

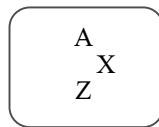
บทที่ 20 ฟิสิกส์นิวเคลียร์

ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics) เป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ที่ศึกษาสมบัติของนิวเคลียส และกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับนิวเคลียสที่เรียกว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์

นิวเคลียสของอะตอม คือ อนุภาคที่อยู่ตรงกลางของอะตอม ประกอบด้วยอนุภาค 2 ชนิดคือ โปรตอน (proton) และนิวตรอน (neutron)

นิวคลีออน (Nucleon) คือ อนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส = จำนวนโปรตอน + จำนวนนิวตรอน

สัญลักษณ์ของนิวเคลียร์ (nuclear symbol) หรือที่เรียกว่านิวไคลด์ (nuclide) ชนิดหนึ่งของธาตุ จะใช้จำนวนโปรตอนและนิวตรอนในการระบุชนิดของนิวไคลด์ ดังต่อไปนี้



โดย Z แทนเลขอะตอม (atomic number) คือ จำนวนของโปรตอนในนิวเคลียสนั้น

n แทนเลขนิวตรอน (neutron number) คือ จำนวนของนิวตรอนในนิวเคลียสนั้น

A แทนเลขมวล (mass number) คือ จำนวนนิวคลีออนทั้งหมดในนิวเคลียสนั้น

$$\text{หรือ } A = Z + n$$

X แทนสัญลักษณ์ทางเคมี (chemical symbol) คือ สัญลักษณ์ของธาตุทางเคมี

ไอโซโทป (Isotope)

ไอโซโทป หมายถึง นิวเคลียสของธาตุชนิดเดียวกัน ที่มีเลขอะตอม Z เท่ากัน แต่เลขมวล A ต่างกัน เช่น ${}^1_1\text{H}$ ${}^2_1\text{H}$ ${}^{235}_{92}\text{U}$ ${}^{238}_{92}\text{U}$ ${}^{239}_{92}\text{U}$ แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ไอโซโทปที่ไม่แผ่รังสี เรียกว่า **ไอโซโทปเสถียร**

2. ไอโซโทปที่แผ่รังสีได้ เรียกว่า **ไอโซโทปกัมมันตรังสี**

ในธรรมชาติ ส่วนมากเป็นไอโซโทปเสถียร

แบบฝึกหัดที่ 20.1

1. (O-NET 49) คาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นส่วนสำคัญของสิ่งมีชีวิตสัญลักษณ์นิวเคลียส ${}^{12}_6\text{C}$ แสดงว่า นิวเคลียสของคาร์บอนนี้มีอนุภาคตามข้อใด

1. โปรตอน 12 ตัว นิวตรอน 6 ตัว
2. โปรตอน 6 ตัว นิวตรอน 12 ตัว
3. โปรตอน 6 ตัว อิเล็กตรอน 6 ตัว
4. โปรตอน 6 ตัว นิวตรอน 6 ตัว

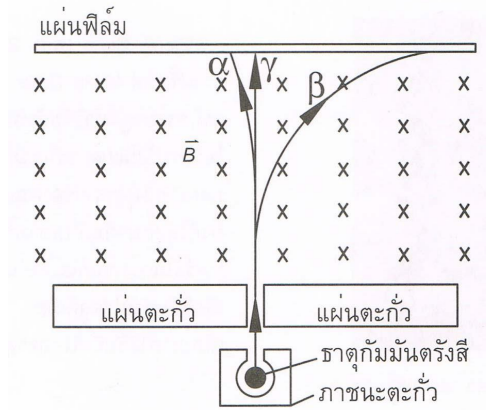
2. (O-NET 49) ข้อใดถูกต้องสำหรับไอโซโทปของธาตุหนึ่ง ๆ

1. มีเลขมวลเท่ากัน แต่เลขอะตอมต่างกัน
2. มีจำนวนโปรตอนเท่ากันแต่จำนวนนิวตรอนต่างกัน
3. มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน แต่จำนวนโปรตอนต่างกัน
4. มีผลรวมของจำนวนโปรตอนและนิวตรอนเท่ากัน

3. (O-NET 50) อนุภาคใดในนิวเคลียส $^{236}_{92}U$ และ $^{234}_{90}Th$ ที่มีจำนวนเท่ากัน
1. โปรตอน
 2. อิเล็กตรอน
 3. นิวตรอน
 4. นิวคลีออน
4. (O-NET 50) ในธรรมชาติธาตุคาร์บอนมี 3 ไอโซโทป คือ $^{12}_6C$ $^{13}_6C$ และ $^{14}_6C$ ข้อใดต่อไปนี้ถูก
1. แต่ละไอโซโทปมีจำนวนอิเล็กตรอนต่างกัน
 2. แต่ละไอโซโทปมีจำนวนโปรตอนต่างกัน
 3. แต่ละไอโซโทปมีจำนวนนิวตรอนต่างกัน
 4. แต่ละไอโซโทปมีจำนวนโปรตอนเท่ากับจำนวนนิวตรอน
5. (O-NET 52) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับไอโซโทปสองไอโซโทปของธาตุชนิดเดียวกัน
1. มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน
 2. มีเลขมวลเท่ากัน
 3. มีเลขอะตอมเท่ากัน
 4. มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน
6. (O-NET 54) ธาตุที่มีสัญลักษณ์นิวเคลียร์ $^{40}_{19}K$ มักถูกเรียกขื่อย่อว่าอะไร
1. โปแตสเซียม-19
 2. โปแตสเซียม-21
 3. โปแตสเซียม-40
 4. โปแตสเซียม-59
7. (มช.) อะตอมของ $^{210}_{84}Po$ ข้อใดถูกต้อง
- ก. มีจำนวนนิวคลีออน = 210 จำนวนนิวตรอน = 84
 - ข. มีจำนวนอิเล็กตรอน = 84 จำนวนนิวตรอน = 126
 - ค. มีจำนวนอิเล็กตรอน = 126 จำนวนโปรตอน = 84
 - ง. มีจำนวนนิวคลีออน = 210 จำนวนอิเล็กตรอน = 126
8. (Ent) จำนวนนิวตรอนในนิวเคลียส $^{27}_{13}Al$ คือ
- ก. 13
 - ข. 14
 - ค. 27
 - ง. 40
9. (มช.) ดินุกมีเลขอะตอม = 50 และเลขมวล 120 จะมีจำนวนนิวคลีออนเท่าไร
- ก. 20
 - ข. 70
 - ค. 120
 - ง. 170
10. (มช.) อะตอมของธาตุ $^{196}_{78}Pt$ กับ $^{197}_{79}Au$ จะมีจำนวนอะไรเท่ากัน
- ก. นิวคลีออน
 - ข. นิวตรอน
 - ค. โปรตอน
 - ง. อิเล็กตรอน
11. (มช.) ไอโซโทป เป็นชื่อเรียกนิวเคลียสของธาตุที่มีลักษณะดังนี้
- ก. มีจำนวนนิวคลีออนเท่ากัน
 - ข. มีจำนวนโปรตอนเท่ากับนิวตรอน
 - ค. มีจำนวนโปรตอนต่างกัน แต่มีจำนวนนิวตรอนเท่ากัน
 - ง. มีจำนวนโปรตอนเท่ากัน แต่มีจำนวนนิวตรอนต่างกัน

