

บทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์และอนุภาค

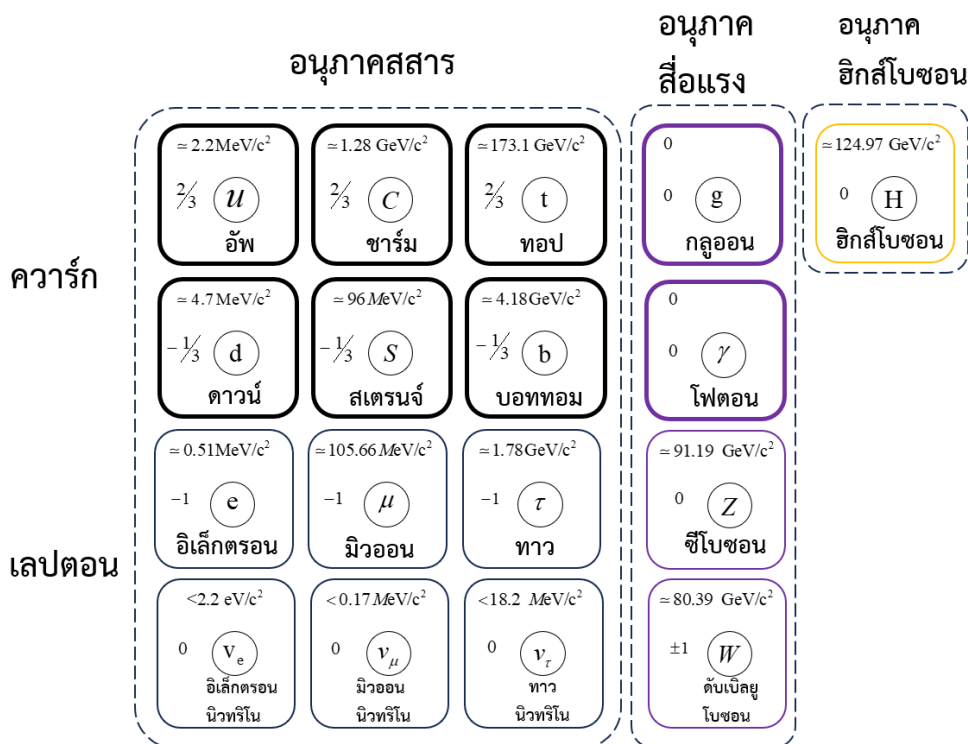
ตารางเปรียบเทียบสมบัติของรังสี

ชนิดรังสี	รังสีแอลฟา	รังสีบีตา	รังสีแกมมา
การสลายตัว	ส่วนใหญ่เป็นการสลายของนิวเคลียสธาตุหนัก	เกิดจากนิวเคลียสไม่เสถียร	เปลี่ยนระดับพลังงานของนิวเคลียส
องค์ประกอบ	นิวเคลียสฮีเลียม	อิเล็กตรอน	เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
สัญลักษณ์	${}^4_2\text{He}$	${}^0_{-1}\beta$	γ

อนุภาคและรังสีสำคัญที่ควรรู้

รังสีแอลฟา	รังสีเบตา	รังสีโพซิตรอน	รังสีแกมมา
α หรือ ${}^4_2\text{He}$	β หรือ ${}^0_{-1}\text{e}$	β^+ หรือ ${}^0_1\text{e}$	γ หรือ ${}^0_0\gamma$
นิวตรอน	โปรตอน	ดิวเทรอน	ทริตรอน
${}^1_0\text{n}$	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$

ฟิสิกส์อนุภาค



แรงพื้นฐาน

แรงพื้นฐาน (Fundamental Force)	อนุภาคสื่อแรง (Force Carrier Particle)	บทบาทหลัก
แรงแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Force)	โฟตอน (Photon)	สื่อแรงระหว่างอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า (เช่น อิเล็กตรอน)
แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม (Strong Nuclear Force)	กลูออน (Gluon)	ยึดเหนี่ยวควาร์กเข้าด้วยกันในโปรตอนและนิวตรอน
แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน (Weak Nuclear Force)	W และ Z โบซอน (W and Z Bosons)	เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของอนุภาค (เช่น การสลายตัวให้รังสีบีตา)
แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force)	กราวิตอน (Graviton)	สื่อแรงโน้มถ่วง (ยังไม่ถูกค้นพบตามการทดลอง)

ค่ากัมมันตภาพ (Activity, A) หรือ อัตราการสลายตัว

$$A = \lambda N$$

- กัมมันตภาพ (A) คือ อัตราที่นิวเคลียสกำลังสลายตัว ณ ขณะนั้น (จำนวนการสลายตัวต่อ วินาที)

A : กัมมันตภาพ (หน่วย: เบ็กเคอเรล, Bq หรือ คูรี, Ci)

λ (แลมบ์ดา): ค่าคงที่การสลายตัว (Decay constant) เป็นค่าที่บอก "โอกาส" ที่นิวเคลียส 1 ตัว จะสลายใน 1 วินาที

N : จำนวนนิวเคลียส ที่ยังไม่สลาย ที่มีอยู่ ณ ขณะนั้น

- อธิบาย: ถ้ามีนิวเคลียสอยู่มาก (N มาก) อัตราการสลาย (A) ก็จะมากตาม

ค่าคงที่การสลาย

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

- λ ค่าคงที่การสลาย $T_{1/2}$ ครึ่งชีวิต
- $T, T_{1/2}$ ครึ่งชีวิต (Half-life) คือ เวลาที่ใช้จนนิวเคลียสสลายตัวไปเหลือ "ครึ่งหนึ่ง" ของเดิม

กฎการสลายตัว (Radioactive Decay Law)

$$N = \frac{N_0}{e^{\lambda t}} \quad \text{หรือ} \quad N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

- อธิบายการลดลงของจำนวนนิวเคลียสแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
 - N : จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่ ณ เวลา t
 - N_0 : จำนวนนิวเคลียส "เริ่มต้น" (ณ $t=0$)
 - e : ค่าคงที่ธรรมชาติ ($e = 2.718$)
 - λ : ค่าคงที่การสลายตัว
 - t : เวลาที่ผ่านไป
 - T : ครึ่งชีวิต (Half-life)

กัมมันตภาพ (A)

$$A = \frac{A_0}{e^{\lambda t}} \quad \text{หรือ} \quad A = \frac{A_0}{2^{t/T}}$$

- คืออะไร: เนื่องจากกัมมันตภาพ (A) แปรผันตรงกับจำนวนนิวเคลียส (N) อัตราการสลาย (A) จึงลดลงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลด้วยรูปแบบสมการเดียวกัน
- A_0 คือกัมมันตภาพเริ่มต้น

พลังงานนิวเคลียร์

$$E = mc^2$$

- คือสมการ "สมมูลมวล-พลังงาน" ของไอน์สไตน์
- ความหมาย: มวล (m) และ พลังงาน (E) คือสิ่งเดียวกัน สามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้
- ตัวแปร (ในหน่วย SI):
 - E: พลังงาน (จูล, J)
 - m: มวล (กิโลกรัม, kg)
 - c: อัตราเร็วแสง ($c = 3 \times 10^8$ m/s)

การแปลงพลังงาน

$$E = \Delta m(931)$$

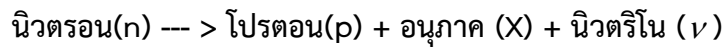
- ใช้หา พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding Energy) หรือพลังงานที่ปล่อยออกมาในปฏิกิริยานิวเคลียร์
 - E : พลังงาน (หน่วย: MeV - เมกะอิเล็กตรอนโวลต์)
 - Δm : มวลพร่อง (Mass Defect) หรือมวลที่ "หายไป" ในปฏิกิริยา (หน่วย: u หรือ amu - atomic mass unit)
 - 931 : คือค่าคงที่แปลงพลังงาน ($1 u = 931 \text{ MeV}/c^2$)

$$E(eV) = \frac{1240}{\lambda_{nm}}$$

เราจะใช้สูตรนี้ได้ ก็ต่อเมื่อ:

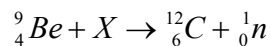
1. E (พลังงาน): ต้องใช้ในหน่วย อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) เท่านั้น
2. λ_{nm} (ความยาวคลื่น): ต้องใช้ในหน่วย นาโนเมตร (nm) เท่านั้น

1. นิวตรอนอิสระจะสลายตัวด้วยเวลาครึ่งชีวิตประมาณ 12 นาทีดังนี้



อนุภาค X คือข้อใด (วิชาสามัญ ธ.ค. 59)

1. อิเล็กตรอน
 2. โฟสตรอน
 3. โฟตรอนของรังสีแกมมา
 4. นิวตริโน
 5. ปฏินิวตรอน
2. ปฏิกริยานิวเคลียร์ซึ่งนำมาซึ่งการค้นพบอนุภาคนิวตรอน โดย Chadwick เมื่อปี ค.ศ. 1932 คือ

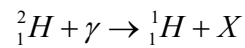


อนุภาค X คือข้อใด (วิชาสามัญ มี.ค. 61)

1. โปรตอน
 2. แอลฟา
 3. นิวเคลียสของคิวเทอเรียม (H)
 4. นิวตรอน
 5. นิวเคลียสของตรีเทียม (H)
3. หลักความไม่แน่นอนของ Heisenberg $\Delta p_x \Delta x \approx h$ บอกว่าอนุภาคมวล m ที่ถูกกักไว้ในกล่องลูกบาศก์ด้านยาว a มีพลังงานจลน์ต่ำสุด โดยประมาณตามข้อใด (วิชาสามัญ มี.ค. 62)

1. 0
2. $\frac{h}{ma}$
3. $\frac{ma}{h}$
4. $\frac{h^2}{ma^2}$
5. $\frac{ma^2}{h^2}$

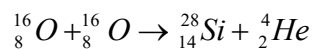
4. ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ข้างล่างนี้ X คืออนุภาคใด



(γ เป็นโฟตอนของรังสีแกมมาพลังงานสูง) (วิชาสามัญ ธ.ค. 58)

1. โปรตรอน
2. นิวตรอน
3. โพสิตรอน
4. อิเล็กตรอน
5. นิวตริโน

5. ปฏิกิริยานิวเคลียร์หนึ่ง เขียนแทนได้ด้วยสมการ



กำหนดให้ มวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 932 เมกะอิเล็กตรอนโวลต์

m_0 เป็นมวลของออกซิเจนในหน่วย u

m_{He} เป็นมวลของฮีเลียมในหน่วย u

E เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้ในหน่วยเมกะอิเล็กตรอนโวลต์

ปฏิกิริยานิวเคลียร์นี้ เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์ชนิดใด และ มวลในหน่วย u ของซิลิคอนมีค่าเท่าใด (วิชาสามัญ 65)

1. ฟิชชัน และ $2m_0 + m_{He} - 932E$

2. ฟิชชัน และ $2m_0 + m_{He} - \frac{E}{932}$

3. ฟิชชัน และ $2m_0 - m_{He} - 932E$

4. ฟิวชัน และ $2m_0 - m_{He} - \frac{E}{932}$

5. ฟิวชัน และ $2m_0 - m_{He} - 932E$

6. ข้อมูลของอนุภาคมูลฐานในกลุ่มอนุภาคสารเป็นดังนี้

ชนิดของควาร์ก	มวล	ประจุ	ชนิดของเลปตอน	มวล	ประจุ
อัป	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$+\frac{2}{3}e$	อิเล็กตรอน	$\approx 0.51 \text{ MeV}/c^2$	$-e$
ดาวน์	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}e$	อิเล็กตรอนนิวทริโน	$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	0
ชาร์ม	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$+\frac{2}{3}e$	มิวออน	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$	$-e$
สเตรนจ์	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}e$	มิวออนนิวทริโน	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	0
ทอป	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$+\frac{2}{3}e$	ทาว	$\approx 1.78 \text{ GeV}/c^2$	$-e$
บอททอม	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-\frac{1}{3}e$	ทาวนิวทริโน	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$	0

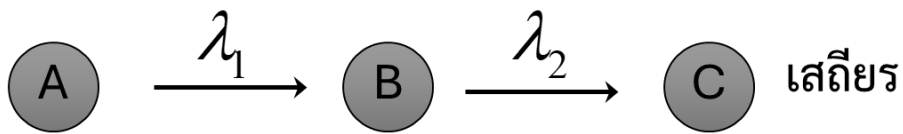
ข้อมูลของอนุภาคมูลฐานในกลุ่มอนุภาคสื่อแรงเป็นดังนี้

ชนิดของควาร์ก	มวล	ประจุ
กลูออน	0	0
โฟตอน	0	0
Z-โบซอน	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$	0
W-โบซอน	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$	$\pm e$

พิจารณาอนุภาคที่มีองค์ประกอบเป็น 1 ควาร์กอัป (u) และ 2 ควาร์กดาวน์ (d) ดังแสดงในรูป หากควาร์ก ดาวน์ตัวหนึ่งเกิดการเปลี่ยนสภาพกลายเป็นควาร์กอัป ส่งผลให้อนุภาคเดิมเปลี่ยนสภาพเป็นโปรตอน (uud) ข้อความใดต่อไปนี้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวตาม แบบจำลองมาตรฐานได้ถูกต้องที่สุด

- เป็นการสลายตัวที่เกิดขึ้นภายใต้ แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม เพื่อรักษาเสถียรภาพของนิวเคลียส
- ในขณะที่ควาร์กดาวน์เปลี่ยนเป็นควาร์กอัป จะมีการปลดปล่อยอนุภาค โพซิตรอน (e^+) ออกมาเพื่ออนุรักษ์ ประจุไฟฟ้า
- กระบวนการนี้ต้องมีอนุภาคสื่อแรงคือ W^- โบซอน และมีการปลดปล่อยอิเล็กตรอนกับแอนตินิวทริโนออกมา
- มวลรวมของอนุภาคหลังการสลายตัว (โปรตอน + อิเล็กตรอน + แอนตินิวทริโน) จะมีค่า มากกว่า มวลของ นิวตรอนเริ่มต้นเสมอ
- อนุภาคสื่อแรงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนชนิดของควาร์กในปรากฏการณ์นี้คือ กลูออน (Gluon) เนื่องจากกระทำต่อควาร์กโดยตรง

7. สารกัมมันตรังสี A มีปริมาณตั้งต้น N_0 ค่อยๆ สลายไปเป็น B ซึ่งสลายต่อไปเป็น C อีกต่อหนึ่งในที่สุด หลังจากเวลาผ่านไปนานเป็นอนันต์ จะมีสาร C อยู่เป็นปริมาณเท่าไร (กำหนดว่าปริมาณสาร C ตั้งต้นเป็น N_{0C}) (วิชาสามัญ ม.ค. 58)



1. N_{0C}
 2. N_0
 3. $N_{0C} + \frac{N_0}{2}$
 4. $N_{0C} + N_0$
 5. $\frac{1}{2}(N_{0C} + N_0)$
8. สารกัมมันตรังสี A มีเวลาครึ่งชีวิต T_A มีจำนวนตั้งต้น N_0 ส่วนสารกัมมันตรังสี B มีจำนวนตั้งต้น $2N_0$ มีเวลาครึ่งชีวิต T_B ที่เวลาเท่าใดสารทั้งสองนี้จึงเหลือปริมาณเท่ากันพอดี (กำหนดว่า $T_B < T_A$) (วิชาสามัญ ม.ค. 57)

1. $T_A + T_B$
2. $T_A - T_B$
3. $\frac{T_A T_B}{T_A - T_B}$
4. $\frac{T_A T_B}{T_A + T_B}$
5. $\frac{T_A + T_B}{2}$

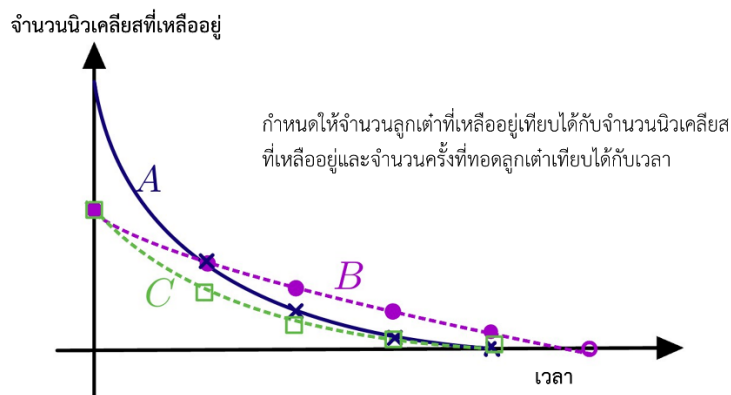
9. นักเรียนศึกษาการจำลองการสลายของนิวเคลียสกัมมันตรังสีและค่าครึ่งชีวิต โดยจัดชุดการทดลอง 3 ชุดแตกต่างกันดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 : จำนวนเริ่มต้นของลูกเต๋าคือ 50 ลูก และจำนวนหน้าที่แต้มสี่คือ 2 หน้า

ชุดการทดลองที่ 2 : จำนวนเริ่มต้นของลูกเต๋าคือ 50 ลูก และจำนวนหน้าที่แต้มสี่คือ 4 หน้า

ชุดการทดลองที่ 3 : จำนวนเริ่มต้นของลูกเต๋าคือ 100 ลูก และจำนวนหน้าที่แต้มสี่คือ 4 หน้า

ในแต่ละชุดการทดลองจะทอดลูกเต๋าร่วมกันทั้งหมด แล้วคัดลูกเต๋าทิ้งหาหน้าที่แต้มสี่ออก บันทึกจำนวนลูกเต๋าทิ้งเหลืออยู่กับจำนวนครั้งที่ทอด โดยทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำข้อมูลมาเขียนกราฟพร้อมกับลากเส้นแนวโน้ม แต่นักเรียนลืมนระบุว่าเส้นแนวโน้มแต่ละเส้นแทนชุดการทดลองใด จึงระบุเป็น A B และ C ดังนี้



จากข้อมูล ข้อใดสรุปถูกต้อง (PAT2 มี.ค. 65)

	เส้นแนวโน้มที่แสดงข้อมูลชุดการทดลองที่ 1	เส้นแนวโน้มที่แสดงข้อมูลชุดการทดลองที่ 2	เส้นแนวโน้มที่มีอัตราการสลายของนิวเคลียส ณ เวลาเริ่มต้น น้อยที่สุด
1.	B	C	A
2.	B	C	B
3.	B	C	C
4.	C	B	A
5.	C	B	B

10. ในทางการแพทย์มีการนำไอโซโทปไอโอดีน-131 (I-131) มาใช้ในการรักษาผู้ป่วยมะเร็งต่อมไทรอยด์โดย I-131 จะสลายให้รังสีบีตา เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลแห่งหนึ่งสั่งซื้อ I-131 มาจากต่างประเทศซึ่งมีกัมมันตภาพ 100 มิลลิวูรี และใช้เวลาเดินทางมาถึงประเทศไทย 60 ชั่วโมง และนำมาเก็บไว้ที่กรุงเทพมหานครอีก 24 ชั่วโมงแล้วจึงขนส่งต่อจากกรุงเทพมหานครไปยังโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดแม่ฮ่องสอนโดยใช้รถที่ใช้ในการขนส่งด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รวมระยะทาง 840 กิโลเมตร

$$\text{กำหนดให้} \quad 1 \text{ คูรี} = 3.7 \times 10^{10} \text{ เบ็กเคอเรล}$$

ครึ่งชีวิตของ I-131 มีค่า 8 วัน

เมื่อไอโซโทปไอโอดีน-131 มาถึงโรงพยาบาลแห่งนี้ จะเหลือกัมมันตภาพกี่เบ็กเคอเรล (PAT2 มี.ค. 64)

1. 1.91×10^{-12}
2. 70.7×10^{-3}
3. 2.61×10^9
4. 2.98×10^9
5. 3.54×10^9

11. สารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 2 นาที ถ้า ณ ขณะนี้วัดกัมมันตภาพได้ 4 มิลลิวูรี เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที สารกัมมันตรังสีนี้จะเหลืออยู่ประมาณกี่อะตอม (PAT2 ก.พ. 63) กำหนดให้

$$\ln 2 \approx 0.7 \quad \sqrt{2} = 1.4$$

1. 7×10^7
2. 3×10^8
3. 9×10^9
4. 2×10^{10}
5. 5×10^{10}

12. X ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^6_3\text{Li} + X$ คืออะไร (PAT2 ก.พ. 63)

1. แอลฟา
2. บีตา
3. แกมมา
4. นิวตรอน
5. ดิวเทอรอน

13. เมื่อนำหัววัดรังสีแบบไกเกอร์ไปเข้าใกล้ธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งพบว่าสามารถนับสัญญาณที่รังสีทำให้เกิดแก๊สแตกตัวเป็นไอออนได้ 600 ครั้งใน 1 นาทีถ้าหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง การวัดซ้ำแบบเดิมได้สัญญาณเพียง 500 ครั้งใน 1 นาทีธาตุกัมมันตรังสีดังกล่าวมีค่าครึ่งชีวิตประมาณเท่าใดในหน่วยชั่วโมง (PAT2 ก.พ. 62)

$$\text{กำหนด } \ln 2 = 0.693, \ln 5 = 1.609, \ln 6 = 1.792$$

1. 48
2. 72
3. 82
4. 91
5. 131

14. สารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 15 นาที ช่วงเวลาที่ใช้ในการสลายตั้งแต่เหลือสาร 70% จนกระทั่งเหลือ 34% ของปริมาณตั้งต้น เป็นเวลาประมาณกี่นาที

$$\text{กำหนด } \ln 2 = 0.693, \ln 3 = 1.099, \ln 7 = 1.946, \ln 8 = 2.079,$$

$$\ln 10 = 2.303, \ln 34 = 3.526 \quad (\text{PAT2 n.w. 61})$$

1. 8
2. 16
3. 24
4. 32
5. 40

15. ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม พบว่า มีส่วนพร่องมวล 0.029u พลังงานที่ปลดปล่อยต่อนิวคลีออนของกลการเกิดปฏิกิริยานี้เป็นกี่เมกะอิเล็กตรอนโวลต์ กำหนดให้มวล 1u เทียบเท่ากับพลังงานประมาณ 930 MeV (PAT2 ก.พ. 61)

1. 3.4 MeV
2. 6.7 MeV
3. 9.0 MeV
4. 13 MeV
5. 27 MeV

16. กำหนดให้

$$\text{มวลอะตอมของทริเทียม} = 3.016049\text{u}$$

$$\text{มวลอะตอมของไฮโดรเจน} = 1.007825\text{ u}$$

$$\text{มวลของโปรตอน} = 1.007276\text{ u}$$

$$\text{มวลของนิวตรอน} = 1.008665\text{ u}$$

$$\text{มวลของอิเล็กตรอน} = 0.000549\text{ u}$$

$$\text{มวล } 1\text{ u} = 1.660540 \times 10^{-27}\text{ kg} = 931\text{ MeV}/c^2$$

พลังงานยึดเหนี่ยวในนิวเคลียสของทริเทียมมีค่าใกล้เคียงเท่าใด (PAT2 ต.ค. 59)

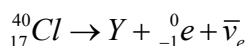
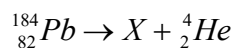
1. 0.009 MeV
2. 1 MeV
3. 8 MeV
4. $2,808\text{ MeV}$
5. $2,816\text{ MeV}$

17. ในบริเวณหนึ่งพบว่าวัดกัมมันตภาพในช่วง 15 วันได้ดังตารางเพื่อความปลอดภัยจะต้องรอให้มีกัมมันตภาพไม่เกิน 120 เบ็กเคอเรลจึงจะเข้าไปสำรวจบริเวณดังกล่าวได้ อยากทราบว่า จะต้องรอให้ผ่านไปอย่างน้อยที่สุดกี่วัน (PAT2 พ.ย. 57)

วันที่	0	2	5	10	15
กัมมันตภาพ (Bq)	1000	795	560	317	178

1. 17
2. 19
3. 21
4. 23
5. 25

18. (A-Level 66) $^{184}_{82}Pb$ และ $^{40}_{17}Cl$ เกิดการสลายแล้วทำให้ได้ X และ Y ตามลำดับ ดังสมการ



นิวเคลียสใดมีเสถียรภาพน้อยกว่า และนิวเคลียสนั้นมีพลังงานยึดเหนี่ยวที่จูล

กำหนดให้ นิวเคลียสของธาตุ X มีส่วนพร้อมมวล เท่ากับ 2.514×10^{-27} กิโลกรัม

นิวเคลียสของธาตุ Y มีส่วนพร้อมมวล เท่ากับ 6.129×10^{-28} กิโลกรัม

C เป็นอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ

ตัวเลือก	นิวเคลียสที่มีเสถียรภาพน้อยกว่า	พลังงานยึดเหนี่ยว (จูล)
1	X	$\frac{(2.514 \times 10^{-27} \text{ kg})c^2}{180}$
2	X	$(2.514 \times 10^{-27} \text{ kg})c^2$
3	Y	$\frac{(6.129 \times 10^{-28} \text{ kg})c^2}{180}$
4	Y	$\frac{(6.129 \times 10^{-28} \text{ kg})c^2}{40}$
5	Y	$(6.129 \times 10^{-28} \text{ kg})c^2$

19. (แนว A-Level 67) สารกัมมันตรังสีสารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีจำนวนนิวเคลียสเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนี้

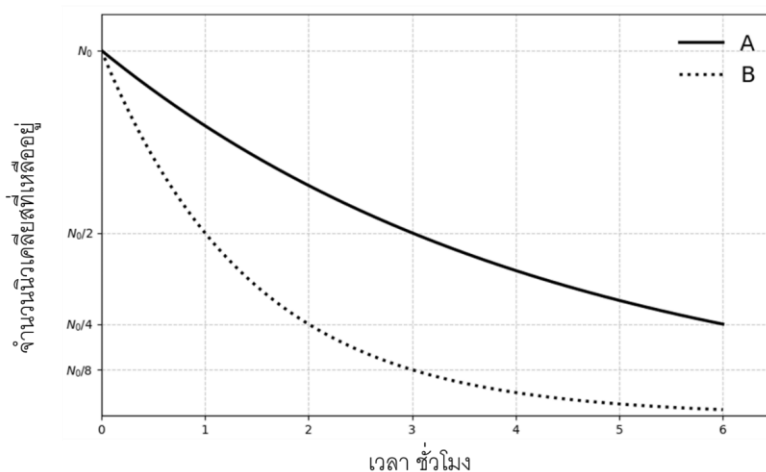
ที่เวลา 8:00 น. มีจำนวน 1.50×10^{24} นิวเคลียส

ที่เวลา 10:30 น. มีจำนวน 6.0×10^{23} นิวเคลียส

จากข้อมูลข้างต้น ที่เวลา 13:00 น. สารกัมมันตรังสีชนิดนี้จะมีจำนวนนิวเคลียสประมาณเท่าใด

1. 1.2×10^{23} นิวเคลียส
2. 1.8×10^{23} นิวเคลียส
3. 2.0×10^{23} นิวเคลียส
4. 2.4×10^{23} นิวเคลียส
5. 3.6×10^{23} นิวเคลียส

20. (A-Level 66) กราฟแสดงจำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี A และ B ที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไปจากเริ่มต้นเป็นดังนี้



เมื่อเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมงจากเริ่มต้น จำนวนนิวเคลียสของ A ที่เหลืออยู่เป็นกึ่งหนึ่งของจำนวนนิวเคลียส B ที่เหลืออยู่ กำหนดให้ ขณะเริ่มต้น จำนวนนิวเคลียส A และ B เท่ากับ N_0