

## บทที่ 2

### กัมมันตภาพรังสีที่ตนเอง

### ARTIFICIAL RADIOACTIVITY

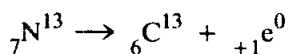
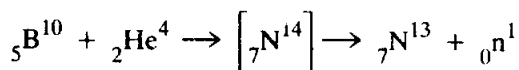
#### วัตถุประสงค์

เมื่อศึกษาบทนี้แล้วจะสามารถ

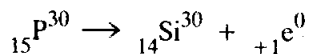
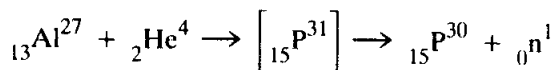
1. อธิบายกระบวนการสลายแบบไอโซบาริกและหาค่ากิวได้
2. กำหนดหาพลังงานการสลายในกระบวนการสลายแบบไอโซบาริกได้
3. กำหนดพลังงานของอนุภาคที่ส่งออกมาได้
4. หาค่ามวลของนิวไคลด์ที่เกิดใหม่ได้
5. เขียนแผนผังการสลายและแสดงระดับพลังงานได้
6. อธิบายถึงคุณสมบัติของธาตุทรานสยูเรเนียมได้

## 2.1 การค้นพบกัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นใหม่

เป็นการเริ่มยุคนิวเคลียร์ฟิสิกส์เมื่อคิวรีโอ และจูเลียท (Curio and Juliot) พบธาตุเกิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ในปี 1934 ขณะที่เขาศึกษาปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคแอลฟา กับนิวไคลด์เบาๆ เช่น โบรอน, แมกนีเซียม หรืออะลูมิเนียม โดยใช้อนุภาคแอลฟาจากการสลายของธาตุโปโลเนียม เรียกปฏิกิริยา  $(\alpha, p)$ ,  $(\alpha, n)$  และยังมีอนุภาคโพซิตรอนออกมาด้วย โพซิตรอน หรือ  $\beta^+$  เป็นอนุภาคหลักมูล (fundamental particle) มีมวลขณะอยู่นิ่งเท่ากับมวลของอิเล็กตรอนแต่มีประจุตรงข้าม แอนเดอร์สัน (Anderson) ได้พบอนุภาคนี้จากรังสีคอสมิก โดยดูจากภาพทางเดินของรังสีคอสมิก ในห้องหมอกของวิลสัน เมื่อให้สนามไฟฟ้า, ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



และ



ต่อมาพบว่า ครึ่งชีวิตของ  $\text{N}^{13} = 10$  นาที และ

ครึ่งชีวิตของ  $\text{P}^{30} = 2\frac{1}{2}$  นาที

## 2.2 กระบวนการส่งอิเล็กตรอน, โพซิตรอน และการจับอิเล็กตรอน

เครื่องหมายสี่เหลี่ยมสีดำ แสดงว่าเป็นนิวไคลด์เสถียรภาพ โดยมากมักมีอัตราส่วน  $N:Z = 1$ , สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม แสดงว่าเป็นนิวไคลด์ที่ส่งอนุภาคแอลฟา บางพวกจะส่งอิเล็กตรอนออกมามากแทนด้วยวงกลม และถ้าส่งโพซิตรอน จะแทนด้วยกากะบาท เครื่องหมายกากะบาทในวงกลม เป็นพวกนิวไคลด์ที่อาจสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน, โพซิตรอน หรือการจับอิเล็กตรอนก็ได้

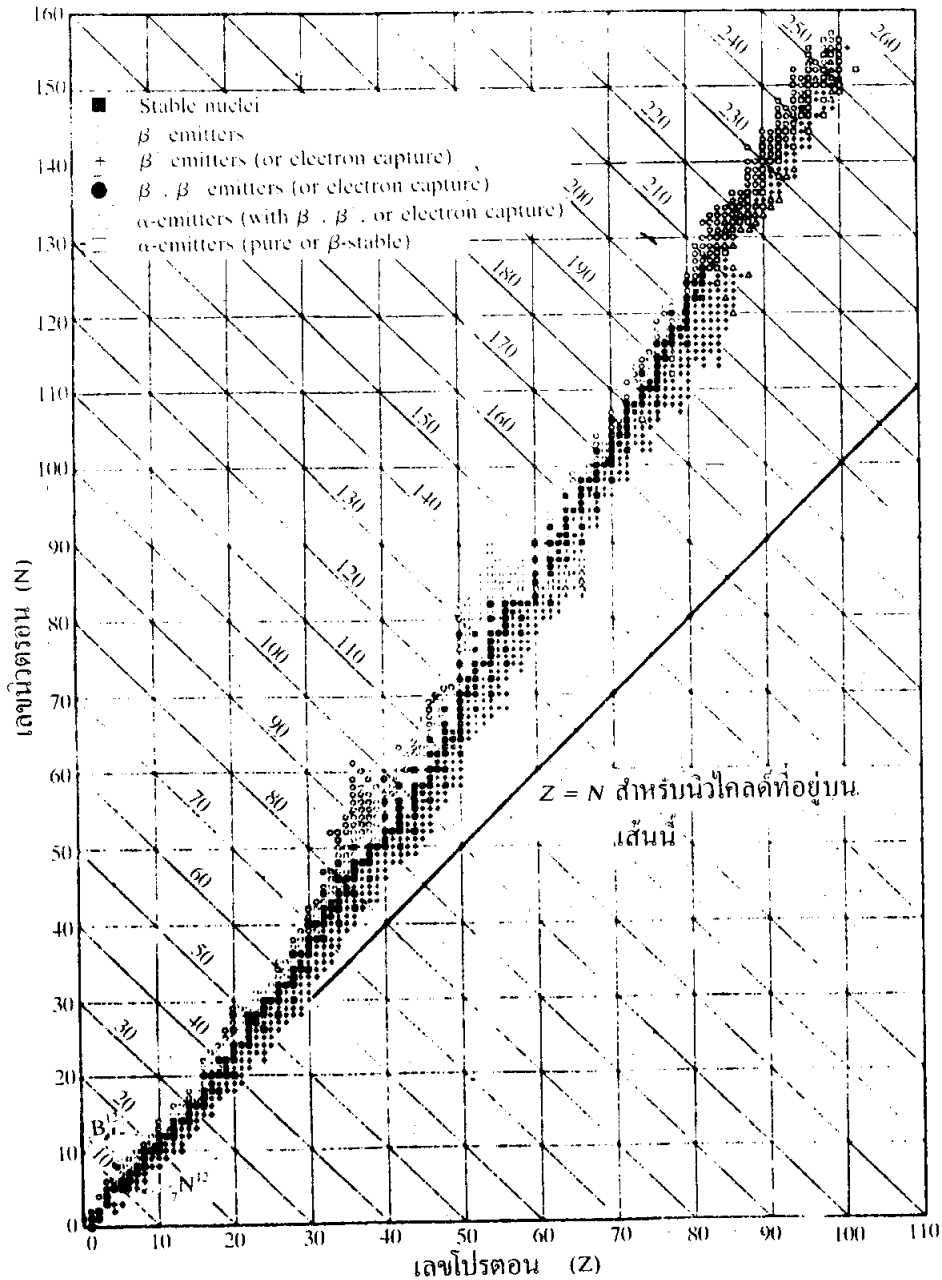
เส้นทแยงแทนนิวไคลด์ที่มีมวลเท่ากัน ( $A = Z + N$ ) เรียก **ไอโซบาร์** (Isobars)

