

# บรรยาย 15 ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (ต่อ)

Physics 122, รร.ช่างทันตกรรม, ปีการศึกษา 2564-65/1

อุดม รอบคอบ

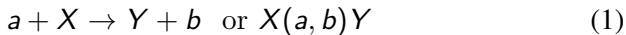
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ม.มหิดล

18 กุมภาพันธ์ 2565

1. ปฏิกริยานิวเคลียร์
2. รั้งสื่อนิวเคลียร์
3. นิวเคลียร์ประยุกต์

# ปฏิกิริยานิวเคลียร์

เราสามารถสร้างการเปลี่ยนแปลงให้เกิดกับนิวเคลียสได้ด้วย  
ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction) สมการปฏิกิริยา เป็นดังนี้



โดยที่  $a, b$  เป็นองค์ประกอบของอนุภาคนิวเคลียร์ เช่น  $p, n, \alpha$  หรือ  $\gamma$   
และปฏิกิริยาจะดำเนินไปภายใต้กฎการอนุรักษ์ จำนวนอนุภาคนิวเคลียร์  
ประจุไฟฟ้า โมเมนตัม และพลังงาน

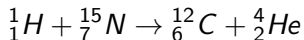
พลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา สามารถคำนวณได้จากสมการของ  
มวลบกพร่อง (mass defect formula)

$$Q = \left( \underbrace{M(x) + m_a - M(Y) - m_b}_{\Delta M} \right) (u)c^2 (931.5 \text{ MeV}/u \cdot c^2)$$

หมายเหตุ  $Q > 0$  เป็นปฏิกิริยาแบบปลดปล่อยพลังงาน (endoergic)

และ  $Q < 0$  เป็นปฏิกิริยาแบบดูดซับพลังงาน (exoergic)

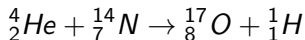
กรณีตัวอย่าง



$$M({}^1H) = 1.007825u, M({}^4He) = 4.002603u, M({}^{15}N) = 15.000109u, M({}^{12}C) = 12.000000u$$

$$\Delta M = 15.000109 + 1.00797 - 12.000000 - 2.00260 = 0.005331u$$
$$\mapsto Q = (0.005331u \cdot c^2)(931.5MeV/u \cdot c^2) = +4.97MeV$$

กรณีตัวอย่าง

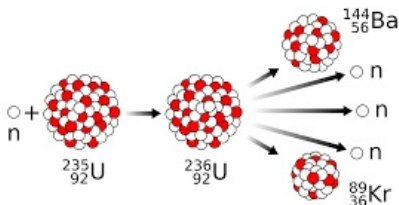


$$M({}^{14}\text{N}) = 14.003074u, M({}^{17}\text{O}) = 16.999132u$$

$$\Delta M = 4.002603 + 14.003704 - 16.999132 - 1.007825 = -0.00065u$$

$$Q = (-0.00065u \cdot c^2)(931.5\text{MeV}/u \cdot c^2) = -0.605\text{MeV}$$

## ปฏิกิริยาแบบแยกส่วน (fission)

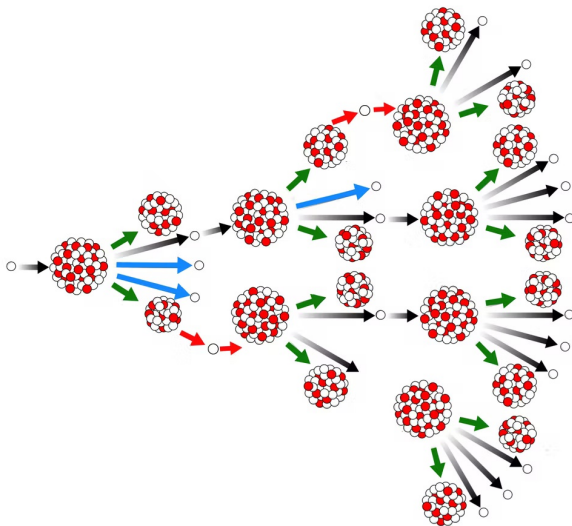


$$m_n = 1.008665u, M({}^{235}\text{U}) = 235.043930u, M({}^{144}\text{Ba}) = 143.922953u, M({}^{89}\text{Kr}) = 88.917636u$$

