

บทที่ 7

การสลายโดยการส่งอนุภาคเบตา (BETA - DECAY)

อนุภาคเบตา คือ อิเล็กตรอนที่ส่งออกมาจากนิวเคลียส การสลายโดยการส่งอนุภาคเบตา โพซิตรอน หรือการจับอิเล็กตรอน เป็นการสลายที่เรียกว่า การสลายแบบไอโซบาริก ทำให้ได้นิวเคลียสเป็นธาตุใหม่ (Z เปลี่ยนจากค่าเดิม) แต่มีเลขมวล (A) คงเดิม การสลายโดยการส่งอนุภาคเบตาทำให้พลังงานของอนุภาคเบตามีค่าต่าง ๆ กัน วัดได้เป็นสเปกตรัมของพลังงาน อธิบายได้ว่าเป็นการสลายที่ส่งอนุภาคออกมาจากนิวเคลียสพร้อมกับนิวตริโน โดยมีการแบ่งปันพลังงานระหว่างอนุภาคเบตาและนิวตริโน โดยไม่มีสัดส่วนที่แน่นอน ทำให้พบพลังงานค่าต่าง ๆ กัน ดังกราฟรูปที่ 7.4 ในหนังสือตำรา PH 424 พลังงานที่มีอนุภาคเบตาส่งออกมามากที่สุดจะเป็นพลังงานที่มีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานที่มีค่าสูงสุด คือประมาณ $\frac{1}{3}$ ของค่าพลังงานสูงสุด (พลังงานที่ได้แสดงไว้ในท้ายเล่มนั้นเป็นค่าพลังงานสูงสุด)

7.1 การวัดพลังงานของอนุภาคเบตา

ทำได้โดยให้อนุภาคเบตาเบนในสนามแม่เหล็ก จะหาความเร็วได้ แต่มวลของอนุภาคเบตามีค่าน้อยมากทำให้อนุภาคเบตาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง จำเป็นต้องนำทฤษฎีสัมพัทธภาพมาใช้ในการคำนวณด้วย

7.2 การดูดกลืนอนุภาคเบตา

ทำได้โดยการใช้วัดตามกั้นลำอนุภาค ความหนาของตัวกลางที่นำมากั้น จนกระทั่งอนุภาคไม่สามารถผ่านไปได้ จะเป็นระยะทางที่อนุภาควิ่งผ่านไปได้ในตัวกลางนั้น โดยการวัดความเข้มของลำอนุภาคที่ผ่านเข้าเครื่องวัด จะมีความหนาค่าหนึ่งที่ทำให้จำนวนอนุภาคที่ผ่านออกมาเข้าเครื่องวัดมีค่าคงที่ ไม่ว่าจะเพิ่มความหนาอีกเท่าไร ก็ยังคงวัดความเข้มของอนุภาคได้ค่าเท่าเดิม จะเรียกค่าที่วัดได้นี้ว่าเป็นจำนวนอนุภาคที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ณ ที่นั้น (background)

7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยและพลังงาน

โดยการสร้างกราฟระหว่างพลังงานของอนุภาคและความหนาของอะลูมิเนียมที่อนุภาควิ่งผ่านไปได้ จะได้ความสัมพันธ์สำหรับอนุภาคเบตาพลังงาน 0.8 จนถึง 3 เมมอีวี ดังนี้

$$R \times \rho = 0.54 E_m - 0.15$$

E_m คือพลังงานสูงสุดของอนุภาคเบตา

R คือระยะทางที่อนุภาคเบตาวิ่งผ่านไปได้ในสารที่มีความหนาแน่น ρ

7.4 การสร้างระดับพลังงานและแบบแผนแสดงการสลาย

ในการสร้างระดับพลังงาน จะต้องคำนวณให้ได้ก่อนว่าพลังงานในการสลายแต่ละวิธีการสลายนั้น มีค่าเท่าไร จะใช้สมการการสลายแบบไอโซบาริกจากบทที่ 2 แบบฝึกหัดในบทนี้ จะต่างจากบทที่ 2 ก็คือ บางทีเมื่อส่งอนุภาคเบตาแล้วอาจมีรังสีแกมมาส่งออกมาด้วย โดยอาศัยหลักที่ได้อธิบายไว้อย่างละเอียดแล้วในบทที่ 2 จะสามารถสร้างระดับพลังงานในการสลายได้

แบบฝึกหัดบทที่ 7

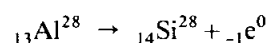
ข้อ 7.1 ไอโซโทป Al^{28} สลายโดยการส่งอิเล็กตรอน เกิดธาตุใหม่คือ Si^{28} จงหา