เส้นตรงที่ขนานกับแกน X เป็นเส้นที่มีจำนวนนิวตรอน N เท่ากัน เรียก **ไอโซโทน** (Isotones)

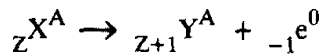
เส้นตรงที่ขนานกับแกน Y เป็นเส้นที่มีจำนวนโปรตอน Z เท่ากัน เรียก **ไอโซโทป** (Isotopes)

นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นส่วนมากมักอยู่เหนือ หรือต่ำกว่าแนวของนิวไคลด์เสถียรภาพ คือมีนิวตรอนมากเกินไป หรือน้อยเกินไป ทำให้เกิดการไม่เสถียรภาพ จะมีการสลายดังนี้

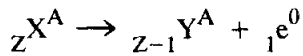
กรณีที่นิวตรอนในนิวเคลียสมากเกินไป นิวตรอนจะเปลี่ยนรูปเป็นโปรตอน แล้วส่งอนุภาคอิเล็กตรอนออกมาเพื่อเพิ่มประจุในนิวเคลียส



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิ (Chart) ของนิวไคลด์ที่รู้จัก

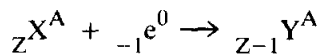


กรณีที่มีนิวตรอนในนิวเคลียสน้อยเกินไป (หรือโปรตอนมากเกินไป) โปรตอนจะถูกเปลี่ยนเป็นนิวตรอน แล้วส่งอนุภาคโพซิตรอนออกมาเพื่อลดประจุในนิวเคลียส



ประจุของนิวเคลียสยังอาจลดลงได้ โดยการที่นิวเคลียสจับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนอก (orbital electron) เกิดขึ้นได้เมื่ออิเล็กตรอนรอบนอกในวงโคจร เคลื่อนที่เข้ามาชิดกับนิวเคลียส ตามกลศาสตร์คลื่น (Wave mechanics) อิเล็กตรอนเป็นคลื่นจึงมีโอกาที่จะทะลุทะลวงผ่านเข้าไปในนิวเคลียส มักเป็นอิเล็กตรอนใน เค-เชล ของอะตอมที่มีค่า Z สูง คือมีโปรตอนมากเกินไป นั่นคือ

กรณีที่นิวไคลด์เป็นพวกที่มีโปรตอนมากเกินไป นิวเคลียสจะจับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนอกเข้าไป เพื่อลดประจุในนิวเคลียสดังสมการ



กรณีที่นิวเคลียสจับอิเล็กตรอนใน เค-เชล เรียก เค-แคปเจอร์ (K-capture) ถ้าอิเล็กตรอนในแอล-เชล ก็เรียก แอล-แคปเจอร์ (L-capture) การจับอิเล็กตรอนจะทำให้อิเล็กตรอนในเชลว่างลง อิเล็กตรอนในเชลอื่นจะเข้ามาแทนที่เกิดรังสีเอกซ์ เรียกค่าแรกเทอร์สติก เอกซ์-เรย์ จะเห็นว่า ในกระบวนการจับอิเล็กตรอนไม่มีการส่งอนุภาค แต่จะสังเกตได้จากการเกิดรังสีเอกซ์

บางที่จะเกิดการส่งอิเล็กตรอนที่อยู่รอบนอกออกมาพร้อม ๆ กับการจับอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนเหล่านี้เรียก ออเจอร์ อิเล็กตรอน มีลักษณะเป็น ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก ภายใน (internal photoelectric effect) ตัวอย่างเช่น การส่ง เค-เอกซ์เรย์ อาจจะมีการส่ง แอล-อิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์เท่ากับค่าแตกต่างระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์ และพลังงานยึดเหนี่ยวของ แอล-อิเล็กตรอน

ทั้งสามกระบวนการ คือ การส่งอิเล็กตรอน, โพซิตรอน และการจับอิเล็กตรอน เป็นกระบวนการสลาย ที่ทำให้ประจุในนิวเคลียสเปลี่ยนแปลง แต่เลขมวลมีค่าคงเดิม เรียก การเปลี่ยนแปลงแบบไอโซบาริก (Isobaric transformations)

ธาตุกัมมันตรังสี ทั้งที่เกิดตามธรรมชาติ และที่เกิดขึ้นใหม่มีเพียง หนึ่งในสาม ที่จะส่งแต่เฉพาะอนุภาคออกมา ส่วนที่เหลือจะส่งรังสีแกมมาออกมาด้วย

ปัญหาที่ว่า นิวไคลด์ที่เกิดขึ้นจะสลายโดยการส่ง อิเล็กตรอน, โพซิตรอน หรือจับอิเล็กตรอนหรือไม่ จะต้องพิจารณาพลังงานในการสลายซึ่งจะต้องคำนวณดังต่อไปนี้

