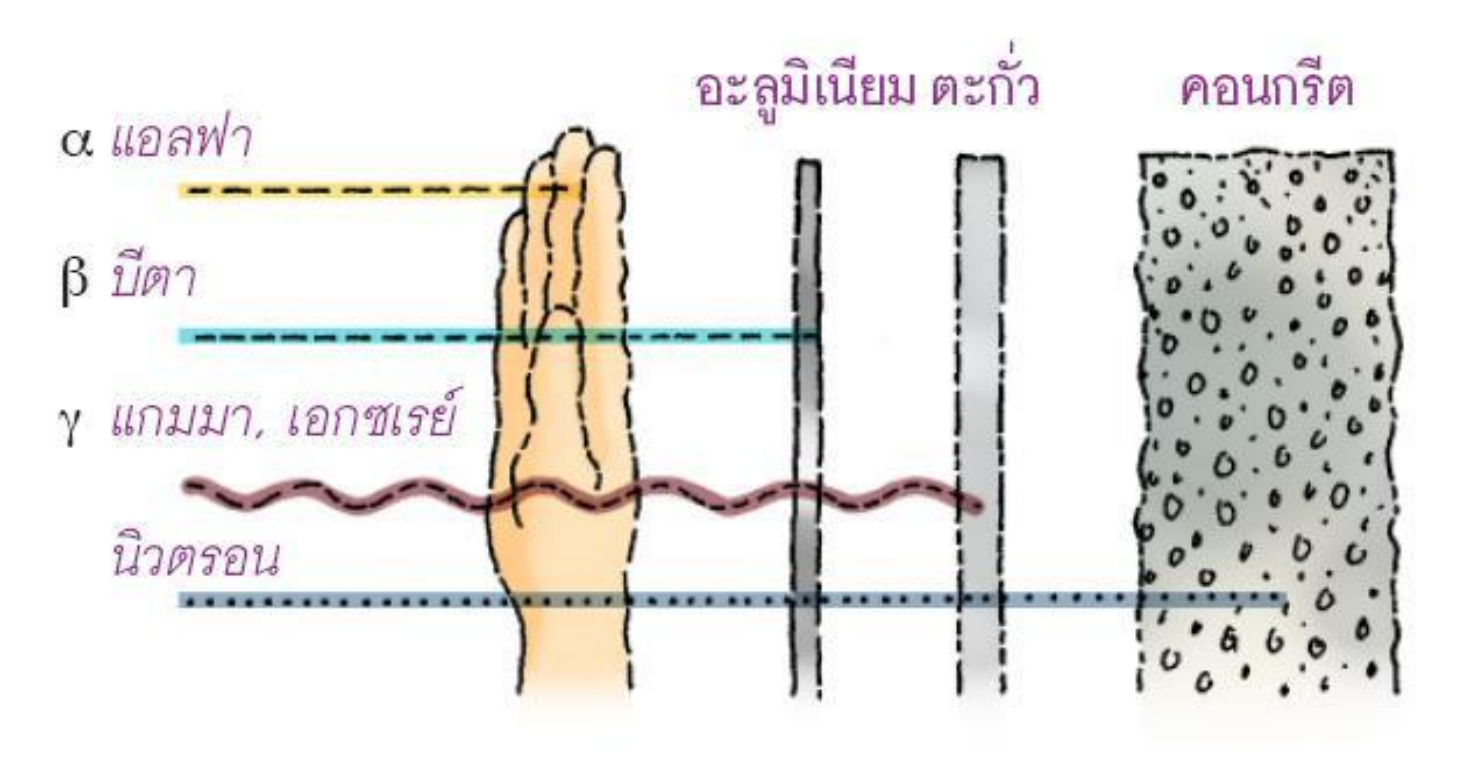
   $^{14}CO_2$ การสังเคราะห์แสง

   การแพทย์ : ^{131}I ต่อม thyroid ผิดปกติ
4. ศึกษาโครงสร้างของสาร
5. รักษาโรค ^{60}Co รักษามะเร็ง

   ^{131}I รักษาต่อม thyroid
6. คำนวณอายุวัตถุโบราณ เช่น C–14

การป้องกันการได้รับรังสี

1. เวลา: ใช้เวลาปฏิบัติงานให้สั้นที่สุด
2. ระยะทาง: รักษาระยะทางให้ห่างจากต้นกำเนิดรังสีให้มากที่สุด
3. เครื่องกำบัง: จัดให้มีเครื่องกำบังรังสีให้เหมาะสม



Source: http://www.oaep.go.th/images/news/20110603145031.pdf