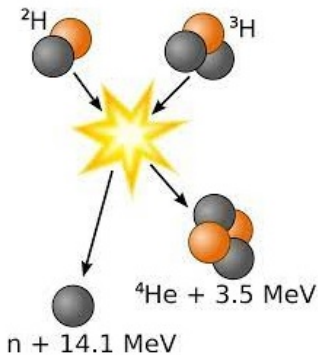
$$\Delta M = 235.043930 - 143.922953 - 88.917636 - 2(1.008665) = 0.116u$$

$$Q = (0.116u \cdot c^2)(931.5\text{MeV}/u \cdot c^2) = +108.06\text{MeV}$$

# ปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reactions)



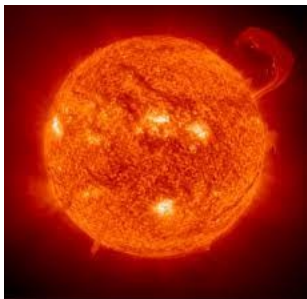
ปฏิกิริยาแบบหลอมรวม (fusion) เช่น  ${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{n}$



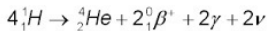
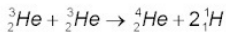
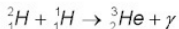
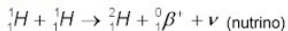
เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบสะอาด แต่มีปัญหาคือ ต้องการพลังงานเริ่มต้นที่สูงมาก เนื่องจากแรงผลักรวมระหว่างนิวเคลียส



# ปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ (thermonuclear) บนดาวฤกษ์

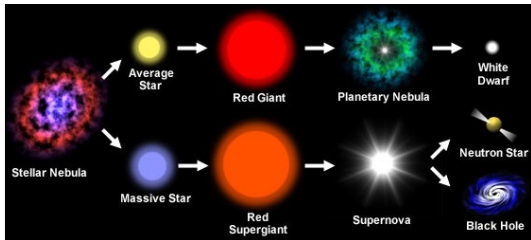
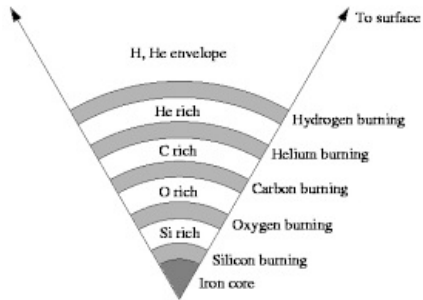


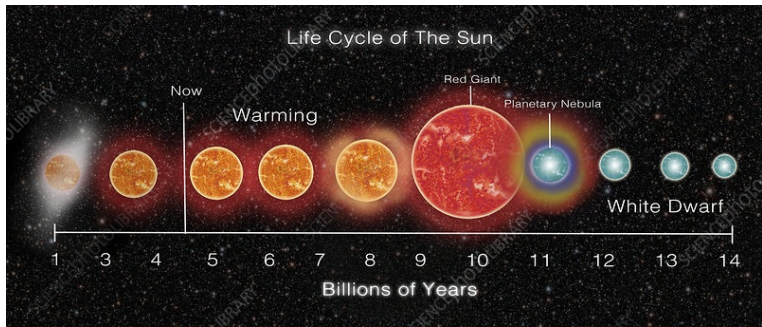
## H - burning



- Triple-alpha (He burning)
  - (1)  ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \leftrightarrow {}^8\text{Be}$ ,
  - (2)  ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$ .
- Carbon burning
  - ${}^{12}\text{C} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{24}\text{Mg} + \gamma$
  - $\rightarrow {}^{23}\text{Na} + {}^1\text{H}$
  - $\rightarrow {}^{20}\text{Ne} + {}^4\text{He}$
- Oxygen burning
  - ${}^{16}\text{O} + {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^{32}\text{S} + \gamma$
  - $\rightarrow {}^{31}\text{P} + {}^1\text{H}$
  - $\rightarrow {}^{28}\text{Si} + {}^4\text{He}$
  - $\rightarrow {}^{27}\text{Si} + \text{n}$
  - $\rightarrow {}^{16}\text{O} + 2{}^4\text{He}$ .
- Silicon burning
  - ${}^{28}\text{Si} + {}^{28}\text{Si} \rightarrow {}^{56}\text{Ni} + \gamma$ ,
  - ${}^{56}\text{Ni} \rightarrow {}^{56}\text{Fe} + 2e^+ + 2\nu_e$ .

Fuel	Products	Ignition Temperature
Hydrogen	Helium	$10^7$ K
Helium	Carbon, Oxygen	$10^7$ K
Carbon	Oxygen, Neon, Sodium, Magnesium	$5 \times 10^8$ K
Neon	Oxygen, Magnesium	$10^9$ K
Oxygen	Magnesium to Sulphur	$2 \times 10^9$ K
Silicon	Iron and nearby elements	$3 \times 10^9$ K





# Betelgeuse (642.5ly) and Rigel (864.3ly)



# รังสีนิวเคลียร์

ชนิดของรังสีนิวเคลียร์

- ▶ อัลฟา
- ▶ บีตา
- ▶ แกมมา

แบ่งเป็นสองประเภท คือ ก) อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า และ ข) โฟตอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีนิวเคลียร์ทั้งสองประเภทมีอันตรกิริยากับสสารต่างกัน จึงมีการดูดกลืนรังสีของสสารต่างกัน

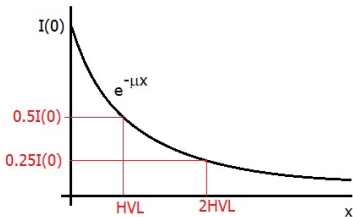
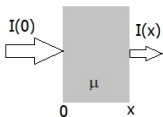
*การดูดกลืนโฟตอน* ได้ถูกบรรยายในรูปแบบของ สปส การดูดกลืนรังสี (radiations attenuation coefficient:  $\mu$ )

$$I(x) = I(0)e^{-\mu x} \quad (2)$$

เมื่อ  $I(x)$  คือค่าความเข้มของรังสีนิวเคลียร์ ที่ระยะความลึก (หนา)  $x$

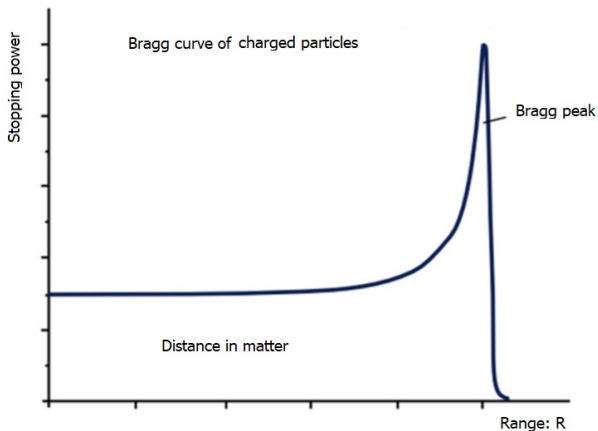
ความหนาที่ปริมาณรังสีลดลงครึ่งหนึ่ง (half value layer: HVL)

$$I(HVL) = \frac{1}{2}I(0) = I(0)e^{-\mu HVL} \mapsto HVL = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

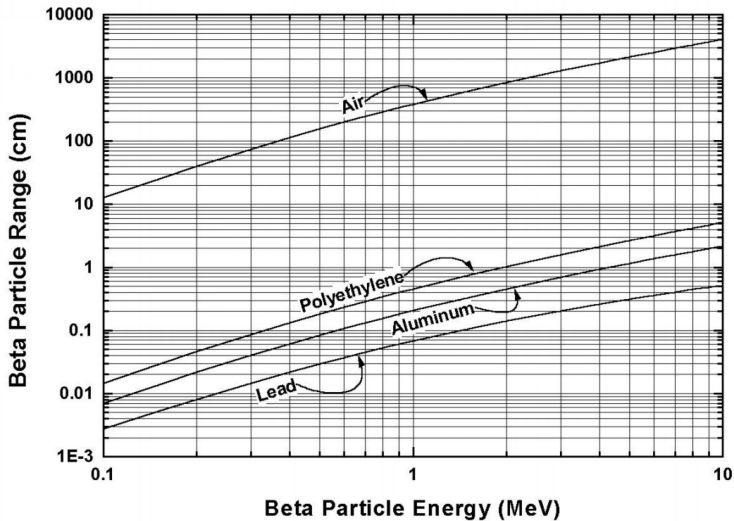


X-rays Peak Voltage (kVp)	Half-Value Layer, mm (inch)	
	Lead	Concrete
50	0.06 (0.002)	4.32 (0.170)
100	0.27 (0.010)	15.10 (0.595)
150	0.30 (0.012)	22.32 (0.879)
200	0.52 (0.021)	25.0 (0.984)
250	0.88 (0.035)	28.0 (1.102)
300	1.47 (0.055)	31.21 (1.229)
400	2.5 (0.098)	33.0 (1.299)
1000	7.9 (0.311)	44.45 (1.75)

การดูดกลืนอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า ถูกบรรยายในรูปของ อัตราการสูญเสียพลังงานต่อหน่วยระยะทาง (stopping power)



# RANGE OF BETA PARTICLES FOR SELECTED MATERIALS





# ปริมาณรังสีดูดกลืน

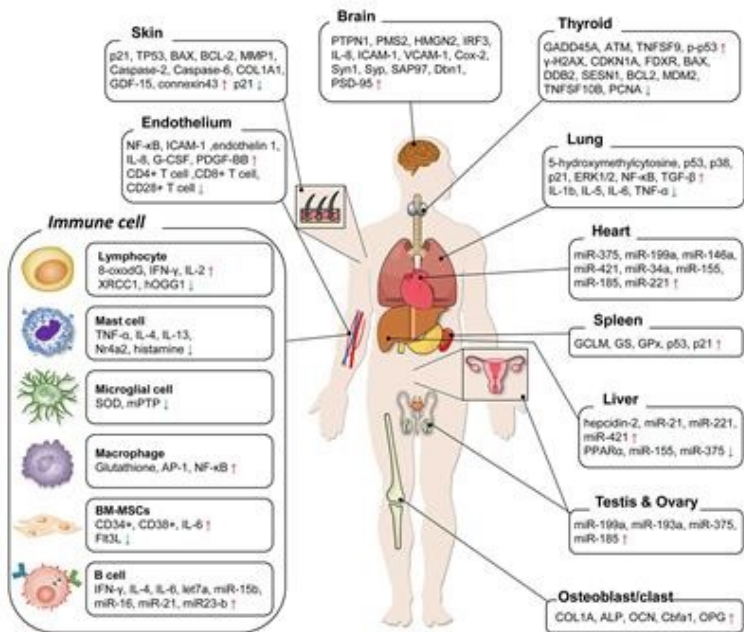
## หน่วยวัดรังสี

Measurement	Unit	Measures	
Radioactivity	Curie	Number of particles/sec from 1 g of radium	
Ionizing radiation	Roentgen (R)	Charge/unit mass	$1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$
Absorbed dose	Rad	$1 rad = 0.01 J/kg$	$1 rad = 0.01 Gy$
	Gray (Gy)	$1 Gy = 1 J/kg$	$1 Gy = 100 rad$
Equivalent dose/ effective dose	Rem	$Rem = rad \times W$	$1 rem = 0.01 Sv$
	Sievert (Sv)	$Sv = Gy \times W$	$1 Sv = 100 rem$

rem = radiation absorption equivalent in man

$$rem = W_R \times rad$$

<u>Radiation type and energy</u>	<u>Radiation weighting factor, <math>w_R</math></u>
Photons, all energies	1
Electrons, myons, all energies	1
Neutrons below 10 keV	5
from 10 keV to 100 keV	10
from 100 keV to 2 MeV	20
from 2 MeV to 20 MeV	10
over 20 MeV	5
Protons over 2 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20



# Annual limit

<b>Dose limitation for occupational worker and public</b>		
<b>Types of limit</b>	<b>Occupational</b>	<b>Public</b>
(Effective Dose)	20 msv/year	1 msv/year
1.lens of eye	150 msv/year	15 msv/year
2.Skin	500 msv/year	15 msv/year
3.Hands and Feet	500 msv/ year	50 msv/ year
4.Pregnant women	1 msv/year	1 msv /year

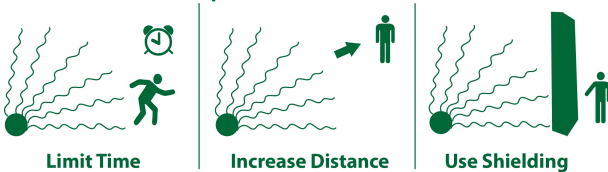
# Annual limit

Dose limitation for occupational worker and public		
Types of limit	Occupational	Public
(Effective Dose)	20 msv/year	1 msv/year
1.lens of eye	150 msv/year	15 msv/year
2.Skin	500 msv/year	15 msv/year
3.Hands and Feet	500 msv/year	50 msv/year
4.Pregnant women	1 msv/year	1 msv/year

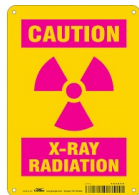
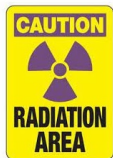
Radiation protection = 3L rule

*least time, long distance, large shielding*

To reduce radiation exposure:

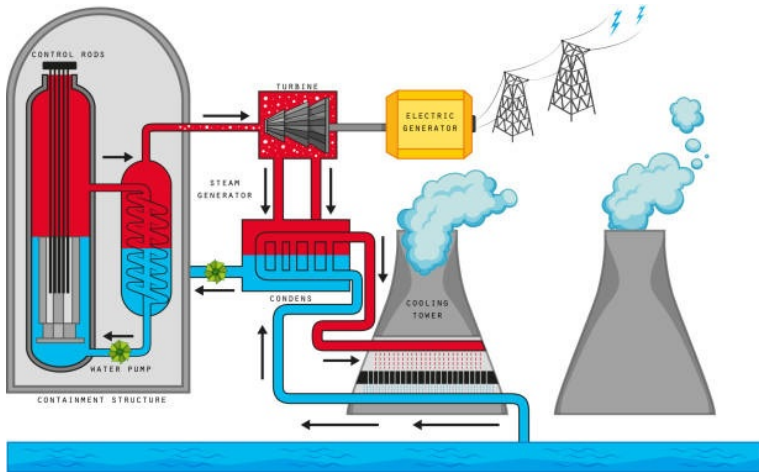


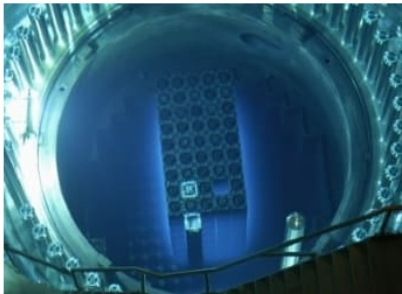
## Radiations sign



# นิวเคลียร์ประยุกต์

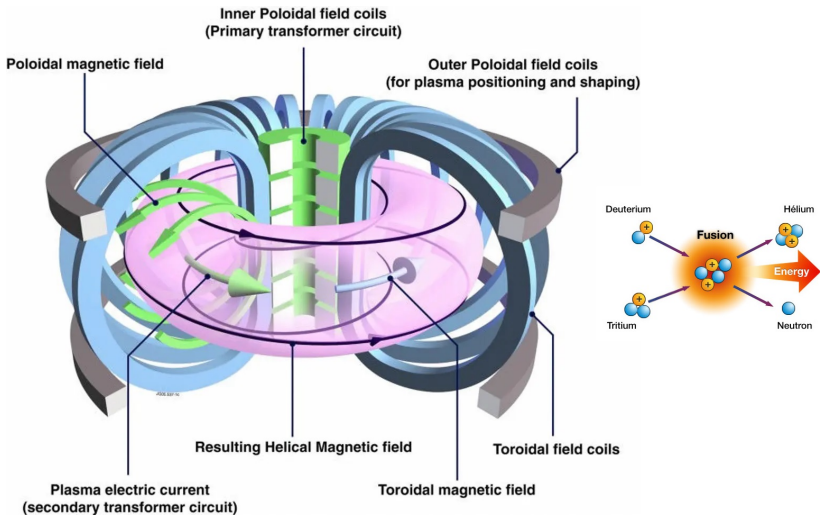
เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์จากปฏิกิริยาแบบแยกส่วน (fission reactor)



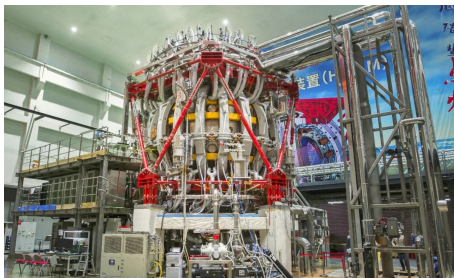




# เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์จากปฏิกิริยาแบบหลอมรวม (fusion reactor)



# China Just Switched on Its 'Artificial Sun' Nuclear Fusion Reactor



# ฟิสิกส์นิวเคลียร์ทางการแพทย์

## DIAGNOSIS & THERAPY

