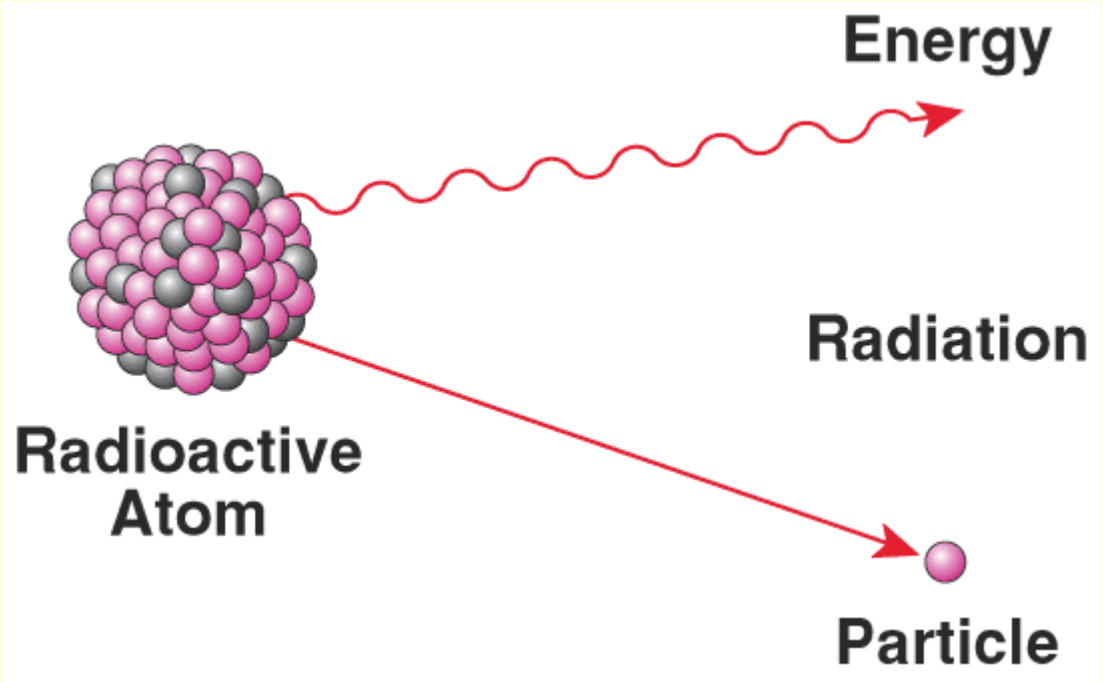
เคมีนิวเคลียร์

(Nuclear Chemistry)

อ.ดร. สายรุ้ง เมืองพิล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



http://geoinfo.nmt.edu/resources/uranium/basics.html

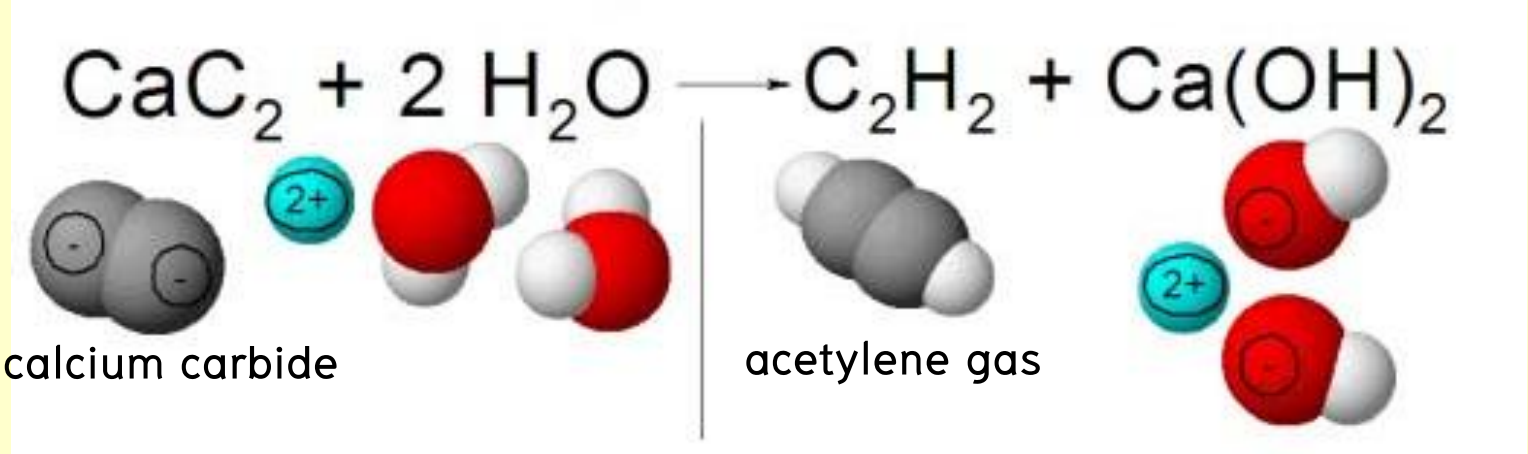
แบบทดสอบก่อนเรียน

1. ธาตุกัมมันตรังสี (radioactive element) คืออะไร?
2. จงยกตัวอย่างธาตุกัมมันตรังสี อย่างน้อย 3 ธาตุ
3. ปฏิกิริยาเคมีทั่วไปกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ แตกต่างกันอย่างไร บอกมาอย่างน้อย 2 ข้อ
4. นักศึกษารู้จักปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบใดบ้าง
5. จงบอกประโยชน์ของปฏิกิริยานิวเคลียร์
6. จงบอกข้อเสียของปฏิกิริยานิวเคลียร์

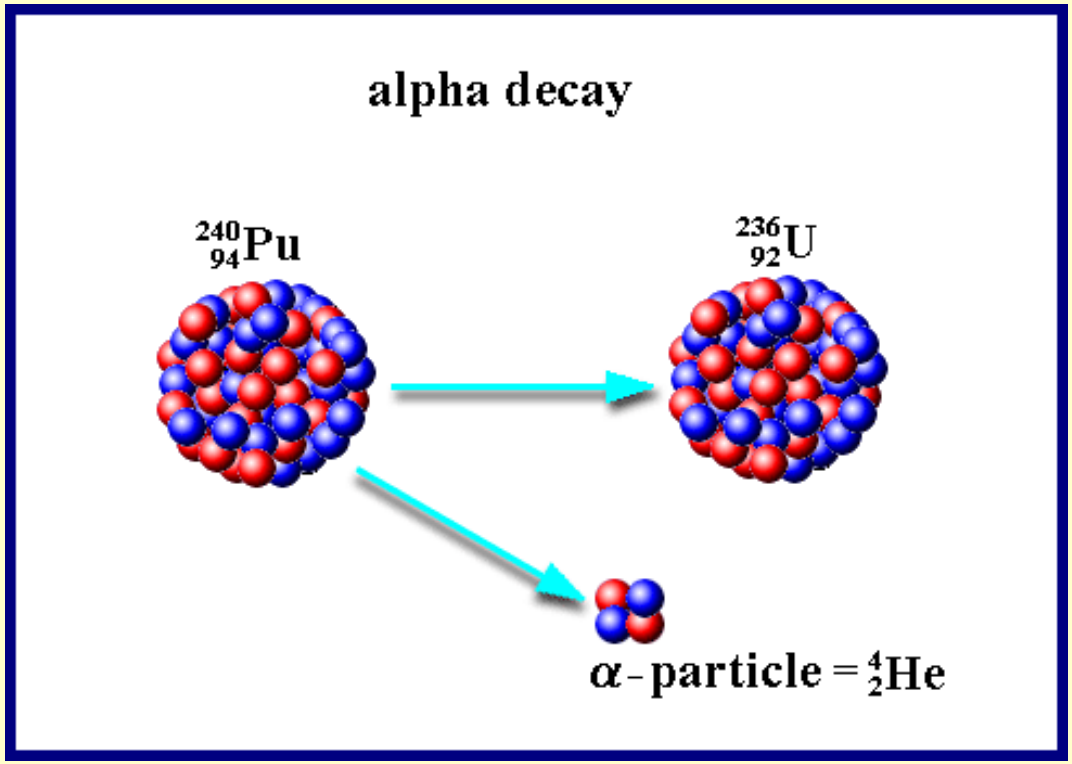
“โปรดตอบคำถามจากความรู้ของตนเองจริงๆ ห้ามลอก ห้ามถาม”

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

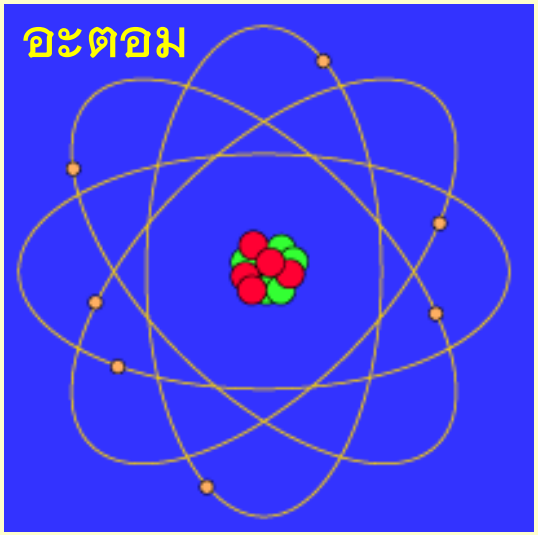


https://shschemistry1.wikispaces.com/Chemical+Equations+and+Reactions



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)

เสถียรภาพของนิวเคลียส (Nuclear Stability)

นิวเคลียสที่เสถียร – ไม่แผ่รังสี

นิวเคลียสที่เสถียร – แผ่รังสี เรียก ไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioactive isotope)

นิวเคลียสจะเสถียรหรือไม่ พิจารณาจาก

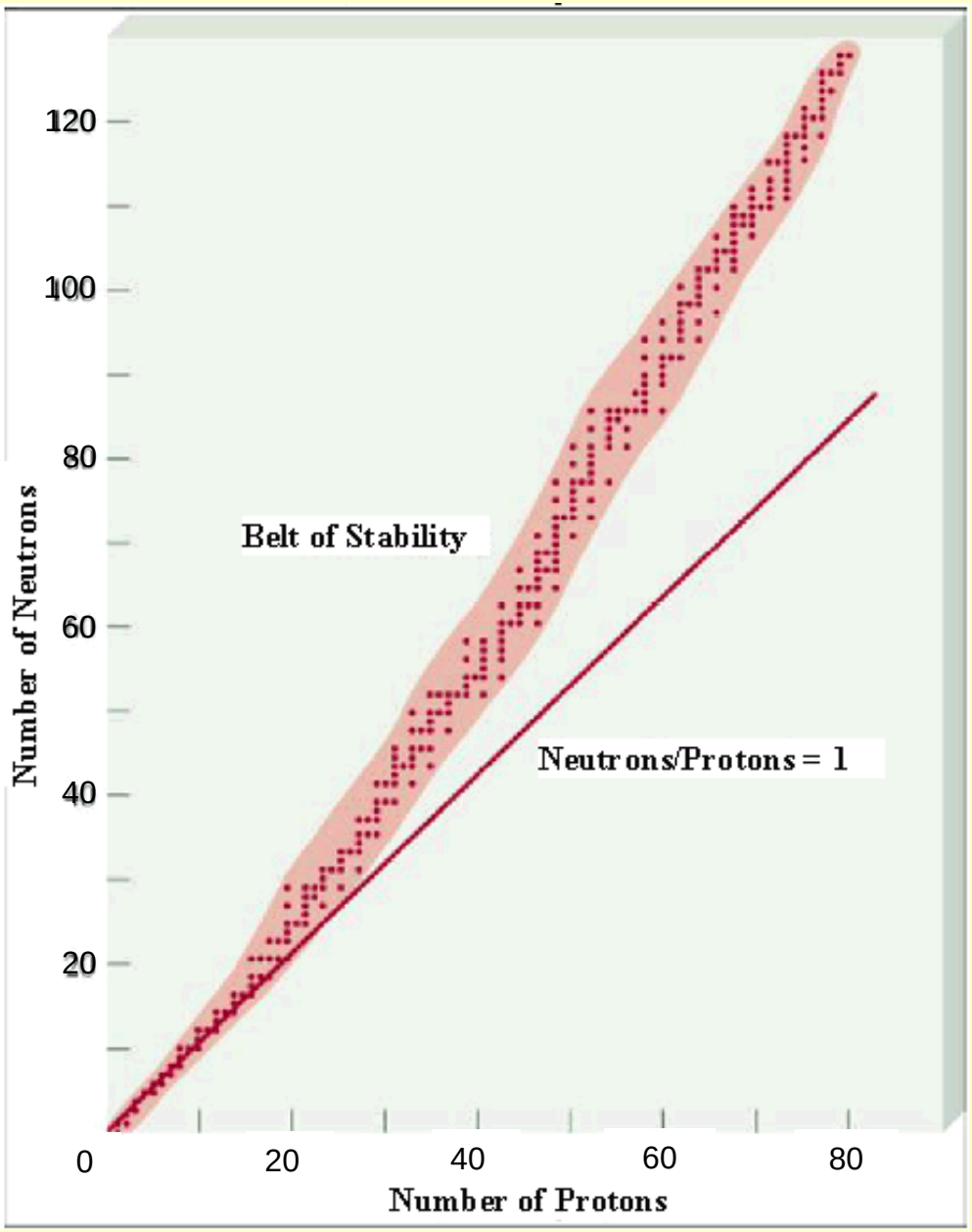
1. อัตราส่วนของ n / p
   - ธาตุที่มี atomic no. ต่ำ จะเสถียรถ้า n / p ≈ 1
   - ธาตุ atomic no. สูงขึ้น จะเสถียรถ้า n / p > 1 เพราะต้องมี neutron มากขึ้น เพื่อต้านการผลักกันของ proton