### 1) กรณีการส่งอิเล็กตรอน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส ทำให้อิเล็กตรอนถูกส่งออกมา สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



พลังงานสมดุลของสมการ เรียกว่า ค่าคิว (Q - value) หาได้จากมวลที่ต่างกัน คือ

$$\frac{Q}{C^2} = M_n({}_Z X^A) - M_n({}_{Z+1} Y^A) - m_e \quad \dots (2.2)$$

เมื่อ  $M_n$  เป็นมวลของนิวเคลียส สำหรับแต่ละนิวไคลด์ ซึ่งได้เขียนไว้ในวงเล็บ และ  $m_e$  เป็นมวลของอิเล็กตรอน หน่วยเป็นกิโลกรัม

C คือความเร็วของแสง หน่วยเป็น เมตร/วินาที

Q คือพลังงาน หน่วยเป็นจูล

ในการคำนวณ ใช้มวลอะตอมแทนมวลของนิวเคลียส เขียนได้ดังนี้

$$M_a({}_Z X^A) = M_n({}_Z X^A) + Z m_e \quad (2.3)$$

เมื่อ  $M_a$  เป็นมวลอะตอม

สมการ (2.2) เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{Q}{C^2} = [M_a({}_Z X^A) - Z m_e] - [M_a({}_{Z+1} Y^A) - (Z+1) m_e] - m_e$$

$$\frac{Q}{C^2} = M_a({}_Z X^A) - M_a({}_{Z+1} Y^A)$$

$$Q = [M_a({}_Z X^A) - M_a({}_{Z+1} Y^A)] 931.5 \quad \dots (2.4)$$

เมื่อ Q มีหน่วยเป็น เอมอีวี

สมการ (2.4) แสดงว่า ถ้าค่าควมมีค่าเป็นบวก จะมีการส่งอิเล็กตรอนออกมา หรือการส่งอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$M_a({}_Z X^A) > M_a({}_{Z+1} Y^A)$$

พลังงานการสลายสำหรับการส่งอิเล็กตรอน (E)

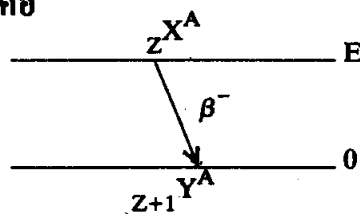
( $\beta^-$  - disintegration energy)

$$E = [M_a({}_Z X^A) - M_a({}_{Z+1} Y^A)] 931.5 \quad \dots (2.5)$$

ข้อสังเกต ในการคำนวณ พลังงานที่ทำให้สมการสมดุล (Energy balance ของสมการ หรือ Q-value) สำหรับการส่งอิเล็กตรอน จะหาได้จาก ค่าแตกต่างของมวล ในหน่วยเอเมอู แล้วคูณด้วย 931.5 (โดยประมาณ) ค่าควมที่ได้จะมีหน่วยเป็น เอเมอู

พอสรุปได้ว่า ในการส่งเบตาเนกาตรอน หรืออิเล็กตรอนที่ส่งออกมาจากนิวเคลียส เป็นผลให้เกิดธาตุใหม่ มีเลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย พลังงานในการสลายหาได้จาก ผลต่างของมวลอะตอมที่จะสลายเมื่ออยู่สภาวะกราวน์และมวลอะตอมใหม่ที่เกิดขึ้นที่สภาวะกราวน์ ในหน่วยเอเมอู คูณด้วย 931.5 จะได้หน่วยเป็นเอเมอู

แผนผังการสลายคือ



## 2) กรณีการส่งโพซิตรอน

เป็นการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส เขียนได้ว่า



ค่าควมของสมการ หาได้จากมวลที่ต่างกัน

$$\frac{Q}{c^2} = M_n({}_Z X^A) - M_n({}_{Z-1} Y^A) - m_e \quad \dots (2.7)$$

เปลี่ยนมวลของนิวเคลียสเป็นมวลอะตอม โดยใช้สมการ (2.3)

$$\begin{aligned} \frac{Q}{c^2} &= \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - Z m_e \right] - \left[ M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) - (Z-1) m_e \right] - m_e \\ &= M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) - 2 m_e \end{aligned}$$

เมื่อ  $2m_e = 2 \times 0.511 = 1.022$  เอมอีวี

$$Q = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 - 1.022 \quad \dots (2.8)$$

เมื่อ Q มีหน่วยเป็นเอมอีวี

ดังนั้น การส่งโพซิตรอนจึงเกิดได้เมื่อ

$$\left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 > 1.022 \text{ เอมอีวี}$$

ถ้าจะหาพลังงานในการสลายโดยการส่งโพซิตรอน ทำได้โดยทราบมวลของนิวไคลด์ที่จะสลายและมวลของนิวไคลด์ที่เกิดขึ้น นั่นคือ

**พลังงานการสลายสำหรับการส่งโพซิตรอน**

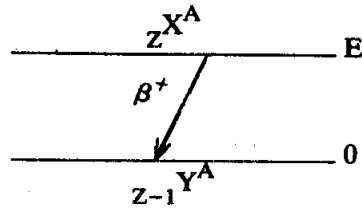
( $\beta^+$  - disintegration energy)

$$E = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 \quad \dots (2.9)$$

การส่งโพซิตรอน เป็นการสลายจากนิวเคลียส เพื่อลดประจุของนิวเคลียส พลังงานทั้งหมดในการสลายจะพิจารณา เมื่อนิวเคลียสเดิมอยู่ที่สภาวะกราว์นสลายเป็นนิวเคลียสใหม่ที่สภาวะกราว์น ส่วนพลังงานที่ส่งออกมาพร้อมกับโพซิตรอนหาได้จาก

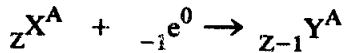
$$E_{\beta^+} = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 - 1.022 \text{ เอมอีวี}$$

แผนผังการสลายคือ



3) กรณีการจับอิเล็กตรอน (E.C)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