การค้นพบกัมมันตภาพรังสี

เบ็กเคอเรล	ปีแอร์และมารี คูรี
ค้นพบว่าธาตุยูเรเนียมสามารถปล่อยรังสีออกมาได้โดยบังเอิญ	พบว่าธาตุอื่นสามารถปล่อยรังสีออกมาได้ เช่น ทอเรียม พอลโลเนียม เรเดียม



รูป 4.1 แสดงการเคลื่อนที่ของรังสีทั้ง 3 ชนิด ผ่านสนามแม่เหล็ก

รังสีแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. รังสีแอลฟา สัญลักษณ์ α หรือ ${}^4_2\text{He}$ (ประจุบวก)
2. รังสีบีตา สัญลักษณ์ β หรือ ${}^0_{-1}e$ (ประจุลบ)
3. รังสีแกมมา สัญลักษณ์ γ (เป็นกลางทางไฟฟ้า)

เปรียบเทียบสมบัติของ α, β และ γ

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| 1. มวลและประจุไฟฟ้า | $\alpha > \beta > \gamma$ |
| 2. พลังงาน | $\alpha > \beta > \gamma$ |
| 3. การทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน | $\alpha > \beta > \gamma$ |
| 4. อำนาจทะลุทะลวงผ่านอากาศ | $\gamma > \beta > \alpha$ |

สัญลักษณ์ของธาตุและอนุภาคบางอย่างที่ควรทราบ

แอลฟา (α) = ${}^4_2\text{He}$	ไฮโดรเจนหรือโปรตอน = ${}^1_1\text{H}$
บีตา (β^-) = ${}^0_{-1}e$	ดิวเทรียม = ${}^2_1\text{H}$
บีตา (β^+) = ${}^0_{+1}e$	ทริตรียม = ${}^3_1\text{H}$
แกมมา (γ) = γ	นิวตรอน = 1_0n
ยูเรเนียม = ${}^{235}_{92}\text{U}$	ตะกั่ว = ${}^{206}_{82}\text{Pb}$

แบบฝึกหัดที่ 20.2

1. (O-NET 49) รังสีในข้อใดที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงผ่านเนื้อสารได้น้อยที่สุด

1. รังสีแอลฟา 2. รังสีบีตา 3. รังสีแกมมา 4. รังสีเอกซ์

2. (O-NET 50) อนุภาคแอลฟา อนุภาคบีตา รังสีแกมมา เมื่อเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็ก ข้อใดไม่เกิดการเบน
1. อนุภาคแอลฟา
 2. อนุภาคบีตา
 3. รังสีแกมมา
 4. อนุภาคแอลฟาและบีตา
3. (O-NET 51) ข้อความใดต่อไปนี้เป็นข้อเท็จจริงเกี่ยวกับรังสีแอลฟา รังสีบีตาและรังสีแกมมา
1. รังสีแอลฟามีประจุ +4
 2. รังสีแอลฟามีมวลมากที่สุดและอำนาจทะลุทะลวงผ่านสูงที่สุด
 3. รังสีบีตามีมวลน้อยที่สุดและอำนาจทะลุทะลวงผ่านต่ำที่สุด
 4. รังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูงที่สุด
4. (O-NET 54) ข้อใดเป็นสมบัติของรังสีแอลฟา
1. เป็นอิเล็กตรอน
 2. เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
 3. เป็นนิวเคลียสของอะตอมฮีเลียม
 4. เป็นโปรตอน
5. (มข.) ธาตุกัมมันตรังสี หมายถึงธาตุที่มีสมบัติในการแผ่รังสีได้เอง และรังสีที่แผ่ออกมาจะต้องเป็นรังสีต่อไปนี้เสมอ
- ก. รังสีแอลฟา
 - ข. รังสีบีตา รังสีแกมมา
 - ค. รังสีแอลฟา รังสีบีตา รังสีแกมมา
 - ง. เป็นรังสีชนิดใดก็ได้
6. (มข.) คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของอนุภาคแอลฟา ก็คือ
- ก. มีอำนาจทะลุทะลวงสูง
 - ข. มีพลังงานจลน์สูงกว่าอนุภาคตัวอื่น
 - ค. ทำให้สารที่ผ่านแตกตัวเป็นไอออน
 - ง. คล้ายกับรังสีเอกซ์ (X-ray)
7. (Ent) รังสีแอลฟามีอำนาจในการทะลุผ่านน้อยกว่ารังสีชนิดอื่นที่ออกมาจากธาตุกัมมันตรังสีเนื่องจาก
- ก. รังสีแอลฟามีพลังงานน้อยกว่ารังสีชนิดอื่น
 - ข. รังสีแอลฟามีคุณสมบัติในการทำให้สารที่รังสีผ่าน แตกตัวเป็นไอออนได้ดีกว่า
 - ค. รังสีแอลฟาไม่มีประจุไฟฟ้า
 - ง. ถูกทั้งข้อ ก และ ข
8. (มข.) ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูก
- ก. รังสีบีตามีอำนาจทะลุผ่าน สูงกว่ารังสีแกมมา แต่น้อยกว่ารังสีเอกซ์
 - ข. รังสีบีตามีอำนาจทะลุผ่าน สูงกว่ารังสีเอ็ก แต่น้อยกว่ารังสีแอลฟา
 - ค. รังสีบีตามีอำนาจทะลุผ่าน สูงกว่ารังสีแอลฟา แต่น้อยกว่ารังสีแกมมา
 - ง. รังสีบีตามีอำนาจทะลุผ่าน สูงกว่ารังสีอื่น ๆ ทุกชนิด
9. (Ent) พิจารณาข้อความต่อไปนี้สำหรับรังสีแอลฟา บีตา และแกมมา
1. มีความสามารถในการทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนได้ดีกว่า
 2. ต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นมากในการกั้นรังสี
 3. เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก แนวการเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง
 4. อัตราส่วนประจุต่อมวลมีค่ามากที่สุด
- ข้อความใดเป็นสมบัติของรังสีบีตา
- ก. ข้อ 1 และ 2
 - ข. ข้อ 1 และ 3
 - ค. ข้อ 2 และ 4
 - ง. ข้อ 3 และ 4

10. (มข.) ถ้ารังสีแอลฟา บีตา และแกมมา เคลื่อนที่อยู่น้ำ และรังสีทั้งสามชนิดมีพลังงานเท่ากัน เราจะพบว่ารังสีบีตาเคลื่อนที่ได้ระยะทาง
- ก. สั้นที่สุด ข. ไกลที่สุด
- ค. ไกลกว่าแกมมาแต่ใกล้กว่าแอลฟา **ง. ไกลกว่าแอลฟาแต่ใกล้กว่าแกมมา**
11. (Ent) อนุภาคแอลฟาประกอบไปด้วย
- ก. 2 โพรตอน ข. 2 โพรตอน กับ 2 อิเล็กตรอน
- ค. 2 โพรตอน กับ 2 นิวตรอน** ง. 4 โพรตอน

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี

เมื่อธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวจะเปลี่ยนเป็นธาตุใหม่ใช้หลักการBalance สมการ

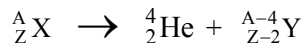
1. ผลบวกของเลขมวลตอนก่อน = ผลบวกของเลขมวลตอนหลัง

$$\sum A_{\text{ตอนก่อน}} = \sum A_{\text{ตอนหลัง}}$$

2. ผลบวกของเลขอะตอมตอนก่อน = ผลบวกของเลขอะตอมตอนหลัง

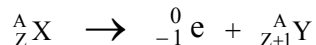
$$\sum Z_{\text{ตอนก่อน}} = \sum Z_{\text{ตอนหลัง}}$$

- 2.1. สมมติธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้แอลฟา(α) 1 ตัว



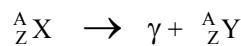
จะได้ธาตุเลขมวลลดลงจากเดิม 4 เลขอะตอมลดลง 2

- 2.2. สมมติธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้บีตา บีตา(-) 1 ตัว



จะได้ธาตุใหม่เลขมวลของธาตุเท่าเดิม แต่เลขอะตอมเพิ่มหนึ่ง

- 2.3. สมมติธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวให้แกมมา(γ) 1 ตัว



จะได้ธาตุตัวเดิม เลขอะตอม เลขมวลไม่เปลี่ยนแปลง

แบบฝึกหัดที่ 20.3

1. (O-NET 50) นิวเคลียสของเรเดียม-226 (${}_{88}^{226}\text{Ra}$) มีการสลายโดยการปล่อยอนุภาคแอลฟา 1 ตัว และรังสีแกมมาออกมาจะทำให้ ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ กลายเป็นธาตุใด
1. ${}_{84}^{218}\text{Po}$ 2. ${}_{86}^{222}\text{Rn}$
3. ${}_{90}^{230}\text{Th}$ 4. ${}_{94}^{234}\text{U}$
2. (O-NET 51) ในการสลายตัวของ ${}^{14}_6\text{C}$ นิวเคลียสของ C-14 ปล่อยอิเล็กตรอนออกหนึ่งตัว นิวเคลียสใหม่จะมีประจุเป็นกี่เท่าของประจุโปรตอน
1. 5 2. 7
3. 13 4. 15

3. (O-NET 51) อัตราการสลายตัวของกลุ่มนิวเคลียสกัมมันตรังสี A ขึ้นกับอะไร
1. อุณหภูมิ
 2. ความดัน
 3. ปริมาณ
 4. จำนวนนิวเคลียส A ที่มีอยู่
4. (O-NET 51) นิวเคลียสของเรเดียม-226 มีการสลายดังสมการข้างล่าง x คืออะไร
- $${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + x$$
1. รังสีแกมมา
 2. อนุภาคบีตา
 3. อนุภาคนิวตรอน
 4. อนุภาคแอลฟา
5. (Ent) ธาตุ A สลายเป็นธาตุ B โดยปล่อยรังสีบีตาออกมา ธาตุทั้งสองจะมีจำนวนใดเท่ากัน
- ก. นิวตรอน
 - ข. โปรตอน
 - ค. ผลรวมของนิวตรอนและโปรตอน
 - ง. ผลต่างของนิวตรอนและโปรตอน
6. (Ent) จากธาตุไอโซโทปของยูเรเนียม ${}^{238}_{92}\text{U}$ สลายตัวแบบอนุกรมได้อนุภาคแอลฟา รวม 8 ตัวและอนุภาคบีตา รวม 6 ตัว และได้ไอโซโทปของธาตุใหม่อีก 1 ตัว อยากทราบว่าไอโซโทปของธาตุใหม่มีเลขมวลและเลขอะตอมตรงกับข้อใด
- ก. 91 , 324
 - ข. 92 , 206
 - ค. 234 , 91
 - ง. 206 , 82
7. (Ent) ในการสลายตัวต่อ ๆ กันของธาตุกัมมันตรังสี โดยเริ่มจาก ${}^{238}_{92}\text{U}$ เมื่อสลายให้อนุภาคทั้งหมดเป็น 2α , 2β , และ 2γ จะทำให้ได้นิวเคลียสใหม่ มีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนเท่าใด
- ก. จำนวนโปรตอน 88 จำนวนนิวตรอน 140
 - ข. จำนวนโปรตอน 90 จำนวนนิวตรอน 140
 - ค. จำนวนโปรตอน 88 จำนวนนิวตรอน 142
 - ง. จำนวนโปรตอน 90 จำนวนนิวตรอน 142
8. (Ent) เมื่อบิสมัท ${}^{214}_{83}\text{Bi}$ สลายตัวให้รังสีบีตาลบ นิวเคลียสของธาตุใหม่คือ
- ก. ${}^{210}_{82}\text{Pb}$
 - ข. ${}^{210}_{83}\text{Bi}$
 - ค. ${}^{214}_{85}\text{At}$
 - ง. ${}^{214}_{84}\text{Po}$

เวลาครึ่งชีวิต (Half Life)

ตอนแรกมีมวลเริ่มต้น N_0 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ช่วงครึ่งชีวิตเหลือ $N = \frac{N_0}{2^1}$

ตอนแรกมีมวลเริ่มต้น N_0 เมื่อเวลาผ่านไป 2 ช่วงครึ่งชีวิตเหลือ $N = \frac{N_0}{2^2}$

ตอนแรกมีมวลเริ่มต้น N_0 เมื่อเวลาผ่านไป n ช่วงครึ่งชีวิตเหลือ $N = \frac{N_0}{2^n}$ (4.1)

เวลาผ่านไป T วินาที คิดเป็น 1 ช่วงครึ่งชีวิต

เวลาผ่านไป t วินาที คิดเป็น $n = \frac{t}{T}$ ช่วงครึ่งชีวิต (4.2)

แทน (4.2) ใน (4.1) จะได้ $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^n}$

จะได้ $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$ (4.3)

เมื่อ N_0 คือ มวลเริ่มต้น N คือ มวลที่เหลือ t คือ เวลาผ่านไป T คือ เวลาครึ่งชีวิต

แบบฝึกหัดที่ 20.4

- (O-NET 49) นักโบราณคดีตรวจพบเรือไม้โบราณลำหนึ่งว่ามีอัตราส่วนของปริมาณ C-14 ต่อ C-12 เป็น 25 % ของอัตราส่วนสำหรับสิ่งที่ยังมีชีวิต สันนิษฐานได้ว่าซากเรือนี้มีอายุประมาณกี่ปี กำหนดให้ครึ่งชีวิตของ C-14 เป็น 5,730 ปี
 1. 2,865
 2. 5,730
 3. 11,460
 4. 22,920
- (O-NET 49) ไอโอดีน-128 มีครึ่งชีวิต 25 นาที ถ้าเริ่มต้นมีไอโอดีน-128 อยู่ 400 มิลลิกรัม ไอโอดีน-128 จะลดลงเหลือ 100 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไปกี่นาที (50 นาที)
- (O-NET 51) ไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุไอโอดีน- 128 มีครึ่งชีวิต 25 นาที ถ้ามีไอโอดีน-128 ทั้งหมด 256 กรัม จะใช้เวลาเท่าไรจึงจะเหลือไอโอดีน-128 อยู่ 32 กรัม
 1. 50 นาที
 2. 1 ชั่วโมง 15 นาที
 3. 1 ชั่วโมง 40 นาที
 4. 3 ชั่วโมง 20 นาที
- (O-NET 51) ธาตุกัมมันตรังสีใดที่ใช้ในการคำนวณหาอายุของโบราณวัตถุ
 1. I-131
 2. Co-60
 3. C-14
 4. P-32
- (Ent) ธาตุไอโอดีน - 126 มีครึ่งชีวิต 12 วัน นาย ข ได้รับธาตุไอโอดีน - 126 เข้าไปในร่างกาย 16 กรัม เป็นเวลานานกี่วันไอโอดีน- 126 ในร่างกายของนาย ข จึงลดลงเหลือ 2 กรัม
 - ก. 12 วัน
 - ข. 24 วัน
 - ค. 36 วัน
 - ง. 48 วัน
- (Ent) ไอโซโทปของโซเดียม $^{24}_{11}\text{Na}$ มีครึ่งชีวิต 15 ชั่วโมง จงหาว่าเวลาผ่านไป 75 ชั่วโมงนิวเคลียสของไอโซโทปนี้จะสลายไปแล้วประมาณกี่เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสารที่ดั้งเดิม ถ้าตอนเริ่มแรกนิวเคลียสของไอโซโทปนี้มีค่า 5 คูรี
 - ก. 75 %
 - ข. 87 %
 - ค. 94 %
 - ง. 97 %
- (Ent) สารกัมมันตรังสีชนิดหนึ่งมีค่ากัมมันตภาพ 256 คูรี พบว่าเวลาผ่านไป 6 นาที กัมมันตภาพลดลงเหลือ 32 คูรี จงหาครึ่งชีวิตและค่ากัมมันตภาพที่เหลืออยู่หลังจากเวลาผ่านไปอีก 8 นาที
 - ก. 2 นาที 2 คูรี
 - ข. 2 นาที 30 คูรี
 - ค. 4 นาที 8 คูรี
 - ง. 4 นาที 24 คูรี
- (Ent) สารกัมมันตรังสีโคบอลต์- 60 สลายตัวให้รังสีบีตาและรังสีแกมมา โดยมีครึ่งชีวิต 5.3 ปี จงหาเปอร์เซ็นต์ของสารกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป 15.9 ปี
 - ก. 6.25 %
 - ข. 12.5 %
 - ค. 18.75 %
 - ง. 25 %
- (Ent) ต้องใช้เวลานานเท่าใด ธาตุกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตเท่ากับ 30 ปี จึงจะมีปริมาณเหลือเพียงร้อยละ 10 ของของเดิม
 - ก. 80 ปี
 - ข. 100 ปี
 - ค. 120 ปี
 - ง. 240 ปี
- (Ent) ในการหาอายุของวัตถุโบราณชิ้นหนึ่งโดยการวัดปริมาณของคาร์บอน - 14 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 5,570 ปี พบว่ามีปริมาณคาร์บอน - 14 ที่เหลืออยู่ในปัจจุบันเท่ากับ 1/8 เท่าของปริมาณที่มีอยู่ในตอนแรก วัตถุโบราณชิ้นนี้มีอายุเท่าไร
 - ก. 11,140 ปี
 - ข. 16,710 ปี
 - ค. 22,280 ปี
 - ง. 44,560 ปี

การสลายตัวของนิวเคลียสกับกัมมันตรังสี

รัทเธอร์ฟอร์ดและซอดดิกได้ตั้งสมมติฐานเพื่อใช้อธิบายการสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสีไว้ดังนี้

1. ธาตุกัมมันตรังสีจะแตกตัวออกให้อนุภาคแอลฟาหรือบีตาได้สารใหม่ และสารใหม่ที่เกิดขึ้นนี้อาจจะมีการแผ่กัมมันตภาพรังสีต่อไปได้อีก

2. ในการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี เราไม่สามารถจะบอกได้ว่านิวเคลียสใดจะสลายก่อนหรือหลังแต่เราสามารถบอกได้เพียงว่านิวเคลียสทุกตัวมีความน่าจะเป็นที่จะสลายตัวเท่ากันหมดและอัตราการสลายจะขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียส(นิวเคลียสที่พร้อมจะสลาย) ในขณะนั้น

ถ้าที่เวลา t_1 ให้ธาตุกัมมันตรังสีมีจำนวนนิวเคลียสอยู่ N_1

และที่เวลา t_2 ให้ธาตุกัมมันตรังสีมีจำนวนนิวเคลียสอยู่ N_2

$$\therefore \text{อัตราการลดของนิวเคลียส} = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1}$$

โดย $\Delta N = N_2 - N_1 =$ การเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียส

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \text{เวลาที่ผ่านไป}$$

จากสมมติฐานข้อ 2 จะได้อธิบายอัตราการสลายขึ้นอยู่กับจำนวนนิวเคลียสที่มีอยู่ขณะนั้น

$$\therefore -\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N$$

$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = A = \lambda N \dots\dots\dots(4.4)$$

โดย $\lambda =$ ค่าคงที่ของการสลายตัว

$N =$ จำนวนนิวเคลียสของธาตุกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ขณะนั้น

$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = A =$ อัตราการสลายตัวของนิวเคลียส มีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าเป็นอัตราการลด

หน่วยกัมมันตรังสี

$$1 \text{ คูรี (ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ เบ็คเคอเรล (Bq)}$$

ความสัมพันธ์ของอัตราการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสีกับครึ่งชีวิต

กัมมันตภาพ (อัตราการสลายตัว A)	จำนวนนิวเคลียสของ ธาตุกัมมันตรังสีที่เหลืออยู่	เวลาครึ่งชีวิต (T)
$A = \lambda N$	$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$	$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$
	$\frac{g}{m} = \frac{N_0}{N_A}$	$T = \frac{0.693}{\lambda}$

กำหนดให้

A แทน กัมมันตภาพ

λ แทน ค่าคงที่ของการสลายตัว

N แทน จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่

N_0 แทน จำนวนนิวเคลียสเริ่มต้น

t แทน เวลาที่ผ่านมา

T แทน เวลาครึ่งชีวิต

แบบฝึกหัดที่ 20.5

- (Ent) ถ้ามี $^{226}_{88}\text{Ra}$ จำนวน N นิวเคลียส มีกัมมันตภาพ A มิลลิวูรี ค่าคงตัวของการสลายตัวต่อวินาทีคือข้อใด (กำหนดให้ 1 วูรีเท่ากับการสลาย 3.7×10^{10} ต่อวินาที)

ก. $3.7 \times 10^7 \frac{A}{N}$ ข. $3.7 \times 10^7 \frac{N}{A}$ ค. $\frac{A}{3.7 \times 10^7 N}$ ง. $\frac{N}{3.7 \times 10^7 A}$
- (Ent) ธาตุกัมมันตรังสีจำนวนหนึ่ง มีกัมมันตภาพ 1 ไมโครวูรี และมีครึ่งชีวิตเท่ากับ 1,000 ปี จำนวนนิวเคลียสกัมมันตรังสีขณะนั้นเป็นเท่าใด (1 วูรี = 3.7×10^{10} เบ็คเคอเรล)

ก. 3.7×10^7 ข. 5.3×10^7 ค. 3.7×10^9 ง. 5.3×10^9
- (Ent) ค่าคงตัวของการสลายตัว ของ $^{232}_{90}\text{Th}$ เท่ากับ 1.6×10^{-18} (วินาที⁻¹) ถ้ามี $^{232}_{90}\text{Th}$ อยู่ 1 กิโลกรัม ให้หาอัตราการสลายตัวเป็นอะตอมต่อวินาที ($N_A = 6 \times 10^{23}$ ต่อโมล)

ก. 4.1×10^3 ข. 9.6×10^5 ค. 4.1×10^6 ง. 9.6×10^8
- (Ent) ไอโอดีน - 131 มีค่าคงตัวของการสลายตัวเท่ากับ 0.087 ต่อวัน ถ้ามี ไอโอดีน - 131 อยู่ 10 กรัม ตอนเริ่มต้นเมื่อเวลาผ่านไป 24 วัน จะมี ไอโอดีน - 131 เหลืออยู่เท่าใด

ก. 0.63 กรัม ข. 1.25 กรัม ค. 2.50 กรัม ง. 5.00 กรัม

การทดลองอุปมาอุปมัย การทอดลูกเต๋ากับการสลายของธาตุกัมมันตรังสี

ลูกเต๋าคือเหลือ	ครึ่งชีวิต (ลูกเต๋า)	โอกาสหยางหน้าที่แต้มสี่
$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^t$	$T = \frac{0.693}{\lambda}$	$\lambda = \frac{\text{จำนวนหน้าที่แต้มสี่}}{\text{จำนวนหน้าที่ทั้งหมด}}$

เมื่อ N_0 แทน จำนวนลูกเต๋าคอนแรก N แทน จำนวนลูกเต๋าคือเหลือ
 t แทน จำนวนครั้งที่ทอดลูกเต๋า λ แทน โอกาสหยางหน้าที่แต้มสี่
 T แทน จำนวนครั้งที่ทอดแล้วลูกเต๋าคือเหลือครึ่งหนึ่งของเดิม

แบบฝึกหัดที่ 20.6

- (O-NET 50) กิจกรรมการศึกษาที่เปรียบเทียบการสลายกัมมันตรังสีกับการทอดลูกเต๋านั้น จำนวนลูกเต๋าคือถูกคัดออกเทียบได้กับปริมาณใด
 - เวลาครึ่งชีวิต
 - จำนวนนิวเคลียสตั้งต้น
 - จำนวนนิวเคลียสที่เหลืออยู่
 - จำนวนนิวเคลียสที่สลาย
- (Ent) ลูกเต๋า 16 หน้า แต้มสี่ไว้ที่หน้าหนึ่งจำนวน 100 ลูก นำมาทอดและคัดลูกที่หน้าหนึ่งออก ทอดกี่ครั้งจึงจะเหลือลูกเต๋า 50 ลูก

ก. 8 ครั้ง ข. 9 ครั้ง ค. 10 ครั้ง ง. 11 ครั้ง

3. (Ent) ในการทดลองอุปมาอุปมัยของการทอดลูกเต๋ากับการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี โดยการโยนลูกเต๋าแล้วคัดหน้าที่ไม่แต้มสีออกไป ถ้าลูกเต๋ามี 6 หน้า มีหน้าที่แต้มสี 2 หน้า และมีจำนวน 9 ลูก จงหาว่าถ้าทำการโยนลูกเต๋าทั้ง 2 ครั้ง โศภิตจะเหลือจำนวนลูกเต๋าท่าใด

- ก. 10 ลูก ข. 30 ลูก ค. 40 ลูก ง. 56 ลูก

รัศมีนิวเคลียส

$$\text{รัศมีนิวเคลียส } R \propto A^{\frac{1}{3}}$$

$$\text{จะได้ } R = r_0 A^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(4.5)$$

เมื่อ R แทน รัศมีนิวเคลียส A แทน เลขมวล r_0 แทน 1.2×10^{-15} เมตร

แบบฝึกหัดที่ 20.7

- (Ent) ถ้ารัศมีนิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนเป็น 1.4×10^{-15} เมตร รัศมีนิวเคลียสของธาตุ ^{27}Al จะเป็นกี่เมตร
 ก. 4.2×10^{-15} เมตร ข. 5.6×10^{-15} เมตร ค. 12.6×10^{-15} เมตร ง. 27×10^{-15} เมตร
- (Ent) รัศมีนิวเคลียสของ ^{238}U มีค่าประมาณกี่เท่าของรัศมีนิวเคลียสของ 4He
 ก. 4 เท่า ข. 8 เท่า ค. 16 เท่า ง. 60 เท่า
- (Ent) ไอโซโทปของธาตุ $^{224}_{88}Ra$ มีรัศมีเป็นกี่เท่าของธาตุไอโซโทปของ $^{28}_{11}Na$
 ก. 2 เท่า ข. 3 เท่า ค. 4 เท่า ง. 5 เท่า

พลังงานยึดเหนี่ยว (B.E.)

มวลของนิวเคลียส เกิดจากมวลของโปรตอนและนิวตรอนรวมกัน แต่จากการทดลองพบว่า มวลของนิวเคลียส \neq มวลของโปรตอน + มวลของนิวตรอน มีมวลหายไปบางส่วนเรียกว่า **มวลพร่อง**
สูตรมวลพร่อง

$$\text{มวลพร่อง } \Delta m = \text{มวลของโปรตอน} + \text{มวลของนิวตรอน} - \text{มวลนิวเคลียส}$$

$$\text{มวลพร่อง } \Delta m = \text{มวลของไฮโดรเจน} + \text{มวลของนิวตรอน} - \text{มวลอะตอม}$$

$$\Delta E = \Delta m \times 931 \text{ หรือ } \Delta E = \Delta m \times 930 \text{ หน่วย MeV}$$

พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออน (พลังงานยึดเหนี่ยวต่อเลขมวล)

$$\frac{BE}{A} = \frac{\Delta m \times 931}{A} \text{ มีหน่วยเป็น MeV}$$

เพิ่มเติม

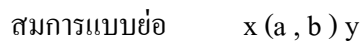
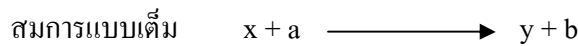
$\Delta E = +$ เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบคายพลังงาน
$\Delta E = -$ เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบดูดพลังงาน
$\Delta E =$ มวลรวมก่อนเกิดปฏิกิริยา - มวลรวมหลังเกิดปฏิกิริยา
$\Delta E =$ ผลรวมพลังงานยึดเหนี่ยวหลัง - ผลรวมของพลังงานยึดเหนี่ยวก่อน
$\Delta E =$ พลังงานจลน์ตอนหลัง - พลังงานจลน์ตอนก่อน

แบบฝึกหัดที่ 20.8

- (Ent) ถ้านิวเคลียสของธาตุ A มีมวล 4.0020 u และนิวเคลียสของธาตุ A นี้ ประกอบขึ้นด้วยโปรตอน และนิวตรอนอย่างละ 2 ตัว (มวลของโปรตอน=1.0073 U ,มวลของนิวตรอน=1.0087 u มวล 1 u เทียบเท่ากับพลังงาน 930 MeV) พลังงานยึดเหนี่ยวต่อนิวคลีออนของธาตุ A มีค่า
 ก. 2 MeV **ข. 7 MeV** ก. 14 MeV ง. 28 MeV
- (Ent) ธาตุตรีเทียมซึ่งมีเลขมวลอะตอมเป็น 1 เลขมวลเป็น 3 และมวลอะตอมเท่ากับ 3.016049 u จะมีพลังงานยึดเหนี่ยวเท่ากับเท่าใด กำหนดให้ เลขมวลของไฮโดรเจน = 1.007825 u มวลนิวตรอน = 1.008655 u และ 1 u = 930 MeV

ปฏิกิริยานิวเคลียร์

สำหรับการชนระหว่างนิวเคลียสกับนิวเคลียส หรือนิวเคลียสกับอนุภาคนั้น เขียนเป็นปฏิกิริยานิวเคลียสได้ดังนี้



กำหนดให้ x แทน นิวเคลียสที่ใช้เป็นเป้า y แทน นิวเคลียสของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้นภายหลังจากชน

a แทน อนุภาคที่วิ่งเข้ามาชนเป้า b แทน อนุภาคที่เกิดขึ้นภายหลังจากชน

หลักการ Balance สมการ

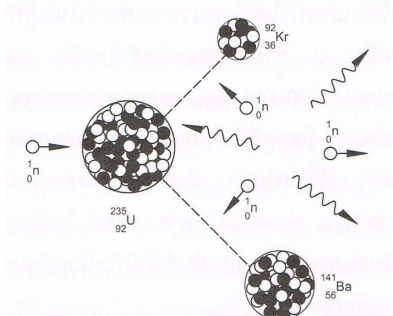
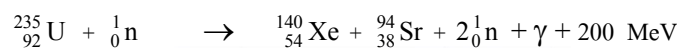
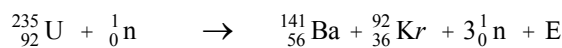
- ผลบวกของเลขมวลตอนก่อน = ผลบวกของเลขมวลตอนหลัง

$$\Sigma A_{\text{ตอนก่อน}} = \Sigma A_{\text{ตอนหลัง}}$$

- ผลบวกของเลขอะตอมตอนก่อน = ผลบวกของเลขอะตอมตอนหลัง

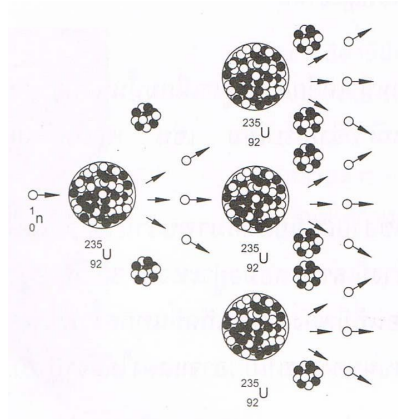
$$\Sigma Z_{\text{ตอนก่อน}} = \Sigma Z_{\text{ตอนหลัง}}$$

ปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission reaction) เกิดจากธาตุหนักถูกยิงด้วยนิวตรอน แล้วแตกเป็นธาตุเบา ปฏิกิริยาฟิชชันเป็นปฏิกิริยาแยกตัวของนิวเคลียส โดยมีนิวตรอนเป็นตัววิ่งเข้าชนนิวเคลียสหนักๆ ($A > 230$) เป็นผลทำให้นิวเคลียสที่มีขนาดปานกลาง และมีนิวตรอนที่มีความเร็วสูงเกิดขึ้นประมาณ 2-3 ตัว ทั้งมีการคายพลังงานออกมาด้วย ดังตัวอย่างปฏิกิริยาต่อไปนี้



รูป 4.2 แสดงการเกิดฟิชชันของยูเรเนียม-235

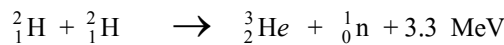
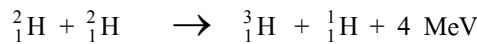
ปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain reaction) เป็นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิชชันที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยนิวตรอนที่เกิดขึ้นเป็นตัวยิงนิวเคลียสของธาตุต่อไป



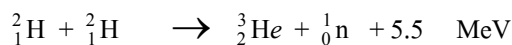
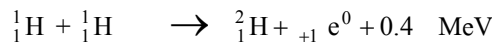
รูป 4.3 การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่

ปฏิกิริยาฟิวชัน (Fission reaction) เกิดจากธาตุเบาตั้งแต่สองธาตุรวมกันกลายเป็นธาตุหนัก ปฏิกิริยาฟิวชันเป็นปฏิกิริยาหลอมตัวของนิวเคลียสและมีพลังงานคายออกมาด้วย นิวเคลียสที่ใช้หลอมจะต้องเป็นนิวเคลียสเล็ก ๆ ($A < 20$) หลอมรวมกลายเป็นนิวเคลียสเบาที่ใหญ่กว่าเดิม

ตัวอย่างของปฏิกิริยาฟิวชันที่ทำได้ในห้องปฏิบัติการ



ตัวอย่างของปฏิกิริยาฟิวชันที่เกิดขึ้นบนดาวฤกษ์



ตาราง เปรียบเทียบ Fission และ Fusion

แบบฟิชชัน	แบบฟิวชัน
1. เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน	1. เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน
2. เป็นการแตกตัวนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขมวลมากได้ 2 เศษ	2. เป็นการหลอมรวมนิวเคลียสของธาตุที่มีเลขน้อยสองธาตุ
3. เกิดที่อุณหภูมิปกติได้	3. เกิดที่อุณหภูมิสูงมาก เช่น เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์
4. ให้พลังงานต่อปฏิกิริยามากกว่าแบบฟิวชัน	4. ให้พลังงานต่อปฏิกิริยาน้อยกว่าแบบฟิชชัน
5. ให้พลังงานต่อมวลน้อยกว่าแบบฟิวชัน	5. ให้พลังงานต่อมวลมากกว่าแบบฟิชชัน
6. สามารถควบคุมให้เกิดฟิชชันและปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ เครื่องมือผลิตพลังงานนิวเคลียร์ที่สามารถควบคุมอัตราการเกิดฟิชชันและปฏิกิริยาลูกโซ่ได้ เรียกว่า เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Nuclear Reactor)	6. ยังไม่สามารถควบคุมปฏิกิริยาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

แบบฝึกหัดที่ 20.9

- (O-NET 51) ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน (fusion)
 - เกิดที่อุณหภูมิต่ำ
 - ไม่สามารถทำให้เกิดบนโลกได้
 - เกิดจากนิวเคลียสของธาตุเบาหลอมรวมกันเป็นธาตุหนัก
 - เกิดจากการที่นิวเคลียสของธาตุหนักแตกตัวออกเป็นธาตุเบา
- (O-NET 52) ธาตุหรือไอโซโทปใดที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันที่เกิดขึ้นที่ดวงอาทิตย์
 - ไฮโดรเจน
 - ดิวเทอเรียม
 - ทริเทียม
 - ฮีเลียม
- (O-NET 53) โปรตอนและนิวตรอนสามารถอยู่รวมกันเป็นนิวเคลียสได้ด้วยแรงใด
 - แรงดึงดูดระหว่างมวล
 - แรงไฟฟ้า
 - แรงแม่เหล็ก
 - แรงนิวเคลียร์
- (O-NET 54) เหตุใดโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบันจึงต้องสร้างใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ
 - เพื่อให้มีน้ำเพียงพอต่อการดับไฟ กรณีไฟไหม้เตาปฏิกรณ์ปรมาณู
 - ใช้น้ำปริมาณมากในการถ่ายเทความร้อนจากเตาปฏิกรณ์ไปยังกังหันไอน้ำ
 - ใช้น้ำปริมาณมากในการทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของปฏิกิริยานิวเคลียร์
 - ต้องใช้นิวตรอนจำนวนมากจากน้ำ ในการเริ่มปฏิกิริยานิวเคลียร์
- (Emt) จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^2_1\text{H} + \text{X} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + n$ X ควรเป็นอนุภาคใด
 - อิเล็กตรอน
 - โปรตอน
 - ดิวเทอรอน
 - ทริทอน
- (Emt) จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^{15}_7\text{N} + \text{X}$ X คืออนุภาคใด
 - อิเล็กตรอน
 - โปรตอน
 - นิวตรอน
 - โพซิตรอน
- (Emt) จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ${}^{198}_{80}\text{Hg} (n, y) {}^{197}_{79}\text{Au}$ ถามว่า y คืออนุภาคใด
 - อนุภาคแอลฟา
 - โปรตอน
 - ดิวเทอรอน
 - ทริทอน

ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสี

- ทางอุตสาหกรรม ใช้หารอยร้าวของท่อ รอยร้าวของแผ่นโลหะ หรือใช้ควบคุมความหนาแน่นของแผ่นโลหะ
- ทางการเกษตร ใช้ปรับปรุงพันธุ์พืช วิจัยปุ๋ย (ยูเรเนียม-131) วิจัยโคเนม (${}^{131}_{53}\text{I}$) การถนอมอาหาร หรือศึกษาการปรุงอาหารของพืช
- ทางการแพทย์ ใช้รักษาโรคมะเร็ง (${}^{60}_{27}\text{Co}$) ตรวจการไหลเวียนของโลหิต (${}^{24}_{11}\text{Na}$)
- การหาวัตถุโบราณ หรือการหาอายุโลก จะใช้คาร์บอน-14 และยูเรเนียม (Uranium-lead dating)

อันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

กัมมันตภาพรังสี เมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อเยื่อ ทำให้เนื้อเยื่อตายทันที หรือมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทำให้เกิดโรคมะเร็ง

การป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

1. เนื่องจากปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่เราได้รับขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้นถ้าจำเป็นต้องเข้าไปใกล้บริเวณที่มีธาตุกัมมันตรังสี ควรใช้เวลาสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. เนื่องจากปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะลดลง ถ้าบริเวณนี้ อยู่ห่างแหล่งกำเนิดกัมมันตภาพรังสีมากขึ้น ดังนั้นจึงควรอยู่ห่างบริเวณที่มีธาตุกัมมันตรังสีให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
3. เนื่องจากปริมาณกัมมันตภาพรังสีชนิดต่าง ๆ มีอำนาจทะลุผ่านวัตถุได้ต่างกัน ดังนั้นจึงควรใช้วัตถุที่กัมมันตภาพรังสีผ่านได้ยากเป็นเครื่องกำบัง เช่น ไม้ตะกั่ว คอนกรีต กำบังรังสีแกมมาและรังสีบีตาได้ นิยมใช้น้ำ เป็นเครื่องกำบังนิวตรอน เป็นต้น

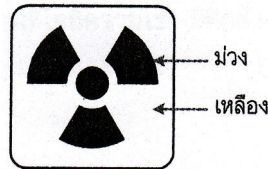
แบบฝึกหัดที่ 20.10

1. (O-NET 49) ข้อใดต่อไปนี้เป็นวิธีการกำจัดกากกัมมันตรังสีที่ดีที่สุด

1. เร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้นโดยใช้ความดันสูงมาก
2. เผาให้สลายตัวที่อุณหภูมิสูง
3. ใช้ปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบอื่น
4. ใช้คอนกรีตจริงให้แน่นแล้วฝังกลบใต้ภูเขา

2. (O-NET 50) เครื่องหมายดังรูปแทนอะไร

1. เครื่องกำหนดไฟฟ้าโดยกัมมันตรังสี
2. การเตือนว่ามีอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี
3. การเตือนว่ามีอันตรายจากสารเคมี
4. เครื่องกำหนดไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์



3. (O-NET 50) รังสีใดที่นิยมใช้ในการอาบรังสีผลไม้

1. รังสีเอกซ์
2. รังสีแกมมา
3. รังสีบีตา
4. รังสีแอลฟา

4. (O-NET 52) รังสีในข้อใดใช้สำหรับฉายฆ่าเชื้อโรคในเครื่องมือทางการแพทย์

1. รังสีแกมมา
2. รังสีบีตา
3. รังสีอินฟราเรด
4. รังสีแอลฟา

5. (O-NET 53) ในทางการแพทย์ไอโอดีน-131 นำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ตามข้อใด

1. ตรวจสอบการไหลเวียนของโลหิตในร่างกาย
2. ตรวจสอบการทำงานของต่อมไทรอยด์
3. รักษาโรคมะเร็ง
4. รักษาเนื้องอกในสมอง