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)

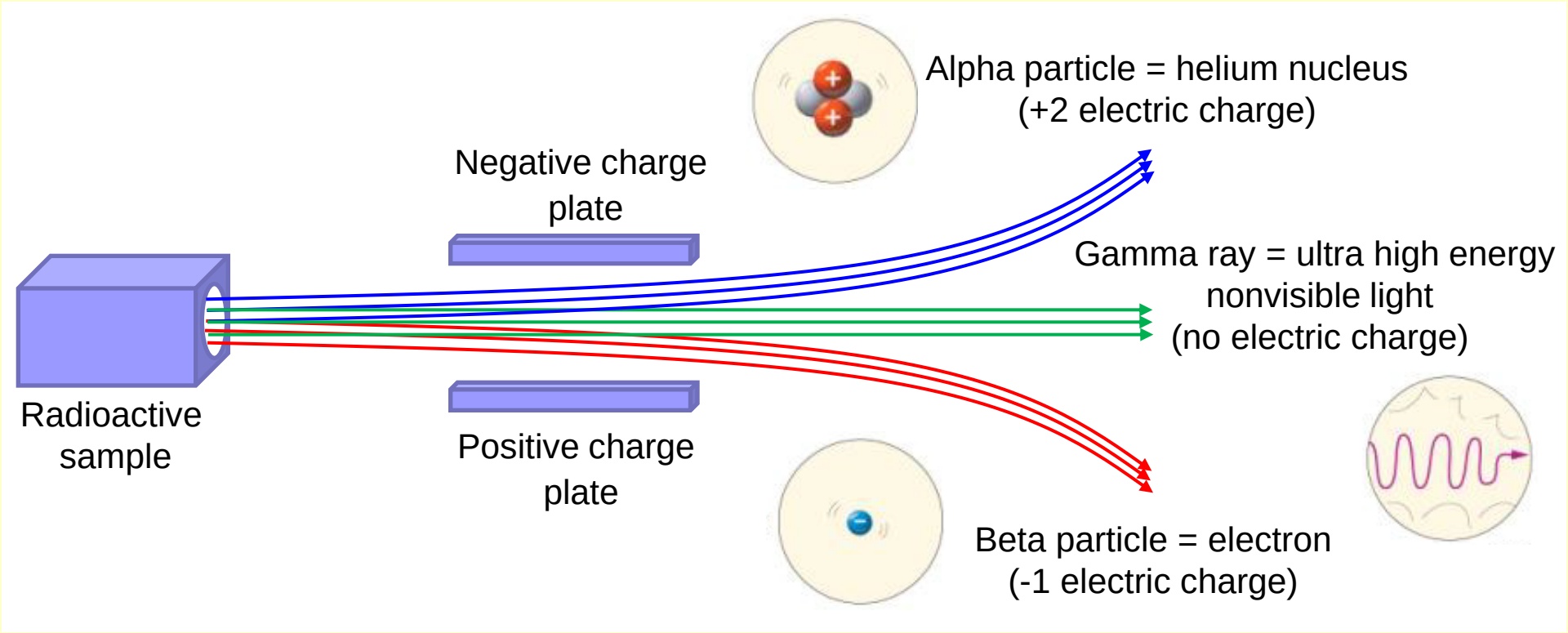
2. การแปรนิวเคลียร์ (Nuclear transmutation)

   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)

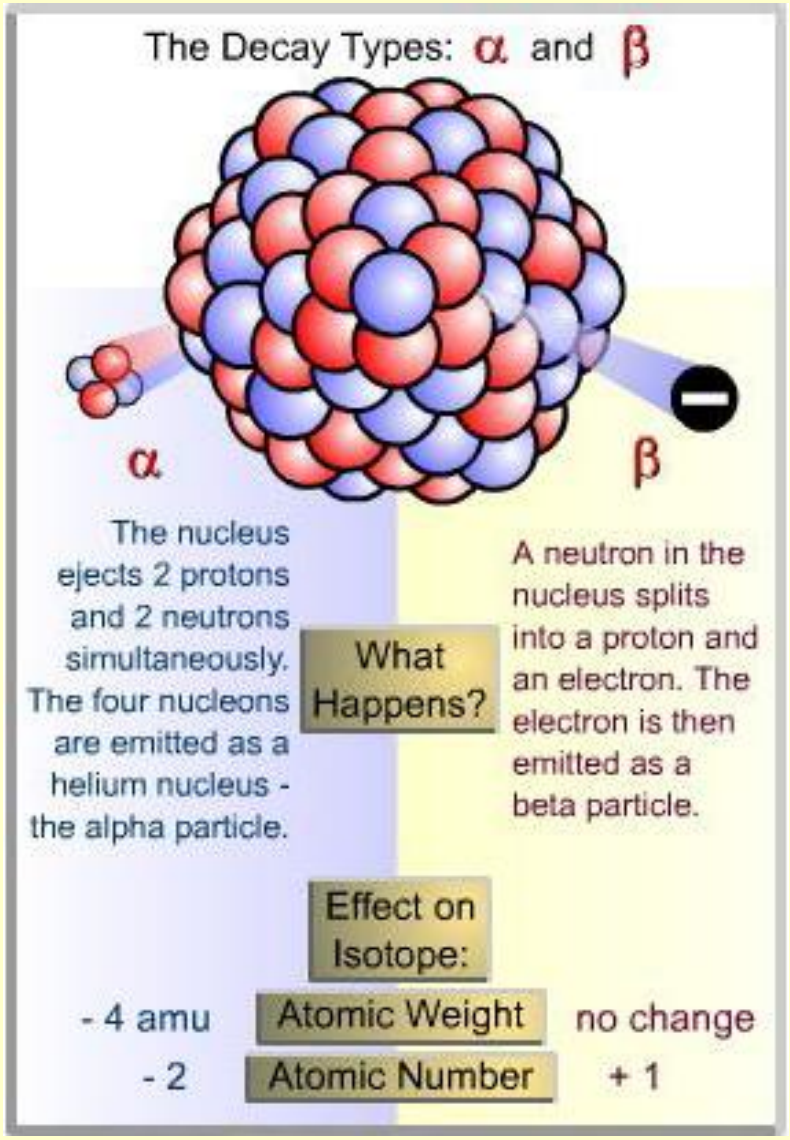


อนุภาคพื้นฐานที่คายออกมาจากไอโซโทปกัมมันตรังสี

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

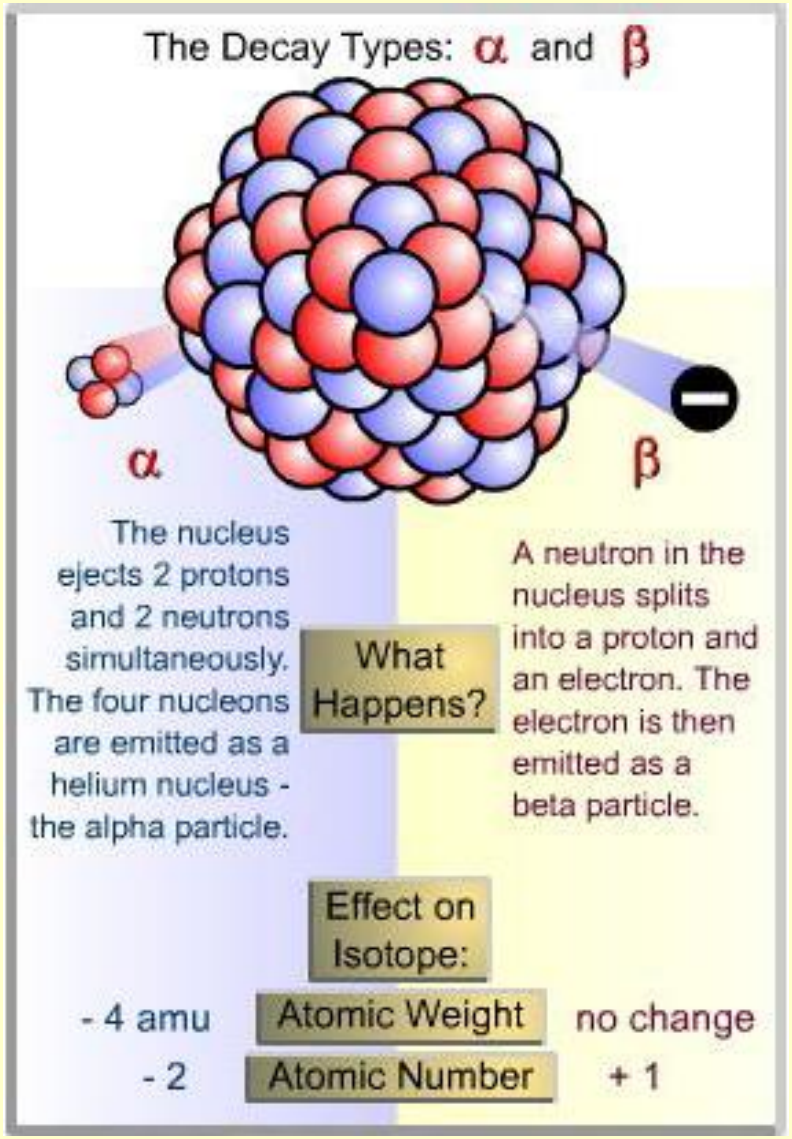
มักเกิดกับ radioactive isotope ที่มีเลขมวล (A) สูงๆ หรือเลขอะตอม (Z) > 83 เพื่อให้ได้ธาตุที่มีเลขมวลและเลขอะตอมต่ำลง และเสถียรมากขึ้น เช่น

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

$$^{238}_{92}U \rightarrow$$

$$^{241}_{95}Am \rightarrow$$

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

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

$$^{8}_{3}Li \rightarrow$$

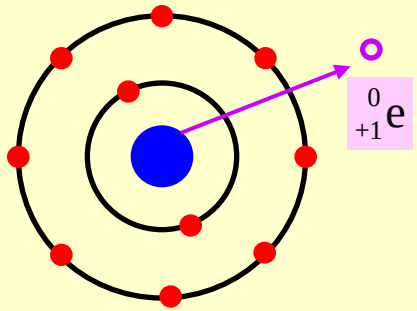
Positron (β^+) emission:

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

ประจุ +1, ไม่มีมวล

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น: เลขมวล คงเดิม

เลขอะตอม ลดลง 1



β^+ emission

(positron emission)

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

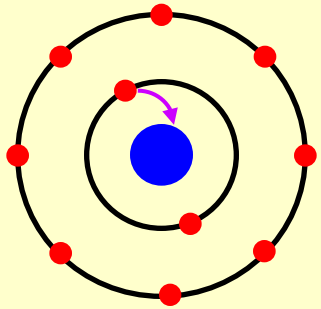
Electron capture (EC):

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

นิวเคลียสมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มาจากชั้น K (K–capture)

อะตอมใหม่ที่เกิดขึ้น: เลขมวล คงเดิม

เลขอะตอม ลดลง 1



electron capture

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

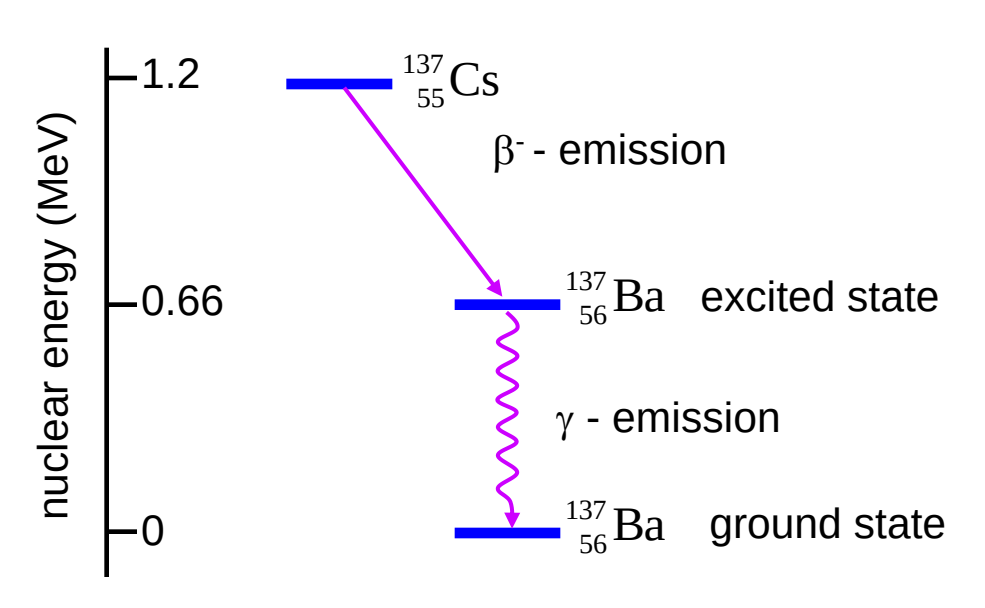
γ–emission

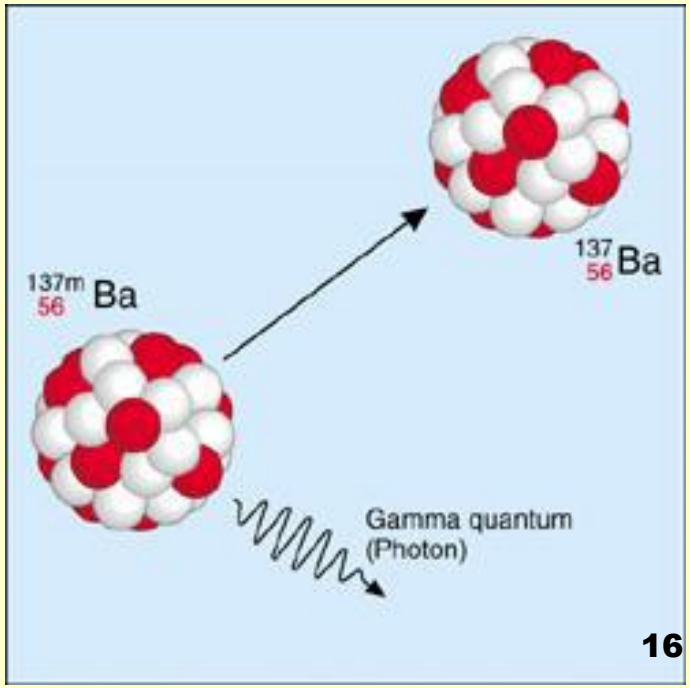
ไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ที่อยู่ในสภาวะเร้า (excited state) ปลดปล่อยพลังงานในรูปของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง (γ–ray or γ–photon)