ค่าคิว ของสมการหาได้จากมวลที่ต่างกัน

$$\begin{aligned} \frac{Q}{c^2} &= M_n(zX^A) + m_e - M_n(z-1Y^A) \\ &= M_a(zX^A) - Z m_e + m_e - [M_a(z-1Y^A) - (Z-1) m_e] \\ &= M_a(zX^A) - M_a(z-1Y^A) \end{aligned}$$

$$Q = [M_a(zX^A) - M_a(z-1Y^A)] 931.5 \dots\dots\dots (2.10)$$

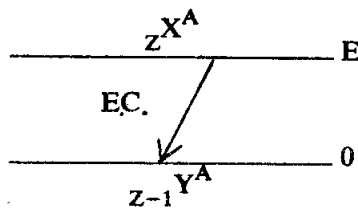
แสดงว่า การจับอิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นได้เมื่อ

$$M_a(zX^A) > M_a(z-1Y^A)$$

พลังงานการสลายโดยการเกิด EC

$$E = [M_a(zX^A) - M_a(z-1Y^A)] 931.5 \text{ เอมอีวี} \dots (2.11)$$

แผนผังการสลายจะเขียนได้ดังนี้





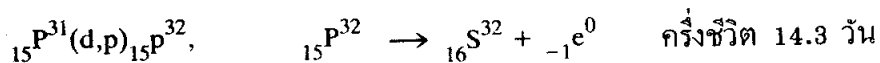
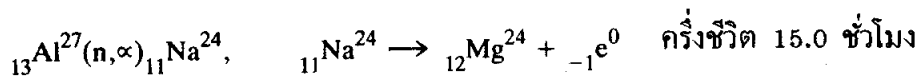
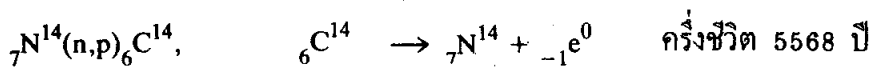
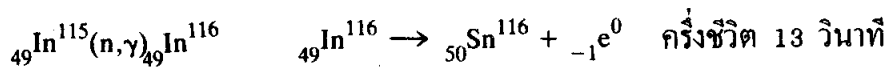
จากสมการ (2.8) และ (2.10) แสดงว่า นิวเคลียสมีโอกาสที่จะจับอิเล็กตรอนเข้าไปในนิวเคลียสมากกว่าการส่งโพซิตรอน สองกระบวนการนี้เกิดแข่งขันกัน แต่ถึงอย่างไรก็ดี การจับอิเล็กตรอน แม้แต่ เค-อิเล็กตรอน ก็ยังขึ้นกับโอกาสที่อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าไปชิดกับนิวเคลียสด้วย

$C^{11}$ ,  $N^{13}$ ,  $O^{15}$ ,  $F^{17}$ ,  $Ne^{19}$ ,  $Na^{21}$ ,  $Mg^{23}$  และ  $Al^{25}$  มีโปรตอนในนิวเคลียสมากเกินไป จึงสลายโดยการส่งโพซิตรอน

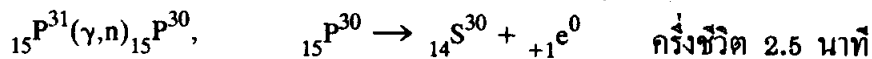
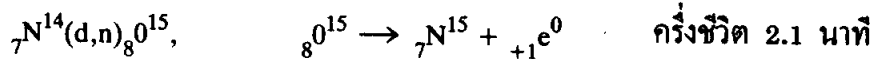
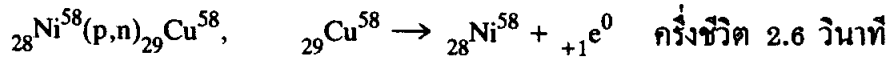
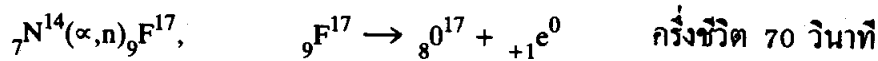
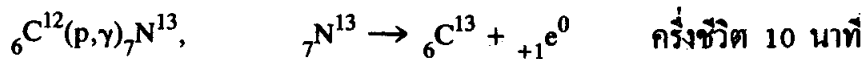
$C^{14}$ ,  $N^{16}$ ,  $F^{20}$ ,  $Ne^{23}$ ,  $Na^{24}$ ,  $Mg^{27}$  และ  $Al^{28}$  มีนิวตรอนในนิวเคลียสมากเกินไปจึงสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน

ไอโซโทปที่แสดงว่ามีการสลายได้ทั้ง 3 แบบ คือ ไอโอดีน โดยมีไอโซโทปที่มีเสถียรภาพเพียงไอโซโทปเดียว คือ  $_{53}I^{127}$  มีโปรตอน 53 ตัว และนิวตรอน 74 ตัว ไอโอดีนมีไอโซโทปกัมมันตรังสีถึง 17 ไอโซโทป จำนวนนิวตรอนตั้งแต่ 68 จนถึง 86 ตัว  $I^{121}$ ,  $I^{122}$  เป็นไอโซโทปที่มีจำนวนนิวตรอนน้อยที่สุด สลายโดยการส่งโพซิตรอน  $I^{122}$  ยังจับอิเล็กตรอนในวงโคจรเข้าไปรวมในนิวเคลียสอีก  $I^{124}$  บางทีก็จับอิเล็กตรอนในวงโคจร บางทีก็ส่งโพซิตรอน,  $I^{125}$  จับอิเล็กตรอนในวงโคจร,  $I^{126}$  บางทีก็จับอิเล็กตรอนในวงโคจร แต่บางทีก็ส่งอิเล็กตรอน,  $I^{128}$  ส่งอิเล็กตรอน 95% และจับอิเล็กตรอนในวงโคจร 5% ที่เหลืออีก 11 ไอโซโทป เป็นพวกที่มีนิวตรอนมากเกินไป จาก  $I^{129}$  จนถึง  $I^{139}$  สลายโดยการส่งอิเล็กตรอน ผลที่ได้จากบางไอโซโทปยังเป็นพวกที่ไม่เสถียรภาพและสลายอีก เช่น  $I^{133}$  สลายเป็น  $Xe^{133}$  ซึ่งไม่เสถียรภาพและสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน แล้วจึงเป็นไอโซโทป  $Cs^{133}$  ที่เสถียรภาพ

มีบางนิวไคลด์ที่เกิดปฏิกิริยา เช่น  $(n,\gamma)$ ,  $(n,p)$ ,  $(n,\alpha)$  และ  $(d,p)$  แล้วจะส่งอิเล็กตรอนออกมาอีก เช่น



การส่งโพซิตรอนจะเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้

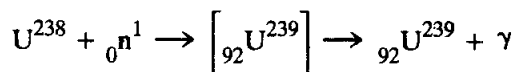


ปฏิกิริยา  $(\alpha,\text{p}), (\text{p},\alpha)$  และ  $(\text{d},\alpha)$  มักให้นิวไคลด์ที่เสถียรภาพ เช่น  $\text{N}^{14}(\alpha,\text{p})\text{O}^{17}$ ,  $\text{Al}^{27}(\alpha,\text{p})\text{Si}^{30}$ ,  $\text{F}^{19}(\text{p},\alpha)\text{O}^{16}$ ,  $\text{Al}^{27}(\text{p},\alpha)\text{Mg}^{24}$  และ  $\text{O}^{16}(\text{d},\alpha)\text{N}^{14}$ ,  $\text{Al}^{27}(\text{d},\alpha)\text{Mg}^{25}$

## 2.3 ธาตุทรานสยูเรเนียม

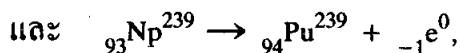
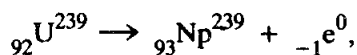
### (The Transuranium elements)

ในปฏิกิริยาการจับนิวตรอนแล้วให้รังสีแกมมา  $(\text{n},\gamma)$ , นิวไคลด์ที่เกิดขึ้นจะสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน ในปี 1934 เฟอร์มี พบว่า ถ้าใช้นิวตรอนยิงธาตุยูเรเนียม จะเกิดธาตุที่มีประจุของนิวเคลียสมากกว่า 92 ดังปฏิกิริยา



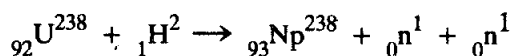
ถ้า  $\text{U}^{239}$  สลายโดยการส่งอิเล็กตรอน จะได้นิวเคลียสใหม่ที่มี  $Z = 93$ , ซึ่งเป็นธาตุที่ยังไม่มีใครรู้จัก ในการทดลองยิงนิวตรอนเข้าไปในยูเรเนียมนิวไคลด์ จะเกิดการส่งอนุภาคเบตาที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน 4 ค่า ตัวหนึ่งออกมาจาก  ${}_{92}\text{U}^{239}$ , จึงเป็นไปได้ว่า ธาตุที่ไม่รู้จักนั้นจะสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน เพื่อเกิดธาตุใหม่ที่มี  $Z = 94$  ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 92 เรียก ธาตุทรานสยูเรเนียม เพราะเลขที่ (number) ของอะตอมจะอยู่ถัดจากธาตุยูเรเนียมออกไป

ในปี 1940 พบว่า เมื่อยิงธาตุยูเรเนียมด้วยนิวตรอนช้า จะได้  $U^{239}$  มีครึ่งชีวิต 23 นาที และเป็นธาตุที่ส่งอิเล็กตรอนออกมา ต่อไปก็จะสลายเป็นไอโซโทปของธาตุใหม่ มีเลขอะตอม 93 สลายโดยการส่งอิเล็กตรอนมีครึ่งชีวิต 2.3 วัน ธาตุที่มีเลขอะตอม 93 เรียก เนปจูเนียม



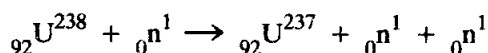
$Pu^{239}$  เป็นธาตุที่ส่งอนุภาคแอลฟา ( $\alpha$  - emitter), ด้วยครึ่งชีวิต 24,400 ปี

เมื่อใช้ดิวเทรียมเร็ว (จากไซโคลตรอน) ธาตุยูเรเนียมออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยา (d,2n) ดังนี้

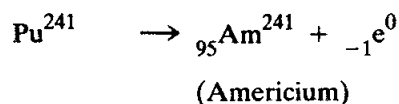
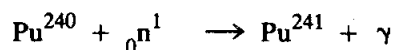
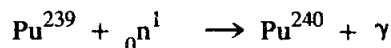


$Np^{238}$  ส่งอิเล็กตรอนเพื่อเป็น  $Pu^{238}$

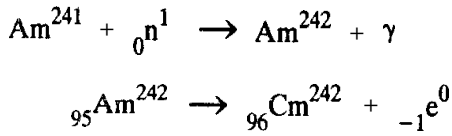
เมื่อใช้นิวตรอนเร็วยิงยูเรเนียมในปฏิกิริยา (n,2n), จะได้



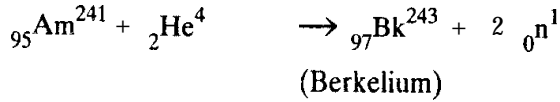
ไอโซโทป  ${}_{92}U^{237}$  เป็นนิวไคลด์ที่ส่งอิเล็กตรอน มีครึ่งชีวิต 6.8 วัน เกิดเป็น  $Np^{237}$  นิวไคลด์นี้เป็นตัวส่งอนุภาคแอลฟา ด้วยครึ่งชีวิต  $2.2 \times 10^6$  ปี ซึ่งเป็นครึ่งชีวิตที่ยาวที่สุดสำหรับนิวไคลด์ทรานสยูเรเนียม ไอโซโทปเนปจูเนียมยังได้มาจากการยิงธาตุยูเรเนียมด้วยดิวเทรียมพลังงาน 100 เอมอีวี จะเกิดนิวตรอน 4, 6 หรืออาจจะเกิดถึง 9 ตัว ยังมีปฏิกิริยาอื่นอีก เช่น



