



๒.๑. ทฤษฎีเบื้องต้น ๔.

เมื่อเอาสารตัวอย่างไปอาบรังสีด้วยอนุภาคนิวตรอนซึ่งมี flux  $\phi$  ไอโซโทป (isotope) แต่ละตัวที่อยู่ในสารนั้นจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์กับอนุภาคนิวตรอน ดังสมการ

อัตราการเกิดปฏิกิริยา =  $N\phi\sigma$  ..... (๒.๑)

ในเมื่อ  $\phi$  = flux ของนิวตรอน ซึ่งหมายถึงจำนวนนิวตรอน  
ต่อพื้นที่ที่อาบรังสีต่อวินาที

$N$  = จำนวนนิวเคลียสของธาตุในสารที่จะอาบรังสี

$\sigma$  = cross-section หรือ โอกาส (probability)  
ที่จะเกิดปฏิกิริยากับนิวตรอน มีหน่วยเป็นตาราง  
เซ็นติเมตร หรือ บาร์น ( barns )

และ  $N$  =  $\frac{m}{A} \times \%$  ของ abundance

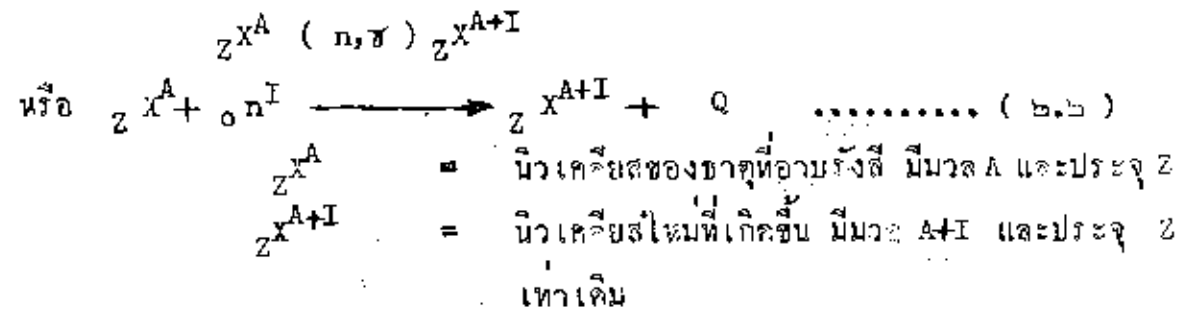
ในเมื่อ  $m$  = น้ำหนักเป็นกรัมของธาตุในสาร

$N_0$  = Avogadro's number

$A$  = น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น

๒.๒. ปฏิกิริยากับเทอร์มอลนิวตรอน ( Thermal neutron reaction ) ๔,๕,๘

ปฏิกิริยานิวเคลียสของธาตุเท่ากับเทอร์มอลนิวตรอน (พลังงานประมาณ ๐.๐๒๕ ev.) ที่จะเกิดขึ้นได้ก็คือ เกิดปฏิกิริยา (n,  $\gamma$ ) เมื่อเอาธาตุใดก็ตามไปอาบรังสี นิวเคลอค์ (Nuclide) ของธาตุนั้นจะจับเทอร์มอลนิวตรอนไว้กลายเป็น Compound nucleus Atomic number ของนิวเคลียสจะไม่เปลี่ยน แต่ mass number จะเพิ่มขึ้นหนึ่ง สมการโดยทั่วไปเป็นดังนี้

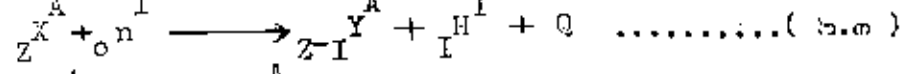


๑ เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาส่วนมากจะเป็นพลังงานของรังสีแกมมา

Compound nucleus ที่เกิดขึ้นอาจจะเป็นไอโซโทปอยู่ตัว (stable isotope) หรือไอโซโทปกัมมันตรังสี (radioisotope) ไอโซโทปที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธี activation ก็คือ ไอโซโทปกัมมันตรังสี ซึ่งจะปล่อยรังสีออกมา อาจจะเป็นรังสีแกมมาอนุภาคเดี่ยว หรือมีทั้งรังสีแกมมาและรังสีเบตา หรือรังสีเบตาอย่างเดียวกก็ได้ ตัวอย่างเช่น เหล็ก มีไอโซโทปที่อยู่ตัว (stable isotope) ในธรรมชาติสี่ตัวคือ ๕๖.๑%  $Fe^{56}$ , ๕.๖๖%  $Fe^{57}$  ๒.๑๕%  $Fe^{58}$  และ ๐.๐๓%  $Fe^{59}$  และมี thermal neutron cross-section ๒.๕, ๒.๘, ๒.๕ และ ๑.๐ บาริน ตามลำดับ เมื่อเอาเหล็กอาปรังสี  $Fe^{56}$  จะกลายเป็น  $Fe^{55}$  ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสี,  $Fe^{56}$  กลายเป็น  $Fe^{57}$  ซึ่งเป็นไอโซโทปอยู่ตัว,  $Fe^{57}$  กลายเป็น  $Fe^{58}$  ซึ่งเป็นไอโซโทปอยู่ตัว และ  $Fe^{58}$  กลายเป็น  $Fe^{59}$  ซึ่งเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสี ปล่อยรังสีทั้งรังสีเบตาและรังสีแกมมาด้วย half-life ๔๕ วัน

๒.๑. ปฏิกิริยานิวตรอนเร็ว (Fast neutron reaction) ๔,๕,๗

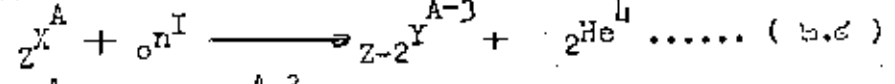
นิวตรอนเร็วหมายถึงนิวตรอนที่มีพลังงานมากกว่า ๑ Mev. ถ้าอาปรังสีสารกัมมันตรังสีเร็ว จะเกิดปฏิกิริยา (n,p), (n,α) และ (n,2n) ปฏิกิริยา (n,p) เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนเร็วถูกจับแล้วเกิด compound nucleus ใหม่ พร้อมทั้งได้โปรตอนออกมา ๑ ตัว ซึ่งมีไอโซโทปที่เกิดขึ้นใหม่จะอยู่ตัวหรือเป็นกัมมันตรังสีก็ตามสมการ เป็นดังนี้



หรือ  ${}_Z^AX (n,p) {}_{Z-1}^AY$

นิวเคลียสที่เกิดขึ้นใหม่จะมี mass number เท่าเดิม แต่มี atomic number ลดลง ๑ ตัว กลายเป็นสารใหม่ ถ้าธาตุที่เกิดขึ้นใหม่เป็นธาตุกัมมันตรังสี มันจะสลายตัวปล่อยรังสีออกมา อาจจะเป็นเบตาบวก ( $\beta^+$ ) เบตาลบ ( $\beta^-$ ) หรือแกมมาก็ได้

ปฏิกิริยา (n,α) มีสมการดังนี้

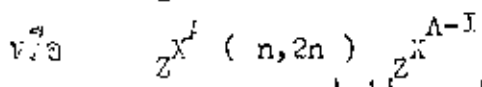
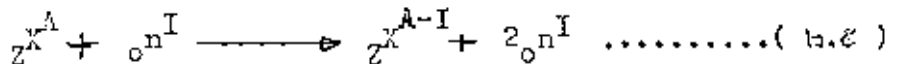


หรือ  ${}_Z^AX (n,\alpha) {}_{Z-2}^{A-3}Y$



เมื่อเกิดปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอน และนิวไคลด์ได้ compound nucleus ซึ่งมี mass number ลดลง ๑ และ atomic number ลดลง ๒ กลายเป็นธาตุใหม่ พร้อมทั้ง ปล่อยอนุภาคแอลฟาออกมา ๑ ตัว

ปฏิกิริยา (n, 2n) นิวตรอนเข้าไป ๑ ตัว ได้นิวตรอนใหม่ออกมา ๒ ตัว ปฏิกิริยา เป็นดังนี้



atomic number ของนิวไคลด์ไม่เปลี่ยน แต่ mass number ลดลง ๑

ปฏิกิริยาที่สำคัญในการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธี activation ก็คือปฏิกิริยา (n, x) เพราะปฏิกิริยานี้มักจะมี cross-section สูง

ถ้านิวไคลด์ที่เกิดขึ้นใหม่ในกรณีดังกล่าวมาแล้ว เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสี (radionuclide)

ในขณะที่กำลังอาบรังสีอยู่ นิวไคลด์บางตัวจะสลายตัวปล่อยรังสีออกมาในขณะเดียวกัน ถ้าการอาบรังสียังคงมีต่อไปอีกนาน อัตราการเกิดนิวไคลด์กัมมันตรังสี จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอยู่ในภาวะที่เท่ากับอัตราการสลายตัวพอดี ภาวะเช่นนี้เรียกว่า "กัมมันตภาพรังสี ถึงจุดอิ่มตัว" (saturation activity) ถึงแม้จะอาบรังสีต่อไปอีกนานเท่าใดก็ตาม ก็จะไม่เพิ่มกัมมันตภาพรังสีอีก ถ้า flux ของนิวตรอนยังคงมีค่าเท่าเดิม

แต่ถ้าการอาบรังสีไม่นานพอจนถึงจุดอิ่มตัว กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ

ดังนี้ 
$$A_0 = N\sigma\phi [1 - \exp(-0.693 \frac{t_1}{t_{1/2}})] \text{ dps. } \dots (๒.๖)$$

$t_1$  = เวลาที่ใช้อาบรังสี

$t_{1/2}$  = half-life ของธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น

เทอมในวงเล็บ (saturation term) จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง ๑ เมื่อ  $t_1$  มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $\infty$  ถ้าเวลาที่ใช้อาบรังสีเป็น ๑, ๒, ๓, ๔ เท่าของ half-life เทอมในวงเล็บก็จะมีค่าเป็น  $\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, \frac{15}{16}$  ซึ่งเกือบจะถึงจุดอิ่มตัวอยู่แล้ว เพราะฉะนั้นเวลาที่ใช้อาบรังสีจึงควรมีค่าประมาณ ๒ หรือ ๓ เท่าของ half-life ของธาตุกัมมันตรังสีที่จะเกิดขึ้น ถึงแม้จะอาบรังสีนานกว่านั้นก็ไม่ได้ช่วยให้ผลดีขึ้น ผลคือทำให้เกิดการรบกวนจากพวกที่มี half-life ยาวๆ มากกว่า เพราะฉะนั้นเวลา

การอามรังสีของพวก half-life สั้นๆควรจะสั้น และพวก half-life ยาวก็ควรจะมาก  
ตามควย

๒.๔. การสลายตัวหลังจากการอามรังสี

เมื่อเอาสาร เข้าไปอามรังสีนิวตรอนแล้ว ก่อนที่จะเอาออกมานับ นิวไคลด์เหล่านั้น  
จะสลายตัวไปเรื่อยๆตาม half-life ของมัน ฉะนั้นเมื่อเอาออกมานับก็มันครึ่งสี่ที่นับได้  
จะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$A_t = A_0 \left[ \exp(-0.693 \frac{t_d}{t_{1/2}}) \right] \dots\dots\dots ( ๒.๖ )$$

$A_t$  = กิจกรรมภาพรังสีที่ควรจะนับได้ (activity)

$t_d$  = เวลาที่สารจะสลายตัวหลังจากอามรังสีแล้ว

ในระหว่างการนับรังสี การสลายตัวมีอยู่เรื่อยๆ ถ้า  $t_c$  เป็นเวลาที่ไจนับรังสี  
มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับ half-life ค่าอัตราการนับ ( count rate) ถือว่าเป็นค่าที่นับ  
ได้ที่จุดแรกหลังจากการรอแล้ว แต่ถาเวลาที่ไจนับนาน เช่น ประมาณเท่ากับ half-life  
 $t_d$  ที่แท้จริงจะต้องเอา  $t_{c/2}$  ไปบวกเข้าไป และถือว่า count rate ที่นับได้เป็น count  
rate ที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลากการนับ

๒.๕. การหาปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบ

เพื่อหลีกเลี่ยงค่าต่างๆเช่น เปอร์ เซ็นต์ของ abundance , cross-section,  
flux ของนิวตรอน และเวลาที่ไรอามรังสี ซึ่งมีค่าไม่แน่นอน จึงนิยมใช้วิธีเปรียบเทียบ  
โดยการ เอาสารตัวอย่างที่น้ำหนักที่แน่นอนอามรังสีพร้อมกับสารมาตรฐาน ภายใต้ภาวะอย่าง  
เดียวกัน แล้วเอาออกมานับด้วยเวลาเท่ากัน ค่าของ count rate ที่นับได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบ  
เดียวกัน ก็สามารถหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างได้

$$m_x = \frac{c_x}{c_s} \cdot m_s \dots\dots\dots ( ๒.๗ )$$

$m_x$  = น้ำหนักของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างที่ต้องการหา

$c_x$  = count rate ของสารตัวอย่าง

$c_s$  = count rate ของสารมาตรฐาน

$m_s$  = น้ำหนักของธาตุที่มีอยู่ในสารมาตรฐาน