$^{0}_{0}\gamma$ ไม่มีประจุ, ไม่มีมวล

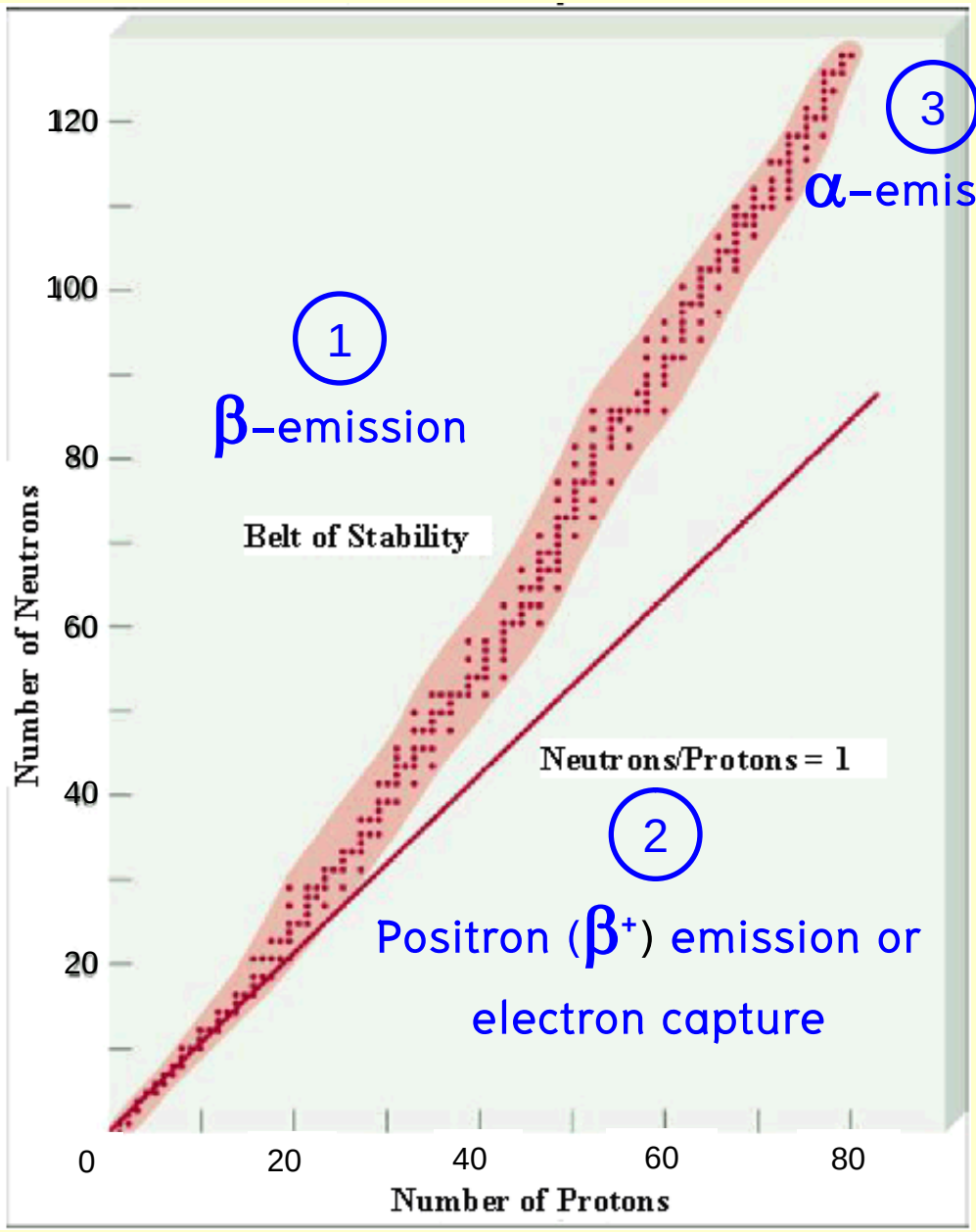
ได้<u>อะตอมเดิม</u>อยู่ใน<u>สภาวะพื้น</u>ที่เสถียร

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

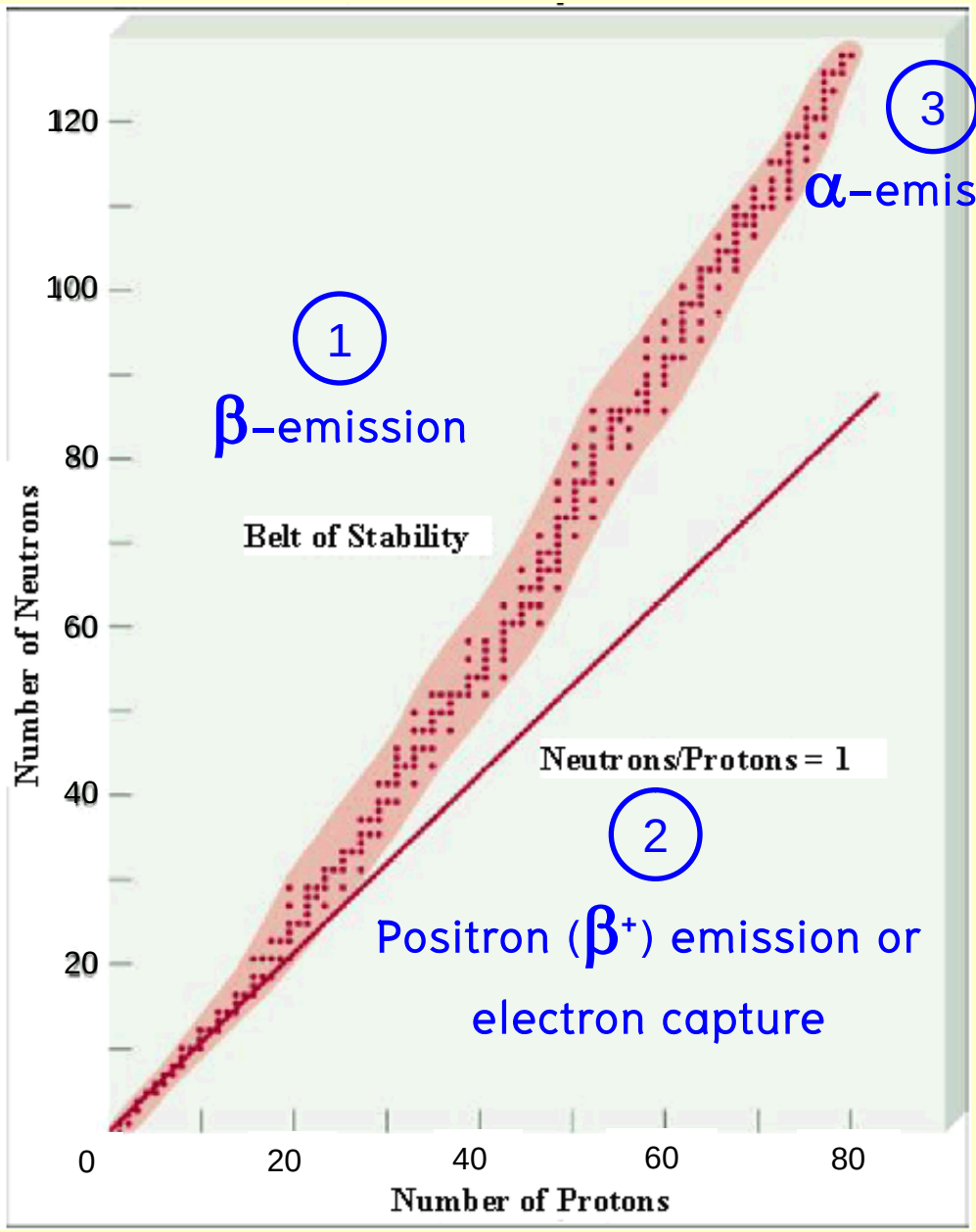
- ไม่เสถียร
- เกิด radioactive decay เพื่อให้ได้ isotope ใหม่ที่มีอัตราส่วนของ n/p เข้าสู่ belt of stability

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

$^{12}_{5}B$

$^{127}_{57}La$

$^{234}_{92}U$

$^{20}_{15}P$

*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?

$^{210}_{82}Pb$

$^{215}_{85}At$

$^{220}_{86}Rn$

$^{209}_{83}Bi$

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

การดุลสมการนิวเคลียร์

หลักการ: จำนวน p, n ซ้าย = ขวา

(ผลรวมของ A และ Z ต้องเท่ากันทั้งซ้ายและขวาของสมการ)

<u>ตัวอย่าง</u>

$$^{212}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{208}_{82}\mathrm{Pb} + \ldots\ldots\ldots$$

$$^{137}_{55}\mathrm{Cs} \longrightarrow \ldots\ldots\ldots + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

$$^{20}_{11}\mathrm{Na} \longrightarrow {}^{20}_{10}\mathrm{Ne} + \ldots\ldots\ldots$$

อำนาจการทะลุทะลวง (Penetrating power)

อนุภาค/รังสี	มวล (amu)	ความเร็ว	อำนาจทะลุทะลวง
α	4	ต่ำ (< 10% ความเร็วแสง)	ต่ำ
β^-	0	สูง (< 90% ความเร็วแสง)	ต่ำ–ปานกลาง
γ	0	สูง (ความเร็วแสง)	สูง
neutron	1	ต่ำ (< 10% ความเร็วแสง)	สูงมาก

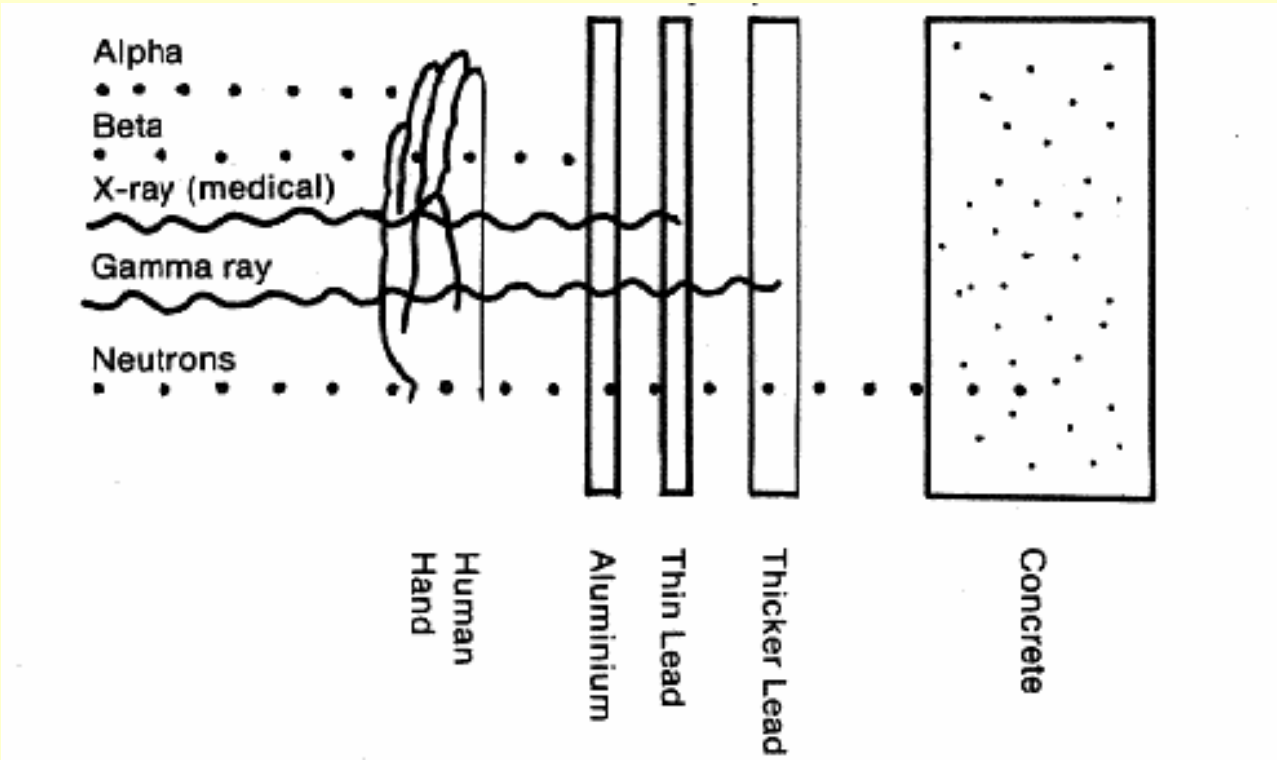
α อำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ ไม่สามารถทำลายหรือทะลุผ่านผิวหนังได้

β^- มีอำนาจทะลุทะลวงมากกว่าอนุภาคแอลฟา สามารถทะลุผ่านแผ่น Al ได้และอาจทำให้ผิวหนังไหม้แต่ไม่สามารถเข้าถึงอวัยวะภายในได้

γ-ray มีอำนาจทะลุทะลวงสูง สามารถทำลายผิวหนังและอวัยวะภายในได้ มีความเร็วเท่ากับแสง

neutron มีอำนาจทะลุทะลวงสูงมาก สามารถทะลุผ่านแผ่น Al, Pb ได้ ต้องกั้นด้วยกำแพงคอนกรีตหนา ๆ

อำนาจการทะลุทะลวง (Penetrating power)



http://www.ratical.org/radiation/NRBE/NRBE3.html

Shield materials:

α : not an external hazard – no shield

β : shield with low Z absorber (Al, Acrylic plastics)

γ : shield with high Z and high density material (Pb, Fe, concrete)

neutron : shield with low Z (hydrogeneous) material เช่น น้ำ, paraffin, plastic, concrete

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>ตัวอย่าง 2</u> Ra-226 มีค่าครึ่งชีวิต 1620 ปี จงคำนวณ

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

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

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

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

<u>ตัวอย่าง 3</u> 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)

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

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)

ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับพลังงาน

ค่าของพลังงานที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยานิวเคลียร์คำนวณได้จากสมการของไอนสไตน์ (Einstein's equation):

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

ΔE = พลังงานที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา (J)

Δm = มวลที่เปลี่ยนแปลง (kg)

C = ความเร็วของแสง 3×10^8 $m \cdot s^{-1}$

(Δ ใช้แทนผลต่างระหว่างสารผลิตภัณฑ์และสารตั้งต้น)

- หน่วยของ ΔE ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิยมใช้เป็น MeV เพราะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานมหาศาล
- 1 eV คือพลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอน 1 ตัว เคลื่อนที่ผ่านความต่างศักย์ 1 โวลท์

ตัวอย่าง 1 จากการสลายตัว $^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$ จงคำนวณ พลังงานที่เปลี่ยนแปลง (ΔE)ในหน่วย kJ เมื่อ

ก หนึ่งโมลของ Ra-226 เกิดการสลายตัว (-4.8×10^{8} kJ·mol^{-1})

ข หนึ่งกรัมของ Ra-226 เกิดการสลายตัว (-2.1×10^{6} kJ·g^{-1})

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

จากตารางธาตุ:

มวลของ Ra-226 = 225.9771 g

มวลของ Rn = 221.9703 g

มวลของ He = 4.0015 g

มวลนิวเคลียสและพลังงานยึดเหนี่ยวนิวเคลียส

- การตรวจสอบนิวเคลียสต่างๆ มักพบว่า มวลของนิวเคลียส (มวลอะตอมในตารางธาตุ) มีค่าน้อยกว่าผลรวมของมวลของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส (p + n)
- ผลต่างของมวล (Δm) เรียกว่า มวลพร่อง (mass defect)
- มวลที่หายไป (Δm) เปลี่ยนเป็นพลังงานที่ยึดเหนี่ยว p และ n ให้อยู่รวมกันได้ในนิวเคลียส
- เรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานยึดเหนี่ยวนิวเคลียส (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)

ΔE = NBE = พลังงานที่คายออกมาเมื่อนำโปรตอนและนิวตรอนมาหลอมรวมกันเป็นนิวเคลียส

พลังงานที่ถูกคายออกมามีค่าน้อย เพราะคิดต่อ 1 นิวเคลียส (อะตอม)
แต่หากคิดต่อ 1 โมลของธาตุ จะพบว่าพลังงานที่คายออกมามหาศาล

ถ้าคิดต่อ 1 โมลของ $^{19}_{9}\mathrm{F}$

ข้อสังเกต: mass defect สูง Δm มาก = พลังงานสูง

<u>การบ้าน</u>

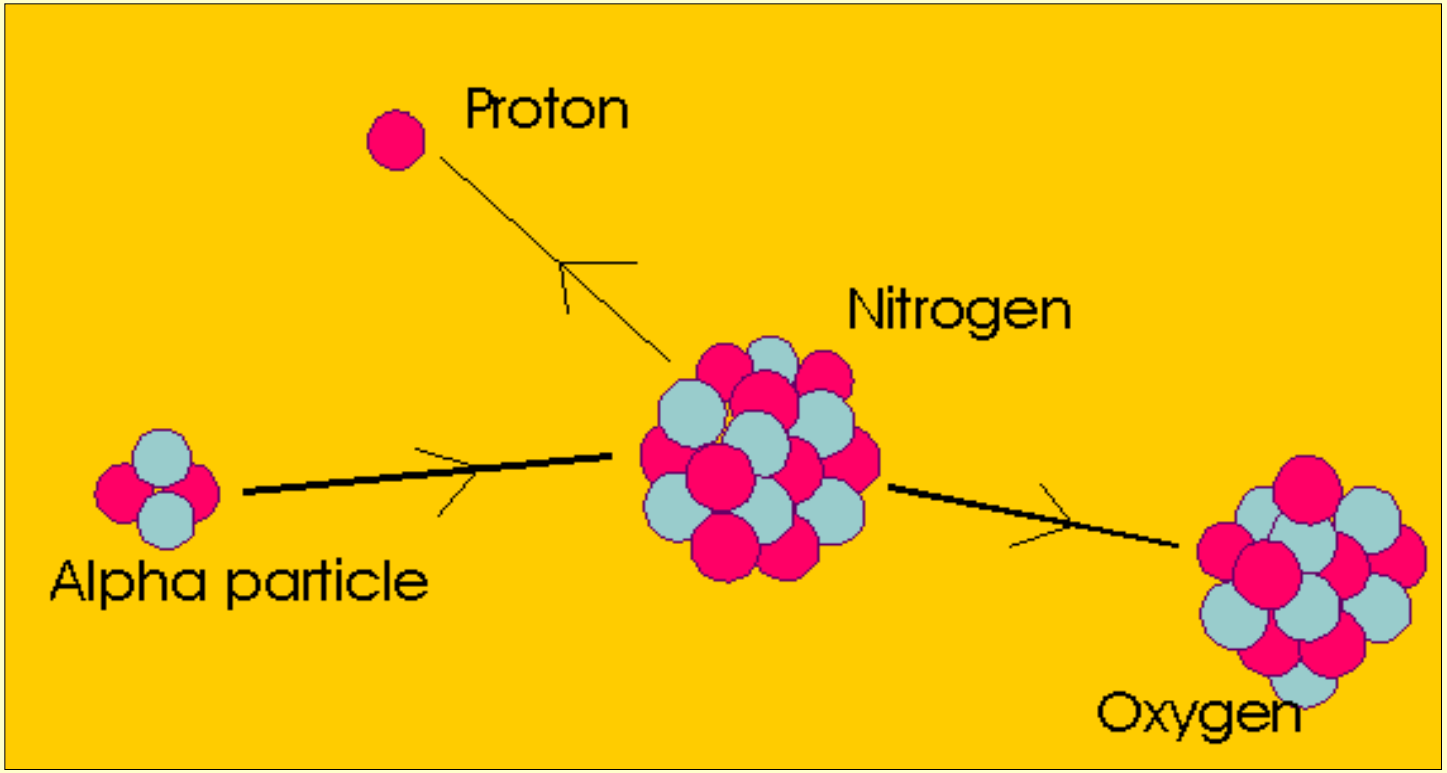
จงคำนวณ NBE ของ $^{127}_{53}\mathrm{I}$

(กำหนด atomic mass ของ $^{127}_{53}\mathrm{I}$ = 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)

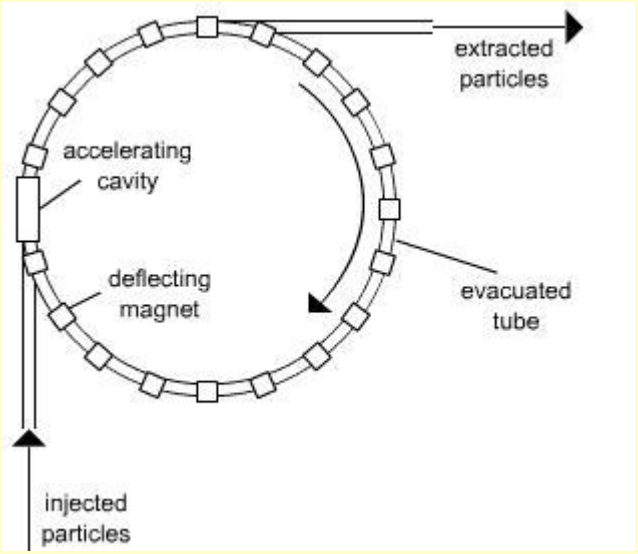
เครื่องเร่งอนุภาค (Particle accelerator)

ใช้ในการเร่งอนุภาคให้มีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงต้านจากนิวเคลียสเป้าหมาย

เครื่องเร่งอนุภาค ได้แก่ ซินโครตรอน (synchrotron)

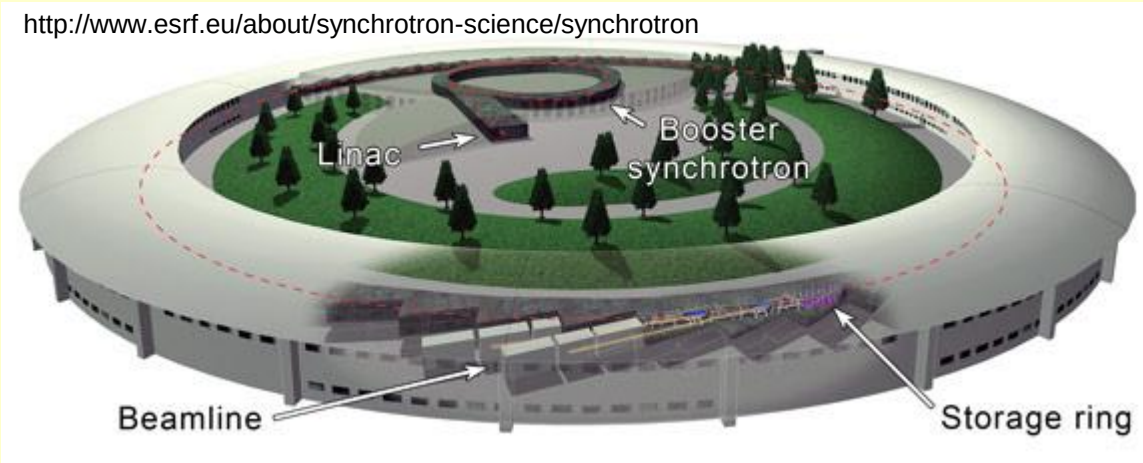
- ใช้สนามแม่เหล็กและการสลับขั้ว +,– เพื่อช่วยเพิ่มพลังงานจลน์ ของอนุภาค
- สามารถออกแบบให้ความเร็วสูงสุดของอนุภาคก่อนชน nucleus ≈ 90% ของความเร็วแสง

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):

ได้จากการแปรนิวเคลียสโดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคสังเคราะห์ธาตุจาก 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*

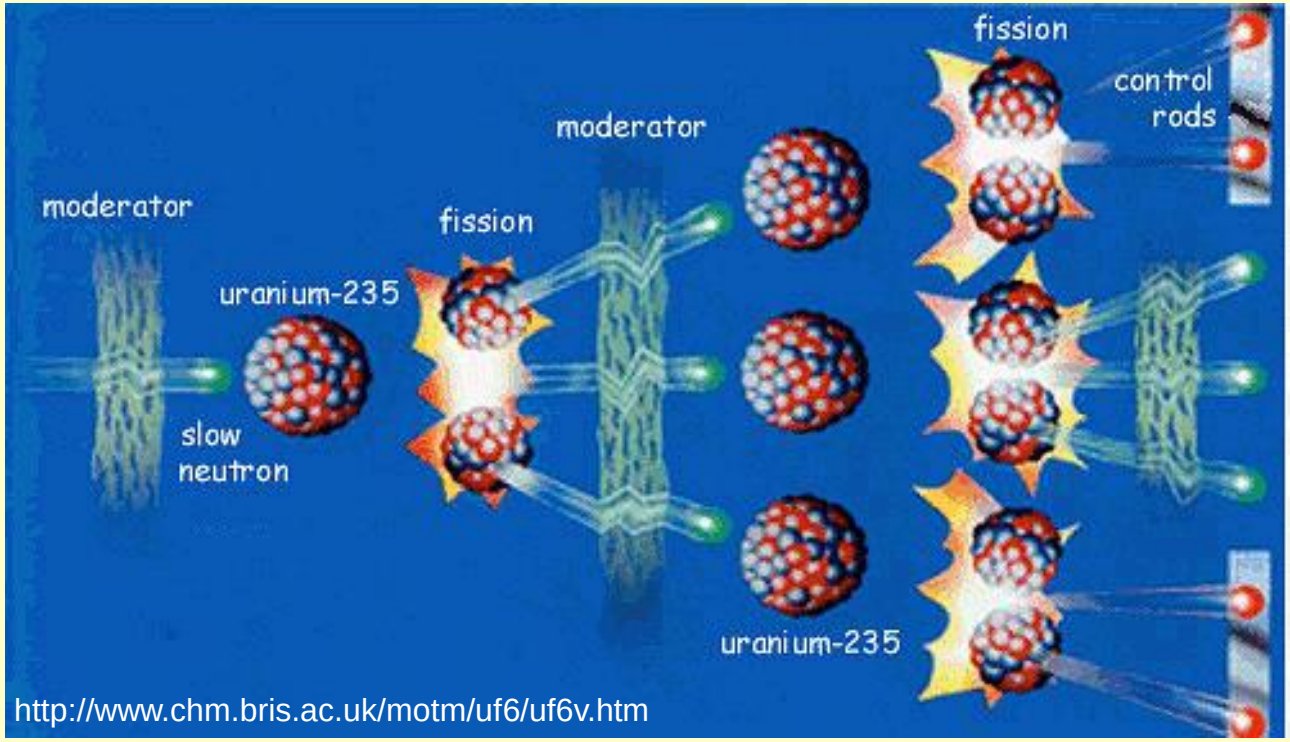
$$^{249}_{98}Cf + ^{18}_{8}O \longrightarrow ^{263}_{106}? + 4\,^{1}_{0}n$$

* 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

Nuclear fission แบ่งเป็น 2 ประเภท

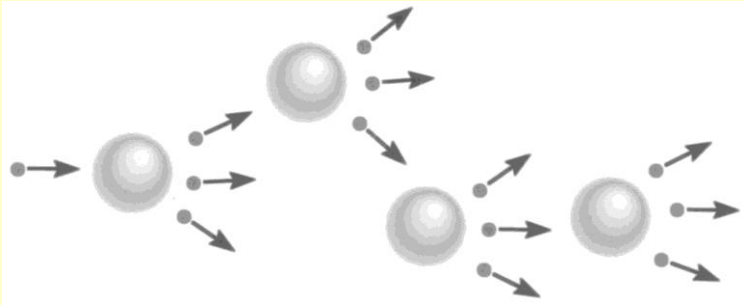
มวลวิกฤต (critical mass): ค่าที่น้อยที่สุดของนิวเคลียสที่เกิดฟิชชันได้ (วัสดุฟิชชัน) ต้องการเพื่อคงปฏิกิริยาลูกโซ่นิวเคลียร์ โดยมีอนุภาคนิวตรอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิชชันแต่ละครั้ง มากกว่า 1 ตัว ต้องไปชนกับอีกนิวเคลียสหนึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันต่อไป

มวลวิกฤตของวัสดุฟิชชัน ขึ้นกับคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ เช่น พื้นที่หน้าตัดสำรับการเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ ความหนาแน่น รูปทรง กระบวนการแยกไอโซโทป ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม

(source: http://th.wikipedia.org/wiki/มวลวิกฤต)

1. มวลของวัสดุฟิชชันต่ำกว่ามวลวิกฤต

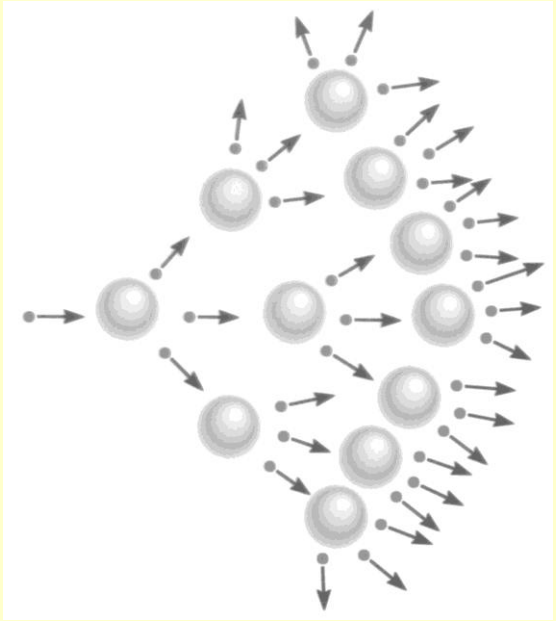
ทำให้นิวตรอนที่ปล่อยจาก fission ขั้นแรกน้อย โอกาสในการเกิด fission ต่อเนื่องจึงน้อย



2. มวลของวัสดุฟิชชันสูงกว่ามวลวิกฤต

นิวตรอนที่ปล่อยจาก fission ขั้นแรกจะยิงอะตอมอื่นๆ ที่อยู่ถัดไปจนเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ มักใช้ในระเบิดอะตอม (atomic bomb)

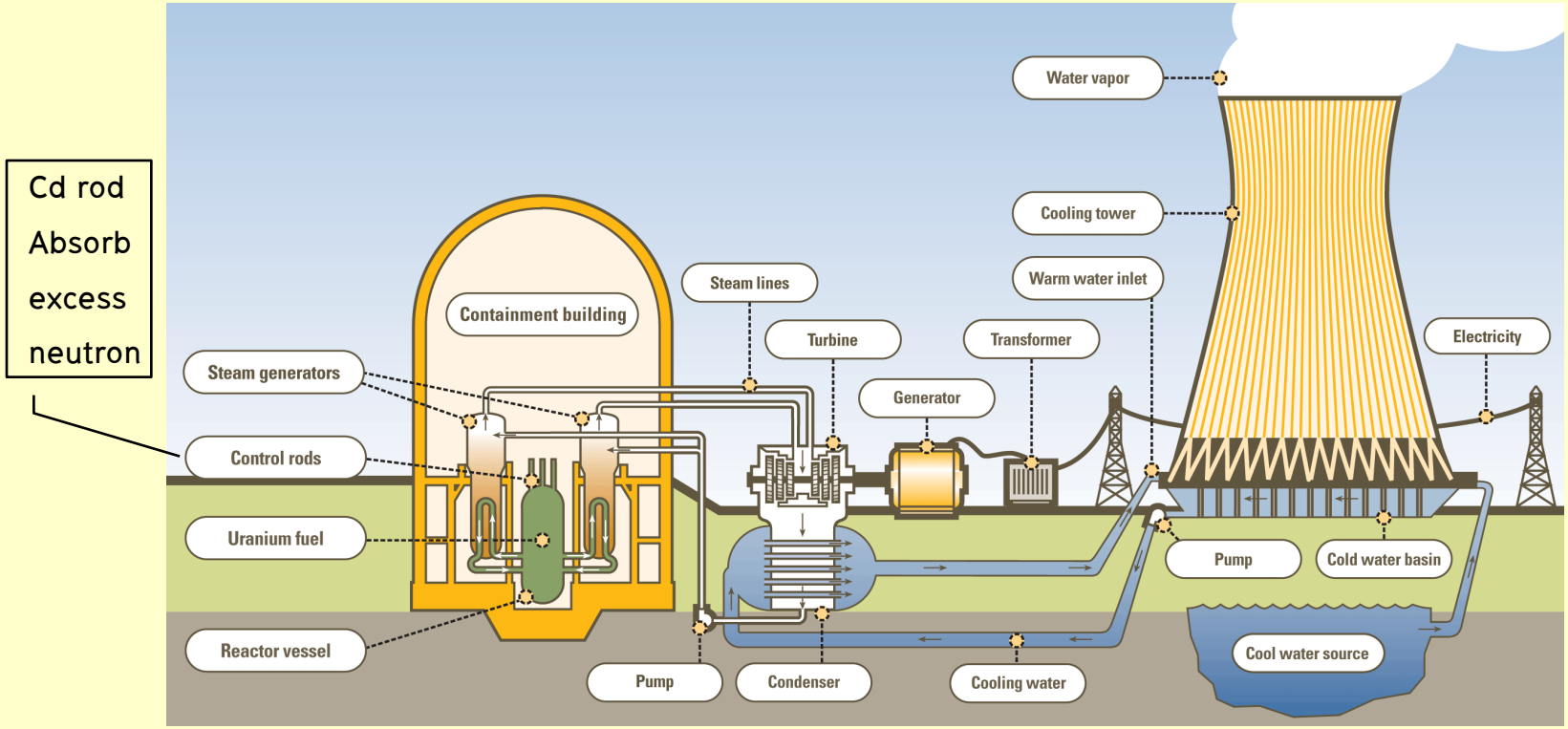
เช่น U-235 หรือ Pu-239 ซึ่งมีมวลมากกว่าจุดวิกฤต



* 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/

- All nuclear reactors now in operation use nuclear fission.
- Nuclear fission is the process where the nucleus (hence 'nuclear' energy) of a 'heavy', fissionable atom is split.
- Enormous amounts of energy are released in this process. This energy, in the form of heat is transferred to steam turbines to generate electricity. The electricity is then fed into a grid for domestic and industrial use.
- Around the reactor core is a strong structure to prevent any radioactive material escaping into the environment in case of a nuclear accident. Commonly this is a one meter–thick concrete and steel structure.

Nuclear Reactor มี 3 ประเภท

1. Light water reactor
2. Heavy water reactor
3. Breeder reactor

1. Light Water Reactor: เป็นการยิง U–235 ด้วย slow neutron ทำให้เกิด fission ดีกว่า fast neutron โดยนิวตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยา fission ของ U – 235 มีพลังงานสูงและความเร็วสูงต้องทำให้ช้าลงโดยใช้ moderator เพื่อลดความเร็วของนิวตรอน

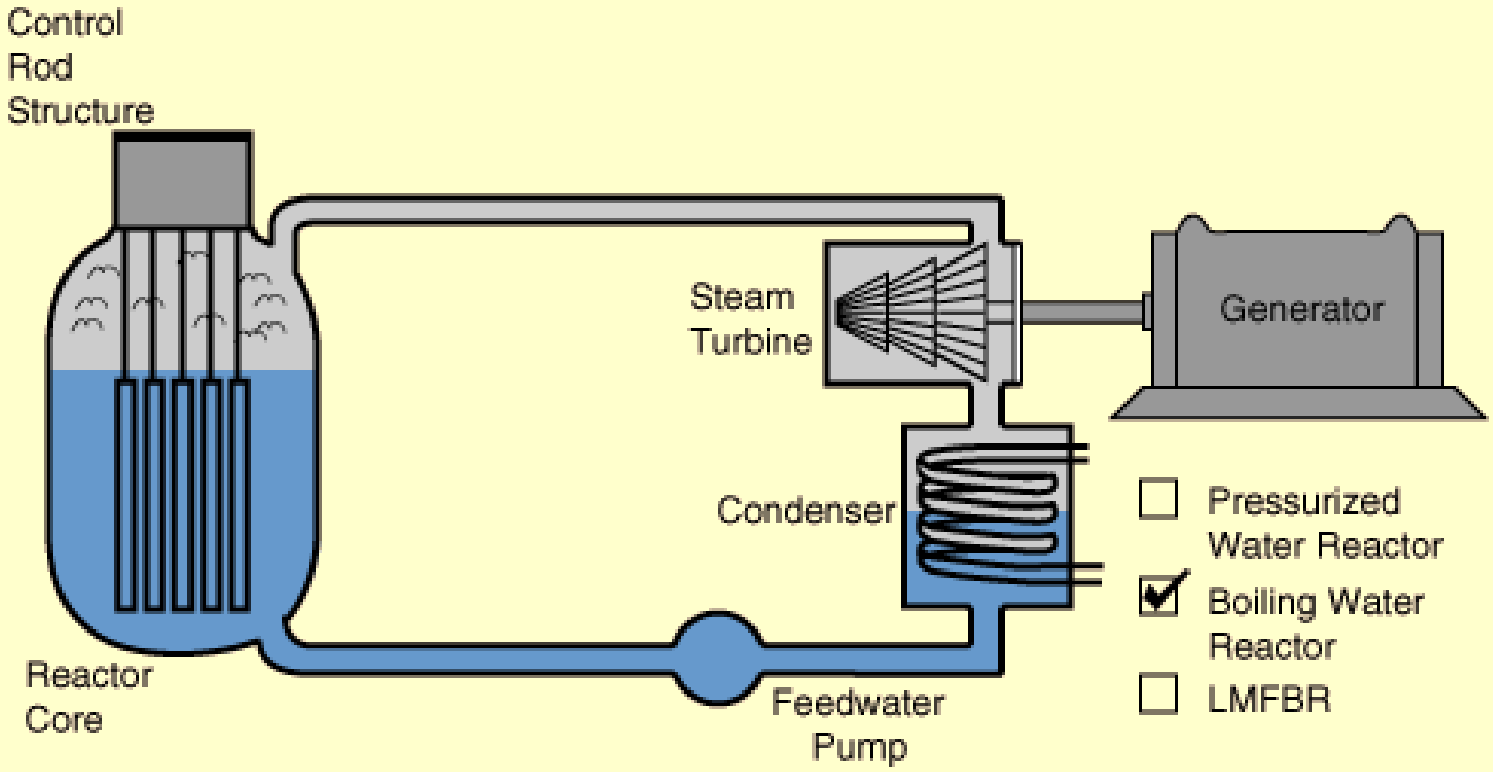
<u>คุณสมบัติของ moderator ที่ดี</u>

- เป็น fluid ทำหน้าที่ coolant ไปด้วย
- มีความร้อนจำเพาะสูง
- non–toxic ราคาไม่แพง (เพราะต้องใช้ปริมาณมาก)

ในการต้านทานการเกิด nuclear transmutation กลายเป็น radioactive isotope ไม่มีสารใดมีสมบัติดังกล่าวครบถ้วน แต่น้ำ (H_2O) นับว่ามีสมบัติใกล้เคียงที่สุดเมื่อเทียบกับสารอื่น ดังนั้น Light water reactor เป็นโรงปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ต้องใช้น้ำมาก จึงจำเป็นต้องอยู่ใกล้แหล่งน้ำ แม่น้ำหรือทะเลสาบ

Boiling Water Reactor: The same water loop serves as moderator, coolant for the core, and steam source for the turbine.