บางทีคิวเรียม (Curium =  ${}_{96}\text{Cm}^{242}$ ), อาจเกิดจากปฏิกิริยา



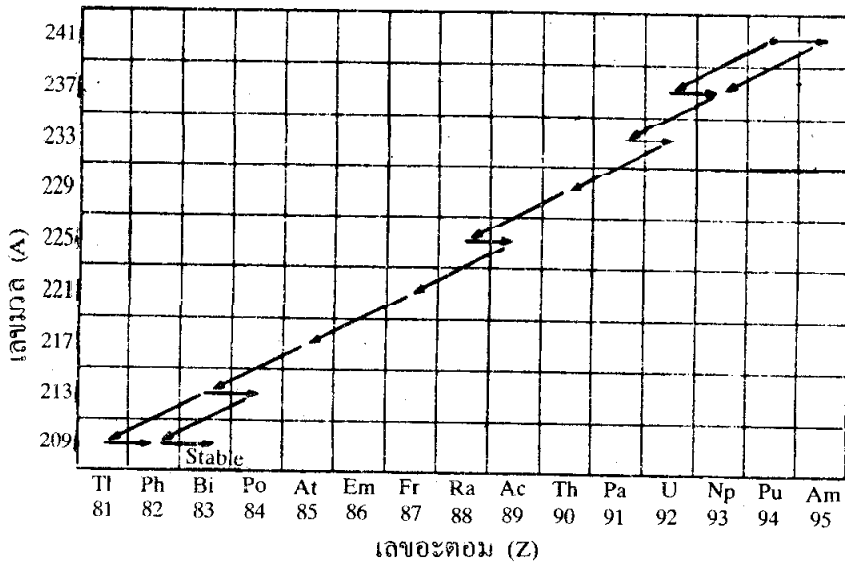
$\text{Am}^{241}$  เมื่อยิงด้วยอนุภาคแอลฟา จะเกิดธาตุใหม่ ดังสมการ



เป็นที่เชื่อกันว่า เมื่อมีการค้นคว้าต่อไป คงจะพบธาตุใหม่ๆ และไอโซโทปของธาตุอีกมากมาย

## 2.4 การสลายของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ประดิษฐ์ขึ้น (The artificial radionuclides)

ไอโซโทปของธาตุทรานสยูเรเนียม มักสลายโดยการส่งอนุภาคแอลฟา ในปี 1939 พบธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติที่ส่งอนุภาคแอลฟาเพียง 24 ธาตุเท่านั้น ต่อมารู้จักกันถึงประมาณ 150 นิวไคลด์ ประมาณ 50 ธาตุ เป็นพวกทรานสยูเรเนียม อีกพวกหนึ่งก็เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่อยู่ในอันดับ  $4n+1$  หรืออนุกรมเนปจูเนียม (Neptunium series.)



รูปที่ 2.2 อนุกรมเนปจูเนียม ( $4n+1$ )

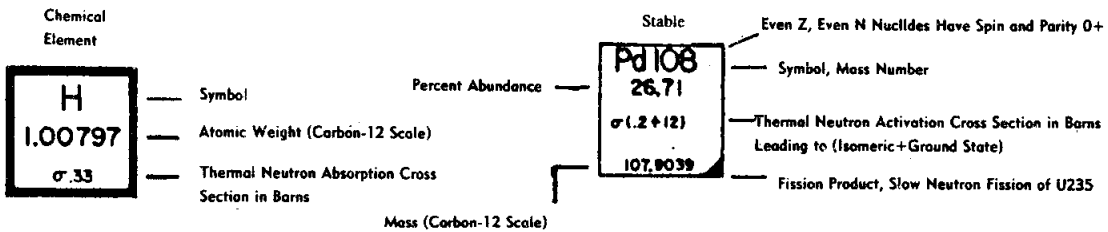
## 2.5 แผนภูมินิวไคลด์

### (Nuclide charts)

คือแผนผังที่ใช้อธิบายคุณสมบัติของนิวไคลด์ต่าง ๆ อย่างสั้น ๆ มีประโยชน์ในการศึกษานิวไคลด์ต่าง ๆ จึงได้นำมาแสดงเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น เลขอะตอม (Z), ได้แสดงไว้ตามแนวดิ่ง ส่วนเลขนิวตรอน (N) หรือ  $A-Z$  อยู่ตามแนวนอน แต่ละนิวไคลด์จะเขียนไว้ในกรอบสี่เหลี่ยม บอกค่าต่าง ๆ ไว้ดังนี้

- (1) สัญลักษณ์ของชื่อธาตุ
- (2) เลขมวล (ถ้าเสถียรภาพ อาจจะบอกเปอร์เซ็นต์อับนแดนซ์ไว้ด้วย)
- (3) ครึ่งชีวิต
- (4) วิธีการสลาย, ชนิดของรังสีที่ส่งออกมา
- (5) พลังงานของอนุภาคที่ส่งออกมา

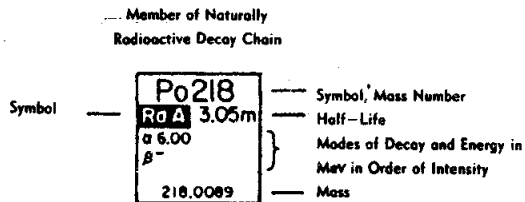
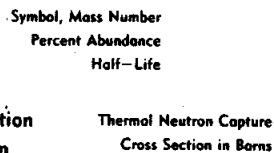
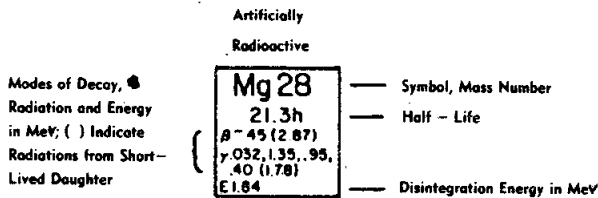
ธาตุที่อยู่ตามแนวนอน จะเป็นธาตุที่มีเลขอะตอมเหมือนกัน (ไอโซโทป) ส่วนธาตุที่อยู่ตามแนวเส้นทแยง จะมีเลขมวลเหมือนกัน (ไอโซบาร์) ดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4



## SYMBOLS

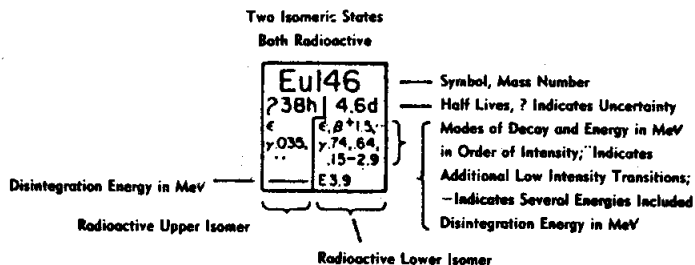
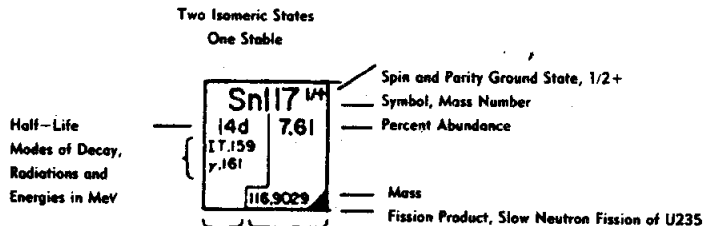
## RADIATIONS AND DECAY

$\alpha$	alpha particle
$\beta$	negative electron
$\beta^+$	positron
$\gamma$	gamma ray
n	neutron
p	proton
$\epsilon$	electron capture
$\sigma$	neutron cross section
IT	isomeric transition
D	radiation delayed
SF	spontaneous fission
E	disintegration energy



## TIME

$\mu\text{s}$	microseconds $10^{-6}\text{sec}$
s	seconds
m	minutes
h	hours
d	days
y	years



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างสำหรับบางนิวไคลด์ที่แสดงไว้ในแผนภูมินิวไคลด์



## สรุป

1. กระบวนการสลายแบบไอโซบาริกเป็นกระบวนการสลายที่ทำให้นิวไคลด์ที่เกิดขึ้นมีเลขมวลเหมือนกับนิวไคลด์เดิมก่อนที่จะสลายแต่เลขอะตอมต่างกัน เพราะเบตาเนกาตรอนหรือโพซิตรอนหรือการจับอิเล็กตรอนในวงโคจรเข้าไปรวมกับโปรตอนในนิวเคลียส ย่อมเป็นผลให้ประจุในนิวเคลียสเปลี่ยนไป จะต้องจำไว้ว่า กระบวนการสลายแบบนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในนิวเคลียส

2. พลังงานการสลายที่เกิดขึ้นในกระบวนการสลายแบบไอโซบาริกนั้น หาได้จากผลต่างของมวลของนิวไคลด์ที่จะสลาย และนิวไคลด์ใหม่ที่เกิดขึ้นในหน่วยเอเอ็มยู แล้วเปลี่ยนให้เป็นพลังงานโดยคูณด้วย 931.5 จะได้ค่าพลังงานการสลายในหน่วยเอเอ็มวี

3. การเปลี่ยนแปลงแบบไอโซบาริกซึ่งเป็นการสลายจากนิวเคลียส จำเป็นต้องเปลี่ยนมวลนิวเคลียสให้เป็นมวลอะตอมก่อน พลังงานของอนุภาคที่ส่งออกมาจากการสลายจะหาได้ดังนี้

โดยการส่งอิเล็กตรอน

$$E_{\beta^-} = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z+1} Y^A \right) \right] 931.5 \quad \text{เอเอ็มวี}$$

โดยการส่งโพซิตรอน

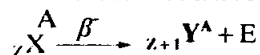
$$E_{\beta^+} = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 - 1.022 \quad \text{เอเอ็มวี}$$

โดยการจับอิเล็กตรอน

$$E_{E.C} = \left[ M_a \left( {}_Z X^A \right) - M_a \left( {}_{Z-1} Y^A \right) \right] 931.5 \quad \text{เอเอ็มวี}$$

4. การคำนวณมวลของนิวไคลด์ที่เกิดขึ้นใหม่นั้น จะต้องเขียนสมการการสลายก่อน แล้วพิจารณาค่าเลขอะตอม Z และพลังงาน E โดยมีเลขมวล A คงที่ เมื่อเขียนสมการได้แล้ว จะหามวลของนิวไคลด์ที่เกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น

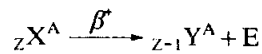
มวลที่เกิดขึ้นจากการสลายโดยการส่งอิเล็กตรอน



มวลที่เกิดขึ้นคือ  $M({}_{Z+1} Y^A) = M({}_Z X^A) - \frac{E}{931.5}$

มวลที่เกิดขึ้นโดยการส่งโพซิตรอน



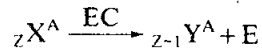


มวลที่เกิดขึ้น คือ  $M({}_{Z-1} Y^A) = M({}_Z X^A) - \frac{E}{931.5}$

$$E = Q + 1.022 \text{ หรือ}$$

$$= \text{พลังงานของอนุภาค} + 1.022 \text{ เมมอีวี}$$

มวลที่เกิดขึ้นจากการจับอิเล็กตรอน



มวลที่เกิดขึ้น คือ  $M({}_{Z-1} Y^A) = M({}_Z X^A) - \frac{E}{931.5}$

5. การเขียนแผนผังการสลาย จะพิจารณาจากสมการการสลายนั้น ๆ ค่าพลังงานการสลายทั้งหมดจะเป็นผลต่างของพลังงานของระดับกราว์นของนิวไคลด์ที่จะสลายกับระดับกราว์นของนิวไคลด์ที่เกิดใหม่ แกน X แทนเลขอะตอม Z ส่วนแกน Y แทนค่าพลังงาน E

6. ธาตุทรานสยูเรเนียม เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมที่มีค่าสูงกว่าธาตุยูเรเนียมในตารางธาตุคือตั้งแต่ 93 ขึ้นไป โดยการใช้นิวตรอนเข้าชนนิวเคลียสของธาตุยูเรเนียม แล้วปล่อยให้สลายโดยการส่งรังสีเบตา ทำให้เลขอะตอมเพิ่มขึ้น 1 หน่วย เมื่อปล่อยให้สลายต่อไป เลขอะตอมจะเพิ่มขึ้นอีก 1 หน่วย ธาตุที่เกิดขึ้นเรียก ธาตุทรานสยูเรเนียม

## แบบฝึกหัดบทที่ 2

- 2.1 อธิบายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เรียกการเปลี่ยนแปลงแบบไอโซบาริก พร้อมทั้งยกตัวอย่าง และเขียนสมการการสลาย สำหรับแต่ละกระบวนการ
- 2.2 ท่านรู้จักตัวพาพลังงานออกไปในการส่งอนุภาคเบตาอย่างไรบ้าง จงกล่าวถึงคุณสมบัติตามที่ท่านทราบ
- 2.3 โดยการใช้ค่ามวลที่กำหนดให้ในหน่วยเอเอ็มยูจากท้ายเล่ม จงแสดงว่านิวไคลด์ใดเป็นนิวไคลด์ที่ส่งอิเล็กตรอน หรือส่งโพซิตรอน  $\text{Ag}^{110}$ ,  $\text{I}^{128}$ ,  $\text{Au}^{198}$ ,  $\text{Na}^{23}$ ,  $\text{P}^{32}$ ,  $\text{F}^{18}$
- 2.4 จงคำนวณค่าคิว ในหน่วยเอเอ็มวี สำหรับแต่ละสมการ ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ คือ  $\text{C}^{14} (\beta^-)$ ,  $\text{N}^{14}$ ,  $\text{Na}^{22} (\beta^+)$ ,  $\text{Ne}^{22}$ ,  $\text{Cu}^{62} (\beta^+)$ ,  $\text{Ni}^{62}$  กำหนดมวลในหน่วยเอเอ็มยูของ  ${}^6\text{C}^{14} = 14.0032419$ ,  ${}^7\text{N}^{14} = 14.0030744$ ,  ${}^{11}\text{Na}^{22} = 21.994435$ ,  ${}^{10}\text{Ne}^{22} = 21.991385$ ,  ${}^{29}\text{Cu}^{62} = 61.93256$ ,  ${}^{28}\text{Ni}^{62} = 61.92835$
- 2.5  ${}_{47}\text{Ag}^{106}$  สลายแบบไอโซบาริก สำหรับแต่ละวิธีการสลาย จงหา
- ก) พลังงานการสลาย
  - ข) พลังงานของอนุภาค
  - ค) จงเขียนแผนผังการสลาย
- กำหนดมวล (เอเอ็มยู) ของ  ${}_{46}\text{Pd}^{106} = 105.90348$ ,  ${}_{47}\text{Ag}^{106} = 105.9067$ ,  ${}_{48}\text{Cd}^{106} = 109.90646$
- 2.6 จงหาค่าคิว ในการเปลี่ยนแปลงแบบไอโซบาริก ของนิวไคลด์  $\text{Cs}^{130}$ , กำหนดมวลในหน่วยเอเอ็มยู ของ  ${}_{55}\text{Cs}^{130} = 129.90672$ ,  ${}_{54}\text{Xe}^{130} = 129.90350$ ,  ${}_{56}\text{Ba}^{130} = 129.90625$
- 2.7 เหล็ก -52 สลายโดยการส่งโพซิตรอนพลังงาน 0.80 เอเอ็มวี และรังสีแกมมาพลังงาน 0.17 เอเอ็มวี จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น และเขียนแผนผังการสลาย
- กำหนดมวลของ  ${}_{26}\text{Fe}^{52} = 51.94812$  เอเอ็มยู
- 2.8 โปตัสเซียม -42 มวล 41.96242 เอเอ็มยู สลายโดยการส่งอิเล็กตรอนพลังงาน 2.07 เอเอ็มวี 25% เหนือระดับกราวน์ 1.51 เอเอ็มวี อีก 75% สลายโดยการส่งอิเล็กตรอนเช่นกันแต่อยู่ที่ระดับกราวน์ จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น และเขียนแผนผังการสลาย

- 2.9 การสลายของ  ${}^8_0\text{O}^{15}$  โดยการส่งโพซิตรอน วัดพลังงานได้ 1.73 เมมอีวี จงหา
- 1) พลังงานการสลายโดยการส่งโพซิตรอน
  - 2) เขียนแผนผังการสลาย
  - 3) ถ้ากำหนดมวลในหน่วยเอเอ็มยูของ  ${}^0_1\text{e}^{+} = 15.003072$  จงหามวลของ  ${}^7_7\text{N}^{15}$
- 2.10 จงหาพลังงานที่ส่งออกมาจากการสลายของ  ${}^{15}_{15}\text{P}^{32}$  ( $\beta^-$ ) กำหนดมวลในหน่วย เอเอ็มยู ของ  ${}^{15}_{15}\text{P}^{32} = 31.973908$ ,  ${}^{16}_{16}\text{S}^{32} = 31.972074$
- 2.11  ${}^{14}_{14}\text{Si}^{31}$  สลายโดยให้อิเล็กตรอน วัดพลังงานได้ 1.48 เมมอีวี กำหนดมวลในหน่วย เอเอ็มยู ของ  ${}^{14}_{14}\text{Si}^{31} = 30.975349$  จงหามวลของธาตุใหม่ที่เกิดขึ้น
- 2.12 จงเขียนปฏิกิริยาเหล่านี้อย่างละปฏิกิริยา (n, $\gamma$ ), (p, $\gamma$ ), (n,p), (n, $\alpha$ ), ( $\alpha$ ,n), (d,n), ( $\gamma$ ,n)
- 2.13 จงให้ความหมายของ 1) ธาตุทรานสมูเรเนียม  
2) แผนภูมินิวไคลด์
- 2.14 จงแสดงสถานะที่จะเกิดการส่งอนุภาคแอลฟา เปรียบเทียบกับการส่งอิเล็กตรอน และโพซิตรอน