(ก) พลังงานในการสลาย

(ข) ถ้าพบอิเล็กตรอนพลังงาน 2.865 เอมอีวี จงหาพลังงานของรังสีแกมมา กำหนดมวลของ

$${}_{13}Al^{28} = 27.981908 \text{ เอเอมยู}, \quad {}_{14}Si^{28} = 27.976927 \text{ เอเอมยู}$$

เฉลย



$$\begin{aligned} \text{(ก) พลังงานในการสลาย} &= [M(Al^{28}) - M(Si^{28})] 931.5 \text{ เอมอีวี} \\ &= [27.981908 - 27.976927] 931.5 \\ &= 4.981 \times 10^{-3} \times 931.5 \\ &= 4.6398 \text{ เอมอีวี} \end{aligned}$$

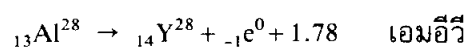
$$\text{(ข) พลังงานของรังสีแกมมา} = 4.639 - 2.865 = 1.77 \text{ เอมอีวี}$$

ข้อ 7.2 ไอโซโทป นิวไคลด์ Al^{28} มีมวล 27.981908 เอเอมยู สลายด้วยครึ่งชีวิต 2.3 นาที โดยการส่งอิเล็กตรอนพลังงาน 2.86 เอมอีวี และรังสีแกมมาพลังงาน 1.78 เอมอีวี

(ก) จงหามวลของนิวไคลด์ใหม่ที่เกิดขึ้น

(ข) จงเขียนแผนผังการสลาย

เฉลย

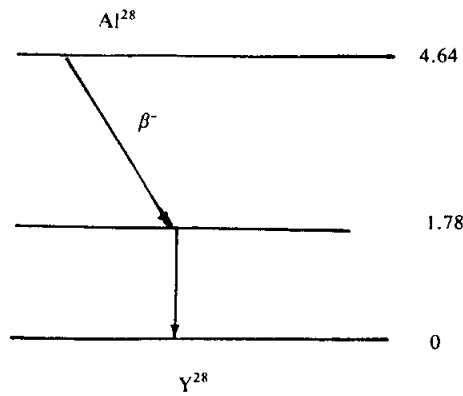


$$\begin{aligned} \text{พลังงานในการสลาย} &= 2.86 + 1.78 = 4.64 \text{ เอมอีวี} \\ &= \frac{4.64}{931.5} = 4.981213 \times 10^{-3} \text{ เอเอมยู} \end{aligned}$$

(ก) มวลของนิวไคลด์ใหม่คือ

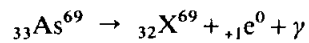
$$M(Y^{28}) = 27.981908 - 0.004981213 = 27.9769267 \text{ เอเอมยู}$$

(ข) แผนผังการสลาย



ข้อ 7.3 โจทย์ วัดพลังงานของโพซิตรอนจากการสลายของ ${}_{33}As^{69}$ ได้ 2.9 เอมอีวี และยังพบรังสีแกมมาพลังงาน 0.23 เอมอีวี ออกมาด้วย จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น ถ้ากำหนดมวลของ ${}_{33}As^{69} = 68.9323$ เอเอมยู

เฉลย



$$\text{พลังงานการสลาย } E = [M({}_{33}As^{69}) - M({}_{32}X^{69})]931.5 \quad \text{เอมอีวี}$$

$$\text{พลังงานการสลาย } E = 2.9 + 0.23 + 1.022$$

$$= 4.152 \quad \text{เอมอีวี}$$

$$= \frac{4.152}{931.5} = 0.0044573 \quad \text{เอเอมยู}$$

$$M({}_{32}X^{69}) = M({}_{33}As^{69}) - E$$

$$= 68.9323 - 0.0044573 \quad \text{เอเอมยู}$$

$$= 68.927846 \quad \text{เอเอมยู}$$

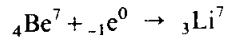
มวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้นคือ 68.927846 เอเอมยู

ข้อ 7.4 โจทย์ การสลายของ Be^7 โดยการเกิด E.C. พบรังสีแกมมาพลังงาน 0.477 เอมอีวี จงหาพลังงานในการสลายโดยการเกิด E.C. และเขียนแผนผังการสลาย กำหนดมวลในหน่วยเอเอมยูของ

$${}_4Be^7 = 7.016931,$$

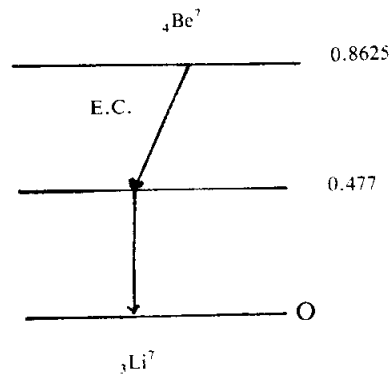
$${}_3Li^7 = 7.016005$$

เฉลย



$$\begin{aligned} \text{พลังงานการสลาย} &= |M(\text{Be}^7) - M(\text{Li}^7)|931.5 \text{ เมมอีวี} \\ &= |7.016931 - 7.016005|931.5 \\ &= 0.000926 \times 931.5 \\ &= 0.8625 \text{ เมมอีวี} \end{aligned}$$

แผนผังการสลาย



$$\text{พลังงานในการเกิด E.C.} = 0.8625 - 0.477 = 0.385 \text{ เมมอีวี}$$

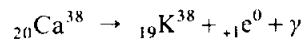
ข้อ 7.5 โจทย์ Ca^{38} สลายโดยการส่งโพซิตรอน และมีรังสีแกมมาออกมาด้วย

(ก) จงหาพลังงานทั้งหมดในการสลาย

(ข) ถ้ารังสีแกมมามีพลังงาน 3.5 เมมอีวี จงหาพลังงานของโพซิตรอน กำหนดมวลของ

$${}_{20}\text{Ca}^{38} = 37.9758 \text{ เอเอมยู}, \quad {}_{19}\text{K}^{38} = 37.96909 \text{ เอเอมยู}$$

เฉลย



$$\begin{aligned} \text{(ก) พลังงานในการสลาย} &= |M(\text{Ca}^{38}) - M(\text{K}^{38})|931.5 && \text{เมมอีวี} \\ &= |37.9758 - 37.96909|931.5 \\ &= 6.71 \times 10^{-3} \times 931.5 \\ &= 6.25 && \text{เมมอีวี} \\ \text{(ข) พลังงานของโพซิตรอน} &= 6.25 - 3.5 - 1.022 && \text{เมมอีวี} \\ &= 1.73 && \text{เมมอีวี} \end{aligned}$$

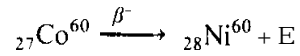
ข้อ 7.6 โจทย์ โคบอลต์ -60 สลายโดยการส่งเบตาเนกาตรอน พลังงาน 0.32 เอ็มอีวี และ
ยังพบรังสีแกมมา พลังงาน 1.333 และ 1.173 เอ็มอีวี จงหา

(ก) มวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น

(ข) เขียนแผนผังการสลาย

กำหนดมวลของ ${}_{27}\text{Co}^{60} = 59.93381$ เอเอ็มยู

เฉลย



$$\text{พลังงานการสลาย } E = 0.32 + 1.333 + 1.173 = 2.826 \quad \text{เอ็มอีวี}$$

$$= \frac{2.826}{931.5} = 0.0030338 \quad \text{เอเอ็มยู}$$

(ก) มวลของ Ni^{60} คือ

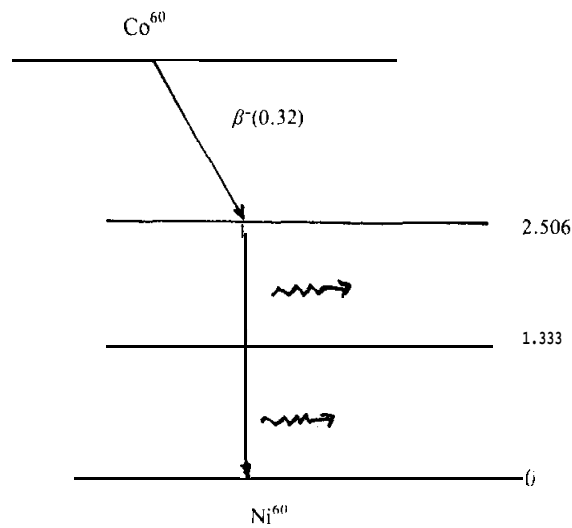
$$= M(\text{Co}^{60}) - \frac{E}{931.5}$$

$$= 59.93381 - 0.0030338$$

$$= 59.9307762$$

เอเอ็มยู

(ข) แผนผังการสลาย



ข้อ 7.7 ไอโซทอป ${}_{32}\text{Ge}^{77}$ สลายด้วยครึ่งชีวิต 11.3 ชั่วโมง โดยการส่งเบตาเนกาตรอน แล้วเกิดเป็น ${}_{33}\text{As}^{77}$ และยังมีพลังงานที่เหลือมาพลังงาน 0.264 เมกะอีวี

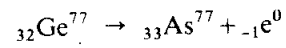
(ก) จงหาพลังงานของอนุภาคเบตาเนกาตรอน

(ข) เขียนแผนผังการสลาย

กำหนดมวลของ

$${}_{32}\text{Ge}^{77} = 76.9236 \text{ เอเอมยู}, \quad {}_{33}\text{As}^{77} = 76.92067 \text{ เอเอมยู}$$

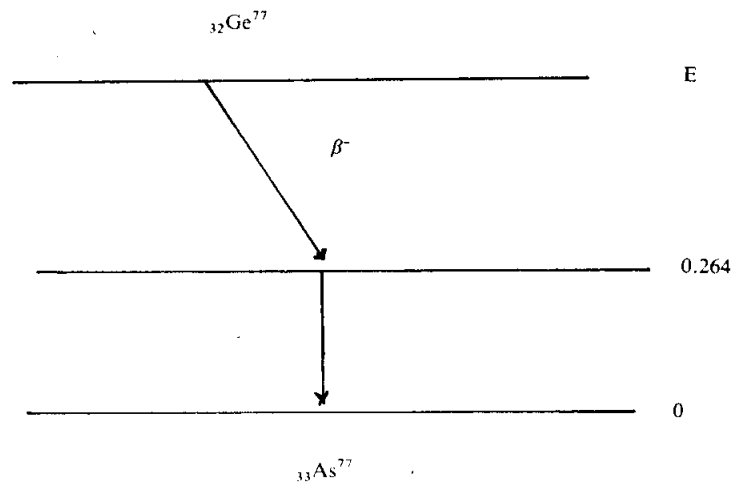
เฉลย



(ก) พลังงานการสลาย (E) = $[M(\text{Ge}^{77}) - M(\text{As}^{77})]931.5$ เอมจีวี
 = $[76.9236 - 76.92067]931.5$
 = $2.93 \times 10^{-3} \times 931.5$
 = 2.7292 เอมจีวี

พลังงานของอนุภาค = $2.7292 - 0.264$
 = 2.46 เอมจีวี

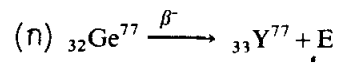
(ข) แผนผังการสลาย



ข้อ 7.8 ไอโซโทป ${}_{32}\text{Ge}^{77}$ สลายโดยการส่งอิเล็กตรอนพลังงาน 2.196 เมมอีวี และยังมีพบรังสีแกมมาพลังงาน 0.264 เมมอีวีออกมาด้วย

- (ก) จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น
 (ข) จงเขียนแผนผังการสลาย

เฉลย



พลังงานในการสลาย E = 2.196 + 0.264 = 2.46 เอเมอีวี

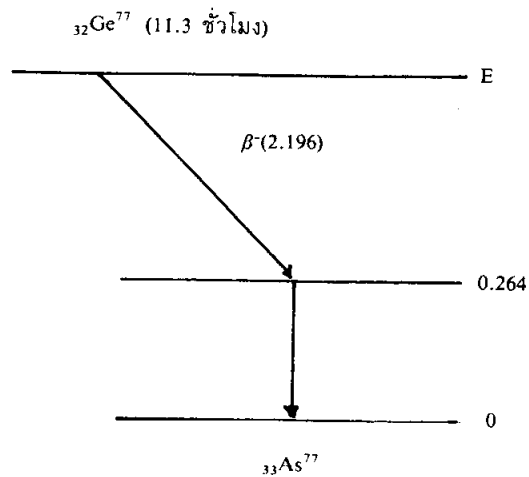
$$= \frac{2.46}{931.5} = 2.6409017 \times 10^{-3} \quad \text{เอเอมยู}$$

มวลของ ${}_{33}\text{Y}^{77}$ = $M(\text{Ge}^{77}) - \frac{E}{931.5}$ เอเอมยู

$$= 76.9236 - 0.0026409 \quad \text{เอเอมยู}$$

$$= 76.920959 \quad \text{เอเอมยู}$$

(ข) แผนผังการสลาย



ข้อ 7.9 ไอโซโทป K^{38} สลายโดยการส่งโพซิตรอนและรังสีแกมมา

(ก) จงหาพลังงานในการสลาย

(ข) ถ้าพบรังสีแกมมาพลังงาน 2.16 เมมอีวี จงหาพลังงานของโพซิตรอน กำหนดมวลในหน่วยเอเอ็มยูของ

$${}_{19}K^{38} = 37.96909,$$

$${}_{18}Ar^{38} = 37.962725$$

เฉลย



$$(ก) \text{ พลังงานในการสลาย} = [M(K^{38}) - M(Ar^{38})]931.5 \quad \text{เมมอีวี}$$

$$= [37.96909 - 37.962725]931.5$$

$$= 6.365 \times 10^{-3} \times 931.5$$

$$= 5.9289975$$

เมมอีวี

$$(ข) \text{ พลังงานของโพซิตรอน} = 5.9289 - 1.022 - 2.16$$

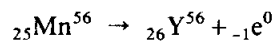
$$= 2.746$$

เมมอีวี

ข้อ 7.10 ไอโซโทป วัดพลังงานของอนุภาคเบตาเนกาตรอน จากการสลายของ Mn^{56} ได้ 2.84 เมมอีวี และยังพบรังสีแกมมาพลังงาน 0.85 เมมอีวี ออกมาด้วย จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น

$$\text{กำหนดมวลของ } {}_{25}Mn^{56} = 55.93891 \text{ เอเอ็มยู}$$

เฉลย



$$\text{พลังงาน } E = 2.84 + 0.85 = 3.69$$

เมมอีวี

$$\text{มวลของธาตุ } Y^{56} = M(Mn^{56}) - \frac{E}{931.5}$$

$$= 55.93891 - 0.00396$$

$$= 55.934948$$

เอเอ็มยู

$$\text{ธาตุที่เกิดขึ้นใหม่คือ } {}_{26}Fe^{56} \text{ มวล } 55.934948$$

เอเอ็มยู

ข้อ 7.11 ไอโซโทป ${}_{11}Na^{22}$ สลายโดยการส่งโพซิตรอน พลังงาน 0.544 เมมอีวี และพบรังสีแกมมา พลังงาน 1.274 เมมอีวีจงหา

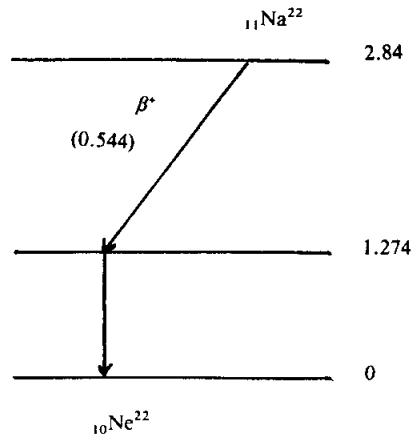
(ก) พลังงานในการสลาย

(ข) แผนผังการสลาย

เฉลย

(ก) พลังงานในการสลาย = $1.274 + 0.544 + 1.022 = 2.84$ เมมอีวี

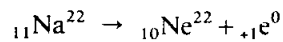
(ข) แผนผังการสลาย



ข้อ 7.12 โจทย์ จงหาพลังงานของอนุภาคโพซิตรอนที่ส่งออกมาจากการสลายของ Na^{22} เมื่อพบรังสีแกมมาพลังงาน 1.274 เมมอีวีด้วย
กำหนดมวลในหน่วย เอเอมยูของ

${}_{11}\text{Na}^{22} = 21.994435, \quad {}_{10}\text{Ne}^{22} = 21.991385$

เฉลย



พลังงานในการสลาย = $[M(\text{Na}^{22}) - M(\text{Ne}^{22})]931.5$ เมมอีวี
 $= [21.994435 - 21.991385]931.5$
 $= 3.05 \times 10^{-3} \times 931.5$
 $= 2.84$ เมมอีวี

พลังงานของโพซิตรอน = $2.841 - 1.274 - 1.022$
 $= 0.545$ เมมอีวี

ข้อ 7.13 โจทย์ การสลายของ O^{14} โดยการส่งโพซิตรอน พลังงาน 1.82 เมมอีวี และรังสีแกมมา พลังงาน 2.3 เมมอีวี

กำหนดมวลของ ${}_{8}\text{O}^{14} = 14.008597$ เอเอมยู และ ${}_{7}\text{N}^{14} = 14.0030744$ เอเอมยู

(ก) จงหาพลังงานทั้งหมดในการสลาย

(ข) ถ้า O^{14} สลายโดยการส่งโพซิตรอนมายังระดับกราว์นของ N^{14} จงหาพลังงานของโพซิตรอน

(ค) จงเขียนแผนผังการสลาย

เฉลย

(ก) พลังงานทั้งหมดในการสลาย = $1.82 + 1.02 + 2.3 = 5.14$

เอ็มอีวี

(ข) พลังงานของโพซิตรอน = $5.14 - 1.02 = 4.12$

เอ็มอีวี

(ค) แผนผังการสลาย