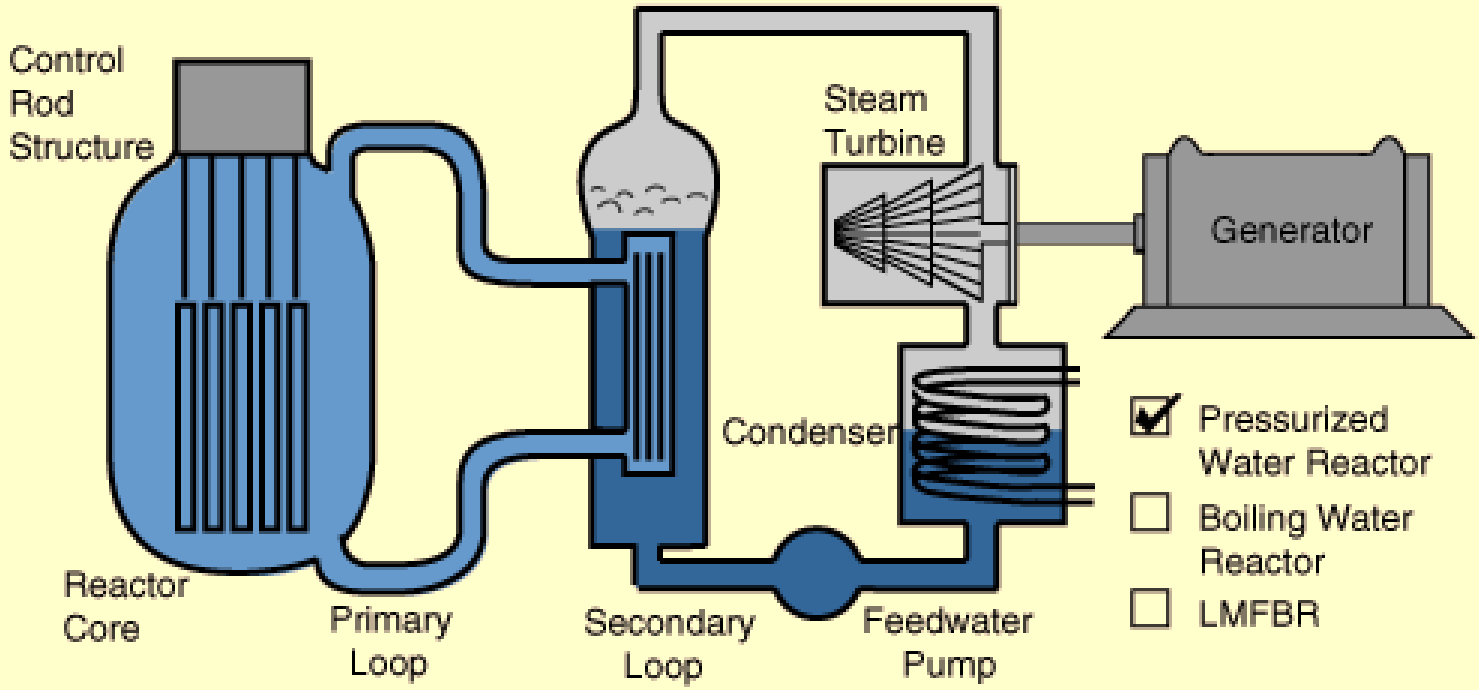
The disadvantage of this is that any fuel leak might make the water radioactive and that radioactivity would reach the turbine and the rest of the loop.



Source: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/reactor.html

Pressurized Water Reactor: the water which passes over the reactor core to act as moderator and coolant does not flow to the turbine, but is contained in a pressurized primary loop. The primary loop water produces steam in the secondary loop which drives the turbine.

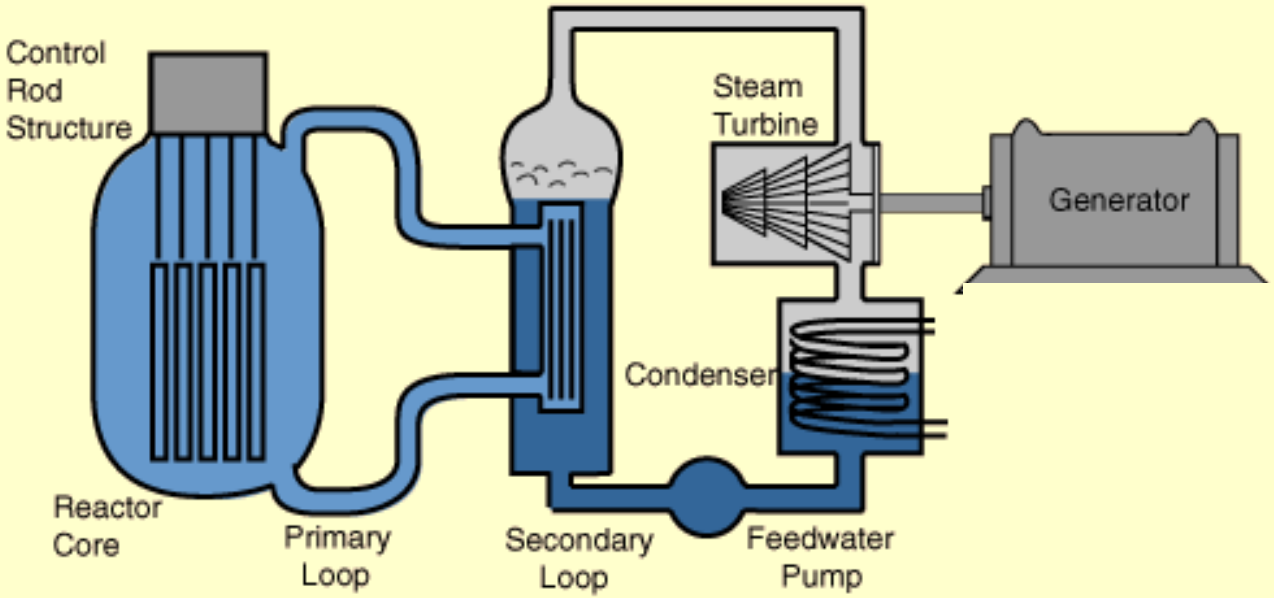
The obvious advantage to this is that a fuel leak in the core would not pass any rdioactive contaminants to the turbine and condenser.



Source: http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/nucene/reactor.html

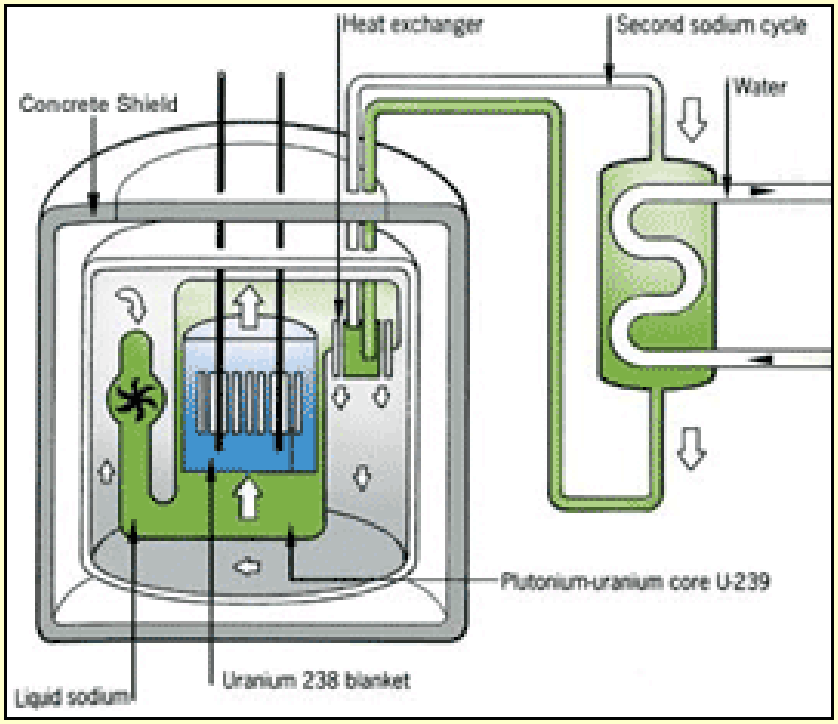
2. Heavy Water Reactor: เครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้จะใช้ Moderator เป็น heavy water (D_2O) แทน light water (H_2O) แต่เนื่องจาก D_2O ทำหน้าที่ลดความเร็วของนิวตรอนได้ไม่ดีเท่า H_2O ดังนั้นความเร็วของนิวตรอนจึงลดลงไม่มาก จึงยังวิ่งเร็วและมีพลังงานสูงทำให้ยิงถูกเป้าหมาย (นิวเคลียส U–235) ได้มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไม่ต้องใช้แร่ยูเรเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่ใช้เพียงแร่ยูเรเนียมที่มีปริมาณของยูเรเนียมต่ำก็เพียงพอ ซึ่งมีราคาที่ไม่แพงมาก

Pressurized Heavy Water Reactor: The cooling process is done by flow of heavy water under high pressure in the primary cooling circuit.



3. Breeder Reactor: ตั้งต้นจาก U-238 (เป็น non-fission) ยิงด้วย fast neutron ได้ Pu-239 และนิวตรอน นิวตรอนที่ได้นี้จะเกิดปฏิกิริยา fission กับ U-238 และเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่เช่นนี้ต่อไปจน U-238 เปลี่ยนไปเป็น Pu-239 ทั้งหมด

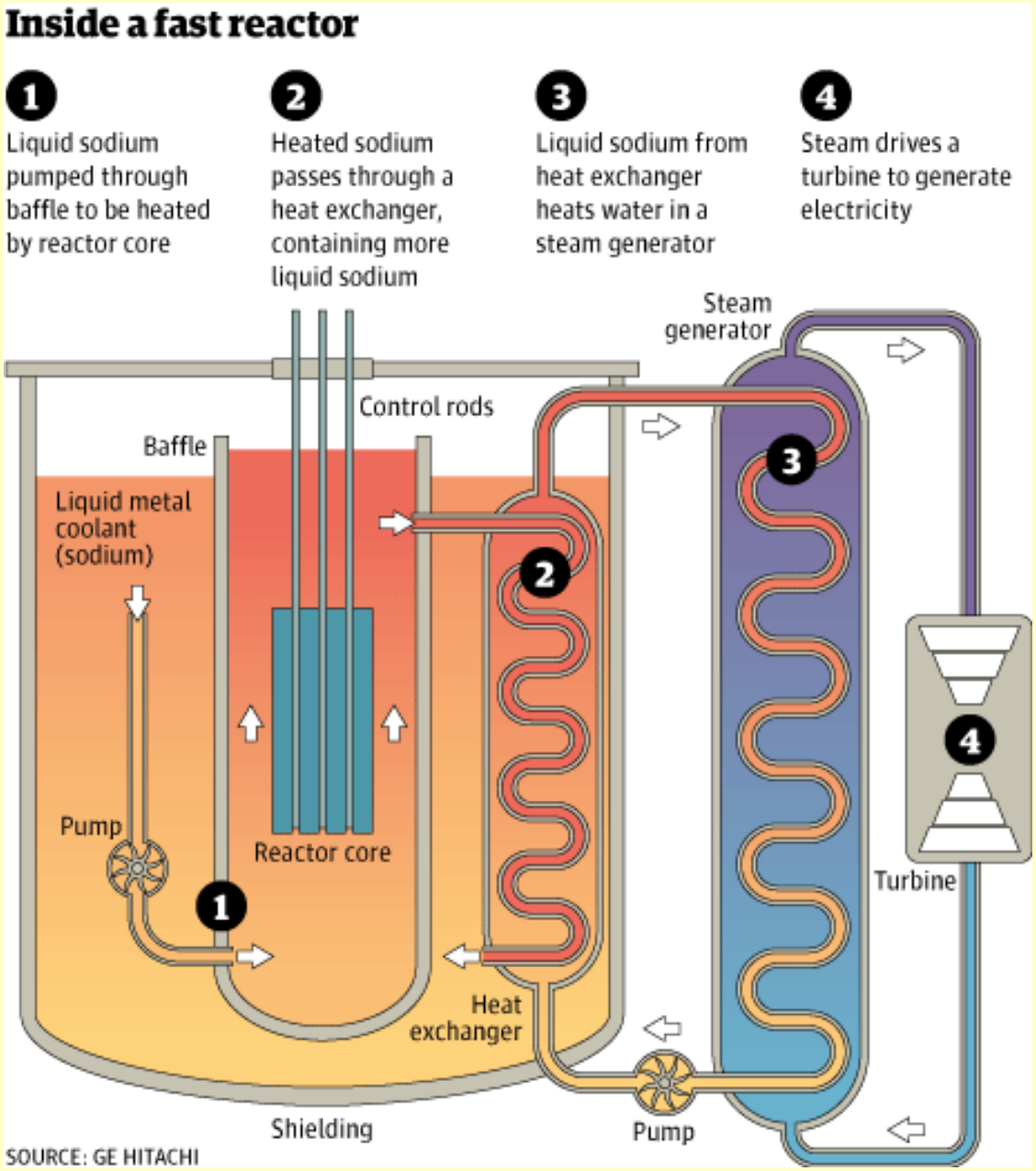
Fast breeder reactor work at such a high temperature that they need a special coolant such as liquid sodium.



http://www.cameco.com/uranium_101/uranium_science/nuclear_reactors/

ข้อเสีย: ราคาแพง และ Pu-239 toxic มาก มี $t_{1/2}$ = 24,400 ปี

Breeder Reactor using liquid sodium as coolant such as



http://www.guardian.co.uk/environment/2012/jul/30/fast-breeder-reactors-nuclear-waste-nightmare

Why is sodium used as a coolant for nuclear reactors?

Sodium is generally used in a type of reactor called a fast reactor, which relies on fast moving neutrons to operate. Water cannot be used as a coolant because it slows the neutrons in the reactor too much, whereas sodium does not. As well, because sodium boils at such a hot temperature it does not require a pressurized cooling system unlike water cooling systems.

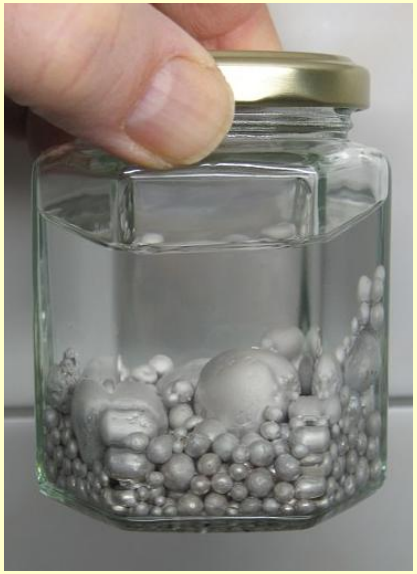
However, most reactors will not use sodium as a coolant because it is a very reactive element, and as a result special safety measures in construction and operation must be observed.

Sodium (Na):

m.p. = 97.8 C (208 F)

b.p. = 883 C (1621.4 F)

(Boiling point of sodium brackets the range of operating temperatures for the reactor.)



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sodium_molten.jpg

Advantages: An advantage of liquid metal coolants is high heat capacity which provides thermal inertia against overheating. Water is difficult to use as a coolant for a fast reactor because water acts as a neutron moderator that slows the fast neutrons into thermal neutrons. While it may be possible to use supercritical water as a coolant in a fast reactor, this would require a very high pressure. In contrast, sodium atoms are much heavier than both the oxygen and hydrogen atoms found in water, and therefore the neutrons lose less energy in collisions with sodium atoms. Sodium also need not be pressurized since its boiling point is much higher than the reactor's operating temperature, and sodium does not corrode steel reactor parts.

Disadvantages: A disadvantage of sodium is its chemical reactivity, which requires special precautions to prevent and suppress fires. If sodium comes into contact with water it explodes, and it burns when in contact with air. This was the case at the Monju Nuclear Power Plant in a 1995 accident in Japan. In addition, neutrons cause it to become radioactive; however, activated sodium has a half-life of only 15 hours.

http://www.guardian.co.uk/environment/2012/jul/30/fast-breeder-reactors-nuclear-waste-nightmare

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

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

การคำนวณพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชชันและปฏิกิริยาฟิวชัน

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

<u>ตัวอย่าง</u> จงคำนวณพลังงานที่ให้ออกมาในหน่วย kJ/g ของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยาฟิชชัน $^{2}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He$ (-5.71×10^{8} kJ/g)

2. ปฏิกิริยาฟิชชัน $^{235}_{92}U \rightarrow {}^{90}_{38}Sr + {}^{144}_{58}Ce + {}^{1}_{0}n + 4{}^{0}_{-1}e$ (-8.21×10^{7} kJ/g)

หน่วยการวัดรังสี

1. ปริมาณสารกัมมันตรังสี

วัดการสลายตัวของนิวเคลียสให้รังสีออกมาเป็นจำนวนครั้ง (คลื่น หรือ อนุภาค) ต่อวินาที

ใช้หน่วย Becquerel, Bq (SI unit)

1 Bq = การสลายตัวของนิวเคลียสให้รังสีออกมาเป็นจำนวน 1 ครั้ง/วินาที

หรือ Curie (Ci)

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

- หน่วย Bq บอกถึง "strength" of the radioactive sample แต่จะไม่บอกถึงสมบัติของรังสีที่ปล่อยออกมา (ว่าเป็น α, β, γ)
- บอกไม่ได้ว่า 250 Bq ของ α จะอันตรายมากหรือน้อยกว่า 250 Bq ของ γ

2.ปริมาณรังสีในอากาศที่ถูกแผ่ออกมาจากสารกัมมันตรังสี (exposure หรือ exposure dose)

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

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

หน่วยนี้ บอกถึง ชนิด และ กำลังของรังสี แต่ไม่สามารถบอกถึงอันตรายต่อคน

3. ปริมาณรังสีดูดกลืน (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 $g \cdot cm^2/s^2$ = 10^{-7} J)

1 Gy = 100 rad = 1 J/kg

1 rad ≈1 R

SI = International system of Units

Cgs = centimetre–gram–second system

Conversion Table cgs / SI– Units

	cgs	Conv. Factor	SI
Distance	cm	$= 10^{-2}$	m
Mass	g	$= 10^{-3}$	kg
Time	sec	= 1	sec
Force	dyne	$= 10^{-5}$	Newton
Energy	erg	$= 10^{-7}$	Joule
Charge	esu	$= 3.336 \cdot 10^{-10}$	Coulomb
El. Potential	statvolt	= 299.8	Volt
Magnetic Field	Gauss	$= 10^{-4}$	Tesla

4.ปริมาณรังสีสมมูลที่บุคคลได้รับ (dose equivalent)

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

- พิจารณาผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อ ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของอวัยวะในร่างกายและชนิดของรังสี
- บุคคลใดได้รับรังสีแล้วรังสีนั้นก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์ หรือแกมมา 1 rad เรียกว่าบุคคลนั้นได้รับรังสี 1 rem

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

1 Sv = 100 rem

Type of Radiation	RBE
X –and –rays	1
Beta particles	1
Neutrons of unknown energy	10
High–energy protons	10
Alpha particles	20

Biological effect

ความเสียหายของรังสีต่อคน แบ่งเป็น

somatic: ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อบุคคลนั้น เช่นผิวไหม้ เป็นผื่น มะเร็ง

Somatic → ผลเฉียบพลัน (acute effect)

→ ผลระยะยาว (delayed effect)

generic: ความเสียหายที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรม

ขีดจำกัดในการรับรังสี Dose limit	พ.ร.บ.พลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504	ข้อเสนอใหม่ ตาม ICRP 60 (ค.ศ. 1990)
ผู้ปฏิบัติงานทางรังสี	5,000 mrem/ปี	2,000 mrem/ปี
ประชาชนทั่วไป	500 mrem/ปี	100 mrem/ปี
Dose ต่ออวัยวะ		
ตา	-	150 และ 15 mSv/ปี
ผิวหนัง	-	500 และ 50 mSv/ปี
มือและเท้า	-	500 และ -- mSv/ปี

* ICRP = International Commission on Radiological Protection

ตัวเลขที่ขดเส้นใต้ เป็น dose limit สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสี

ผลของรังสีต่อมนุษย์ที่ได้รับรังสีในระยะสั้น

Dose (mSv)	Effect
2.2	ระดับรังสีปกติในธรรมชาติที่ได้รับต่อปี
5	เกณฑ์สูงสุดที่คนปกติได้รับต่อปี
20	เกณฑ์สูงสุดที่คนทำงานกับรังสีได้รับต่อปี
500–1000	คลื่นเหียน อ่อนเพลีย เม็ดเลือดขาวลดลง
3000	อ่อนเพลีย อาเจียน ท้องเสีย เม็ดเลือดขาวลดลง ผมร่วง เบื่ออาหาร อาจตายภายใน 3–6 สัปดาห์
6000	อักเสบบริเวณปากและลำคอ อย่างรุนแรง มากกว่า 50% ของผู้ป่วยตายหลังจากถูกรังสีภายใน 30 วัน

<u>การประยุกต์ใช้งานไอโซโทปกัมมันตรังสี</u> (Application of Isotopes)

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. C – 14 คำนวณอายุวัตถุโบราณ

<u>การบ้าน:</u> สืบค้นข้อมูล การประยุกต์ใช้งานไอโซโทปกัมมันตรังสี มา 1 ข้อ (จาก 1–6) แล้วสรุป พร้อมยกตัวอย่างมา 3 หน้ากระดาษ A4 (เขียนด้วยลายมือเท่านั้น)

การป้องกันการได้รับรังสี

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

1. เวลา

$$D = RT$$

เมื่อ D = อัตราการรับรังสีสูงสุดที่ให้ทำงานได้

R = อัตราปริมาณรังสี

T = เวลาที่อนุญาตให้ทำงานได้

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

<u>ตัวอย่าง</u> ในการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่มีระดับรังสีแกมมา 2 mR/h ผู้ปฏิบัติสามารถอยู่ปฏิบัติงานได้กี่ชั่วโมง จึงจะปลอดภัย ตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด (ข้อกำหนดตามกฎหมาย = 20 mSv/y)

1. เปลี่ยนหน่วย จาก mR/h เป็น mSv/h

1 R = 1 rad = 1 rem

100 rem = 1 Sv หรือ 1 rem = 1/100 Sv

2 mR/h = 2 mrem/h = 2(1/100) mSv/h = 0.02 mSv/h

2. ข้อกำหนดตามกฎหมาย = 20 mSv/y (1 y × 52 weeks × 5 days = 260 d)

20 mSv/y = (20/260) mSv/d = 0.08 mSv/d

จาก D = RT

0.08 mSv/d = (0.02 mSv/h)T

T = (0.08/0.02) h/d

T = 4 ชั่วโมงต่อวัน

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

2. ระยะทาง

Inverse square law: $I_1(d_1)^2 = I_2(d_2)^2$

เมื่อ I_1 = ปริมาณรังสีที่ระยะห่างที่หนึ่ง

d_1 = ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีระยะที่หนึ่ง

I_2 = ปริมาณรังสีที่ระยะห่างที่สอง

d_2 = ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีระยะที่สอง

<u>ตัวอย่าง</u> อัตราปริมาณรังสีที่ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีแกมมา 2 เมตร มีค่าเท่ากับ 125 μSv/h อยากทราบว่า ถ้าต้องการลดค่าปริมาณรังสีให้เหลือ 5 μ Sv/h จะต้องอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาเท่าใด

$$I_1(d_1)^2 = I_2(d_2)^2$$

$$(125\ \mu Sv/h)(2m)^2 = (5\ \mu Sv/h)(d_2)^2$$

$$d_2^2 = (500/5)\ \mu Sv/h$$

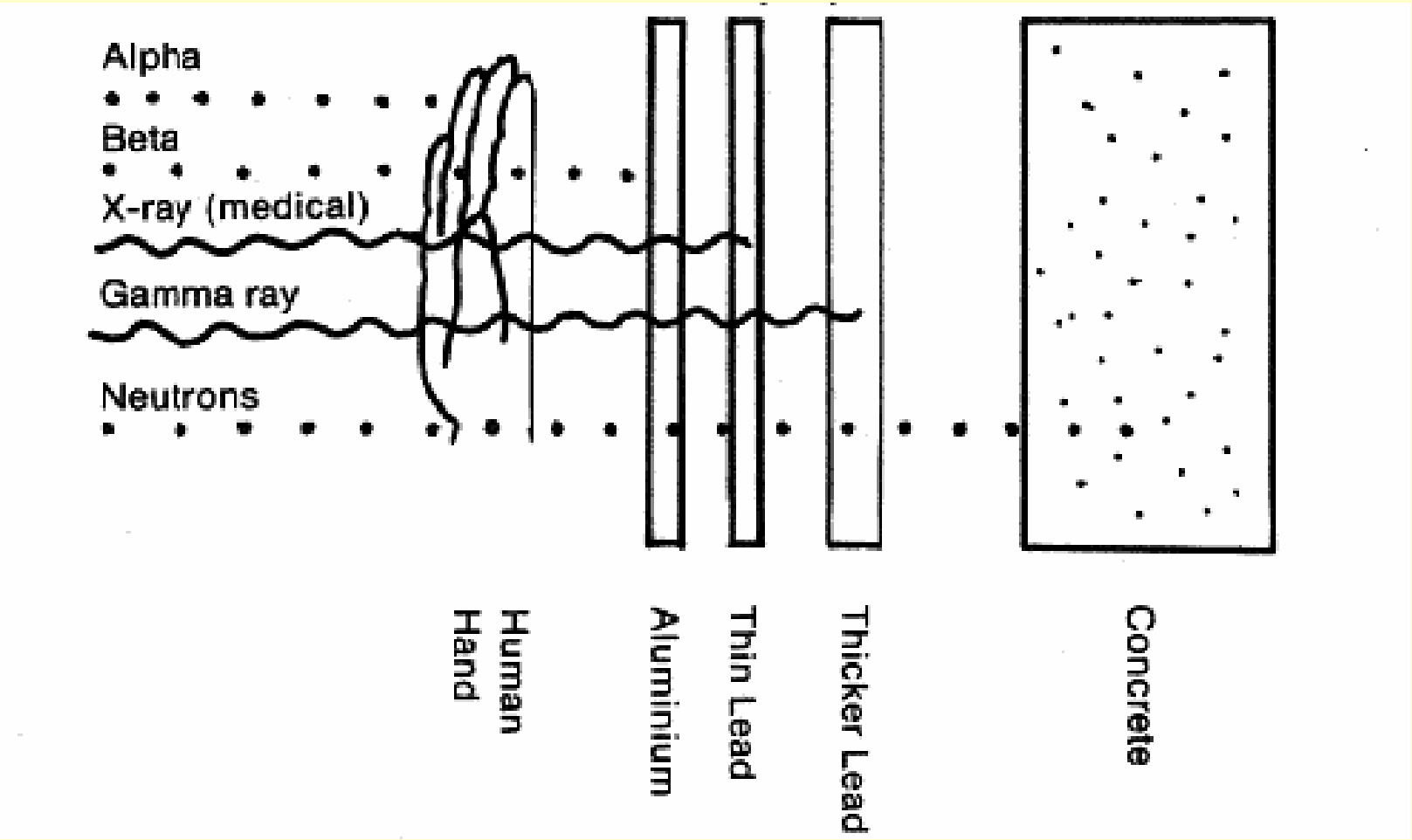
$$d_2^2 = 100\ m$$

$$d_2 = 10\ m$$

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

3. เครื่องกำบัง

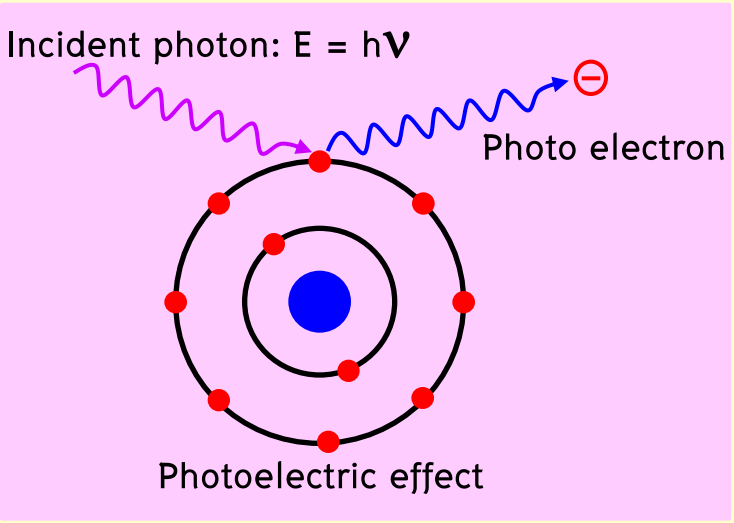
เลือกให้เหมาะสมตามชนิดของรังสี



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

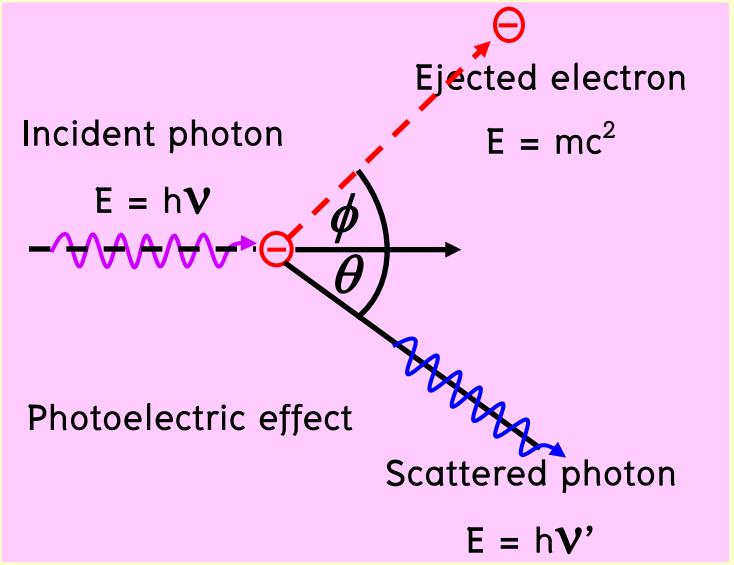
อันตรกิริยาของรังสีกับสสาร

Photoelectric effect:



- incident photon ถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเล็กตรอน
- อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม เรียกว่า ‘Photoelectron’ ซึ่งมีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานของ incident photon กับ binding energy ของอิเล็กตรอนในโมเลกุลนั้น
- เกิดขึ้นเมื่อ พลังงาน incident photon > binding energy

Compton effect:

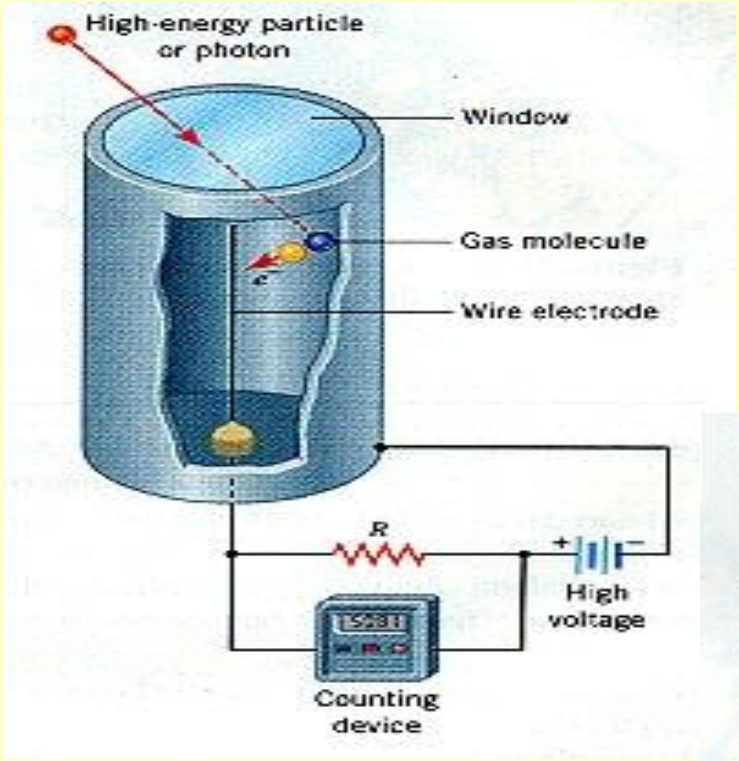


- incident photon ถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอน
- อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม เรียกว่า ‘Compton electron’ และ scattered photon จะเหลือพลังงานบางส่วน และอาจเกิดอันตรกิริยากับอะตอมอื่น ๆ แล้วเกิด photoelectric effect หรือ Compton effect ต่อไป

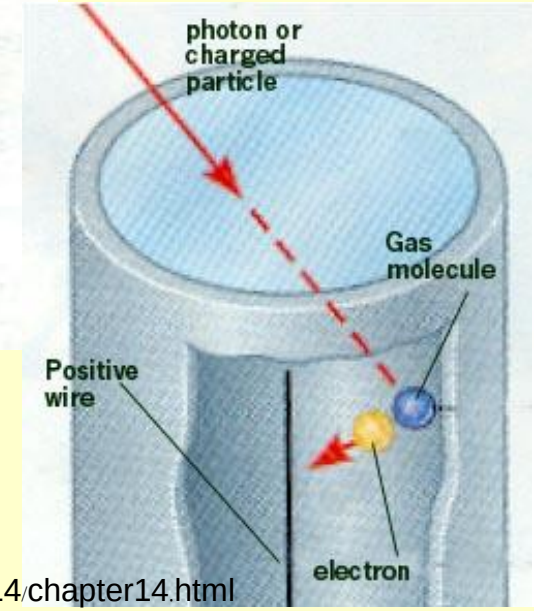
เครื่องมือวัดกัมมันตภาพรังสี

Photoelectric effect และ Compton effect ทำให้เกิดอิเล็กตรอนพลังงานสูง และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นสามารถเกิดอัทตรกิริยากับโมเลกุลรอบ ๆ ต่อไปได้อีก

1. เครื่องนับไกเกอร์ (Geirger counter or Geiger–Müller counter)

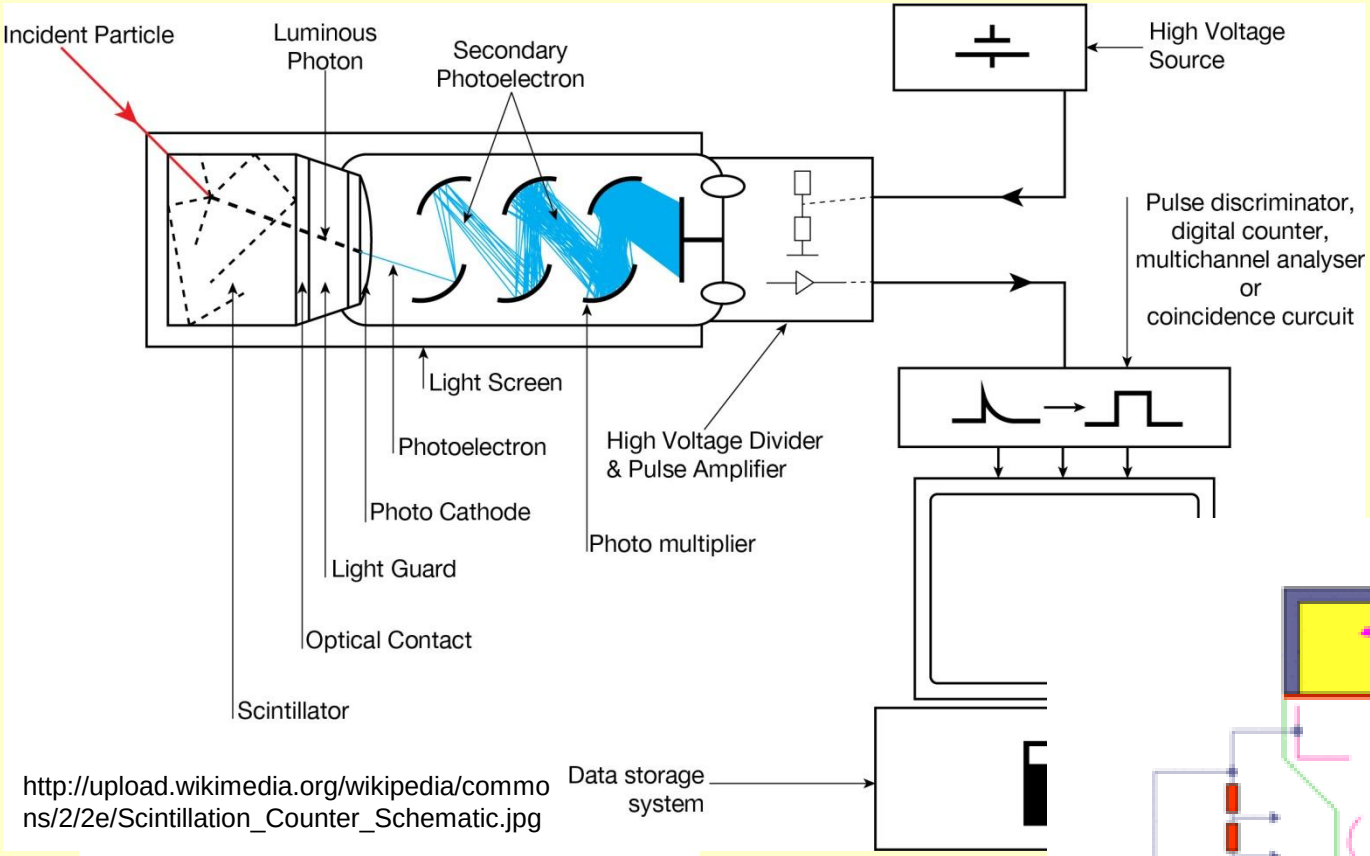


- measures ionizing radiation produced in pressure gas in a Geiger–Müller tube
- detects the emission of nuclear radiation beta particles or gamma rays)
- use as a hand-held radiation survey

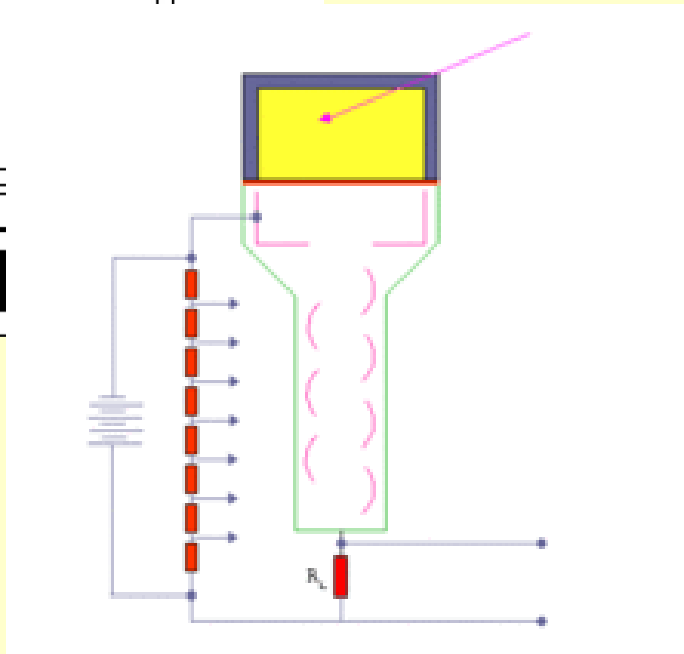


http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/physics17/chapter14/chapter14.html

2. เครื่องนับซินทิลเลชัน (scintillation counter)



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2e/Scintillation_Counter_Schematic.jpg



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scintillation_Detector.gif

Scintillation counter:

- A charged particle strikes the scintillator, its atoms are excited and photons are emitted. These are directed at the photomultiplier tube's photocathode, which emits electrons by the photoelectric effect.
- These electrons strike the first dynode of the tube. The impact of a single electron on the dynode releases a number of secondary electrons which are in turn accelerated to strike the second dynode. Each subsequent dynode impact releases further electrons, and so there is a current amplifying effect at each dynode stage.
- The resultant output signal at the anode is in the form of a measurable pulse for each photon detected at the photocathode.
- The pulse carries information about the energy of the original incident radiation on the scintillator. Thus both intensity and energy of the radiation can be measured.
- A scintillator must be in complete darkness so that visible light photons do not swamp the individual photon events caused by incident ionising radiation. To achieve this a thin opaque foil, such as aluminised mylar.

3. ฟิล์มแบดจ์ (film badge)

ประกอบด้วย ฟิล์มวัดรังสีและตลับบรรจุ โดยตัวฟิล์มวัดรังสี เป็น สารโพลีเอสเตอร์เคลือบด้วย emulsion ที่เป็นส่วนประกอบของ AgBr ซึ่งเมื่อได้รับรังสีจะถูก ionized เป็น Ag^+ และ Br^- โดย Ag^+ เป็นตำแหน่งของภาพแฝง เมื่อนำไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์มจะปรากฏความดำตรงตำแหน่งของภาพแฝงนั้น ฟิล์มวัดรังสีต้องใช้คู่กับตลับใส่ฟิล์มที่มีแผ่นกรองรังสี ชนิดและความหนาต่างกัน ทำให้เกิดรูปแบบ (pattern) ของการได้รับรังสีที่แตกต่างกันซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของรังสีชนิดนั้น

http://office.bangkok.go.th/aids/new_aids/safetyradiaton.pdf

สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย

http://www.nst.or.th/tech.htm