หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชัน[8]

หลักการในการวิเคราะห์ คือการใช้นิวตรอนจากต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source) ยิง (bombard) เข้าไปทำปฏิกริยาทางนิวเคลียร์กับนิวเคลียสของไอโซโทปเสถียร (stable isotope) ที่จะวิเคราะห์ จะทำให้นิวเคลียสนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์เกิดเป็นไอโซโทปรังสี (radioisotope) ของธาตุเดิมหรือธาตุใหม่ขึ้น

2.2 ต้นกำเนิดนิวตรอน (neutron source)[9,10]

ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้ในเทคนิคนี้ มีดังต่อไปนี้คือ

2.2.1 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากปฏิกริยา (α,n) นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดชนิดนี้ เกิดจากการยิงอนุภาคอัลฟา (^4_2He) จากการสลายตัวของไอโซโทปรังสีของธาตุหนัก เช่น Po-210, Ra-226, Pu-239 หรือ Am-241 เข้าไปยังนิวเคลียสของธาตุเบา เช่น B, F, C หรือ Be ดังสมการ

$$^9_4Be + ^4_2He \longrightarrow ^{12}_6C + ^1_0n$$

พลังงานของอนุภาคอัลฟาในช่วง 4.8 ถึง 7.7 MeV จากไอโซโทปรังสีสามารถที่จะทำให้นิวตรอนหลุดออกจากนิวเคลียสของธาตุเบาดังกล่าวได้ แต่จะมีเพียงประมาณ 1 ใน 10^4 ของจำนวนอนุภาคอัลฟาที่ทำให้เกิดนิวตรอนทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคอัลฟามีประจุบวก ดังนั้นอนุภาคอัลฟาส่วนใหญ่จึงเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับอิเลคตรอนที่โคจรอยู่รอบนิวเคลียสเสียก่อน พลังงานของนิวตรอนที่เกิดขึ้นจะมีค่าระหว่าง 1 ถึง 13 MeV โดยมีพลังงานเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4 ถึง 5 MeV

ลักษณะของต้นกำเนิดชนิดนี้จะเป็นการผสมกันอย่างสม่ำเสมอระหว่างไอโซโทปรังสีที่ให้อนุภาคอัลฟากับธาตุเบา บรรจุไว้ในกระปุก (capsule) ที่ทำจากโลหะปลอดสนิมซึ่งผนึกปิดอย่างสนิทเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วของสารที่อยู่ภายใน

ต้นกำเนิดชนิดนี้มีข้อดีคือ ราคาถูก เคลื่อนย้ายสะดวก แต่มีข้อเสียคือ อัตราการให้นิวตรอน (emission rate) ต่ำทำให้ความไว (sensitivity) ในการวิเคราะห์ต่ำ

2.2.2 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (nuclear reactor) เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้นิวตรอนออกมาเนื่องจากการแตกตัว (fission) ของนิวเคลียสของไอโซโทปที่สามารถแตกตัวได้ (fissile material)

ลักษณะการแตกตัว[9] สามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบง่าย ๆ โดยเปรียบเทียบการแตกตัวของหยดของเหลว (liquid drop model) คือนิวเคลียสเปรียบได้กับหยดของเหลว เมื่อโปรตรอน (proton) และนิวตรอนในนิวเคลียสเกาะแน่นด้วยแรงนิวเคลียร์ ซึ่งมีค่ามากกว่าแรงผลักระหว่างประจุบวกของโปรตรอน แต่ถ้าแรงผลักระหว่างประจุมีค่ามากกว่าแรงนิวเคลียร์จะโดยจากแรงภายนอกมากระทำ (นิวตรอนจากภายนอกเข้าชนนิวเคลียส) หรือแรงจากภายในตัวเองก็ตาม จะทำให้นิวเคลียสนั้นแตกตัวออกเป็น 2 ส่วน คล้ายกับการแตกตัวของหยดของเหลว การแตกตัวของนิวเคลียสจะให้นิวตรอนออกมาด้วยจำนวนหนึ่ง ซึ่งนิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ก็สามารถจะไปทำให้เกิดการแตกตัวได้อีกเรียกว่าเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction)

ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั่ว ๆ ไป ไอโซโทปที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์คือ U-235, U-238 หรือ Pu-239 ฯ นิวตรอนจากภายนอกที่ทำให้เกิดการแตกตัวในขั้นต้นนั้นเป็นนิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดในข้อ 2.2.1 โดยมีแท่งควบคุม (control rod) ซึ่งบรรจุด้วย Cd หรือ B อยู่ภายใน จะทำหน้าที่ดูดกลืน (absorb) นิวตรอนที่เกิดขึ้นให้อยู่ในสภาวะวิกฤต

ในการวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้นั้นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ใช้จะเป็นต้นกำเนิดชนิดนี้มากที่สุด เพราะให้นิวตรอนฟลักซ์ (neutron flux) ประมาณ 10^{10} ถึง 10^{13} นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที ทำให้ความไวในการวิเคราะห์สูงกว่าใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบอื่น

2.2.3 ต้นกำเนิดแบบแตกตัวด้วยตนเอง (spontaneous fission source) ต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดนี้จะให้นิวตรอนออกมาโดยการแตกตัวด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องอาศัยแรงจากภายนอกมากระทำ ซึ่งจะต่างกับข้อ 2.2.2 ตัวอย่างของต้นกำเนิดชนิดนี้คือ Cf-252 ซึ่งมีข้อดีกว่าต้นกำเนิดในข้อ 2.2.1 คือมีขนาดเล็กกว่า แต่อัตราการให้นิวตรอนสูงกว่า มีข้อเสียคือ ราคาแพง และอายุใช้งานสั้น

2.2.4 เครื่องกำเนิดนิวตรอน (neutron generator) นิวตรอนที่ได้จากต้นกำเนิดนิวตรอนชนิดนี้ เกิดจากการเร่งอนุภาคโปรตอน หรืออนุภาคดิวเทอรอนเข้าชนนิวเคลียสของธาตุเบา ที่นิยมใช้กันมากคือ

ปฏิกิริยา D-D ดังสมการ

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \longrightarrow ^{3}_{2}He + ^{1}_{0}n \qquad Q + 3.26 \text{ MeV}$$

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยานี้มีพลังงานประมาณ 3 MeV

ปฏิกิริยา D-T ดังสมการ

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \longrightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n \qquad Q + 17.6 \text{ MeV}$$

นิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยานี้จะมีพลังงานประมาณ 14 MeV

ที่นิยมใช้ดิวเทอรอนเข้าชนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ก็เนื่องจากกำแพงคูลอมบ์ (coulomb barrier) ซึ่งเกิดจากประจุของดิวเทอรอนและนิวเคลียสของธาตุเบา ที่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่เข้าหรือออกของดิวเทอรอนมีค่าน้อย ดังนั้นดิวเทอรอนที่ใช้จึงไม่จำเป็นที่จะต้องเร่งให้มีพลังงานสูงนัก แต่ถ้านิวเคลียสมีเลขอะตอม (atomic number) สูงขึ้น อนุภาคที่ใช้ก็จะต้องเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้น ดังนั้นเครื่องเร่งอนุภาคก็จะต้องมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย ข้อดีของต้นกำเนิดชนิดนี้คือนิวตรอนที่ได้มีพลังงานสูง และสม่ำเสมอ

2.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (nuclear reaction)[9]

ในการวิเคราะห์ทางนิวตรอนแอกทิเวชัน ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

2.3.1 ปฏิกิริยา (n, n') เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนแล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสนั้นอยู่ในสภาวะไอโซเมอริค (isomeric state) และกลับสู่สภาพเดิมโดยการให้รังสีแกมมาออกมา สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{AM}_{Z}X + {}^{1}_{0}n' $$

2.3.2 ปฏิกิริยา (n, 2n) ปฏิกิริยานี้จะให้นิวตรอนออกมา 1 ตัวด้วย เนื่องจากนิวตรอนที่เข้าชนมีพลังงานสูงมากพอที่จะทำให้นิวตรอนในนิวเคลียสที่ถูกชนหลุดออกมา ไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นจะเป็นของธาตุเดิม สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A-1}_{Z}X + 2{}^{1}_{0}n $$

2.3.3 ปฏิกิริยา (n, p) เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนนิวเคลียสแล้วถูกจับหายไปในนิวเคลียส พร้อมทั้งให้อนุภาคโปรตรอนออกมา จะได้เป็นไอโซโทปรังสีของธาตุใหม่เกิดขึ้น สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{1}_{1}H $$

2.3.4 ปฏิกิริยา (n,α) คล้ายกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในข้อ 2.3.3 แต่ต่างกันที่อนุภาคที่ให้ออกมาเป็นอนุภาคอัลฟา สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A-3}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He $$

2.3.5 ปฏิกิริยา (n, γ) จากปฏิกิริยาที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะเกิดขึ้นเมื่อมีนิวตรอนพลังงานสูงเข้าชนนิวเคลียส แต่สำหรับนิวตรอนพลังงานต่ำหรือเทอร์มัลนิวตรอนนั้น เมื่อเข้าชนนิวเคลียสจะถูกจับหายไป แล้วให้รังสีแกมมาตัวหนึ่ง หรือหลายตัวออกมา ไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นจะเป็นของธาตุเดิม ปฏิกิริยานี้จะใช้ในการวิเคราะห์ในเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชันมากที่สุด สมการของการเกิดปฏิกิริยานี้คือ

$$ {}^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{A+1}_{Z}X + \gamma $$

<u>หมายเหตุ</u>

${}^{A}_{Z}X$ คือ ไอโซโทปเสถียรของธาตุ X มีเลขอะตอม Z และมีเลขมวล A

$^{1}_{0}n$ คืออนุภาคนิวตรอน

$^{AM}_{Z}X$, $^{A+1}_{Z}X$, $^{A-1}_{Z}X$, $^{A}_{Z-1}Y$ และ $^{A-3}_{Z-2}Y$ คือ ไอโซโทปรังสีของธาตุเดิม (X) และของธาตุใหม่ (Y) ซึ่ง M จะแสดงว่าเป็น metastable state

$^{1}_{1}H$, $^{4}_{2}He$ และ γ คืออนุภาคโปรตอน, อนุภาคอัลฟา และรังสีแกมมา

2.4 การเกิด และการสลายตัวของไอโซโทปรังสี

2.4.1 การเกิดของไอโซโทปรังสี[10] เมื่อนิวตรอนเข้าทำปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์กับนิวเคลียสของไอโซโทปเสถียร จะมีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้น โดยมีอัตราการเกิดดังสมการ

$$\text{อัตราการเกิด} = N\sigma\phi \qquad (2.1)$$

โดยที่ N คือจำนวนอะตอมของไอโซโทปเสถียร = $\frac{N_0 WK}{M}$

N_0 คือ Avogadro's number = 6.02×10^{23} โมเลกุล/กรัม-โมล

W คือ น้ำหนักของธาตุ เป็น กรัม

K คือ ร้อยละของไอโซโทปเสถียรที่มีอยู่ในธรรมชาติ/100

M คือ น้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น ๆ

σ คือ ครอสเซคชัน (cross section) เป็น barn (1barn = 10^{-24} cm^2)

ϕ คือ นิวตรอนฟลักซ์ เป็น นิวตรอน/ตารางเซนติเมตร/วินาที

เมื่อมีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้น ไอโซโทปรังสีนั้นก็จะมีการสลายตัวดังสมการ

$$\text{อัตราการสลายตัว} = \lambda N^* \qquad (2.2)$$

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว (decay constant) เป็น วินาที$^{-1}$

N^* คือ จำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสี

ดังนั้นปริมาณที่เหลืออยู่ของไอโซโทปรังสี เมื่อเวลาใด ๆ จะหาได้จากสมการ

$$\frac{dN^*}{dt} = N\sigma\phi - \lambda N^* \qquad (2.3)$$

โดยอินทิเกรทสมการ (2.3) ดังนั้นจำนวนอะตอมของไอโซโทปรังสีที่มีอยู่เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา T จะได้ว่า

$$\lambda N^{*} = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) + N_0^{*}e^{-\lambda T} \quad (2.4)$$

กำหนดให้ เมื่อเวลาเริ่มต้นของการแอกทิเวชัน (T = 0) ว่า $N_0^{*} = 0$

ดังนั้นสมการ (2.4) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\lambda N^{*} = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) \quad (2.5)$$

โดยที่ λN^{*} คือ ความแรงรังสีของไอโซโทปรังสีสามารถเขียนแทนได้ด้วย A_0

ดังนั้นสมการ (2.5) สามารถเขียนใหม่ได้ว่า

$$A_0 = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T}) \quad (2.6)$$

ความแรงรังสีของไอโซโทปรังสี ณ เวลา t ใด ๆ ภายหลังสิ้นสุดการแอกทิเวชัน จะเป็นดังสมการ

$$A_t = N\sigma\phi\ (1-e^{-\lambda T})\ e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

2.4.2 การสลายตัวของไอโซโทปรังสี[10] ไอโซโทปรังสีเป็นไอโซโทปที่ไม่เสถียร นิวเคลียสจะมีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าจะเสถียร โดยการแผ่รังสีออกมา ที่เรียกกันว่าการสลายตัวของสารรังสี (radioactive decay) ไอโซโทปรังสีแต่ละตัวจะมีรูปแบบของการสลายตัว (decay mode) ต่าง ๆ กัน ซึ่งรูปแบบของการสลายตัวมีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การสลายตัวโดยให้อนุภาคอัลฟา (α-decay) อนุภาคอัลฟาหรือรังสีอัลฟา คือ นิวเคลียสของฮีเลียม ประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว มีประจุบวก มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ ดังนั้นสามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน (ionization) ได้สูง โดยมากการสลายนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 82

2.4.2.2 การสลายตัวโดยให้อนุภาคเบตา (β^{-}-decay) อนุภาคเบตาหรือรังสีเบตา เกิดจากการสลายตัวของนิวตรอนในนิวเคลียสของไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนนิวตรอนมากกว่าจำนวนโปรตอน เพื่อที่จะลดจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสลง แล้วกลายเป็นไอโซโทป

เสถียร อนุภาคเบตามีมวลและประจุเท่ากับอิเลคตรอน

2.4.2.3 การสลายตัวโดยให้อนุภาคโพซิตรอน (β^+-decay) อนุภาคโพซิตรอน หรือรังสีโพซิตรอน มีลักษณะคล้ายกับอนุภาคเบตาแต่ต่างกันที่ประจุ ของโพซิตรอนจะเป็นบวก ดังนั้นบางครั้งจึงเรียกว่าอนุภาคเบตาบวก (positive beta) การสลายให้อนุภาคโพซิตรอนนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสมากกว่าจำนวนนิวตรอนและนิวเคลียสมีพลังงานมากกว่า หรือเท่ากับ 1.02 MeV

2.4.2.4 การสลายตัวด้วยกระบวนการจับอิเลคตรอน (electron capture) กระบวนการนี้เกิดกับไอโซโทปรังสีที่มีจำนวนโปรตอนในนิวเคลียสมากกว่าจำนวนนิวตรอน คล้ายกับข้อ 2.4.2.3 แต่จะไม่ให้โพซิตรอนออกมาเนื่องจากนิวเคลียสมีพลังงานน้อยกว่า 1.02 MeV กลับจับเอาอิเลคตรอนในชั้น K (K-shell) หรือชั้น L (L-shell) เข้าไปแทน การสลายในลักษณะนี้จะมีรังสีเอกซ์เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากอิเลคตรอนจากวงนอกจะวิ่งเข้ามาแทนที่อิเลคตรอนที่ถูกจับไป พร้อมทั้งคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า รังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงวงโคจรของอิเลคตรอน เรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic X-ray)

2.4.2.5 การสลายตัวโดยให้รังสีแกมมา (γ-decay) การสลายตัวให้รังสีแกมมาเกิดกับไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคอื่นดังที่กล่าวมาแล้วในข้อ 2.4.2.1 ถึงข้อ 2.4.2.4 แต่ปรากฏว่านิวเคลียสนั้นยังอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excited state) จึงคายพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่ารังสีแกมมา เพื่อกลับสู่สภาวะพื้น (ground state)

รังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ต่างกันที่จุดกำเนิด คือรังสีแกมมาออกมาจากนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์ออกมาจากการเปลี่ยนแปลงวงโคจรของอิเลคตรอน

2.4.2.6 การสลายตัวด้วยกระบวนอินเทอนัลคอนเวอร์ชัน (internal conversion) การสลายตัวด้วยกระบวนการนี้จะเกิดกับไอโซโทปรังสีที่ถ่ายทอดพลังงานให้กับอิเลคตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบ ๆ นิวเคลียส ทำให้อิเลคตรอนนั้นหลุดออกมา เรียกอิเลคตรอนที่

หลุดออกมาว่าคอนเวอร์ชันอิเลคตรอน

2.4.2.7 การสลายตัวด้วยกระบวนการไอโซเมอริคทรานซิชัน (isomeric transition) การสลายตัวนี้เป็นการสลายให้รังสีแกมมา ดังข้อ 2.4.2.5 แต่การสลายให้รังสีแกมมาในลักษณะนี้ตัวมันเองจะมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ในการสลายตัวด้วย จึงดู เหมือนว่ามาจากการสลายของไอโซโทปรังสีที่ต่างกัน

2.5 การวัดรังสีแกมมา

จากรูปแบบของการสลายตัวในข้อ 2.4.2.5 แสดงให้เห็นว่าไอโซโทปรังสีส่วนใหญ่จะให้รังสีแกมมา ดังนั้นในการวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชันจึงวัดรังสีแกมมาจากไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้น ในการวัดรังสีแกมมาหรือรังสีอื่นนั้นอาศัยการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ของรังสีนั้น ๆ กับสาร ซึ่งจะแตกต่างกันออกไปตามชนิดของรังสี สำหรับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาจะมีการเกิดอันตรกิริยากับสารเหมือนกัน เพราะต่างก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

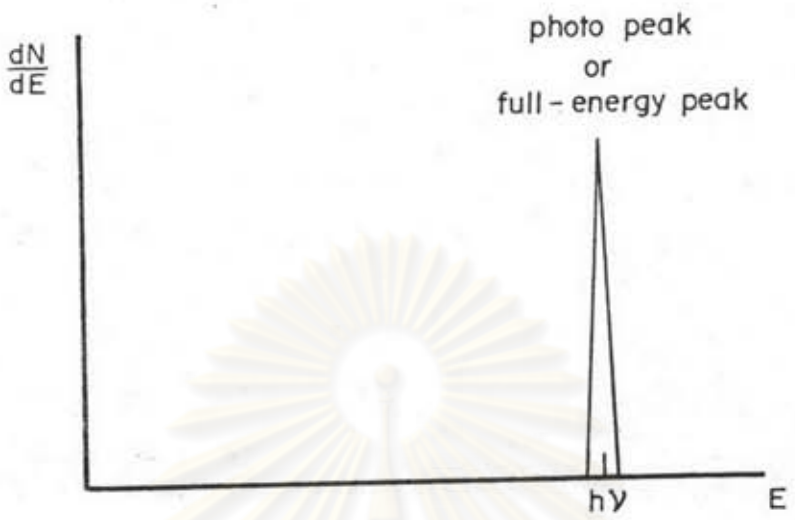
2.5.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสาร[10] (interaction of gamma with matter) ที่สำคัญมีอยู่ 3 กระบวนการ คือ

2.5.1.1 กระบวนการเกิดโฟโตอิเลคตริคเอฟเฟค (photoelectric effect) กระบวนการนี้เกิดเมื่อรังสีแกมมาวิ่งเข้าชนอิเลคตรอน แล้วถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเลคตรอน ทำให้อิเลคตรอนที่ถูกชนหลุดออกมาจากวงโคจรเรียกอิเลคตรอนที่หลุดออกมาว่าโฟโตอิเลคตรอน (photoelectron) โดยที่

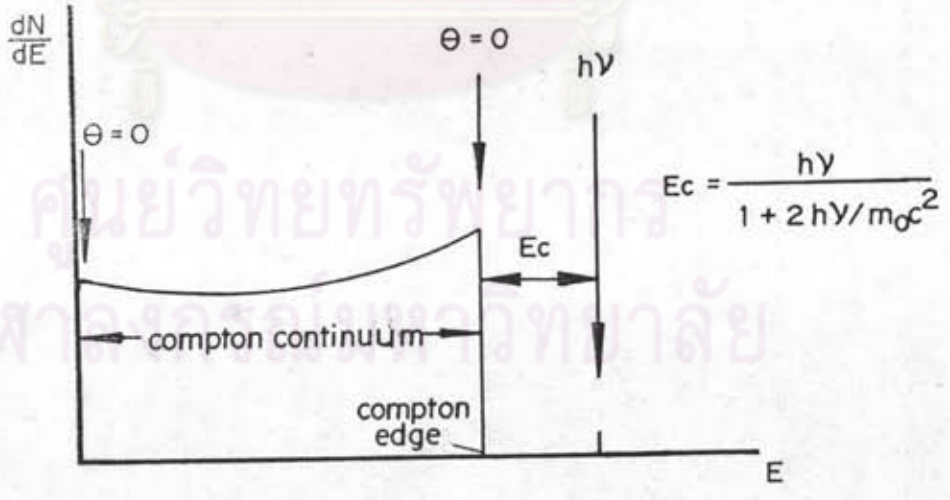
พลังงานรังสีแกมมา = พลังงานจลน์ของอิเลคตรอน + พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอน

หรือ $$h\nu = E_e + E_b$$

กระบวนการนี้เกิดได้ดีกับรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำ เข้าชนธาตุที่มีเลขอะตอมสูง ส่วนที่วัดได้จากกระบวนการนี้โดยหัวรังสี และเครื่องวัดรังสีที่ให้สเปคตรัมรังสีแกมมาจะเรียกว่าโฟโตพีค (photo peak) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนที่วัดได้จากการเกิดของกระบวนการโฟโตอิเลคตริคเอฟเฟค



รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงส่วนต่างๆที่วัดได้จากเกิดกระบวนการกระเจิงคอมป์ตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.1.2 กระบวนการกระเจิงคอมป์ตัน (compton scattering) เกิดเมื่อรังสีแกมมาถ่ายเทพลังงาน (E) เพียงบางส่วนให้กับอิเลคตรอนที่ถูกชน ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมา ในขณะเดียวกันรังสีแกมมาก็จะเปลี่ยนทิศทางของการเคลื่อนที่ไปเป็นมุม θ กับทิศทางเดิม เนื่องจากการสูญเสียพลังงานไป (E')

โดยที่ $$E' = \frac{E}{1+\frac{E}{m_0c^2}(1-\cos\theta)}$$

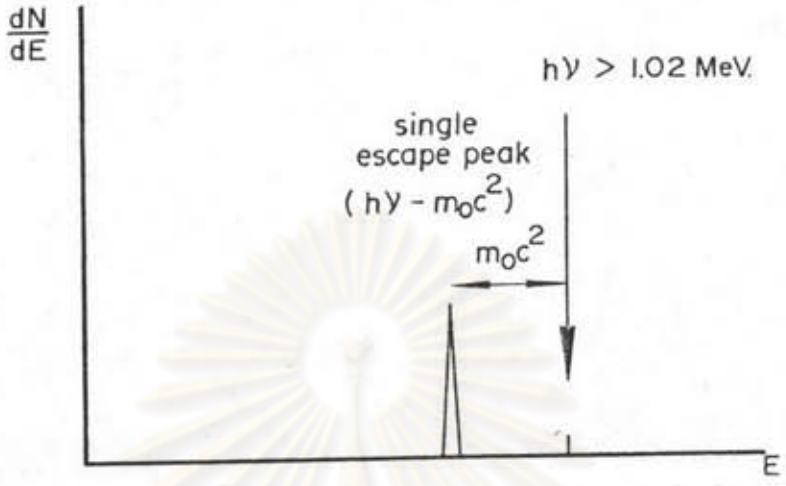
กระบวนการนี้จะเกิดได้ดีกับรังสีแกมมาที่มีพลังงานค่อนข้างสูง ส่วนที่วัดได้จากกระบวนการนี้คือ compton continuum และ compton edge ดังรูปที่ 2.2

2.5.1.3 กระบวนการเกิดอิเลคตรอนคู่ (pair production) กระบวนการนี้จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานมากกว่า 1.02 MeV วิ่งผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียสแล้วหายไป เกิดเป็นอิเลคตรอน และโพซิตรอน

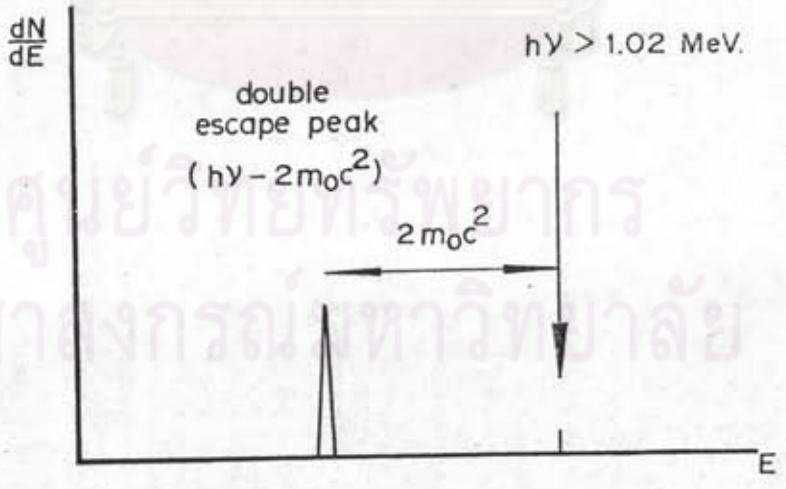
โดยที่ $$h\nu - 2m_0c^2 = E_{e^-} + E_{e^+}$$

โพซิตรอนที่เกิดขึ้นจะเกิด annihilation กับอิเลคตรอนของอะตอมข้างเคียง เกิดเป็นรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV (m_0c^2) 2 โฟตอนวิ่งออกไปในทิศทางตรงกันข้าม ส่วนที่วัดได้จากกระบวนการนี้คือพีคของ 0.511 MeV (annihilation peak), single escape peak และ double escape peak อันเนื่องเกิดจาก annihilation และการหลุดหายออกไปจากหัววัดรังสีของรังสีแกมมาพลังงาน 0.511 MeV 1 ตัว และ 2 ตัว ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

ดังนั้นในการวัดรังสีแกมมาที่วัดได้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 เมื่อพลังงานของรังสีแกมมาต่ำกว่า 1.02 MeV หรือเมื่อใช้หัววัดรังสีแกมมาที่ใช้วัดได้เฉพาะพลังงานต่ำเท่านั้น และสำหรับรูปที่ 2.6 จะเป็นสเปคตรัมของรังสีแกมมาที่มีพลังงานมากกว่า 1.02 MeV จากหัววัดรังสีแกมมาที่ใช้วัดรังสีแกมมาพลังงานสูง



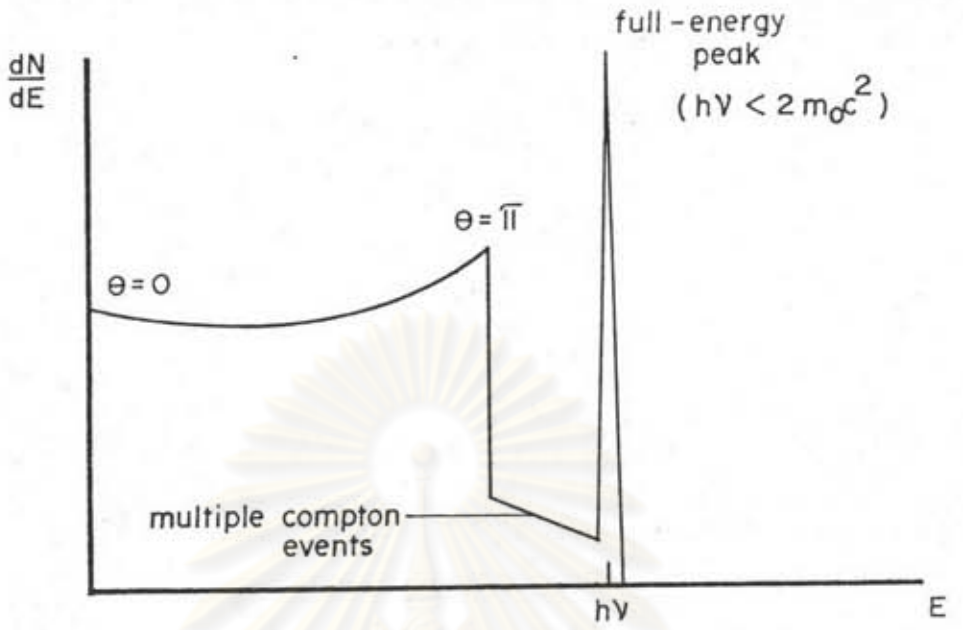
รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึง single escape peak ของรังสีแกมมา



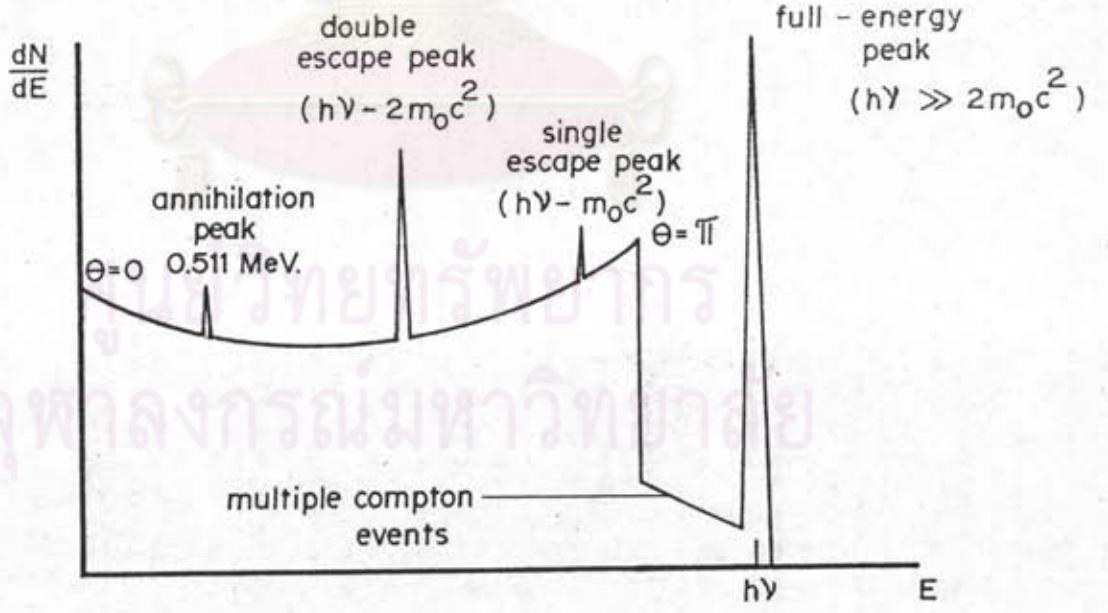
รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึง double escape peak ของรังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013594



รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงสเปคตรัมที่ได้จากการวัดรังสีแกมมาพลังงานต่ำกว่า 1.02 MeV หรือจากหัววัดรังสีแกมมาที่ใช้วัดรังสีแกมมาพลังงานต่ำ



รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงสเปคตรัมที่ได้จากการวัดรังสีแกมมาพลังงานมากกว่า 1.02 MeV

2.6 ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (detector efficiency)

ไอโซโทปรังสีจะสลายตัวให้รังสีออกมาทุกทิศทุกทาง ส่วนใหญ่ในการวัดรังสีแกมมาในการวิเคราะห์โดยเทคนิคนี้จะทำการวัดจากทิศทางเพียงทิศทางเดียว ดังนั้นประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของหัววัดรังสี ที่พลังงานของรังสี, ขนาดของหัววัดรังสี, ระยะทางจากไอโซโทปรังสีถึงหัววัดรังสี และมุมของรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี นั้น ๆ ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะและสามารถหาได้จากสมการ

$$Eff = \frac{cps}{dps \times f} \times 100 \qquad (2.8)$$

โดยที่ Eff คือ ประสิทธิภาพของการวัดรังสี เป็น ร้อยละ (%)

cps คือ อัตรานับ เป็น จำนวนนับ/วินาที

dps คือ ความแรงรังสี เป็น จำนวนการสลายตัว/วินาที

f คือ ความเข้มของรังสีแกมมาที่พลังงานที่ทำการวัด/100

2.7 การวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชัน [8]

ชนิดของรังสี พลังงานของรังสี และค่าครึ่งชีวิตของไอโซโทปรังสีแต่ละตัวจะมีค่าที่แน่นอน ดังนั้นถ้าหากสามารถวิเคราะห์ได้ว่า รังสีที่สลายออกมาจากไอโซโทปรังสี เป็นรังสีอะไร มีพลังงานเท่าไร และค่าครึ่งชีวิตเท่าใด ก็สามารถที่จะบอกได้ว่าเป็นไอโซโทปของธาตุตัวใด การวิเคราะห์ในลักษณะนี้เรียกว่าการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) และถ้าสามารถวิเคราะห์ได้ว่าไอโซโทปรังสีนั้นมีความแรงรังสีเท่าไร เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ชนิดไหน มีคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของการเกิดปฏิกิริยาเป็นอย่างไร จากความแรงรังสีที่วัดได้นั้นก็สามารถจะทราบปริมาณของไอโซโทปเริ่มต้นได้ จะเรียกการวิเคราะห์นี้ว่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ซึ่งการวิเคราะห์โดยเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชันสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

2.7.1 การวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non destructive analysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สะดวก เพียงแต่นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง นำตัวอย่างไปทำนิวตรอนแอกทิเวชัน แล้วทำการวัดความ

แรงรังสี จำเพาะจากไอโซโทปรังสีที่สนใจด้วยอุปกรณ์การวัดรังสี

2.7.2 การวิเคราะห์แบบทำลายตัวอย่าง (destructive analysis) การวิเคราะห์แบบนี้ยุ่งยากกว่าแบบแรก คือจะต้องนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการทางเคมี ซึ่งอาจจะทำก่อน หรือภายหลังการนำไปทำนิวตรอนแอกทิเวชัน แล้วจึงทำการวัดความแรงรังสี ส่วนใหญ่วิธีการนี้จะใช้เมื่อไม่สามารถวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธีการในข้อ 2.7.1

2.8 <u>วิธีการหาปริมาณของธาตุโดยเทคนิคนิวตรอนแอกทิเวชัน</u>[8]

2.8.1 absolute method

เป็นวิธีการที่หาปริมาณของธาตุจากการวัดความแรงรังสีแล้วทำการคำนวณโดยอาศัยสมการ (2.7) และ (2.8)

จาก (2.8) เขียนใหม่ได้ว่า $dps = \frac{cps}{Eff \times f} \times 100$ (2.9)

โดยที่ $(dps)_t = A_t$

แทนสมการ (2.9) ลงใน (2.7) จะได้ว่า

$$\frac{(cps)_t}{Eff \times f} \times 100 = N\sigma\phi\,(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t}$$

$$= \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W \times K)\sigma\phi(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t}}{M} \quad (2.10)$$

วิธีการนี้จะต้องทราบค่าที่ถูกต้องของ Eff, σ, ϕ, λ, T และ t โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมีได้มาก แต่วิธีการนี้มีข้อดีคือไม่จำเป็นต้องมีสารมาตรฐาน(standard) ก็สามารถหาปริมาณของไอโซโทปเริ่มต้นได้ทุกตัวที่สามารถวัดความแรงรังสีของไอโซโทปรังสีที่เกิดจากไอโซโทปนั้นๆ ได้

2.8.2 relative method

การหาปริมาณของธาตุด้วยวิธีนี้จะต้องมีสารมาตรฐาน (สารที่รู้ปริมาณของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์) ซึ่งการทำนิวตรอนแอกทิเวชันนั้นจะต้องนำตัวอย่างและสารมาตรฐานไปไว้ที่ตำแหน่งเดียวกัน ด้วยเวลา (T) ที่เท่ากัน แล้ววัดความแรงรังสี จากนั้นจึงอาศัยสมการ (2.10) จะได้ว่า

สำหรับสารตัวอย่าง

$$\frac{(cps)_{t\ sam}}{Eff \times f} \times 100 = \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W_{sam} \times K)\sigma\phi(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t_1}}{M} \quad (2.11)$$

สำหรับสารมาตรฐาน

$$\frac{(cps)_{t\ std}}{Eff \times f} \times 100 = \frac{(6.02 \times 10^{23} \times W_{std} \times K)\sigma\phi(1-e^{-\lambda T})e^{-\lambda t_2}}{M} \quad (2.12)$$

หารสมการ (2.11) ด้วย (2.12) โดยที่ค่าของ K, M, σ, ϕ, T, f และ Eff จะมีค่าเท่ากัน ทำการแก้ค่า $e^{-\lambda t_1}$ และ $e^{-\lambda t_2}$ (เนื่องจากไม่สามารถวัดตัวอย่างและสารมาตรฐานด้วยหัววัดรังสีหัวเดียวกัน ที่ตำแหน่งเดียวกัน และวัดในเวลาที่พร้อมกันได้) ให้เป็น $e^{-\lambda t}$ เดียวกัน

จะได้ว่า

$$\frac{(cps)_{sam}}{(cps)_{std}} = \frac{W_{sam}}{W_{std}} \quad (2.13)$$

ซึ่งการหาปริมาณด้วยวิธีนี้จะสะดวกกว่า และผิดพลาดน้อยกว่าในข้อ 2.7.1 แต่มีข้อเสียคือ วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุได้เท่าจำนวนธาตุในสารมาตรฐานที่รู้ปริมาณ คือถ้าไม่รู้ปริมาณของธาตุ หรือไม่มีธาตุที่เราสนใจ ในสารมาตรฐาน ก็ไม่สามารถหาปริมาณของธาตุที่สนใจได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย