บทที่ 2

ทฤษฎี

ในบรรดาธาตุที่พบในธรรมชาตินั้น ธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) สูงกว่า 83 ล้วนเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีทั้งสิ้น ราวครึ่งหนึ่งของธาตุเหล่านี้อยู่ในอนุกรมการสลายตัวตามธรรมชาติ โดยเริ่มต้น จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีต่างๆกัน และสลายตัวให้นิวไคลด์กัมมันตรังสีต่อเนื่องกันมากมาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 อนุกรมคือ อนุกมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม และ อนุกรมแอกติเนียม [18]

2.1 อนุกรมยูเรเนียม (Uranium Series)

อนุกรมนี้เริ่มจากยูเรเนียม-238 (U-238) แล้วไปสิ้นสุดที่ปรอท-206 (Hg-206) ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร การสลายตัวแต่ละครั้งจะให้อนุภาคหรือรังสีออกมา อนุภาคแอลฟา อนุภาคเบตา และรังสีแกมมา อนุกรมยูเรเนียมนี้ มีธาตุยูเรเนียม-238 มีอายุยาวที่สุด คือมีครึ่งชีวิต (Half life) 4.5 x 10^9 ปี มีการสลายตัว 14 ขั้น โดยปล่อยอนุภาคเบต้า 6 ครั้ง และอนุภาคแอลฟา 8 ครั้ง นิวไคลด์กัมมันตรังสีทุกตัวในอนุกรมนี้ เมื่อตรวจพินิจดูจะเห็นว่าเลขมวลมีค่า 4n+2 เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม การสลายตัวในอนุกรมนี้ สรุปดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2 อนุกรมทอเรียม (Thorium series)

สำหรับอนุกรมนี้เริ่มจากทอเรียม-232 (Th-232) จะสลายตัวเป็นขั้น ๆ ไปตามลำดับจนไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-218 (Pb-218) ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร อนุกรมนี้ทอเรียม-232 มีอายุยาวที่สุดคือมีครึ่งชีวิต 1.42 x 10^9 ปี มีการสลายตัว 10 ขั้นโดยปล่อยอนุภาคเบตา 4 ครั้ง อนุภาคแอลฟา 6 ครั้ง อนุกรมนี้พบว่าทุกธาตุมีเลขมวล 4 n เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็มการสลายตัวในอนุกรมนี้ สรุปดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.3 อนุกรมแอกติเนียม (Actinium Series)

อนุกรมนี้บางครั้งก็เรียกว่า อนุกรมแอกทิโน-ยูเรเนียม (Ac-U) โดยเริ่มต้นจาก ยูเรเนียม-235 แล้วไปสิ้นสุดที่ตะกั่ว-207 (Pb-207) ซึ่งเป็นนิวไคลด์ที่เสถียร อนุกรมชุดนี้มียูเรเนียม-235 มีอา

ยุยาวที่สุดคือมีครึ่งชีวิต 7.1 x 10^8 ปี สลายตัว 14 ขั้น ให้อนุภาคเบต้า 6 ครั้ง และอนุภาคแอลฟา 8 ครั้ง อนุกรมแอกทิเนียมนี้ทุกธาตุมีเลขมวล 4n+3 เมื่อ n เป็นเลขจำนวนเต็ม การสลายตัวในอนุกรมนี้สรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3

ข้อที่น่าสังเกตุคือไม่มีการพบอนุกรม 4n+1 ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นเพราะธาตุในอนุกรมนั้น มีครึ่งชีวิตสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับอายุโลก จึงสลายตัวไปหมดแล้ว(11)

เรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์หนึ่งในอนุกรมยูเรเนียม-238 มีครึ่งชีวิตประมาณ 1620 ปี สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 186 KeV(4 %) และสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา กลายเป็นเรดอน-222 และสลายตัวไปเรื่อยๆ ดังแผนภูมิการสลายตัว นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็น Danghter ของเรเดียม-226 ตัวที่น่าสนใจก็คือ บิสมัส-214 (Bi-214) มีครึ่งชีวิต 27 นาที สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงานที่สำคัญได้แก่ 609 KeV(43%) และอีกตัวหนึ่งก็คือตะกั่ว-214 (Pb-214) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 20 นาที สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน ที่สำคัญได้แก่ 352 KeV (35%)

2.4 กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (12)

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีไม่ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอก นิวเคลียส หากแต่ว่าการสลายตัวนี้เป็นไปตามหลักการทางสถิติในส่วนที่เกี่ยวกับโอกาสอัตราการสลายตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของอะตอมที่มีอยู่ กล่าวได้ว่า

$$-dN/dt = \lambda N \quad \text{----------(2.1)}$$

เมื่อ dN/dt = อัตราการสลายตัว (disintegration rate)

λ = ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant)

N = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ณ เวลา t ใด ๆ t

ถ้า N_o = จำนวนอะตอมที่มีอยู่ ที่เวลา t = 0

เมื่อแก้สมการที่ 2.1 แล้วจะได้

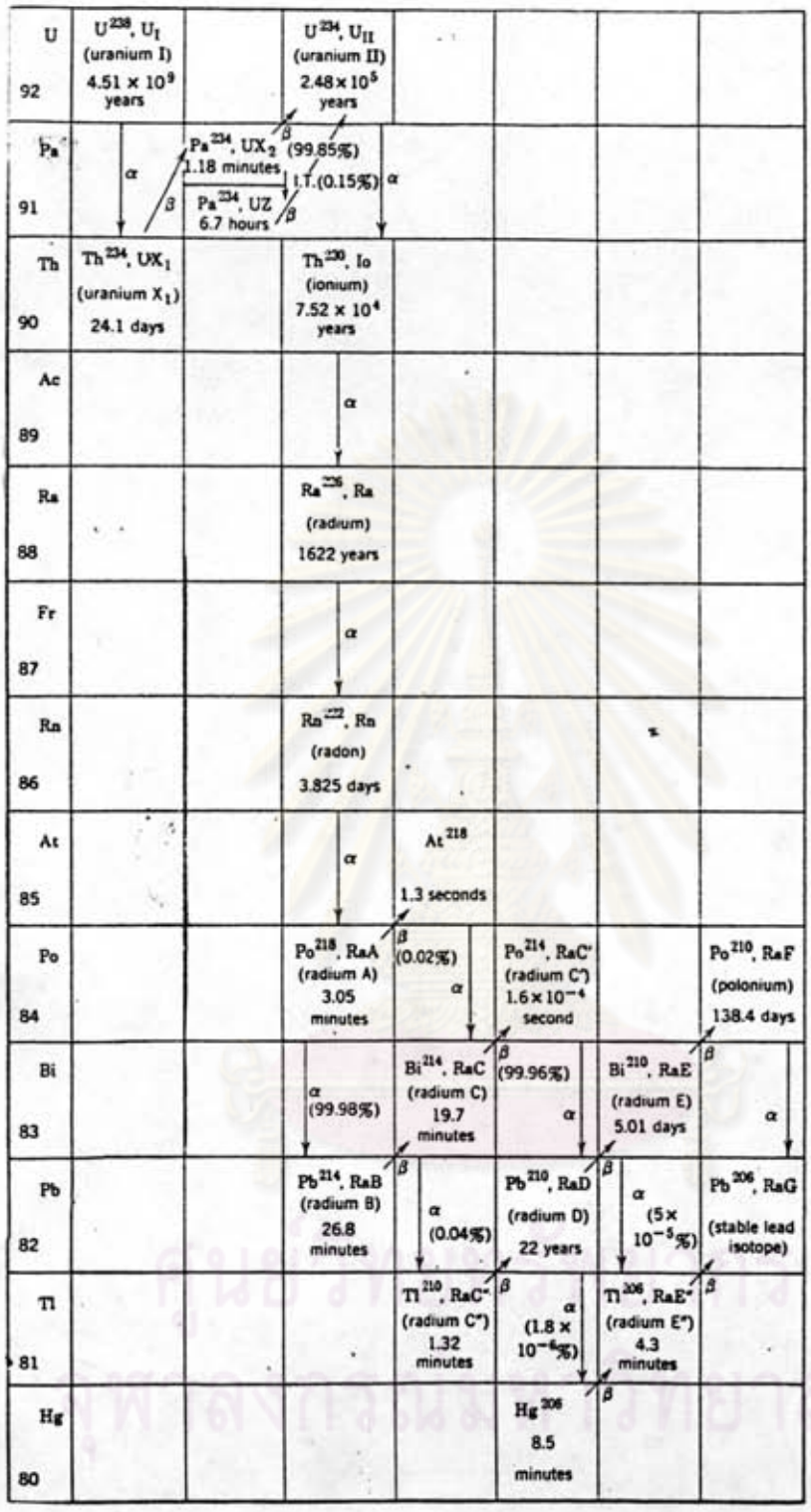
$$N = N_o \exp(-\lambda t) \quad \text{----------(2.2)}$$

เมื่อสารกัมมันตรังสี ลดปริมาณลงครึ่งหนึ่งจากที่มีอยู่เดิม จะเรียกช่วงเวลานี้ว่า ครึ่ง (half life) ของสารนั้น

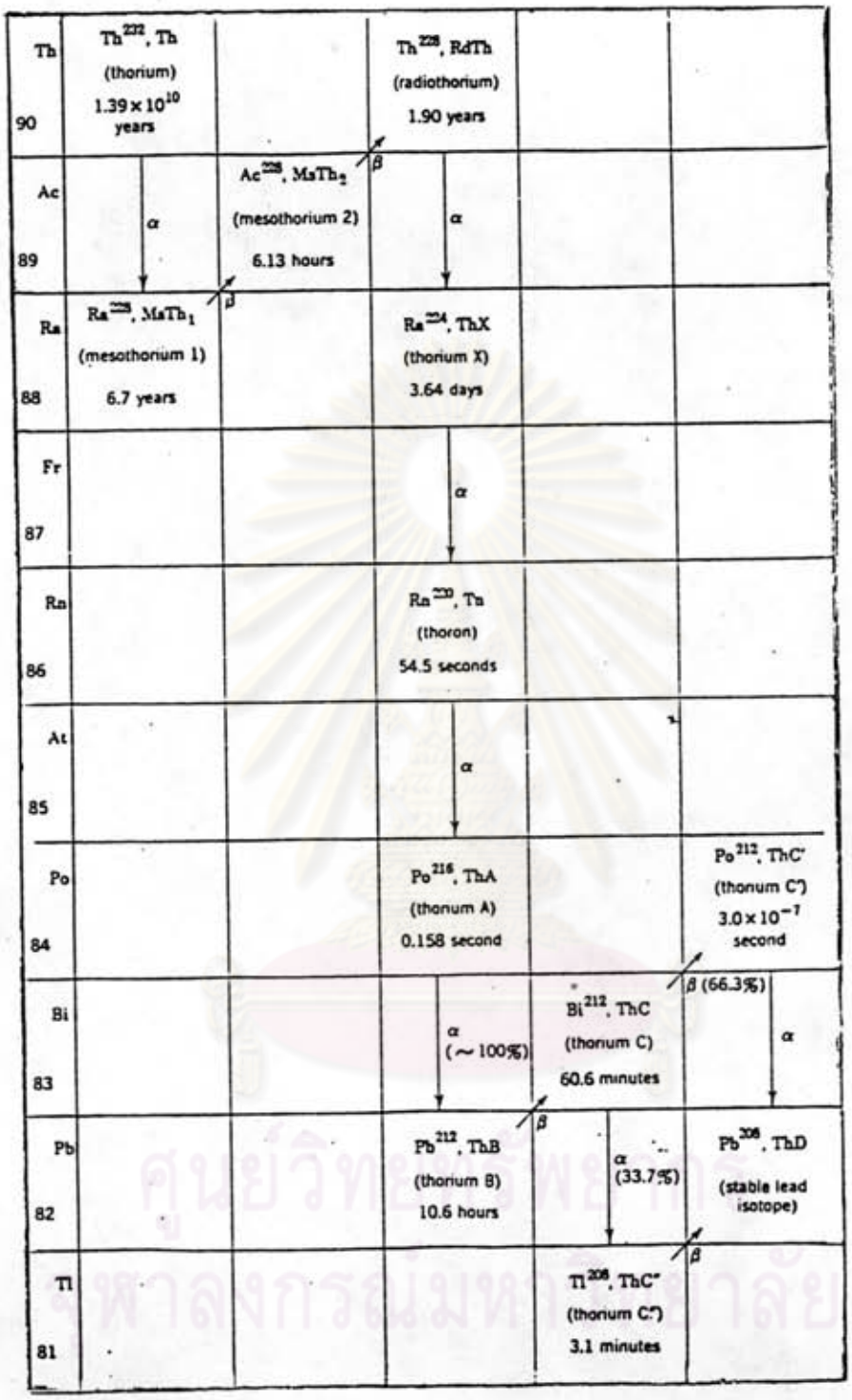
จาก(2.2) $N_o/2 = N_o \exp(\lambda t^1/_2)$

$$t^1/_2 = 0.693/\lambda \quad \text{----------(2.3)}$$

$t^1/_2$ = ครึ่งชีวิต <Half life>

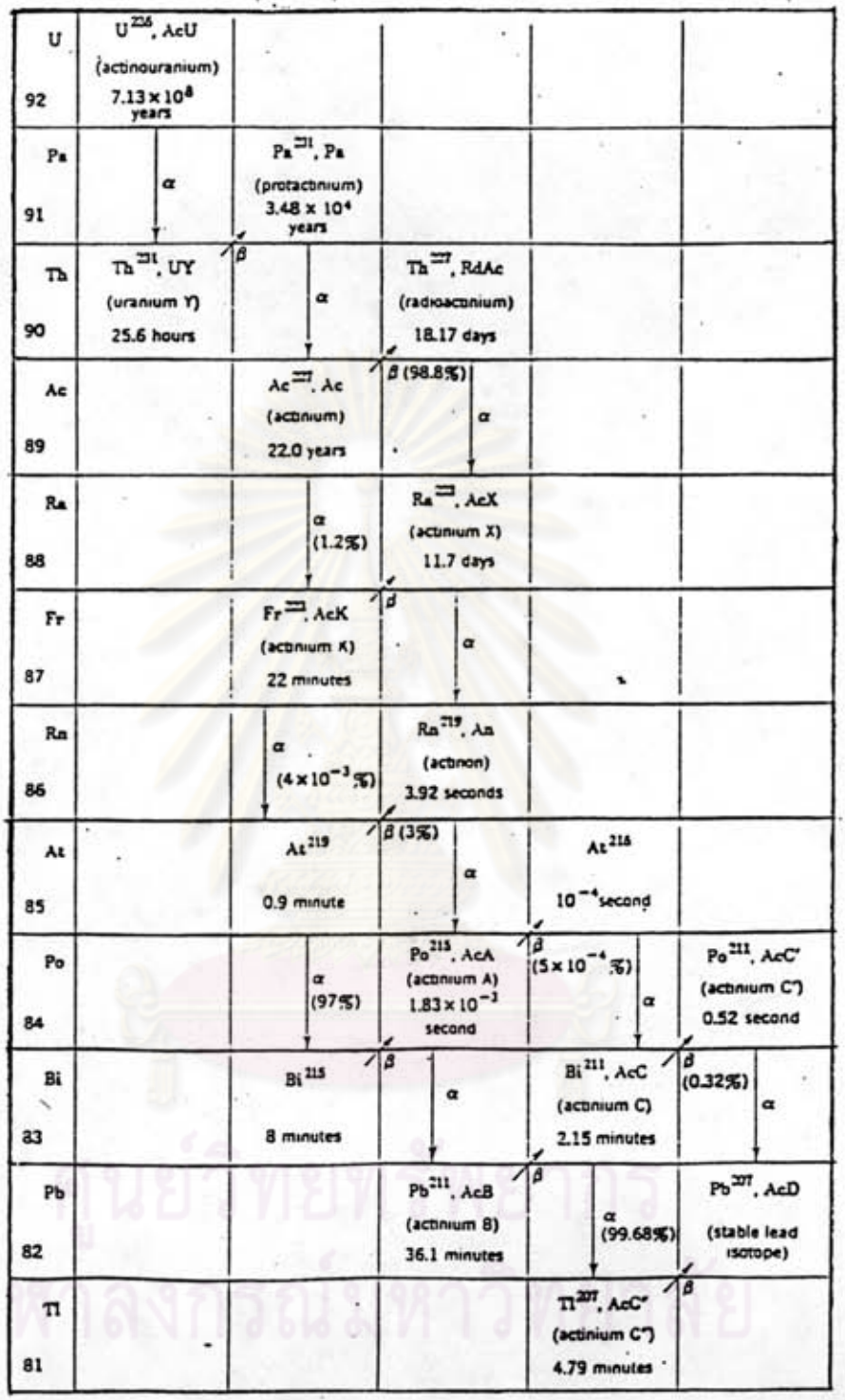


รูปที่ 2.1 อนุกรมยูเรเนียม



รูปที่ 2.2 อนุกรมทอเรียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 อนุกรมแอกติเนียม

2.5 <u>การสลายตัวต่อเนื่อง</u> (Chain Disintegration)

เป็นการสลายตัวต่อๆ กันของสารกัมมันตรังสี ถ้านิวเคลียส A สลายตัวเป็นนิวเคลียส B สลายตัวเป็นนิวเคลียส C นิวเคลียส C สลายตัวเป็นนิวเคลียส D เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนผลสุดท้ายได้นิวเคลียสที่คงที่ไม่สลายต่อไปอีก

ในที่นี้พิจารณาการสลายตัว 2 ทอด จาก A เป็น B จาก B เป็น C โดยที่ C เป็นนิวเคลียสที่ไม่เกิดการสลายตัว

$A \xrightarrow{\lambda_A} B \xrightarrow{\lambda_B} C$

ให้ λ_A เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวเคลียส A

λ_B เป็นค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวเคลียส B

เมื่อเริ่มต้น ($t = o$) A มีจำนวนนิวเคลียสเท่ากับ No และยังไม่เกิดนิวเคลียส B และ C

เมื่อเวลาผ่านไป (t) A มีจำนวนนิวเคลียส $= N_A$

B มีจำนวนนิวเคลียส $= N_B$

C มีจำนวนนิวเคลียส $= N_C$

จะหาค่า N_A , N_B และ N_C ได้ดังต่อไปนี้

เมื่อเวลาผ่านไป t

$$N_A = N_o \exp(-\lambda_A t) \quad \text{----------(2.4)}$$

จำนวนนิวเคลียสของ B ที่มีอยู่ต่อวินาที เท่ากับผลต่างของอัตราการเกิดของ B กับอัตราการสลายตัวของ B

ดังนั้น $dN_B/dt = \lambda_A N_A - \lambda_B N_B$

$$dN_B/dt = \lambda_A N_A \exp(-\lambda_A t) - \lambda_B N_B$$

$$N_B = \lambda_A N_o [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)]/\lambda_B - \lambda_A \quad \text{-------(2.5)}$$

แสดงถึงจำนวนนิวเคลียส B เมื่อเวลาผ่านไป t

จำนวนนิวเคลียส C ที่มีอยู่ต่อวินาที เท่ากับอัตราการสลายตัวของ B

$dN_C/dt = \lambda_B N_B$ แทนค่า N_B

$dN_C/dt = \lambda_B [\lambda_A N_o/\lambda_B - \lambda_A (\exp -\lambda_A t - \exp -\lambda_B t)]$

แทนค่าและแก้สมการแล้วจะได้จำนวนนิวเคลียส C เมื่อเวลาผ่านไป t คือ

$$N_C = -N_o [1 + \lambda_A \exp(-\lambda_B t)/\lambda_B - \lambda_A - \lambda_B \exp(-\lambda_A t)/\lambda_B - \lambda_A] \text{------(2.6)}$$

2.6 ภาวะสมดุลย์กัมมันตรังสี

สารกัมมันตรังสีซึ่งสลายตัวอย่างต่อเนื่อง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งอาจเกิดภาวะสมดุลย์ขึ้นได้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.6.1 ภาวะสมดุลย์ทรานเซียนต์ (Transient equilibrium)

เกิดขึ้นเมื่อครึ่งชีวิตของสาร A มากกว่าครึ่งชีวิตของสาร B มาก นั่นคือค่าคงที่ของการสลายตัวของ B มากกว่าค่าคงที่ของการสลายตัวของ B

เมื่อ $(T^1/_2)\ A > (T^1/_2)\ B$

ดังนั้น $\lambda_A > \lambda_B$

เมื่อเวลาผ่านไปมาก(t มาก)$\exp(-\lambda_B t)$ จะน้อยกว่า $\exp(-\lambda_A t)$ มากจนสามารถตัดทิ้งได้

ดังนั้น $N_B = \lambda_A N_O/\lambda B - \lambda_A [\exp(-\lambda_A t)]$

$$N_B = \lambda_A N_O/\lambda_B - \lambda_A$$

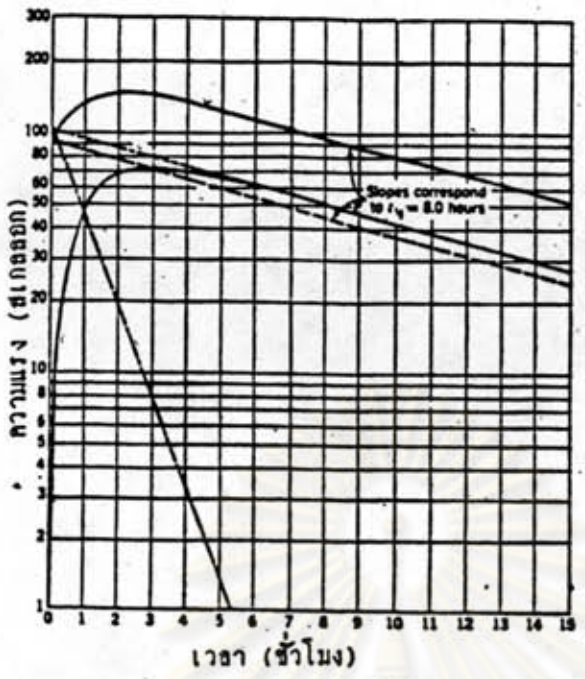
เอา λ_B คูณ ; $\lambda_B \lambda_A N_A/\lambda_B - \lambda_A$

$$A_A/A_B = 1 - \lambda_A/\lambda_B \quad \text{----------(2.7)}$$

เมื่อ A_A และ A_B คือ ความแรงรังสี(Activity) ของ A และ B ตามลำดับ

เนื่องจาก$\lambda_B > \lambda_A$ ดังนั้นเมื่อเกิดภาวะสมดุลย์ชั่วขณะอัตราส่วนระหว่างกัมมันตภาพของสาร A กับ B จะน้อยกว่า 1 เสมอ แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกันในภาวะนี้สาร B จะสลายตัวเหมือนกับว่ามีครึ่งชีวิตเท่ากับครึ่งชีวิตของสาร A เพราะว่าอัตราส่วนระหว่าง $A_A : A_B$ จะต้องเท่ากับ $1-\lambda_A/\lambda_B$ เสมอ สาร B เกิดจากสาร A ตลอดเวลา จำนวนที่ลดลงจึงไม่เท่ากับเมื่อแยกสาร B มาอย่างเดียวแล้วปล่อยให้สลายตัว ดังที่แสดงในรูป 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 การเกิดสมดุลย์ทรานเซียนต์

จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณอัตราส่วนของ A และ B จะมีค่าคงที่ เรียกช่วงเวลานี้ว่า สารทั้งสองเกิดภาวะสมดุลย์ทรานเซียนต์

2.6.2 ภาวะสมดุลย์เซคคูลาร์ (secular equilibrium)

ภาวะสมดุลย์เซคคูลาร์เกิดเมื่อ ครึ่งชีวิตของสาร A มากกว่า ครึ่งชีวิตของสาร B มากมาก ดังนั้น ค่าคงที่ของสารสลายตัวของสาร A น้อยกว่า ค่าคงที่ของการสลายตัวของสาร B มาก เมื่อ

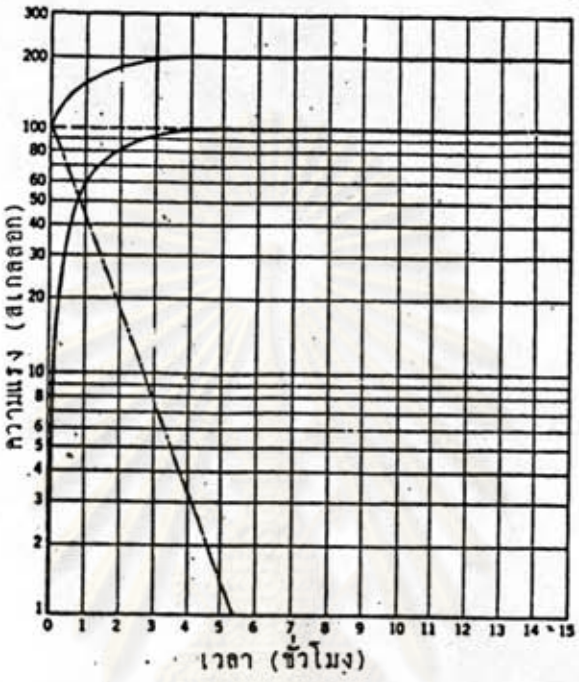
$(T^{1}/_{2})$ A >> $(T^{1}/_{2})$ B นั่นคือ $\lambda_A <<< \lambda_B$

จะได้ $\lambda_B - \lambda_A = \lambda_B$

จาก $N_B = \lambda_A N_O/\lambda_2 - \lambda_A [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)]$

จะได้ $N_B = \lambda_A/\lambda_B [N_O \exp(-\lambda_A t)]$ -------(2.8)

เมื่อเกิดภาวะสมดุลย์เซคคูลาร์ กัมมันตภาพของสาร A จะเท่ากับกัมมันตภาพของสาร B ในช่วงเวลานี้เหมือนกับว่าสาร B สลายตัวโดยมีครึ่งชีวิตเท่ากับสาร A ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดสมดุลย์เซ็คคูลาร์

จากรูปที่ 2.5 เรเดียม-226 (Ra-226) มีครึ่งชีวิต 1620 ปี สลายตัวเป็นเรดอน-222 (Rn-222) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 3.8 วัน เมื่อผ่านไป 28 วัน จะเกิดภาวะสมดุลย์เซคคูลาร์ขึ้น กัมมันตภาพของเรเดียม-226 จะเท่ากับกัมมันตภาพของเรดอน-222 ตลอดเวลา

ในกรณีมีการสลายตัว n ครั้ง

$$A \xrightarrow{\lambda_A} B \xrightarrow{\lambda_B} \cdots \xrightarrow{\lambda_n} n \longrightarrow \text{stable}$$

Initial condition $t=0$, $N_A=N_A$, $N_B = 0$, $N_C = 0$, $N_D = 0$,...

..... $= N_n = 0$

014308

$$dN_A/dt = \lambda_A N_A \quad \text{----------(2.9)}$$

$$dN_B/dt = \lambda_A N_A - \lambda B N_B \quad \text{----------(2.10)}$$

$$dN_C/dt = \lambda_B N_B - \lambda_C N_C \quad \text{----------(2.11)}$$

$$dN_n/dt = \lambda_{n-1} N_{n-1} - \lambda_n N_n \quad \text{----------(2.12)}$$

จาก (2.9) จะได้ $N_A = N_O \exp(-\lambda_1 t)$

จาก (2.10) จะได้ $N_B = \lambda_A N_O/\lambda_B - \lambda_A [\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_B t)] - \lambda_C N_C$

จาก(2.11) จะได้ $N_C = \lambda_A \lambda_B N_O \exp(-\lambda t)/\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A)$

$$+ \lambda_A \lambda_B N_O \exp(-\lambda_B t/\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda_B)$$

$$+ \lambda_A \lambda_B N_O \exp(-\lambda_C t)/(\lambda_A - \lambda_C)(\lambda_B - \lambda_C)$$

$$dN_n/dt = \lambda_n N_n$$

ทำนองเดียวกันจะได้

$$N_n(t) = C_A \exp(-\lambda_A t) + C_B \exp(-\lambda_B t) + \ldots + C_n \exp(-\lambda_n t) \quad \text{---------(2.13)}$$

เมื่อ $C_A = [\lambda_A \lambda_B \ldots\ldots \lambda_{n-1}/(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A) \ldots \ldots (\lambda_n - \lambda_A)] N^O_A$

$C_B = [\lambda_A \lambda_B \ldots\ldots \lambda_{n-1}/\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda B) \ldots \lambda_n - \lambda_B] N^O_A$

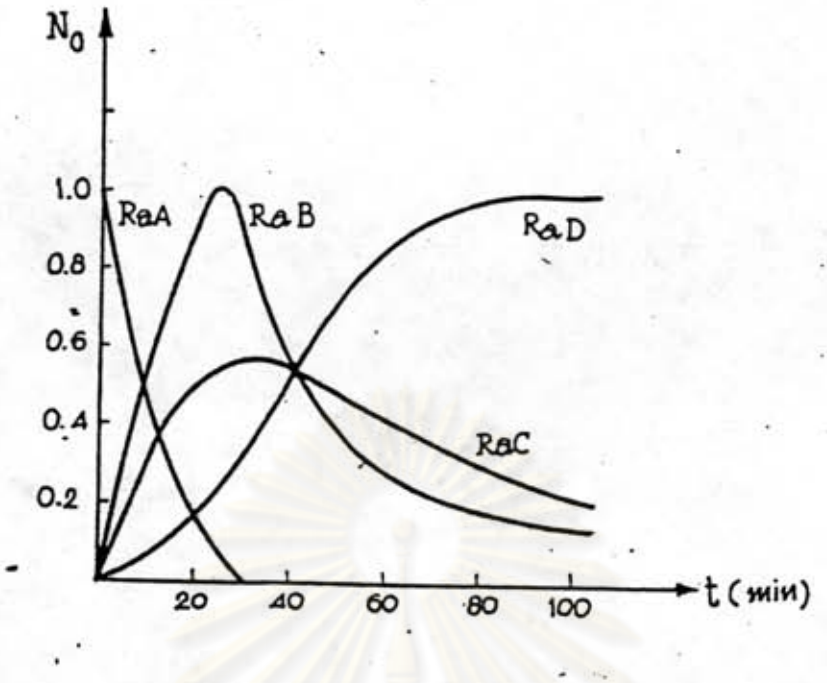
$C_n = [\lambda_A \lambda_B \ldots\ldots \lambda_{n-1}/(\lambda_A - \lambda_n)(\lambda_B - \lambda_n) \ldots\ldots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)] \; N^O_A$

ตัวอย่างเช่น RaA -> RaB -> RaC-> RaD ถือว่า stable

Po-218 Pb-214 Bi-214 Pb-212

กราฟการสลายตัวแสดงได้ดังรูปที่ 2.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 การสลายตัวของ Ra-226

2.7 <u>การทำงานของเครื่องมือวัดรังสีแกมมาสเปคโตรมิเตอร์</u>(13)

เมื่อมีรังสีแกมมา ผ่านเข้ามาในผลึกของโซเดียมไอโอไดด์ จะเกิดอันตรกริยา (Interaction) แบบต่าง ๆ 3 แบบ ดังนี้คือแบบโฟโตอิเลคตริก (Photoelectric effect) แบบคอมป์ตัน (Compton scattering) แบบอิเล็คตรอนคู่ (Pair Production)

ก. แบบโฟโตอิเลคตริก เป็นกระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกริยากับอะตอมของวัตถุนั้น ๆ โดยถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเลคตรอนในเชล (Shell) ใดเชลหนึ่ง แล้วอิเลคตรอนตัวนั้นก็จะหลุดออกจากวงจรโดยมีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานของรังสีแกมมานั้นลบด้วย พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ของเชลที่อิเลคตรอนตัวนั้นอยู่ และเมื่ออิเลคตรอนในเชลหลุดออกไป อิเลคตรอนที่มีอยู่ในเชลถัดไป ก็จะเคลื่อนเข้าแทนที่ต่อ ๆ กันพร้อมกับเกิดรังสีเอกซ์ติดตามมาด้วย

ข. แบบคอมป์ตัน กระบวนการนี้เหมือนกับการชนของลูกบิลเลียด คือโฟตอนเกิดอันตรกริยากับอะตอมของวัตถุโดยวิ่งชนอิเลคตรอนในเชลใดเชลหนึ่ง แล้วถ่ายเทพลังงานให้อิเลคตรอนไม่หมด นั่นคือพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทให้อิเลคตรอนตัวที่ถูกชนนั้นกระเด็นออกไปและพลังงานส่วนที่เหลือก็จะเป็นโฟตอนที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิม พร้อมทั้งทิศทางก็เปลี่ยนไปจากเดิมด้วย

ค. แบบอิเลคตรอนคู่ กระบวนการนี้เกิดขึ้นในสนามคูลอมป์(Coulomb field)ของนิวเคลียส

คือ เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้าใกล้นิวเคลียสใด จะเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่ง คือรังสีแกมมานั้นหายไปแล้ว เกิดอิเลคตรอนกับโฟสิตรอนขึ้นมาแทนคู่หนึ่ง โดยพลังงานของรังสีแกมมานั้นกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเลคตรอนและโฟสิตรอนบวกกับ Rest Energy ของอนุภาคทั้งสอง ($h = E^- + E^+ + 2mc^2$) สำหรับโฟสิตรอนที่เกิดขึ้นเมื่อวิ่งไปก็จะสูญเสียพลังงาน ทำให้ตัวเองวิ่งช้าลง ๆ จนในที่สุดเมื่อพบกับอิเลคตรอนก็จะรวมตัวกันหายตัวไปทั้งคู่ กลายเป็นโฟตอนสองตัววิ่งออกจากกันในทิศทางตรงข้าม โดยแต่ละตัวมีพลังงานเท่ากันคือ เท่ากับ Rest Energy (m_0c^2) นั่นคือ 0.511 Mev และโฟตอนที่เกิดขึ้นแบบนี้เรียกว่า Annihilation Photon ด้วยเหตุนี้จึงเห็นว่าปฏิกริยาแบบ Pair Production จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานมากกว่า $2\ m_0c^2$ คือ 1.02 Mev

ในแต่ละชนิดของอันตรกริยา พลังงานของรังสีที่เข้ามาจะถ่ายทอดให้กับอิเลคตรอนในอะตอมของโซเดียมไอโอไดด์ ซึ่งเป็นตัวเรืองแสง (Phosphor) พลังงานที่ให้จะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ของอิเลคตรอน และเมื่ออิเลคตรอนหยุดวิ่ง พลังงานจลน์ของมันจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของแสง โดยปริมาณแสงที่ออกมาจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีที่เข้าไป

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงที่เกิดขึ้นเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณที่ออกมาจะเข้าไปยังเครื่องขยายสัญญาณซึ่งจะขยายสัญญาณให้โตขึ้น คือมีศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น แล้วส่งเข้าดิสคริมิเนเตอร์หรือเครื่องเลือกความสูงของสัญญาณ จากนั้นก็จะส่งเครื่องนับและจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอลนับออกมาเป็นจำนวนนับ ตามช่อง (channel)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 <u>การหาค่าต่ำสุดของการวัด</u> (Lower Limit of detection, LLD) (14,15)

การวิจัยครั้งนี้ ค่า LLD หาได้จากพิจารณาค่าจำนวนนับรังสี ของแบลงค์และตัวอย่างจากสมการ

$$LLD = (K_{\alpha} + K_{\beta})\, S_o \text{ ----------(2.14)}$$

เมื่อ K คือคงที่ของ upper percentile ของ standardized normal ที่สรุปอย่างผิด ๆ ว่า มี activity ปรากฏอยู่

K_{β} คือค่าคงที่ที่แน่ใจว่ามี activity ปรากฏอยู่

เลือกให้ $K_{\alpha} = K_{\beta}$ $LLD = 2k_{\alpha} S_o$

S_o คือค่า standard error ของ net sample activity

นั่นคือ

$$S_o = S^2_{gross} + S^2_{bkg} \text{ ----------(2.15)}$$

S_{gross} คือ ค่าจำนวนนับของรังสี ณ พลังงานที่สนใจของตัวอย่าง

S_{bkg} คือ ค่าจำนวนนับรังสี ณ พลังงานที่สนใจของแบลงค์

ที่ activity น้อยมากๆ ค่าจำนวนนับรังสีของ Sample จะเท่ากับค่าจำนวนนับรังสีของแบคกราวน์

ดังนั้น $S_o = 2 S_{bkg}$

นั่นคือ

$$LLD = 2\sqrt{2}K S_{bkg} \text{ ----------(2.16)}$$

β = ความเชื่อมั่นในการยอมรับสมมุติฐาน เมื่อ สมมุติฐานนั้นไม่จริง (type II error)

α = ความเชื่อมั่นในการปฏิเสธสมมุติฐาน เมื่อสมมุติฐานนั้นจริง(Type I error) โดยมีค่าดังตารางที่ 2.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่า LLD

α	1 - B	k	$2\sqrt{2}k$
0.01	0.99	2.327	6.59
0.02	0.98	2.054	5.81
0.05	0.95	1.645	4.66
0.10	0.90	1.282	3.63
0.20	0.80	0.842	2.38
0.50	0.50	0	0

จาก (2.14) ค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็น count per minute (cpm) การเปลี่ยนจาก cpm ให้เป็นค่า Specific activity ทำได้โดยใช้สมการ

$$LLD = 2\sqrt{2}k\, S_{bkg} \quad \text{---------- (2.17) (2)}$$

เมื่อ S คือค่าของ slope ของกราฟปรับเทียบของสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 ซึ่งมีหน่วยเป็น specific activity ต่อ cpm

เพราะฉะนั้นค่า LLD จึงมีหน่วยเป็นพิโคคูรีต่อ 200 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย