

Survey of Nuclear and Radiation Physics

เรื่องของนิวเคลียร์และรังสี

R&D

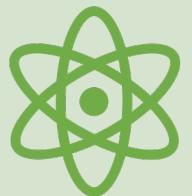
swwu พิชา

หัวหน้าฝ่ายเทคโนโลยีเกษตรและอาหาร
คุณยิวจัย และพัฒนาเทคโนโลยีนิวเคลียร์

คณะแพทยศาสตร์ บศว องครักษ์
2 May 2024



Outline



BASIC NUCLEAR PHYSICS



MEASUREMENT AND
PROTECTION



APPLICATION EXAMPLES



Basic Nuclear Physics

What is “nuclear”?





Radiation

is part of our lives. It is natural and exists long before we were born.

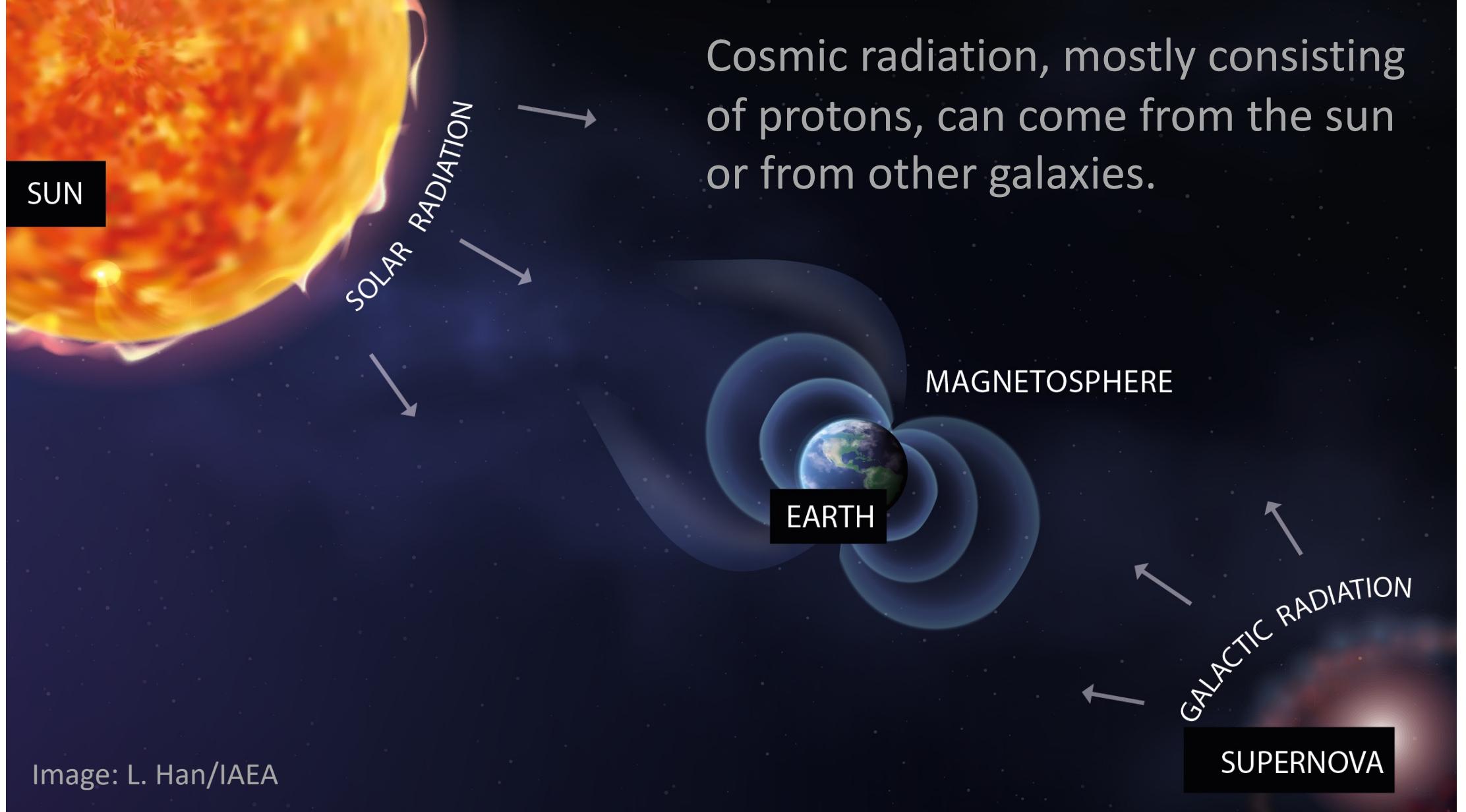
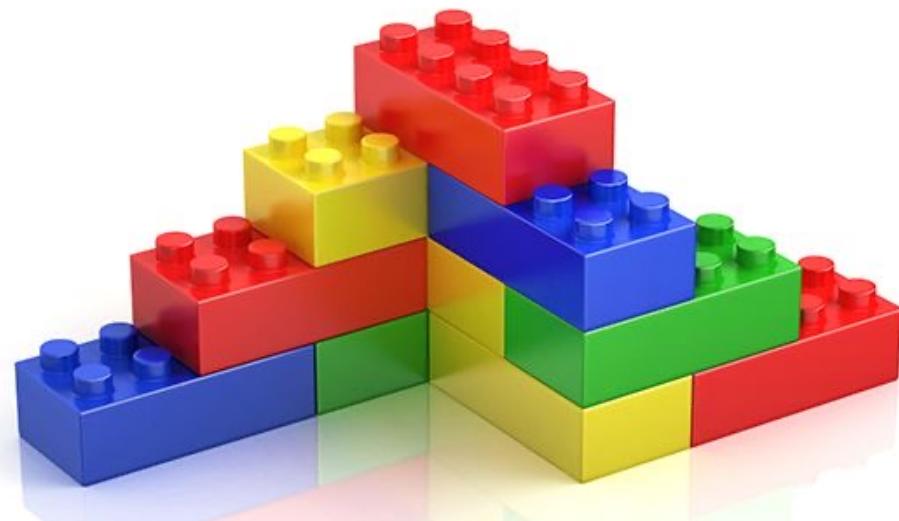
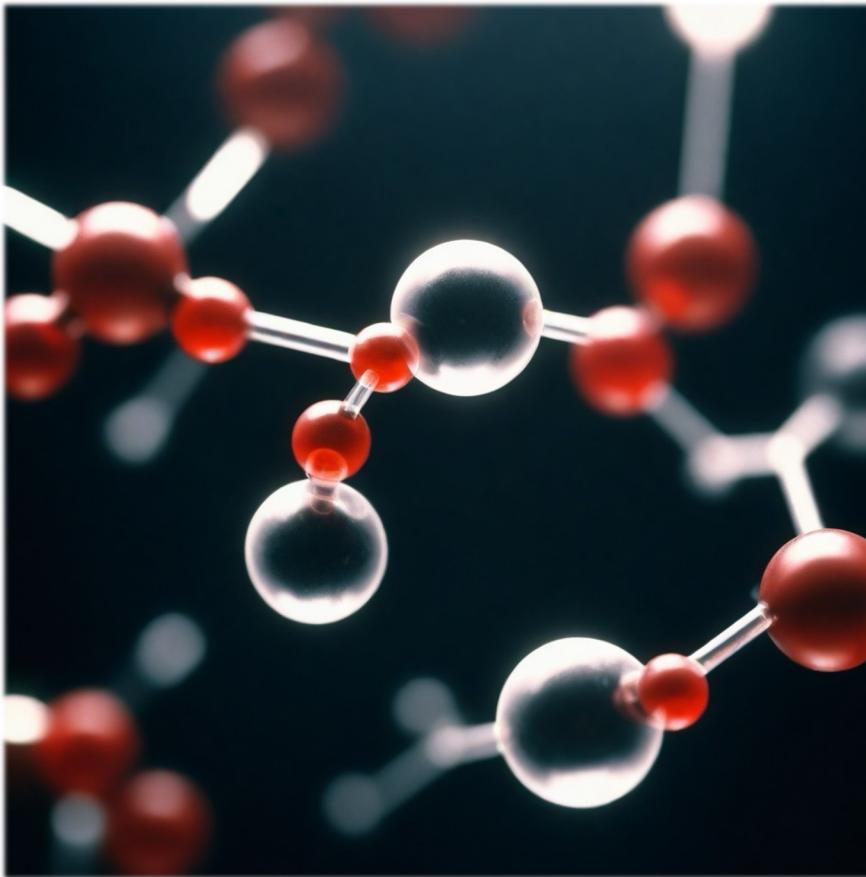


Image: L. Han/IAEA

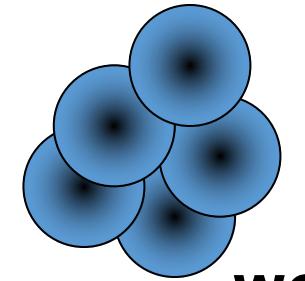
Physics of Nucleus

- What are the building blocks of all things?

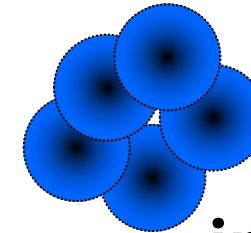




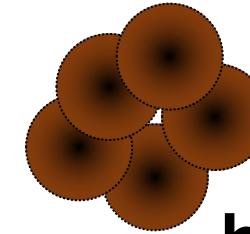
Greeks' atomos: final uncuttable particles



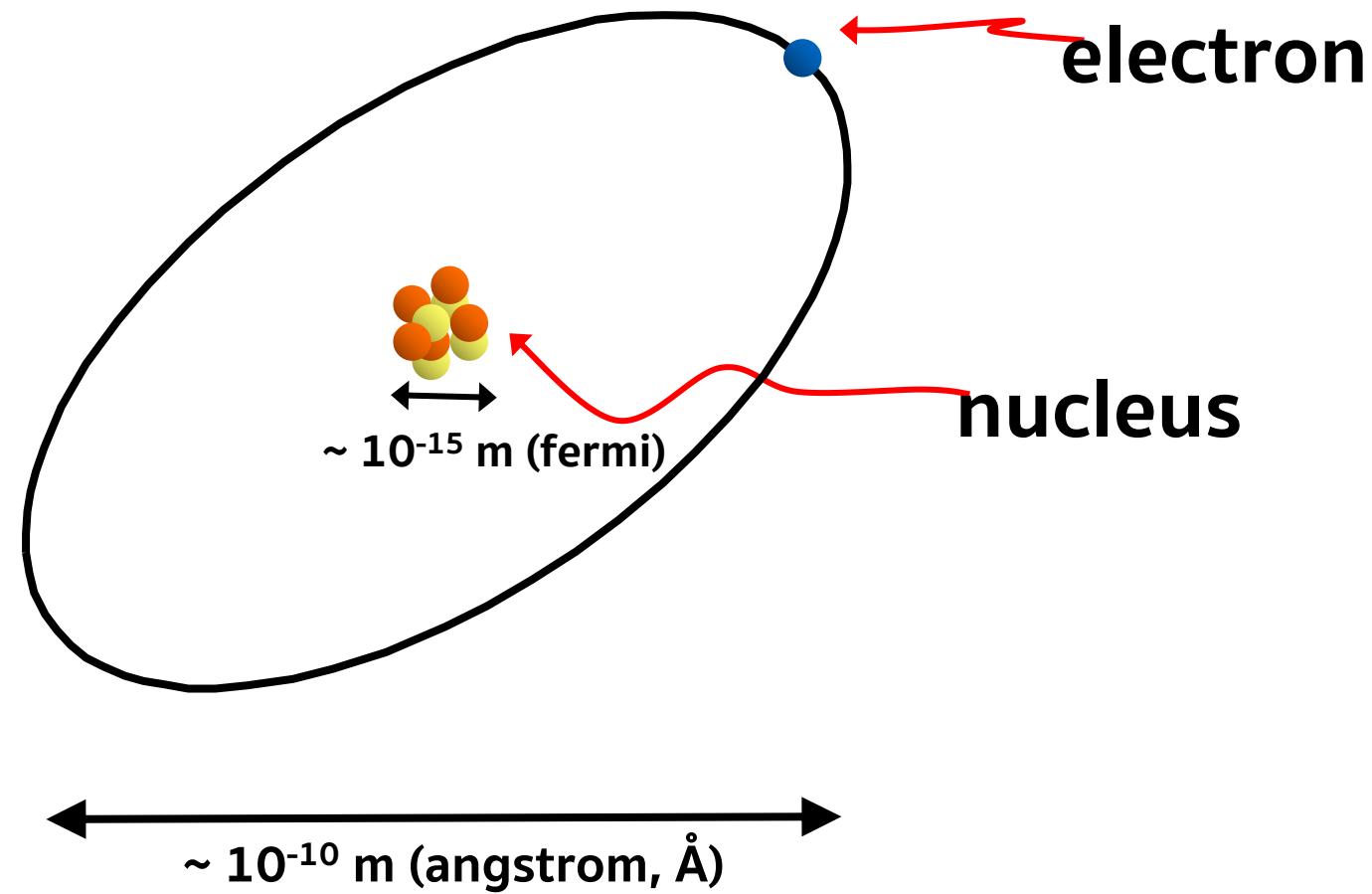
wood



iron

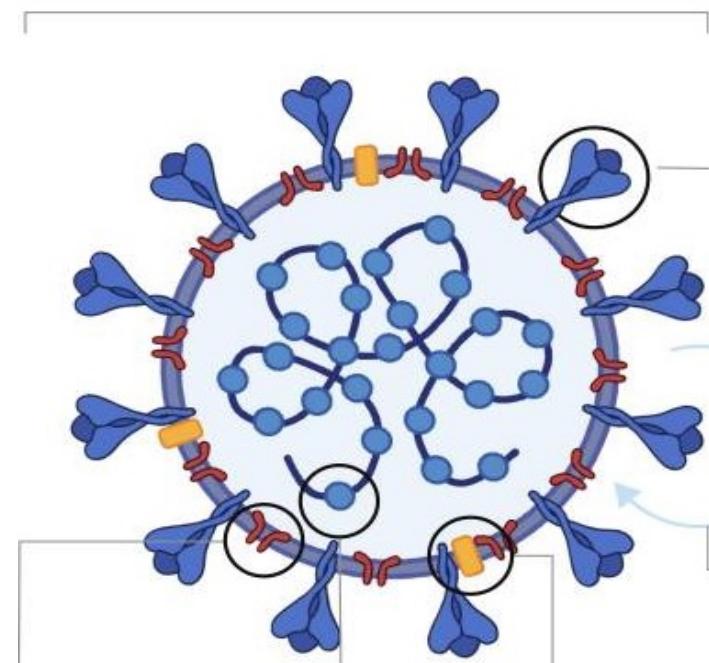


human

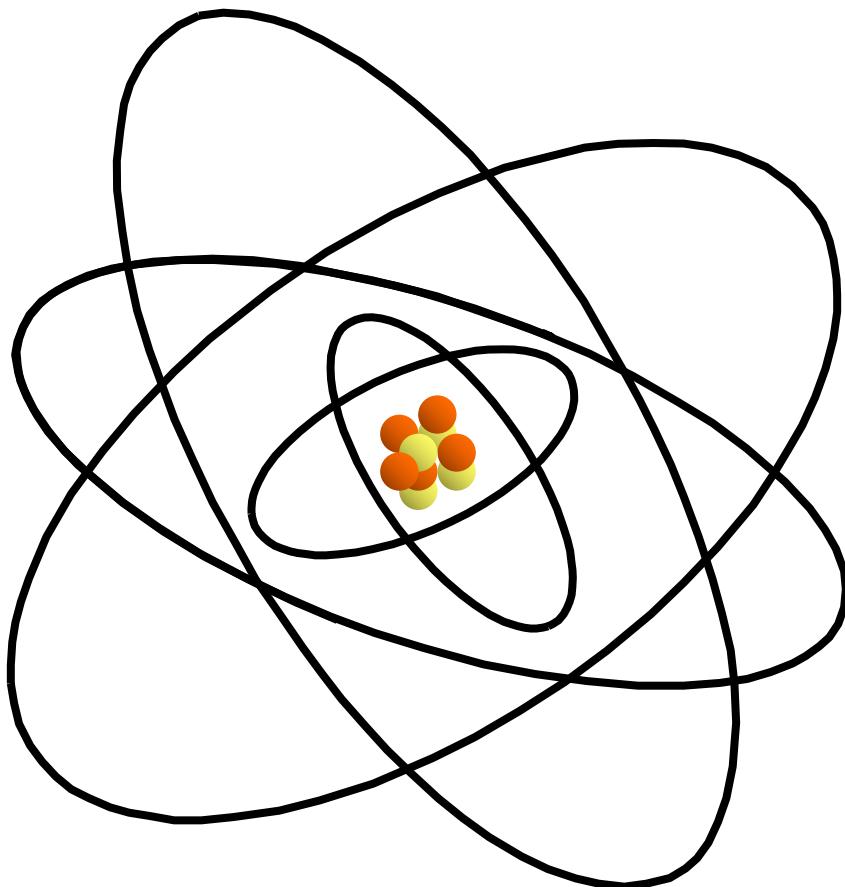


COVID-19 virus

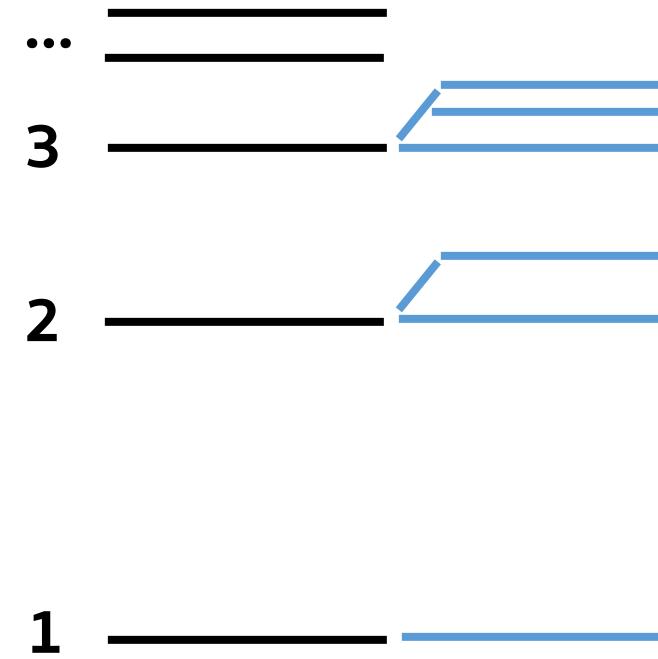
Diameter: $\approx 100 \text{ nm}$
Volume: $\sim 10^6 \text{ nm}^3 = 10^{-3} \text{ fL}$
Mass: $\sim 10^3 \text{ MDa} \approx 1 \text{ fg}$



Bohr's atomic shells



$n = 1, 2, 3, 4, \dots$

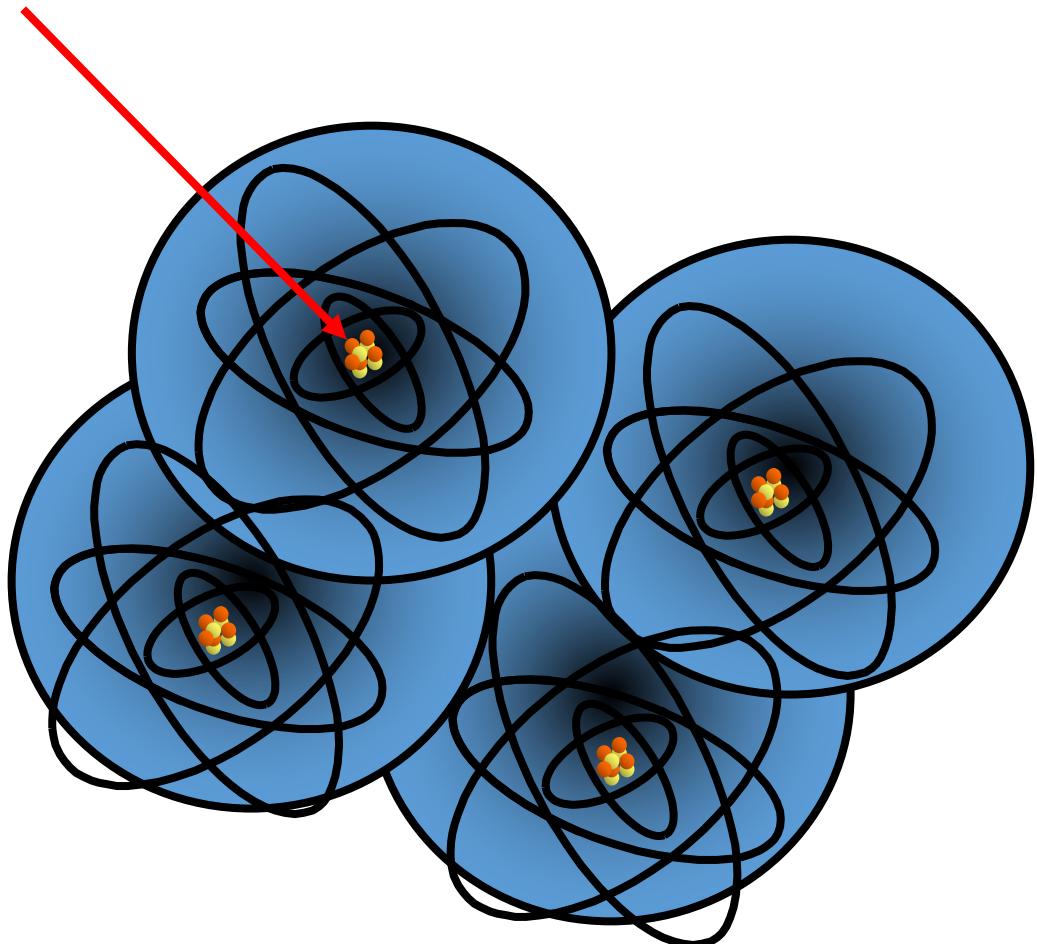


Periodic Table of the Elements

1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.328
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025
39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224
41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95
43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07
72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948
74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207
76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217
78 Pt Platinum 195.085	79 Au Gold 196.967
80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.383
82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980
85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018
104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]
106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]
108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]
110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]
112 Cn Copernicium [277]	113 Nh Nihonium unknown
114 Fl Flerovium [289]	115 Mc Moscovium unknown
116 Lv Livermorium [298]	117 Ts Tennessine unknown
118 Og Oganesson unknown	
57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116
59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.242
61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36
63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25
65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.500
67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.259
69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.055
71 Lu Lutetium 174.967	
89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038
91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029
93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064
95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070
97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080
99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095
101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101
103 Lr Lawrencium [262]	



over 99% mass of
the atom



- **Nuclear physics** = the science involving the heart of the atom
- **Nucleus** = the tiny, super-dense core that holds a mind-boggling amount of energy.



News Medical

+ Follow

3.5K Followers



Global warming intensifies stroke risk: Study links temperature swings to rising stroke burden worldwide



Medical Xpress

+ Follow

10.9K Followers

Expert sounds alarm as mosquito-borne diseases become a global phenomenon in a warmer, more populated world

Story by Science X staff • 16h • ⓘ 4 min read

之心 Health Topics mentioned in this article



+22 Q&A : Dengue Fever

+60 Q&A : Malaria

+291 Q&A : Egg

SUNLIGHT REACHES
THE EARTH IN
8.3 MINUTES



INQ Inquirer

+ Follow

15.6K Followers

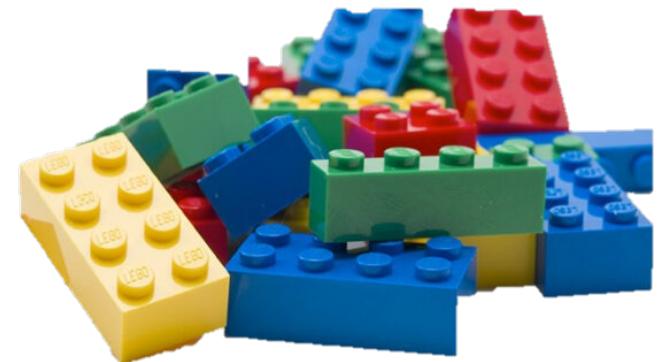
Heatstroke kills 30 in Thailand this year as kingdom bakes

7m ⓘ 2 min read



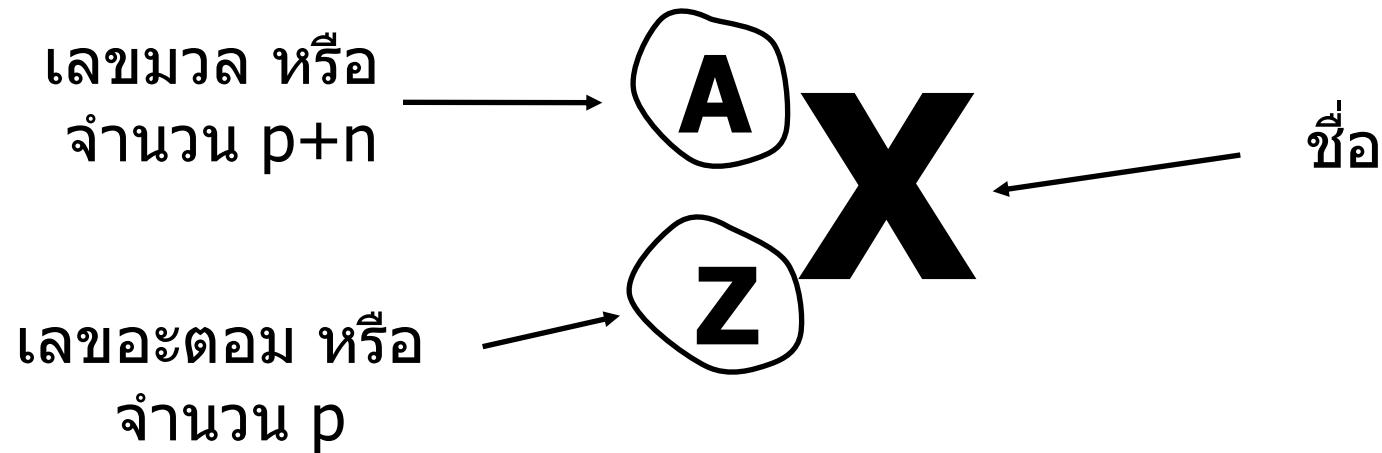
Fission and Fusion

Nuclear **fission** is like breaking apart those tiny Lego bricks and releasing a tsunami of energy in the process.



Nuclear **fusion** is where atoms join forces to create even more energy, which is the process that powers the sun.

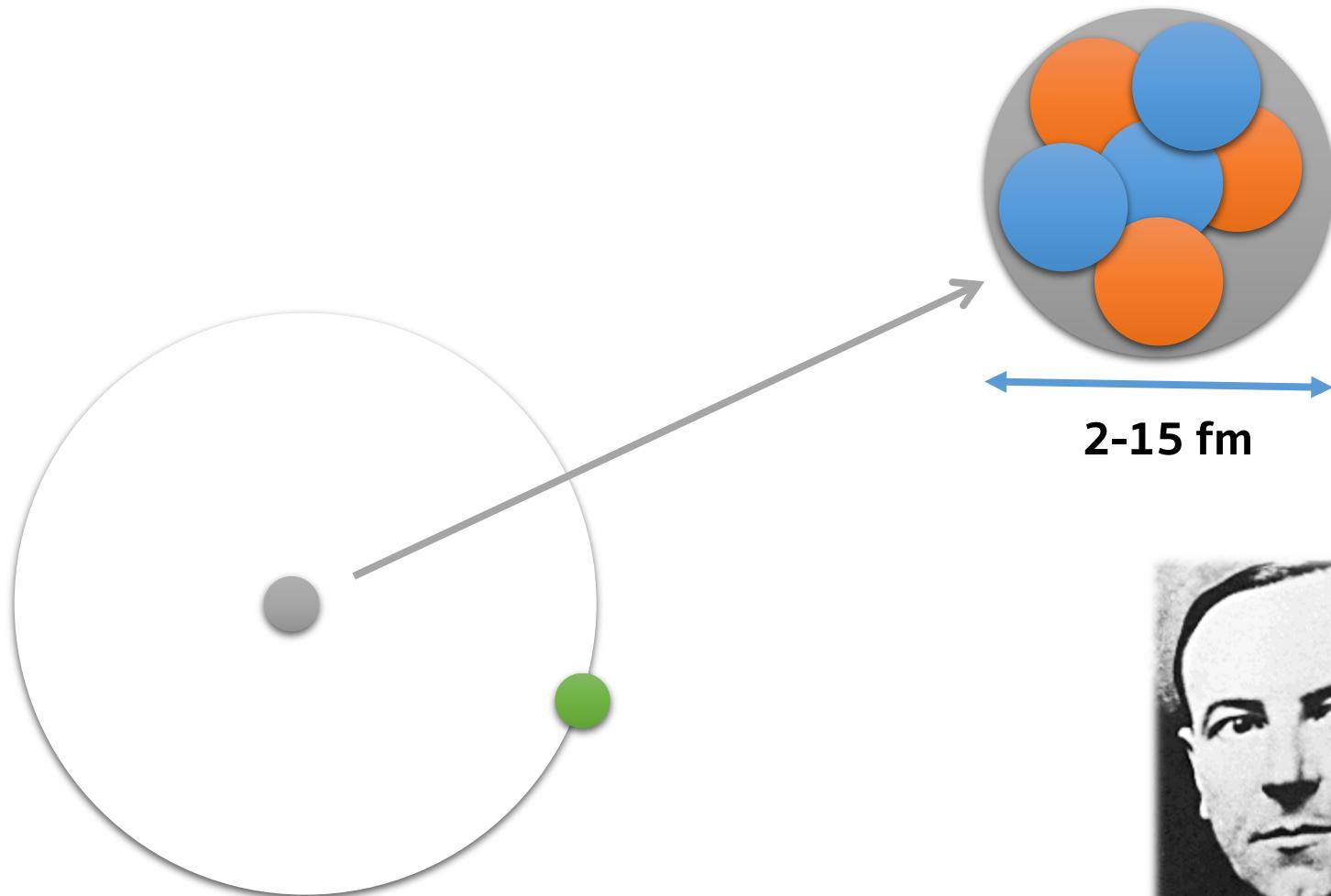
Nuclide symbol



$^{87}_{37}$ Rb



stable / radioactive



E. Rutherford

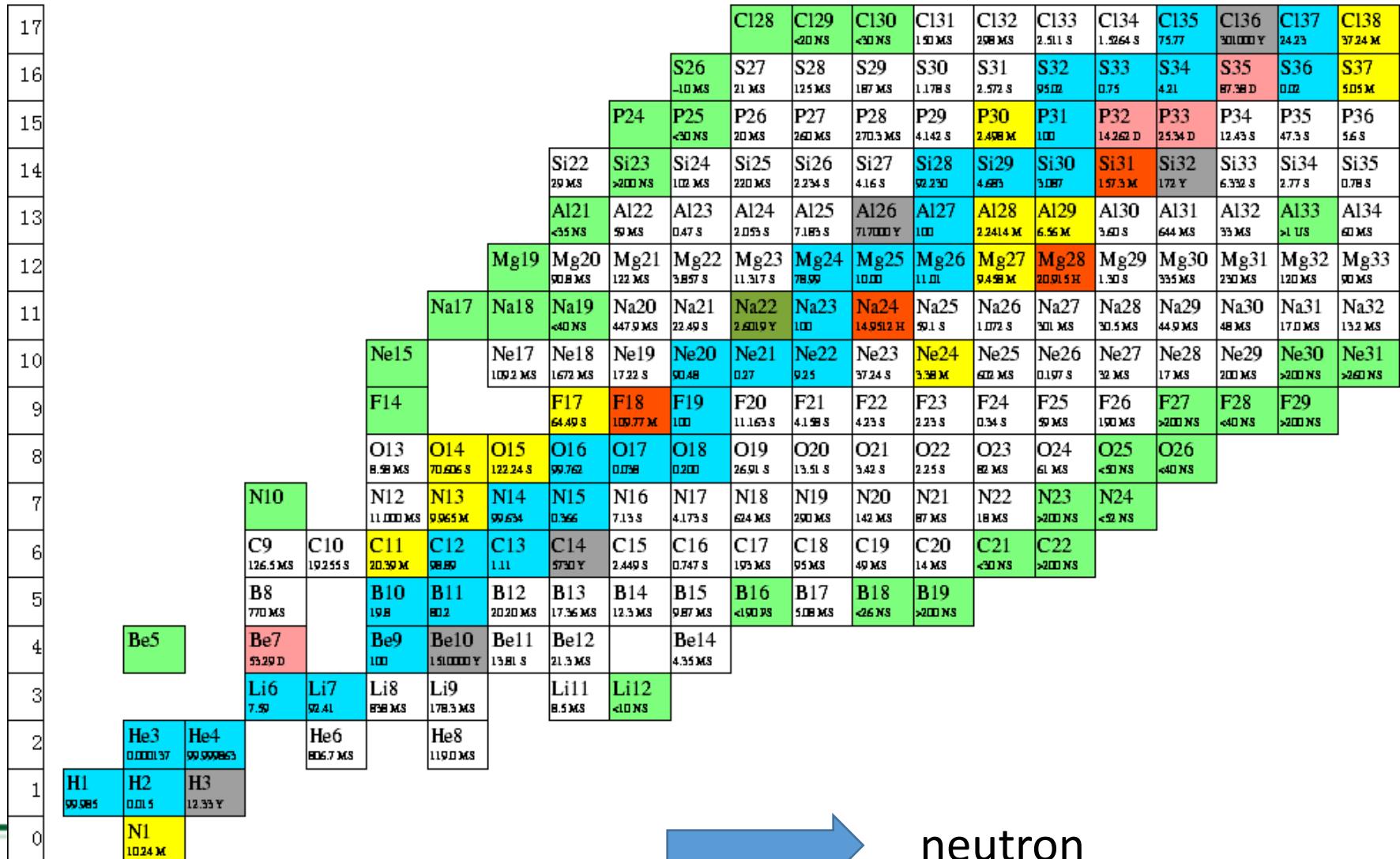


J. Chadwick



Chart of nuclides

proton
↑

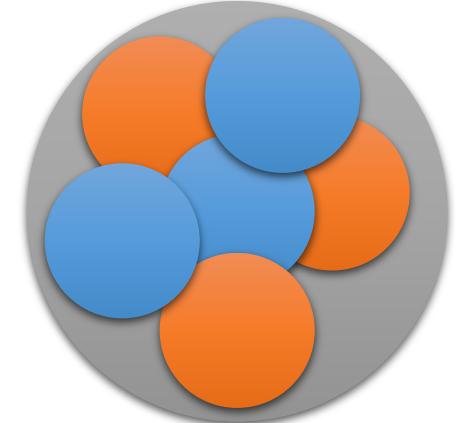


neutron



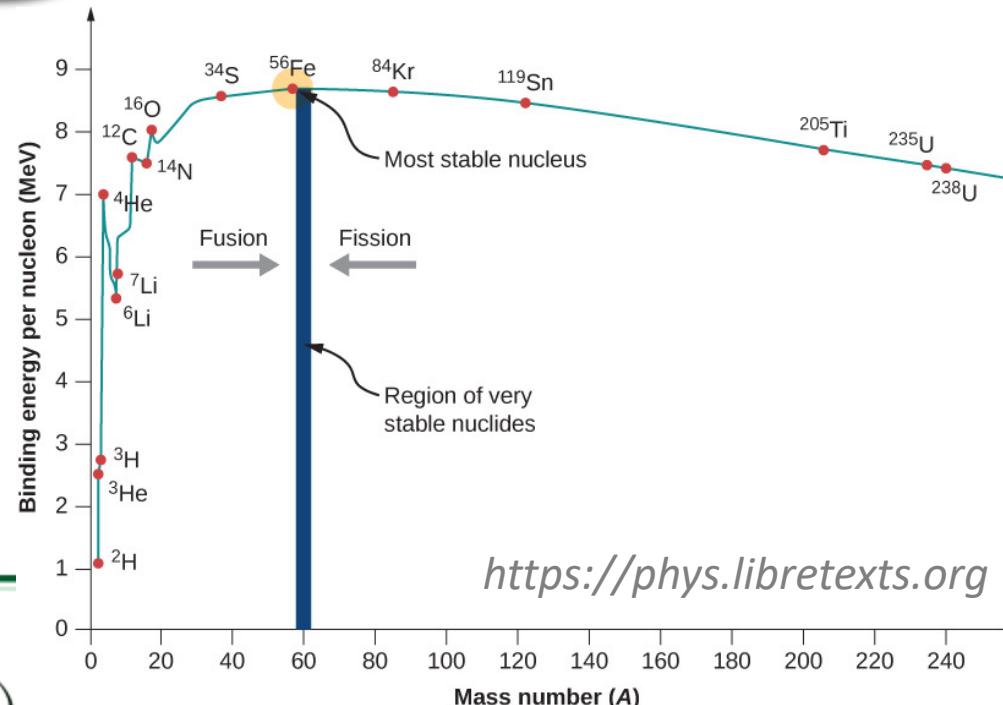
Nuclear Energy

Nucleus is a very dense source of energy.



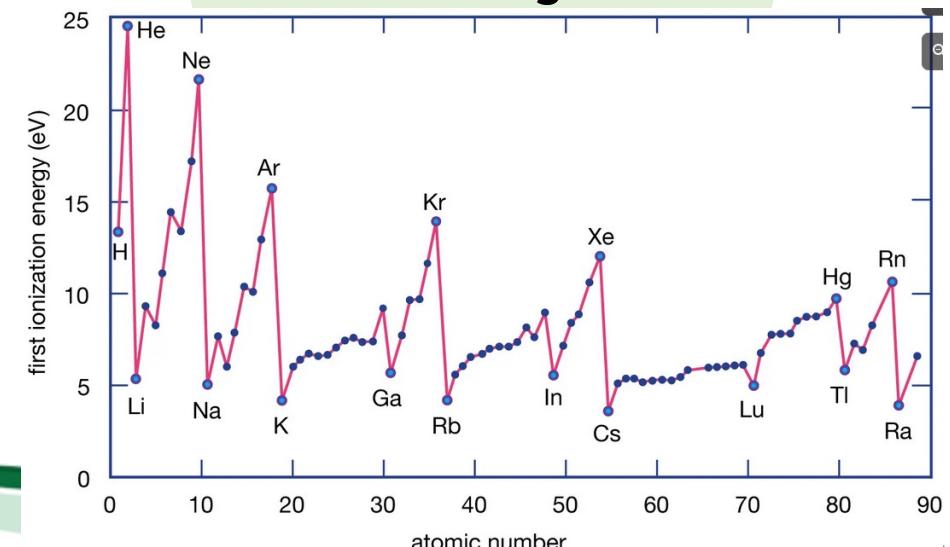
Nuclear bond ~ few MeV/bond

- fission ~ 180 MeV/reaction
- fusion ~ 18 MeV/reaction
- decay (radiate)



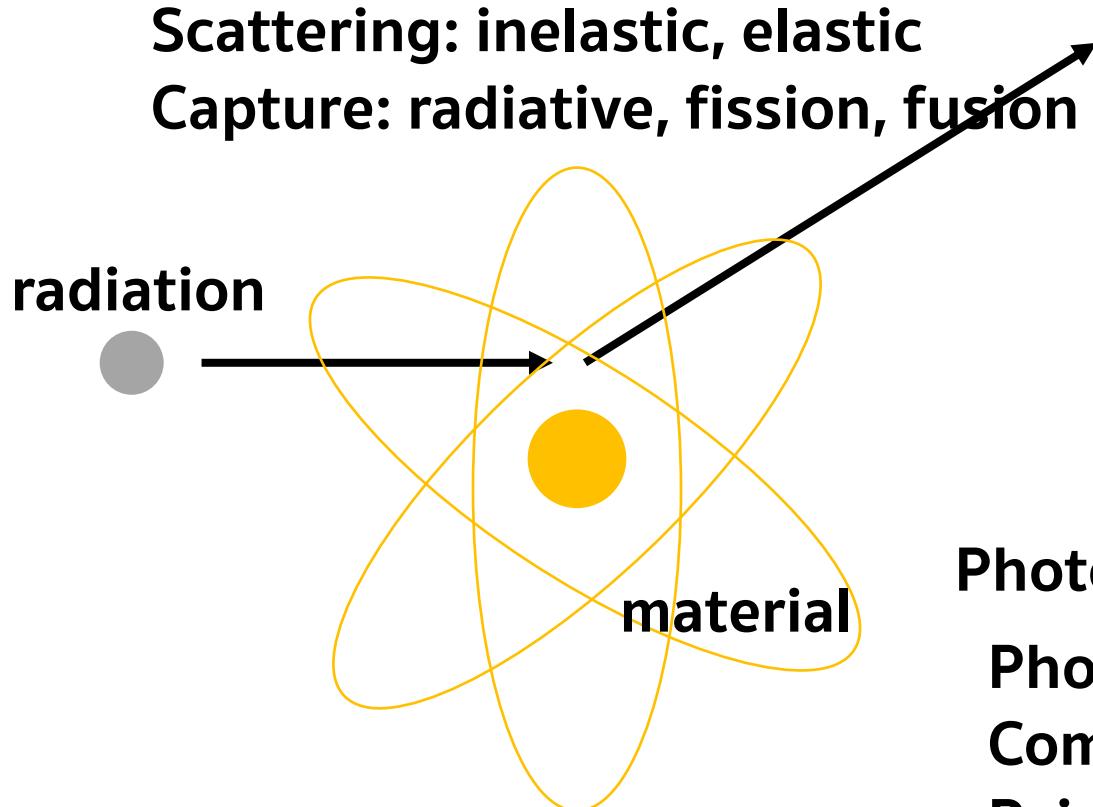
Chemical bond ~ few eV/bond

- Gas burning ~ 9 eV/reaction



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.





Photons:

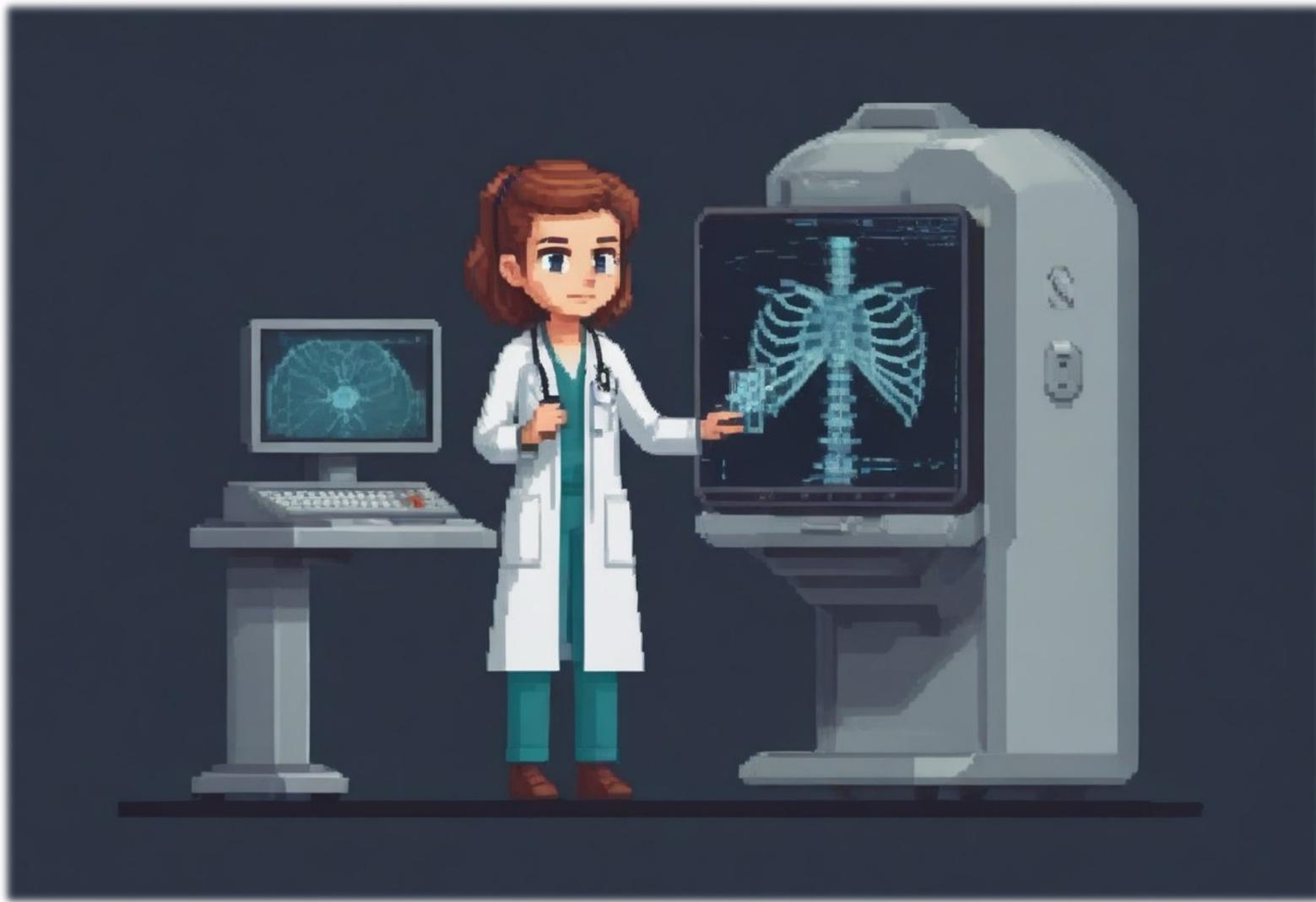
- Photoelectric effect
- Compton scattering
- Pair production
- Auger effect (electron emission)

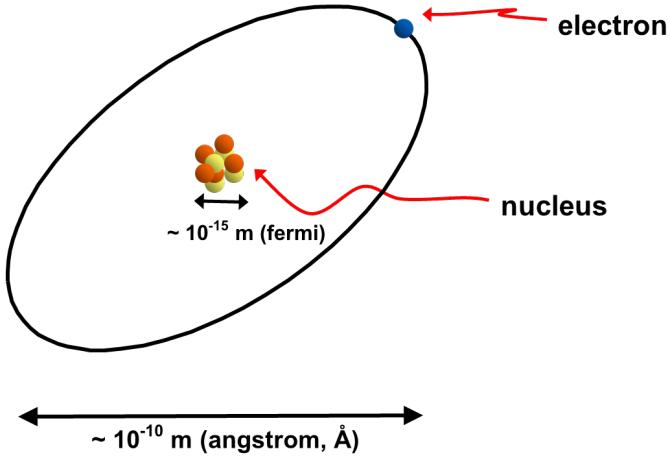
Name	Symbol(s)	Representation
Alpha particle	${}^4_2\text{He}$ or ${}^4_2\alpha$	
Beta particle	${}^0_{-1}\text{e}$ or ${}^0_{-1}\beta$	
Positron	${}^0_{+1}\text{e}$ or ${}^0_{+1}\beta$	
Proton	${}^1_1\text{H}$ or ${}^1_1\text{p}$	
Neutron	${}^1_0\text{n}$	
Gamma ray	γ	

- cobalt (Co)-60: 1.17, 1.33 MeV gamma
- cesium (Cs)-137: 661 keV gamma
- technetium (Tc)-99m: 140 keV gamma
- radon (Rn)-222: 5.6 MeV alpha
- uranium (U)-238: 4.3 MeV alpha
- americium (Am)-241: 5.5 MeV alpha
- iodine (I)-131: beta-
- fluorine (F)-18: beta+ (positron)

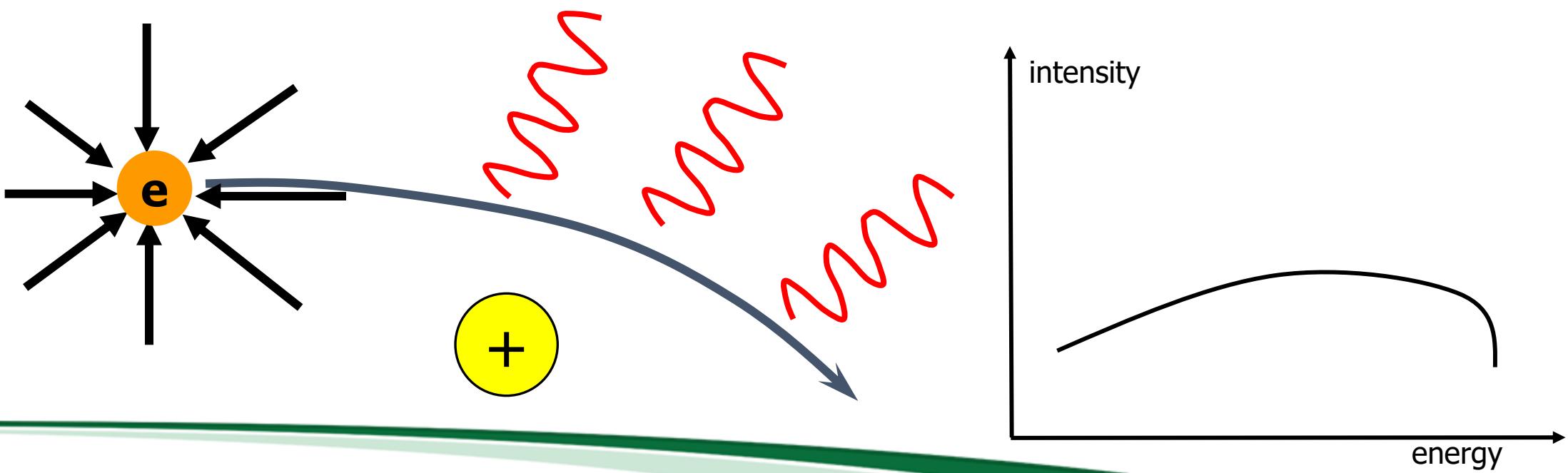
What about X-ray?

Is it “nuclear”?

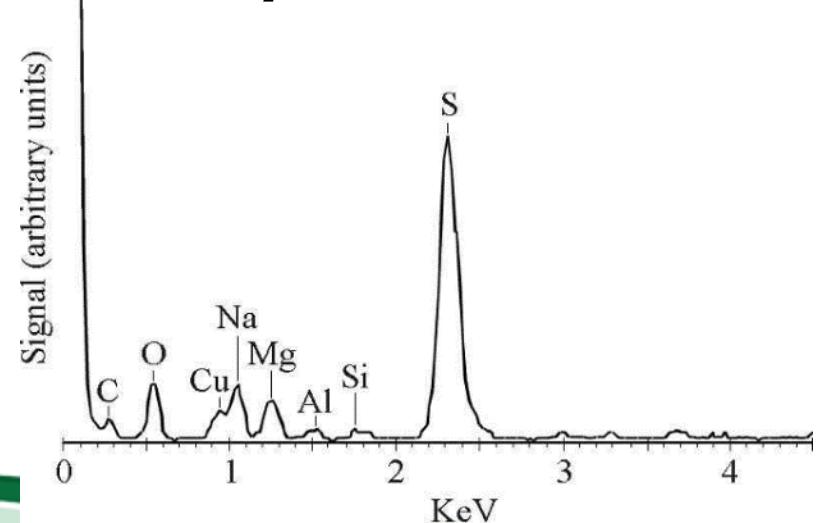
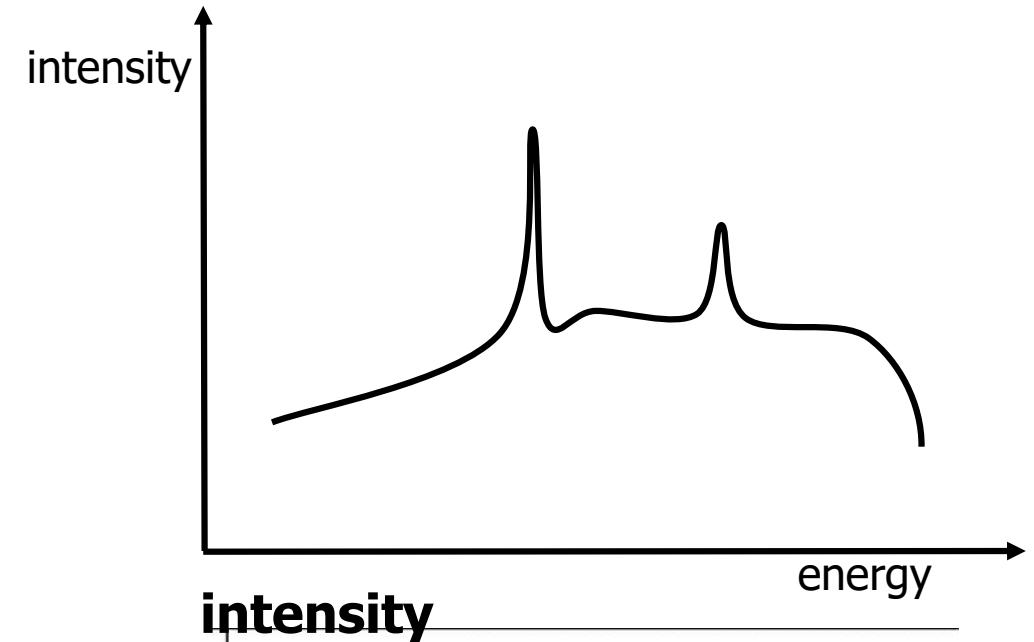
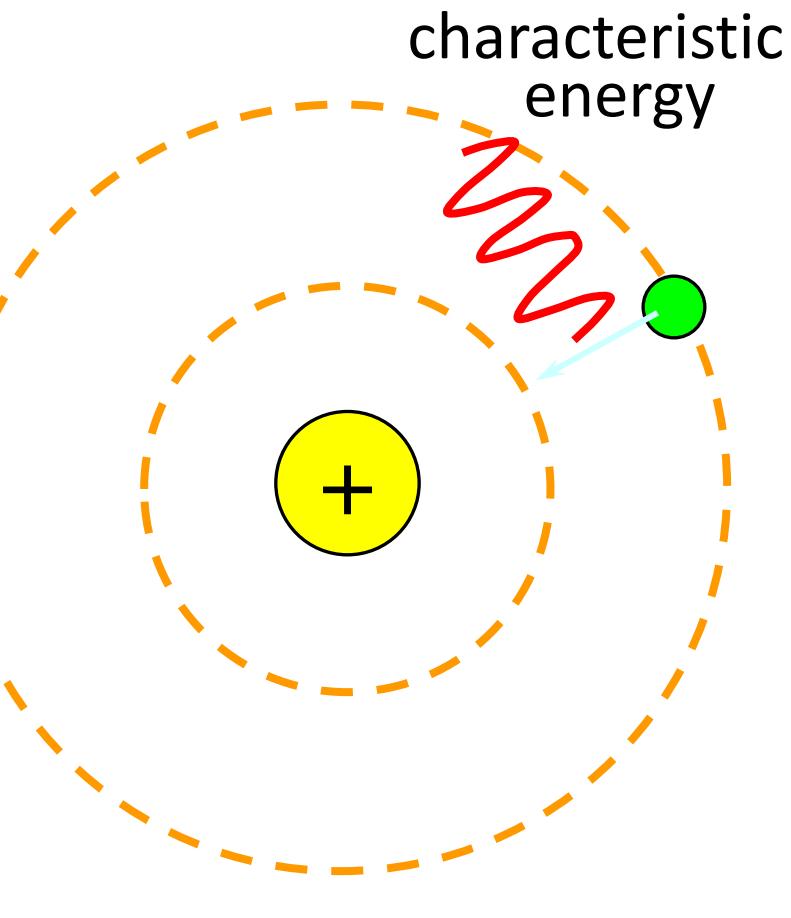




bremsstrahlung (braking radiation):
Continuous energy

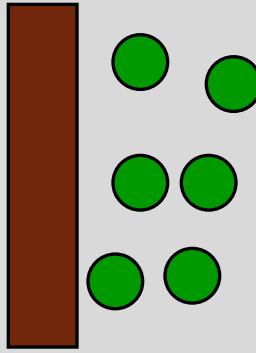


X-ray

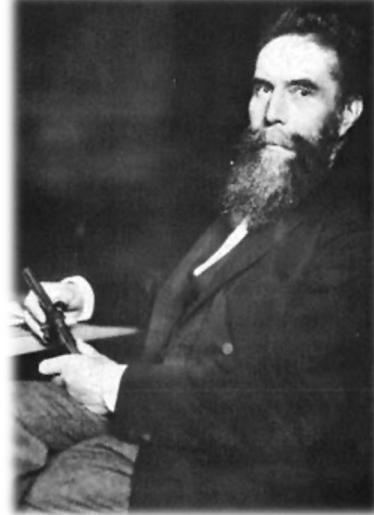


cathode

anode



heat & X-ray



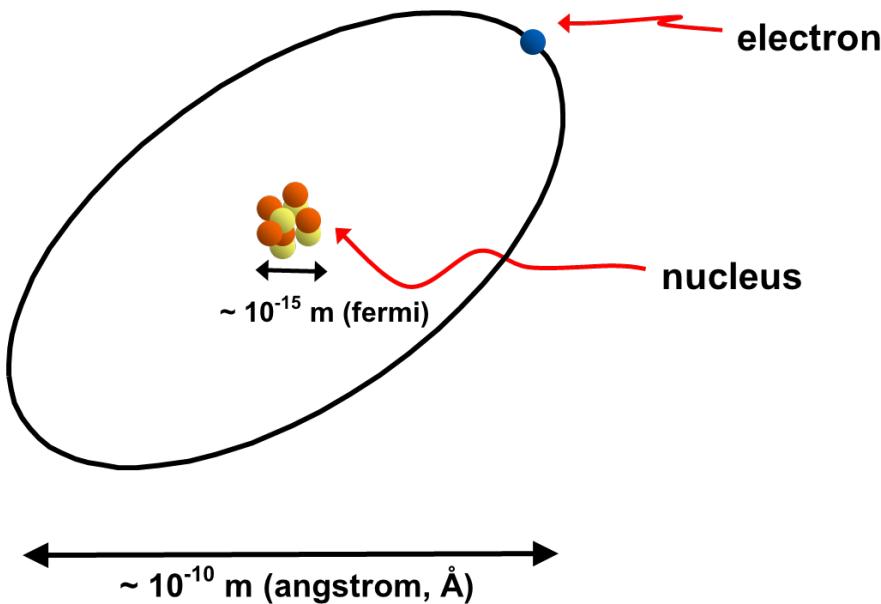
Wilhem Conrad Roentgen



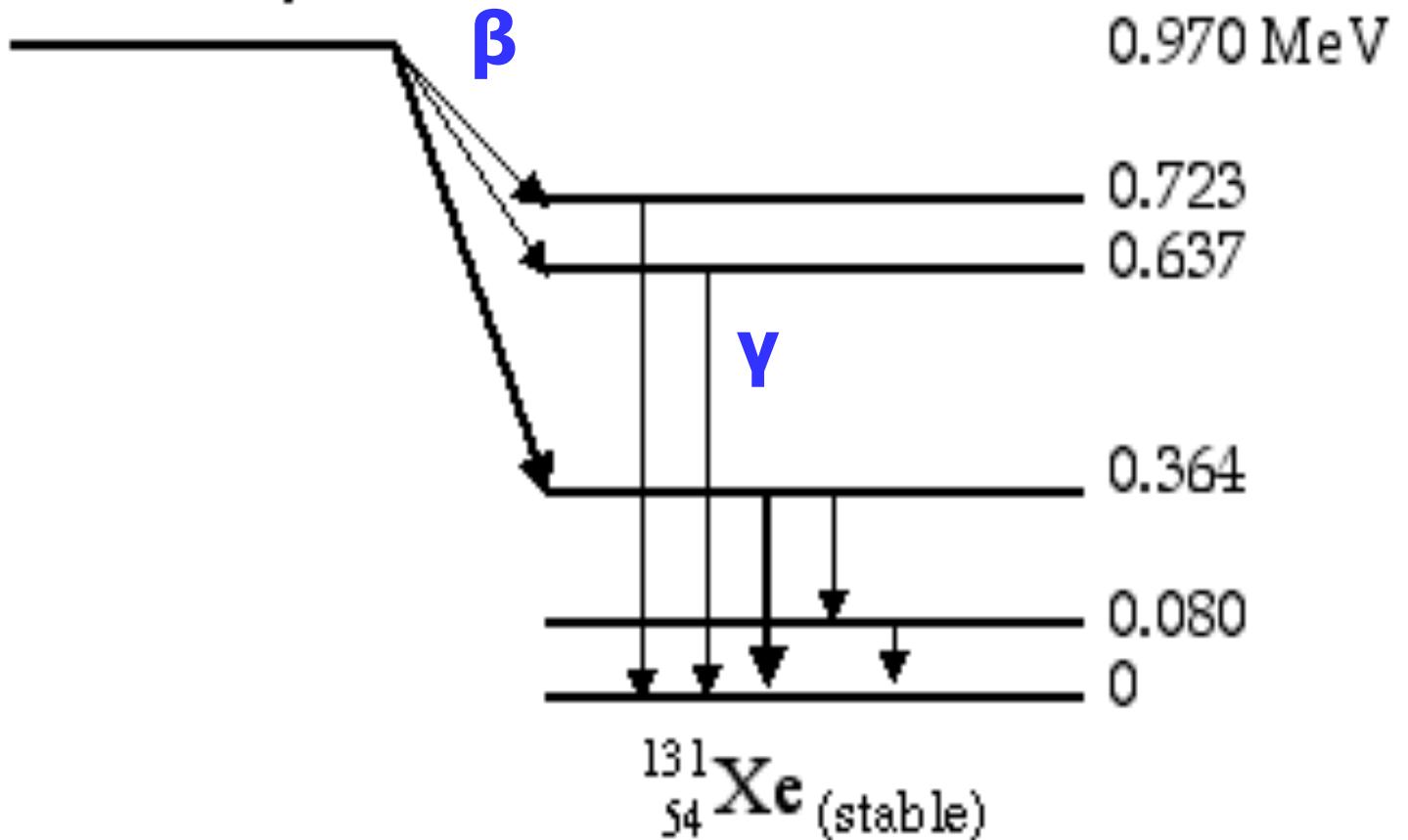
One of the first X-ray images, taken in 1895. Hand of Anna Bertha Ludwig (Roentgen's wife).



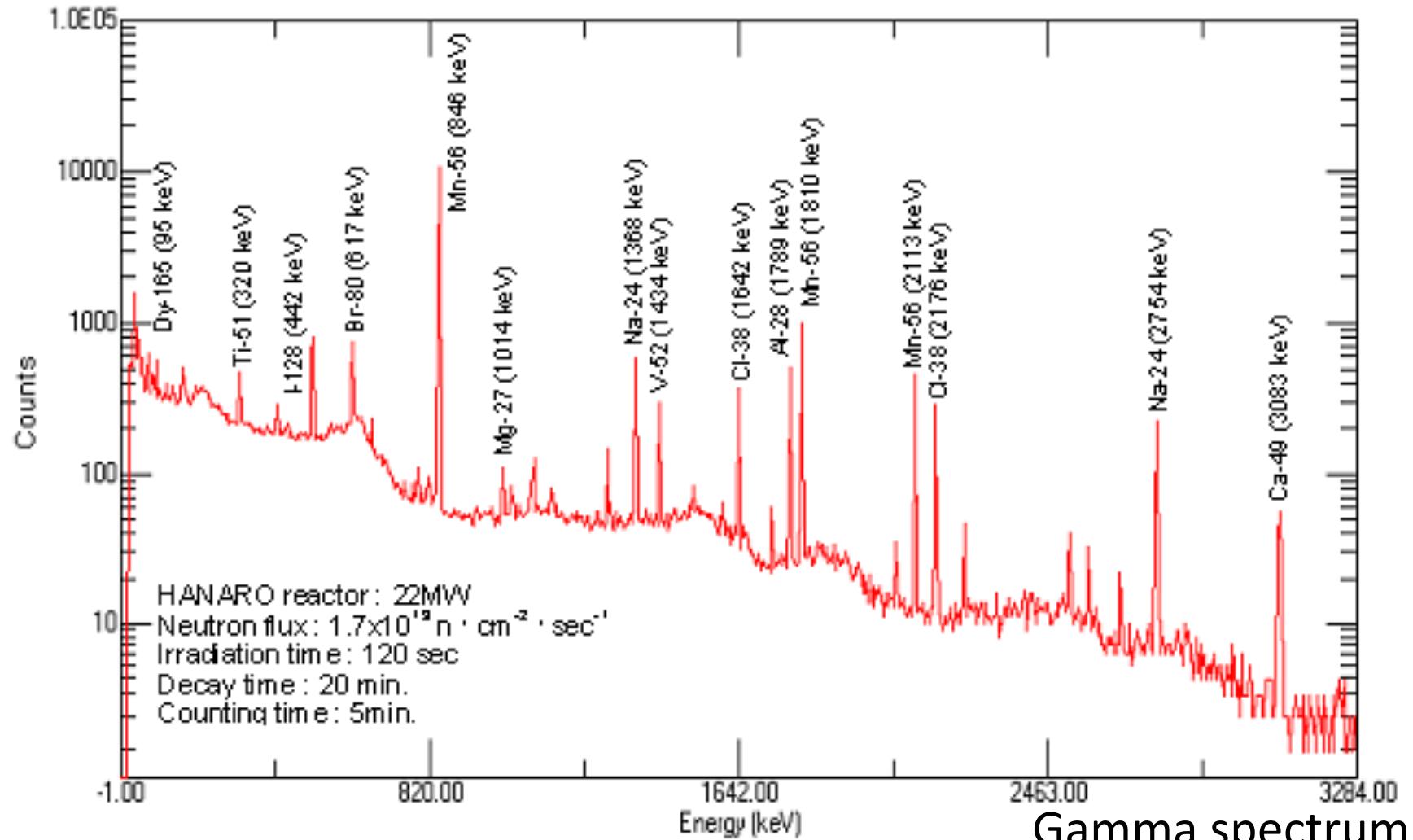
Gamma ray



$^{131}_{53}\text{I}$ (8.0 days)



Gamma ray



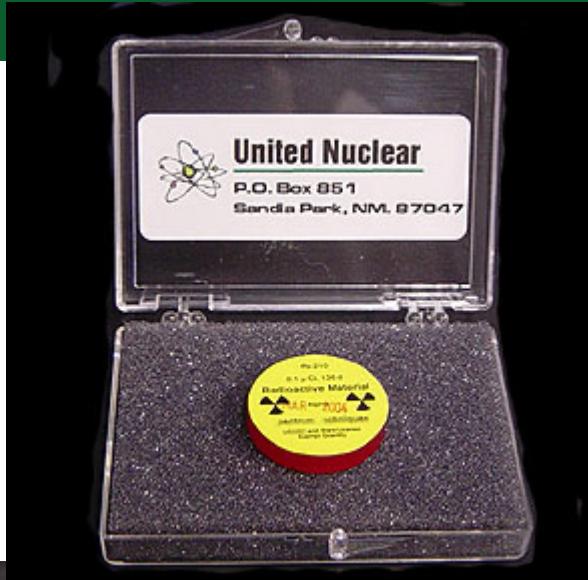
Gamma spectrum from NAA

source: Hanaro (<http://hanaro.kaeri.re.kr/english/gam.htm>)



Radiation source types

Sealed:
Radioisotope is prevented from dispersing.



Unsealed:
Radioisotope can disperse. Examples are tracers in industrial and medical settings.

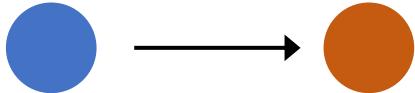


Decay law

Decay rate (dN/dt) is directly proportional to the number of radionuclides (N)

Each radionuclide has a characteristic half-life ($t_{1/2}$)





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

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

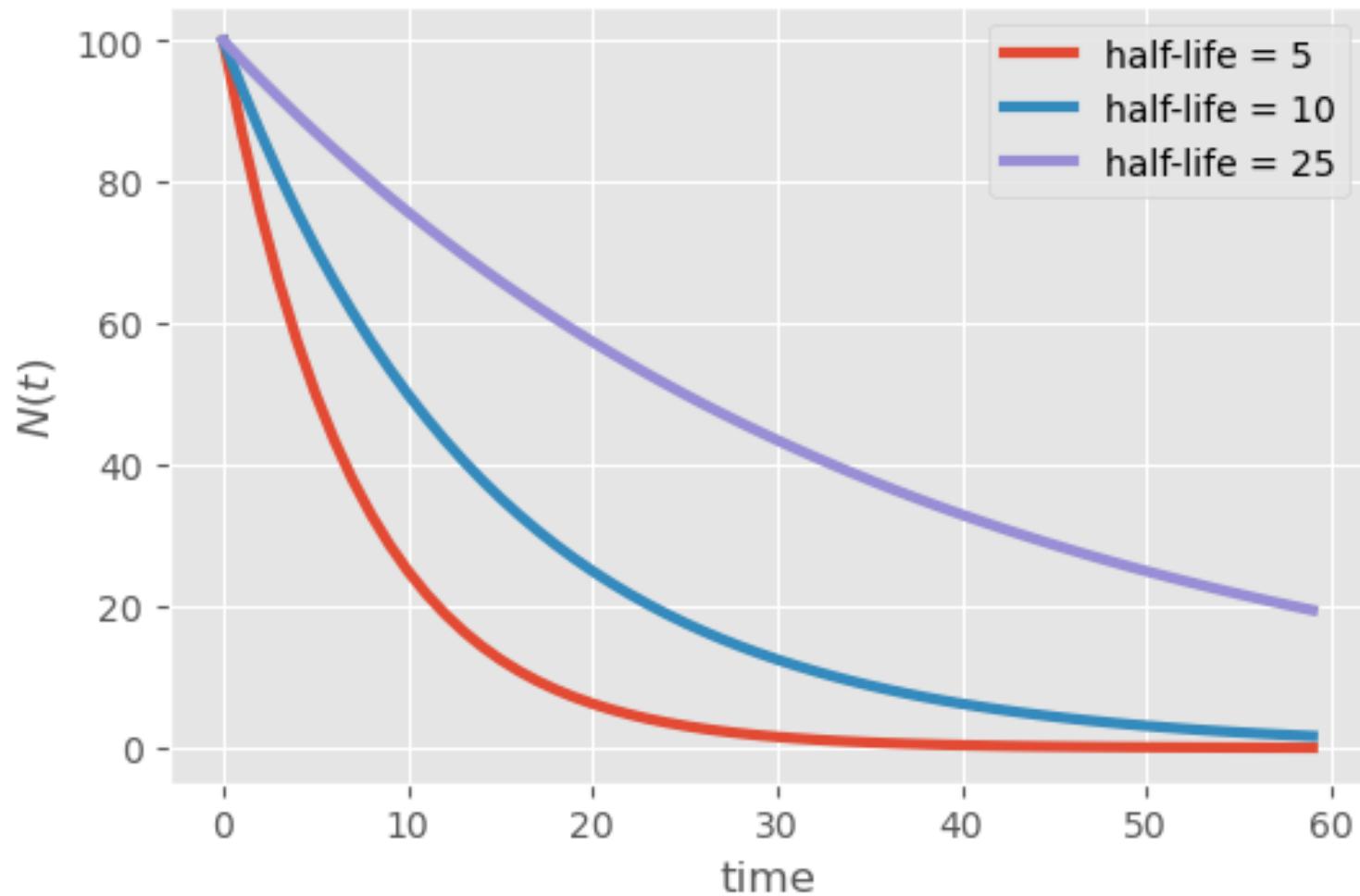
N จำนวนนิวเคลียร์รังสีเมื่อเวลา t

N_0 จำนวนเริ่มต้น

λ ค่าคงที่การสลายตัว (decay constant)

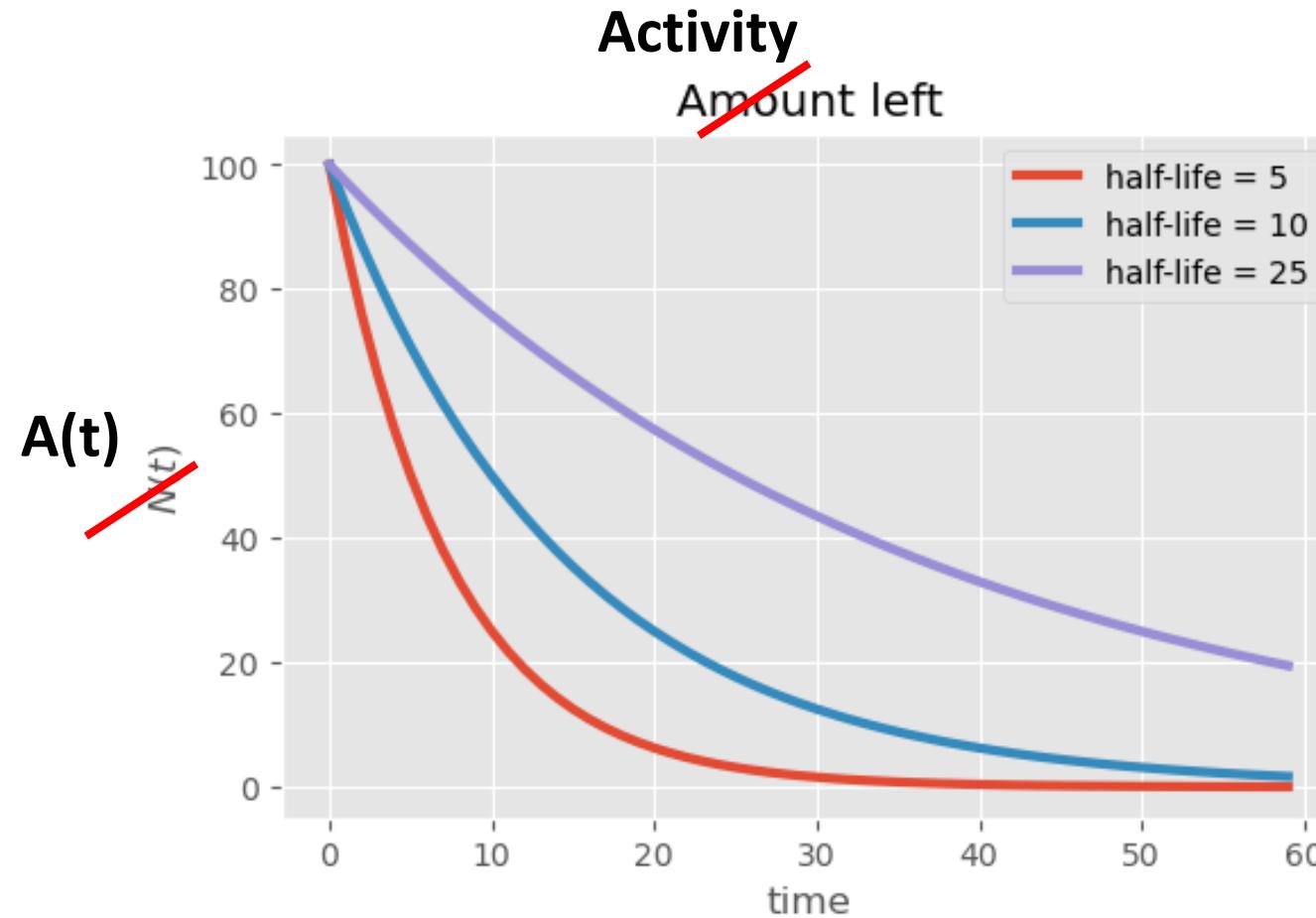
$$\lambda = \ln 2 / t_{1/2} = 0.693 / t_{1/2}$$

Amount left



ค่ากัมมันตภาพ (activity)

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$



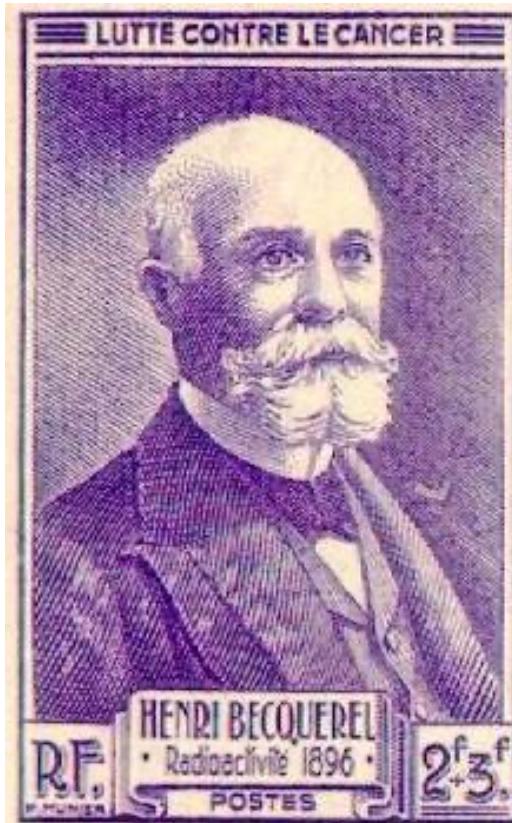


Measurement and Protection

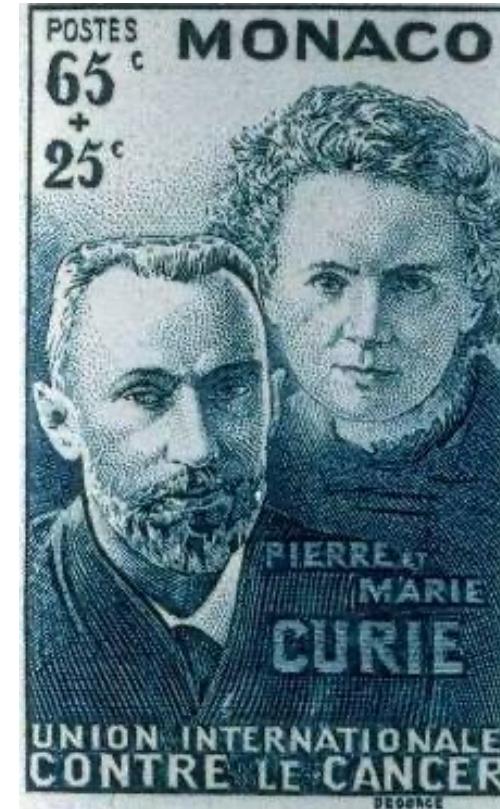
How to measure radiation



1 เบคเคอเรล (Bq) = 1 ครั้งต่อวินาที



Henri Becquerel



Pierre and Marie Curie

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



Rate of decay = **activity**

decays per sec



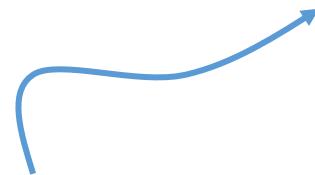
Energy deposited = **dose**

J/kg or Gray (Gy)

1 Gy = 100 rad



Energy deposited = dose \times Quality Factor

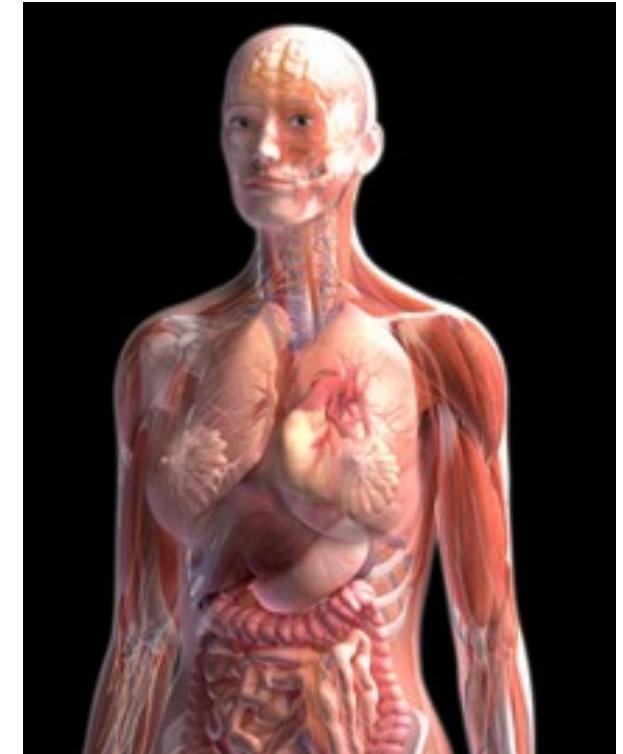


radiation dependent

RBE: relative biological effectiveness

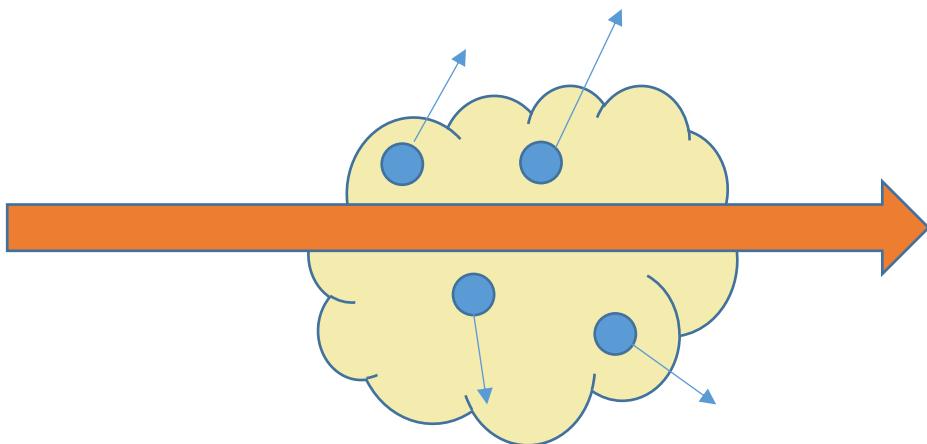
Dose equivalent

1 sievert (Sv) = 100 rem



Name	Symbol(s)	Representation
Alpha particle	${}^4_2\text{He}$ or ${}^4_2\alpha$	
Beta particle	${}^0_{-1}\text{e}$ or ${}^0_{-1}\beta$	
Positron	${}^0_{+1}\text{e}$ or ${}^0_{+1}\beta$	
Proton	${}^1_1\text{H}$ or ${}^1_1\text{p}$	
Neutron	${}^1_0\text{n}$	
Gamma ray	γ	

Linear energy transfer (LET)



Which ones are high LET?

Table 3.1. Approximate LETs and RBEs of Several Types of Radiation

Radiation Type	LET (keV/ μ m)	RBE
Linac X-rays (6–15 MeV)	0.3	~0.8
Beta particle (1 MeV)	0.3	0.9
Cobalt-60 γ -rays	0.2	0.8–0.9
250 kVp X-rays (standard)	2	1.0
150 MeV protons (therapy energies)	0.5	~1.1
Neutrons	0.5–100	1–2
Alpha particles	50–200	5–10
Carbon ions (in spread out Bragg peak)	40–90	2–5

LET, linear energy transfer; RBE, relative biological effectiveness.

Modified from Coia LR, Moylan DE. Introduction to clinical radiation oncology. 3rd ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing; 1996.p. 24, Table 2.1, © 1996 with permission.



Activity (A)

อัตราการสลายตัว (decay rate)

หน่วย: Ci คูรี และ Bq เป็นเครื่อง
ISa

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

Absorbed Dose (D) ของรังสีที่ตัวกลาง
ดูดกลืน

หน่วย: Gy เกรย์ (gray) หรือ
rad

$$(1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad})$$

Exposure Dose (X)

ปริมาณการแทกตัวของ
อากาศ 1 ลบ.ชม. ที่ STP
($T=273.15 \text{ K}$ and $P=1 \text{ atm}$)

หน่วย: R เรียนต์เกน (roentgen)
 $= 1 \text{ esu} \text{ หรือ } 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$

Dose Equivalent (DE)

ปริมาณรังสีที่คำนึงถึง ผล
ต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

$$\text{DE} = \text{D} * \text{QF}$$

หน่วย: Sv ซีเวิร์ต (sievert)

หรือ rem

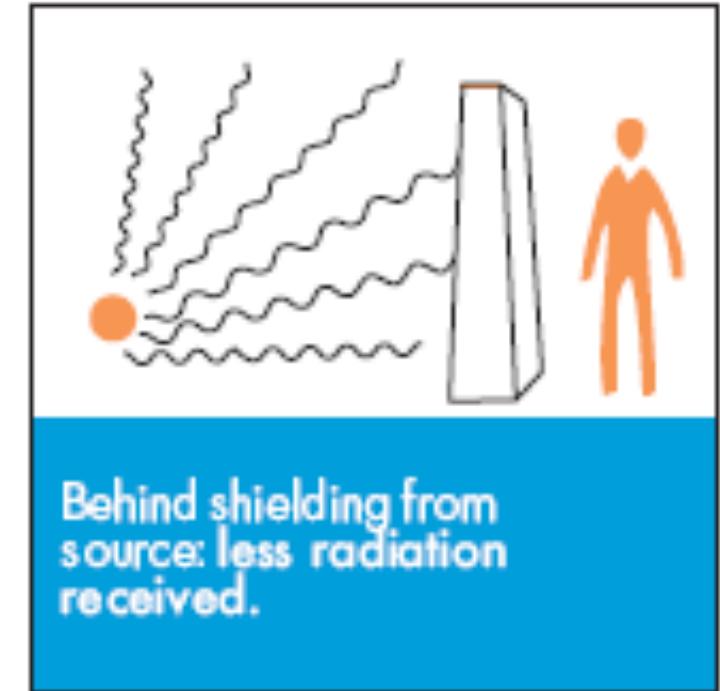
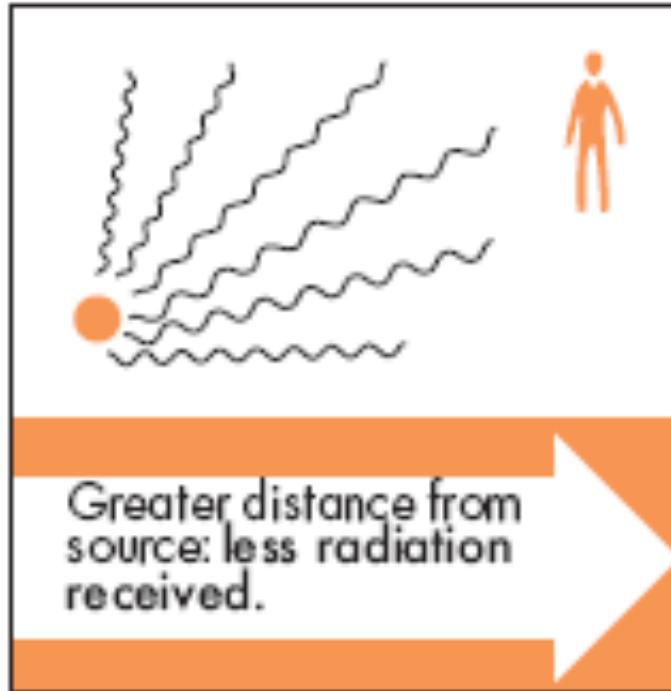
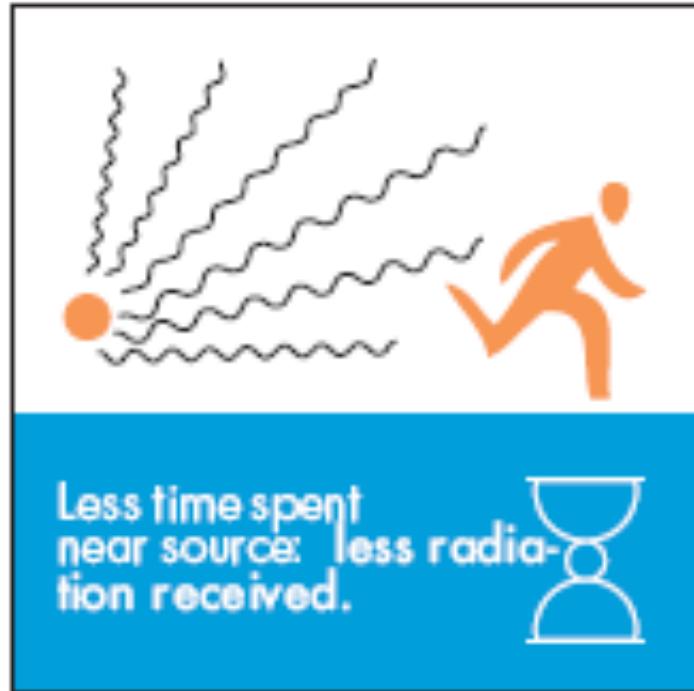
$$(1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem})$$

QF ค่านำเสนอต่อรังสี



How to keep yourself safe from radiation?

"ALARA = as low as reasonably achievable"



Source: U of Alabama at Birmingham, Environmental Health & Safety Department

Name	Symbol(s)	Representation
Alpha particle	${}^4_2\text{He}$ or ${}^4_2\alpha$	
Beta particle	${}^0_{-1}\text{e}$ or ${}^0_{-1}\beta$	
Positron	${}^0_{+1}\text{e}$ or ${}^0_{+1}\beta$	
Proton	${}^1_1\text{H}$ or ${}^1_1\text{p}$	
Neutron	${}^1_0\text{n}$	
Gamma ray	γ	

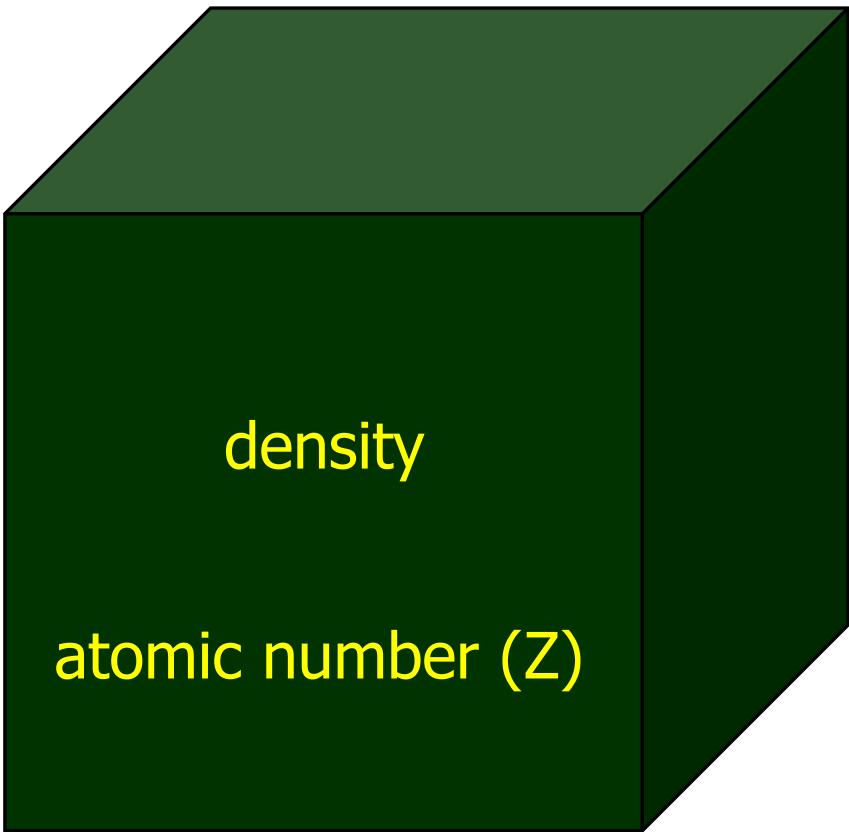
No real need for external source

Low-Z: Al, wood, plastic. (maybe)

Consider secondary radiation

H-rich + Cd or Gd

High-Z: Pb



Shielding is **not** about **Termination**.
It is **Attenuation**.





Oak Ridge Nat. Lab., 1947

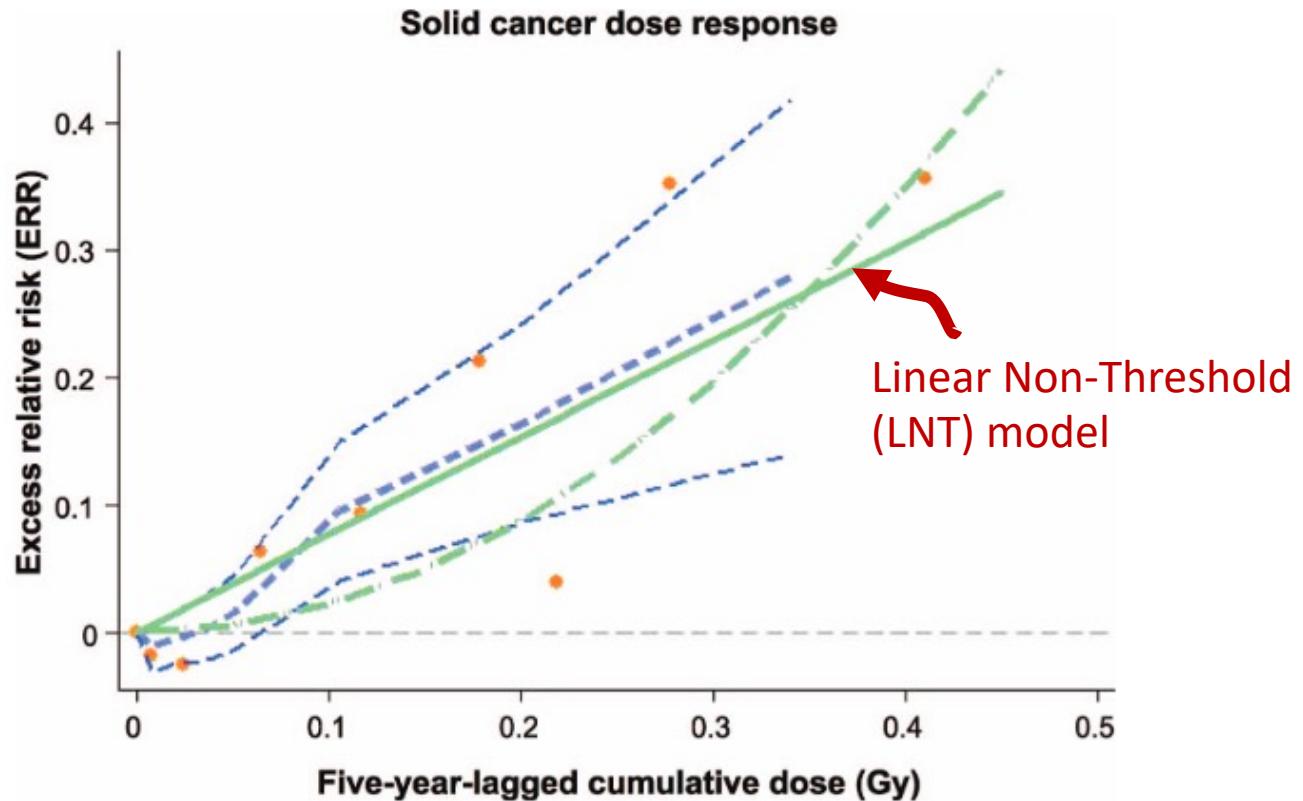


FIG. 1. Solid cancer dose response. All results shown are based on models with adjustment for smoking in the baseline rates. The green lines are the fitted linear (solid) and quadratic (dash-dot-dot) dose-response curves. The orange points are ERR estimates in dose categories while the thick-blue-dashed curve is a nonparametric smooth fit to these points. The outer blue-dashed curves represent approximate (pointwise) \pm standard error limits on the nonparametric smooth.

Davis, FG, Yu, KL, Preston, D, Epifanova, S, Degteva, M, Akleyev, AV. Solid cancer incidence in the Techa River Incidence Cohort: 1956–2007. *Radiat Res.* 2015;184(1):56–65.

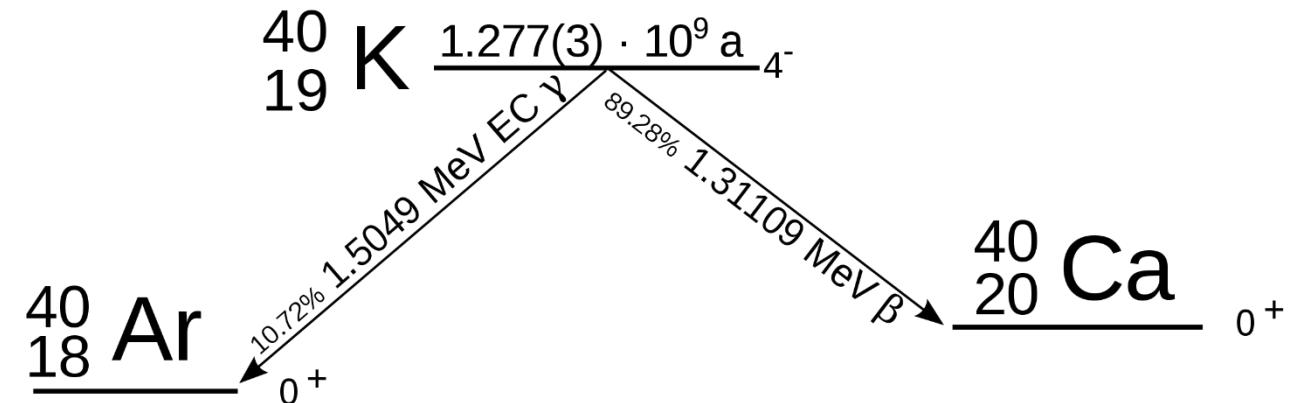


Radiation

is part of our lives. It is natural and exists long before we were born.

K-40

Natural radioisotope
Half-life $\sim 1.2 \times 10^9$ y



$\sim 3,500$ pCi/kg



$\sim 3,400$ pCi/kg



$\sim 3,400$ pCi/kg
43



Radium Hot Springs in British Columbia, Canada
Bathing dose rate $\sim 2.6 \mu\text{Sv/h}$ (~ 10 times normal background level)

Application examples

What are some research fields?



Environment ด้านสิ่งแวดล้อม



Scope of works

+ Food adulteration

Water Resource

Ocean & Soil

NORM

EIA for RR

Archaeology

Infrastructure/ Techniques

- Radiocarbon dating
- Stable Isotope Analysis
- Tritium analysis
- IRMS
- Chemical analysis

- Carbon cycle
- Toxin
- Pb-210 dating

Radon & Thoron analysis

Simulation software

- PXRF
- TL/OSL



Archaeology ด้านโบราณคดี

จัดทำฐานข้อมูลโบราณวัตถุเชิงวิทยาศาสตร์

การอนุรักษ์

The diagram shows a circular process starting with 'Fieldwork' (Survey, On-site analysis), leading to 'Dating' (C-14, TL/OSL...), then 'Data analysis' (Typology (CU & FAD), XRF, XRD, NAA, NI, RT, Raman,...), and finally 'Interpretation' (Statistical analysis, Combine data). The process is supported by international organizations like IAEA, Ansto, and anun TINT, and includes a map of Thailand showing survey locations.

Fieldwork

- Survey
- On-site analysis

Dating

- C-14
- TL/OSL....

Data analysis

- Typology (CU & FAD)
- XRF, XRD, NAA, NI, RT, Raman,...

Interpretation

- Statistical analysis
- Combine data

เครื่องทองโบราณ, สำริด, ปราสาทหิน

องค์ความรู้

IAEA

Ansto

anun TINT

ประเทศไทย

สำราญเก่าในราชธานี และเก็บข้อมูล
เก็บข้อมูลสำริด

✓ ข้อมูลประวัติศาสตร์ของชาติ

ส่งเสริมการท่องเที่ยว

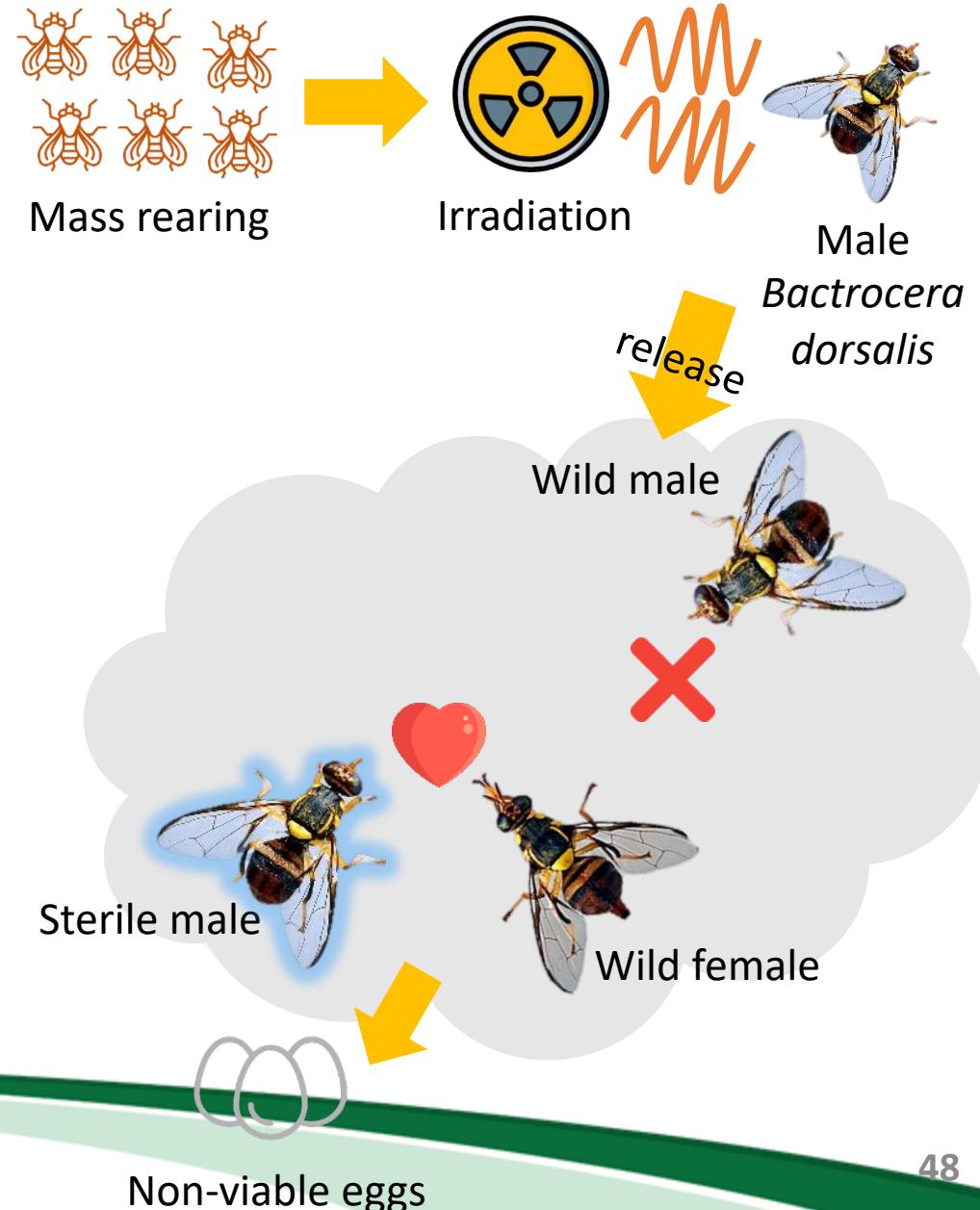
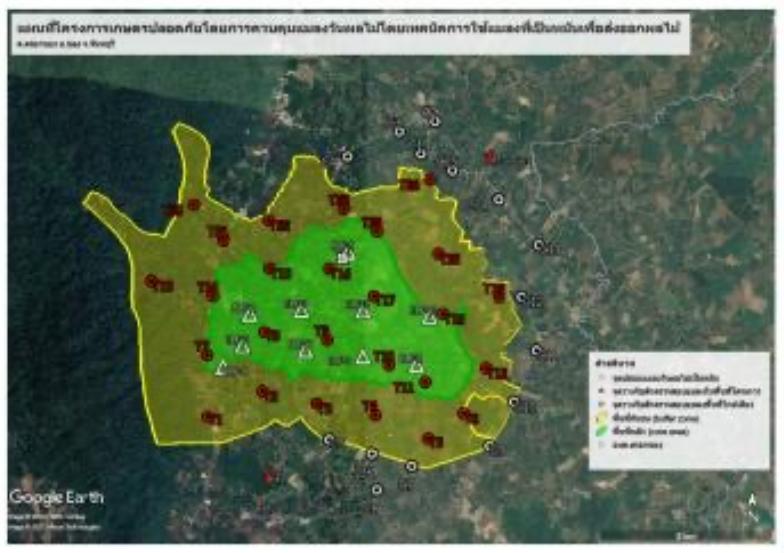
ตรวจสอบพิสูจน์

Archaeological artifacts shown include a bronze vessel, a silver vessel, a stone wall, a monk statue, and a seated Buddha statue. Modern analytical techniques shown include petri dishes with samples, a scanning electron microscope (SEM) stage, and a large stack of sample boxes.



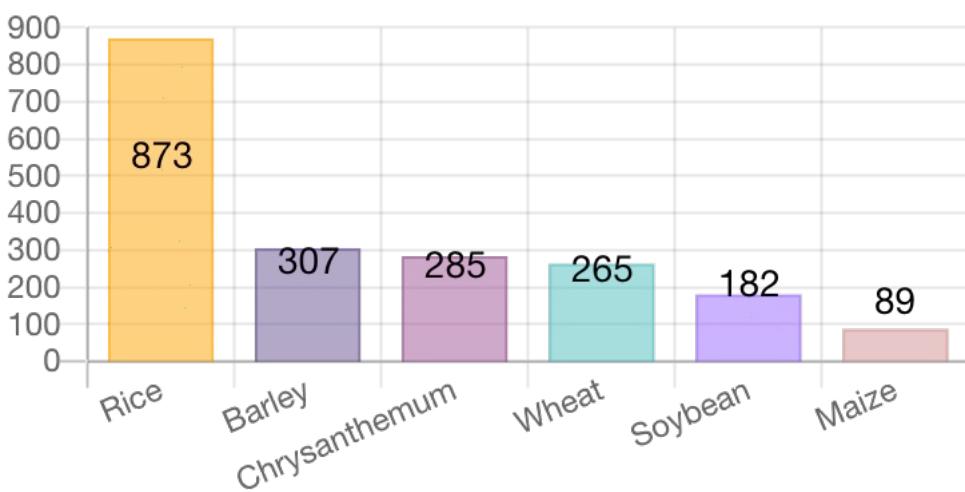
Agriculture การเกษตร – Fruit flies

- เทคนิคทางรังสี: **Sterile Insect Technique (SIT)**
ใช้รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ในการทำให้แมลงวันเป็นหมัน
ก่อนนำไปปล่อยในบริเวณแปลงผลไม้
- พัฒนาพื้นที่ ต.ตรอกนอง อ.ชลุง จ.จันทบุรี เพื่อเป็นต้นแบบ
พื้นที่ที่มีแมลงวันผลไม้แพร่หลายต่ำที่เรกของประเทศไทย
(Establishment of area of low pest prevalence of fruit fly)



Agriculture การเกษตร - การปรับปรุงพันธุ์พืช

- Plant mutation breeding using radiation
- It accelerates natural mutation process to obtain faster crop improvement.
- The improvement is crucial for food security. It helps develop plant varieties to withstand stresses (biotic and abiotic), such as hot climate, droughts, soil acidity, and pests and diseases.

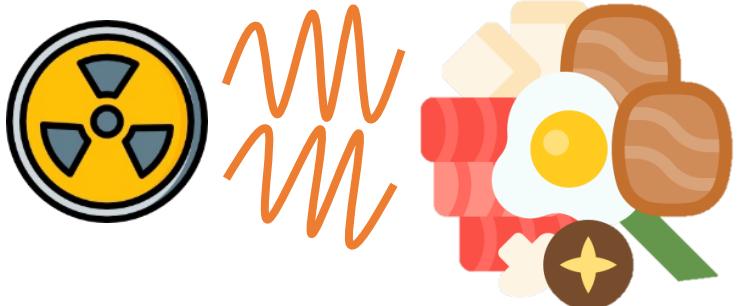


<https://nucleus.iaea.org/sites/mvd>



Food Irradiation อาหารฉายรังสี

ฉายรังสีอาหาร สมุนไพร ผลไม้ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรค



น้ำพริกข่า ฉายรังสีแกมมา 2, 4 และ 6 กิโลกรัม

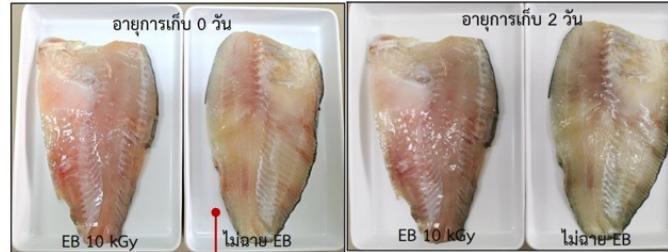
วัตถุประสงค์ในการทดสอบ : เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ปนเปื้อน และยืดอายุการเก็บ



- ลด จุลินทรีย์ ยีสต์และรา
- หลังจากฉาย รสชาติ เนื้อสัมผัส ไม่เปลี่ยน
- ยืดอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้องได้เพิ่มขึ้น

ปลาสลิดแเดดเดี้ยวไร้ก้าง : ฉายลำอิเล็กตรอน 10 กิโลกรัม

วัตถุประสงค์ในการทดสอบ : เพื่อยืดอายุการเก็บ



1 วัน เน่าเสีย



- ลด จุลินทรีย์ ยีสต์และรา
- หลังจากฉาย รสชาติ เนื้อสัมผัส ไม่เปลี่ยน
- ยืดอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้อง 5 วัน

Material Innovation การพัฒนาวัสดุ

Sericin extract from radiation-induced degradation of silk cocoon

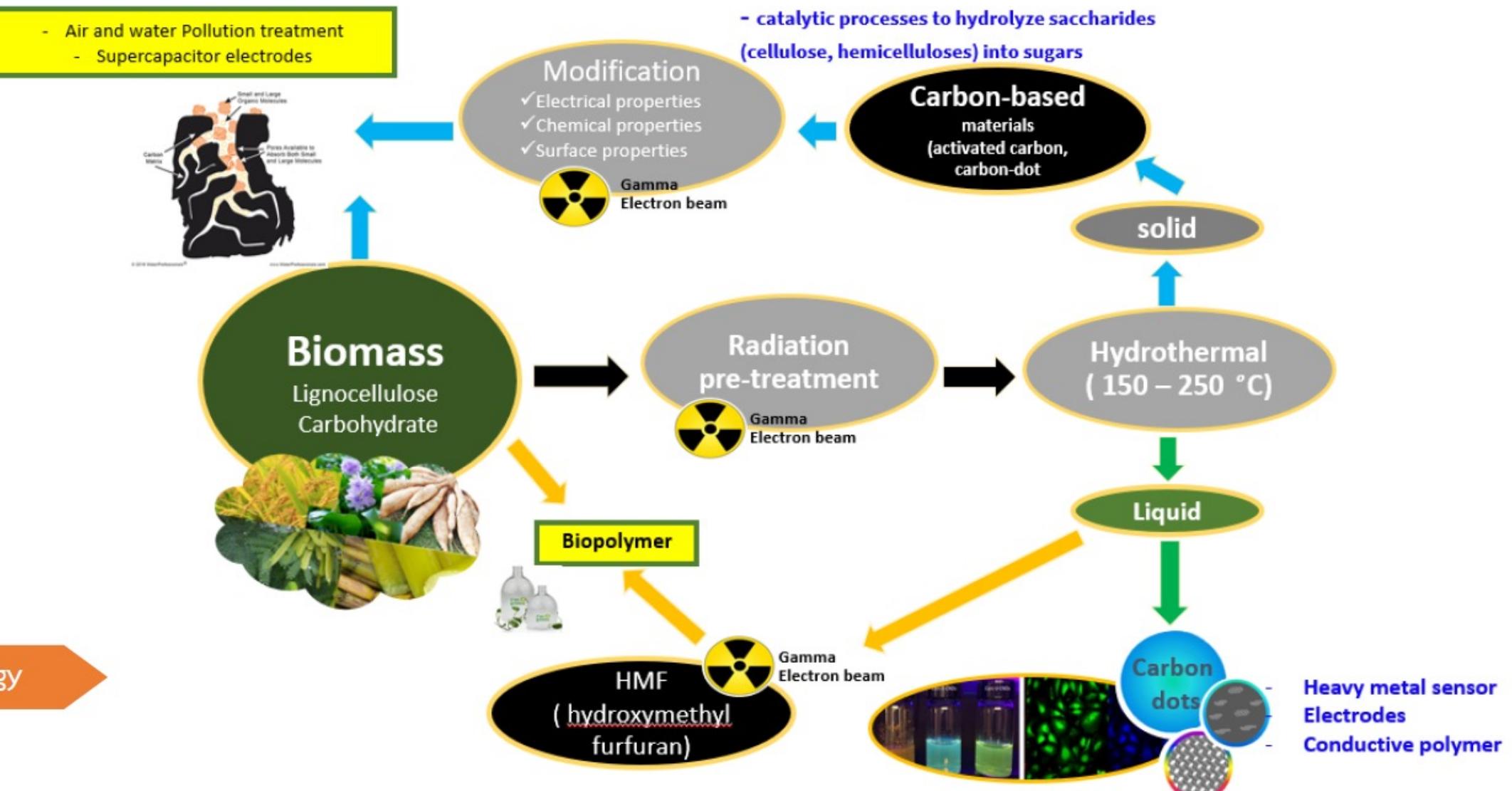


Chitosan from radiation-induced degradation of chitin



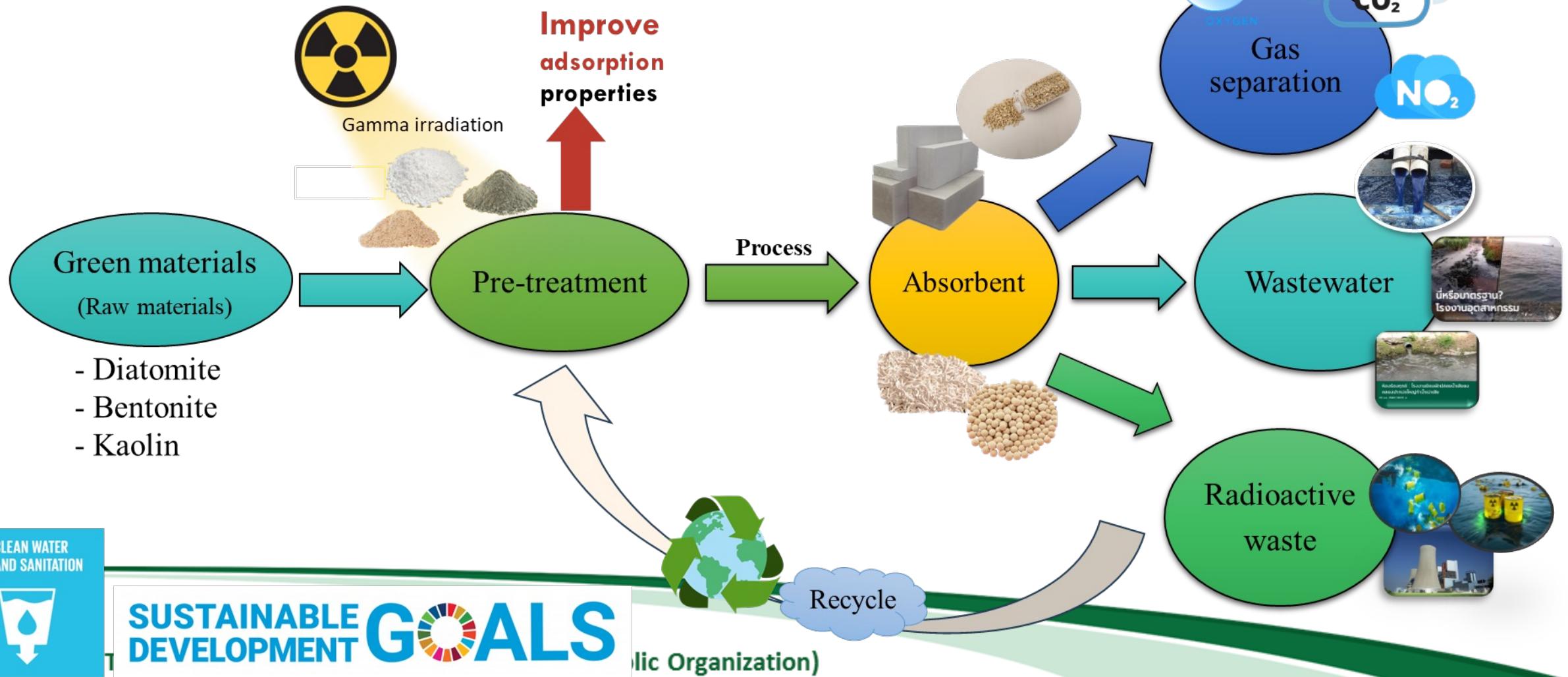
Super water absorbent (SWA) from radiation-induced graft polymerization of acrylic acid (AA) onto cassava starch

Innovative materials prepared by radiation technology



Development of absorbent from green materials using radiation process

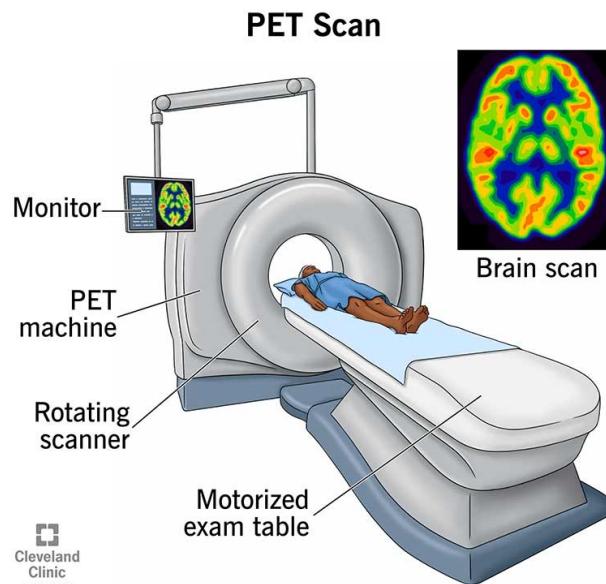
Materials



Applications in medicine (global) : รังสีวินิจฉัย

PET (Positron Emission Tomography) scans use radioactive tracers to detect diseases like cancer, Alzheimer's, and heart conditions with precision.

It's like having a tiny spy inside your body, revealing secrets that traditional techniques can't see.



The bright spot in the chest, seen best on the PET and PET-CT scans, is lung cancer.

Applications in medicine (global) : รังสีรักษา

Teletherapy External Radiotherapy

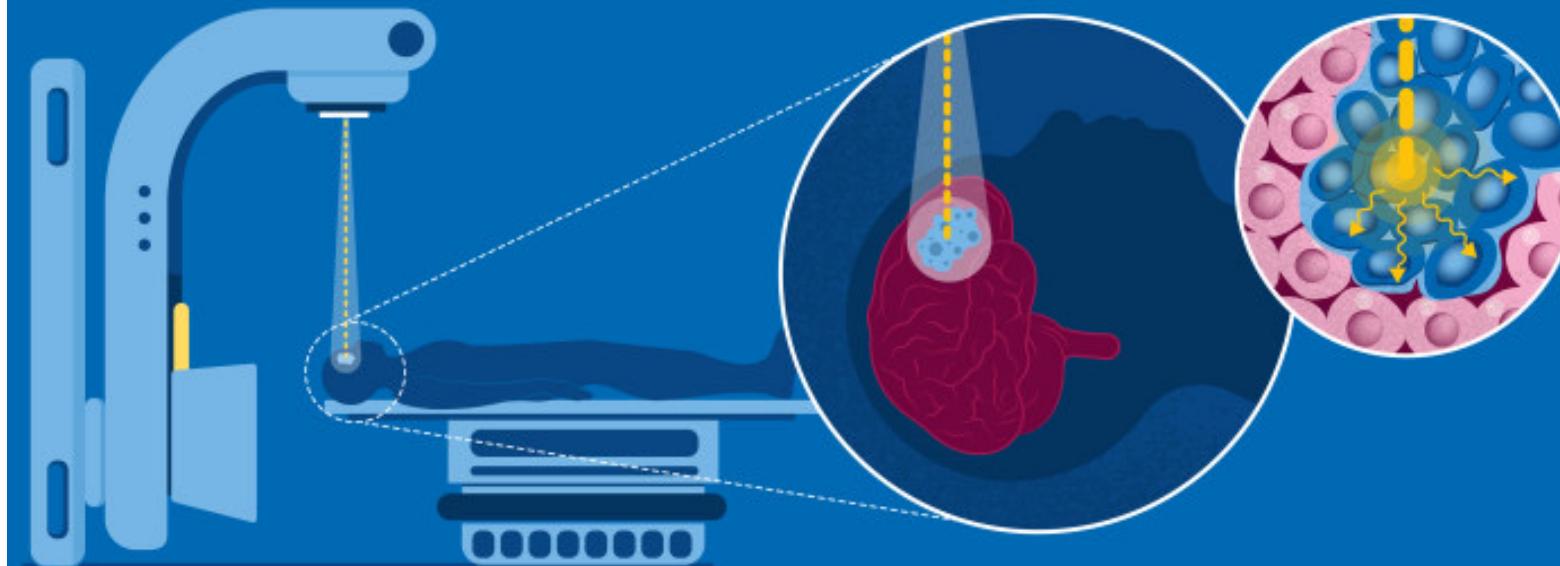


Figure: IAEA

Teletherapy: a large machine moves around you, sending **gamma** beams into precise points in your body.

Brachytherapy: radioisotopes are injected into patients to treat cancers from **inside**. Mostly the head, neck, breast, cervix, prostate, thyroid, and eye.

Dose fractioning: Therapy doses typically range from **30 to 60 Gy**. Typically, these doses are divided into multiple smaller doses, given over 1-2 months.

National Cancer Institute: www.cancer.gov

การพัฒนาเกสรรังสีแกลเลียม-68 สำหรับการสร้างภาพของมะเร็ง

พัฒนาสารเกสรรังสี Ga-68 ให้มีคุณสมบัติมุ่งเป้าแบบทวิ (dual targeting) กล่าวคือ สามารถเกาะจับ (binding) กับรีเซปเตอร์ได้สองชนิด ช่วยเพิ่มโอกาสในการเกาะจับของตัวยา กับรีเซปเตอร์ ทำให้เพิ่มศักยภาพในการสร้างภาพเพื่อระบุตำแหน่งของมะเร็ง

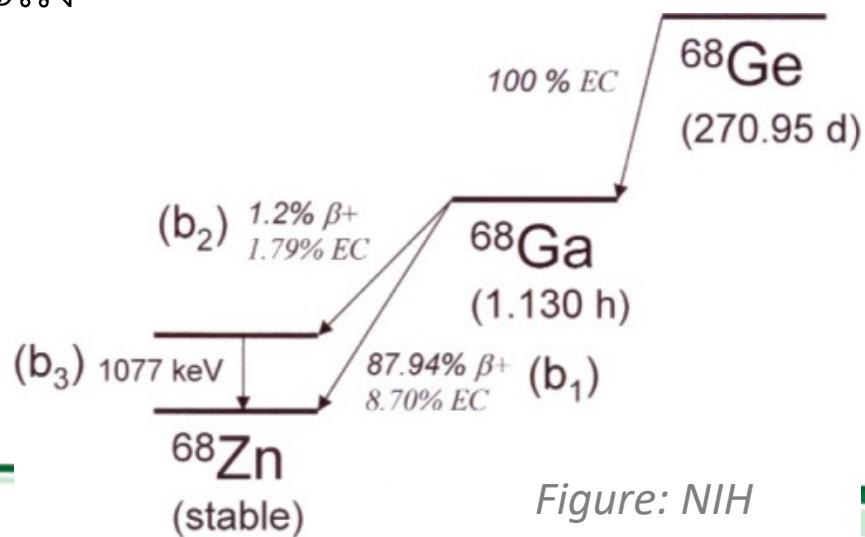
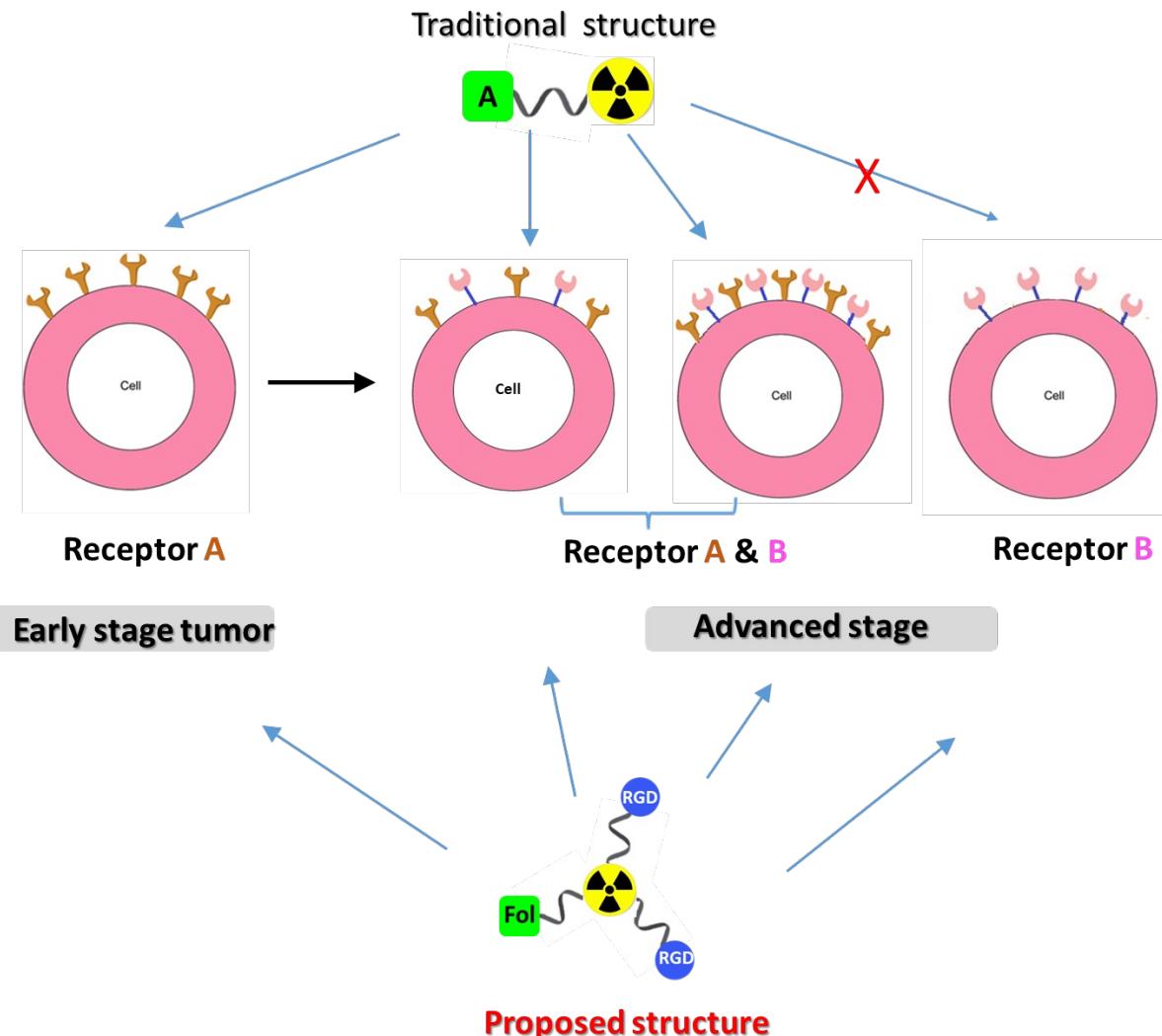


Figure: NIH

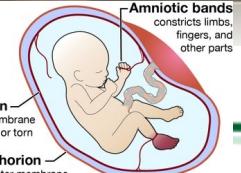


(ดร. พิริญา แก้วพุกม์ และคณะ)

การทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity test using MTT assay) ของเครื่องมือแพทย์ที่ผ่านการฉายรังสี ปลอดเชื้อ

การพัฒนาถุงน้ำครัวเหลือหิ้ง (amniotic membrane) ด้วยรังสี gamma และ e-beam สำหรับเป็นแผ่นเนื้อเยื่อชีวภาพอนกประสงค์

Human amniotic membrane (HAM)



Pre-treatment



Gamma irradiation
15 kGy vs. 25 kGy



Prototype biological wound dressing



(ดร. พิมพ์พร อุทยาวัตน์และคณะ)



กระดูกเทียม (prototype)

ถุงใส่น้ำนมแม่

ยางรัดอวัยวะภายในสำหรับผ่าตัด

packaging

ถุงใส่อาหารเหลว

ถ้วยพลาสติกการแพทย์

Thank you

Want to know more? Visit <https://rdd.tint.or.th>

