บทที่ 2

อันตรกริยาของรังสีแกมมากับสสาร

สารกัมมันตรังสีที่ปล่อยรังสีแกมมาออกมา เมื่อไปปะทะกับสสารจะเกิดอันตรกริยาแบบต่าง ๆ ซึ่งแล้วแต่ขนาดของพลังงานรังสีแกมมา และชนิดของสสาร อันตรกริยาแบ่งได้เป็น 3 พวกใหญ่ ๆ คือ

2.1 ปฏิกิริยาแบบโฟโตอิเลคตริก (Photoelectric effect)

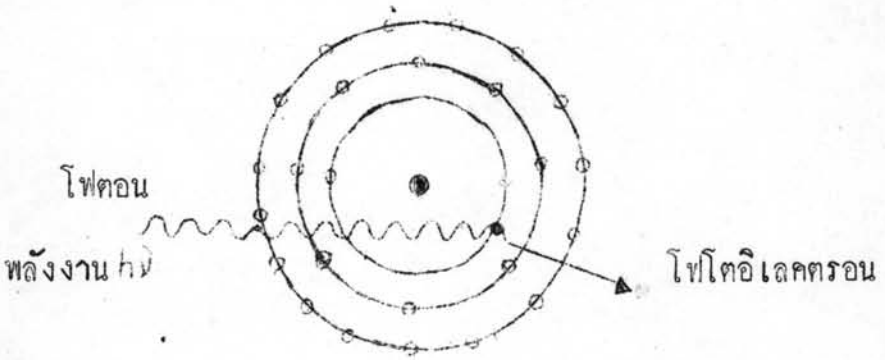
เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนเข้าชนกับอะตอมของสสารแล้วถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเลคตรอนภายในอะตอมนั้น ทำให้อิเลคตรอนตัวนั้นหลุดออกมาเรียกว่า โฟโตอิเลคตรอน (photoelectron) ถ้าโฟตอนที่ตกกระทบมีพลังงานสูงกว่าพลังงานของอิเลคตรอนที่ถูกยึดเหนี่ยวอยู่ จะเป็นผลให้เกิดพลังงานจลน์แก่โฟโตอิเลคตรอนนั้น เขียนเป็นสูตรง่าย ๆ ได้ว่า

$$h\nu = \phi + E_k$$

$h\nu$ = พลังงานของโฟตอนที่เข้าชนอะตอม

ϕ = พลังงานที่ยึดเหนี่ยวอิเลคตรอนอยู่ภายในอะตอม

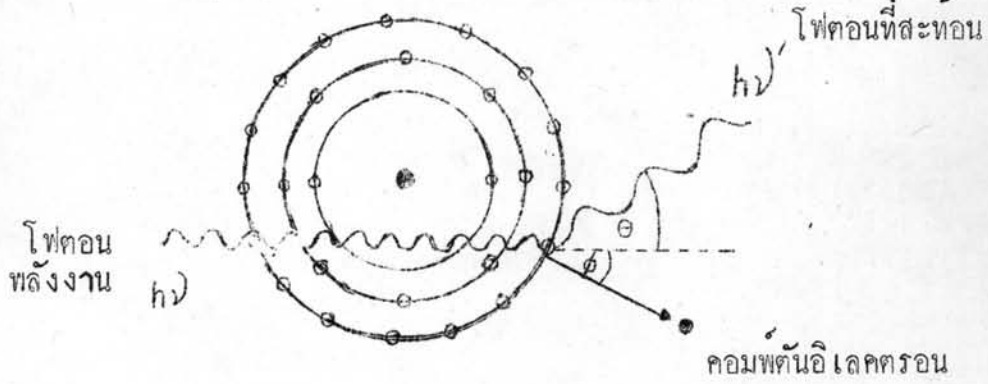
E_k = พลังงานจลน์ของอิเลคตรอนที่หลุดออกมา



รูปที่ 2-1 ปฏิกิริยาโฟโตอิเลคตริก

2.2 ปฏิกิริยาแบบคอมพ์ตัน (Compton Scattering)

เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนเข้าชนกับอิเลคตรอนแล้วถ่ายทอดพลังงานเพียงส่วนหนึ่งให้แก่อิเลคตรอน ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมาเป็นมุม ϕ ดังรูป 2-2 พร้อมกับมีโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าก่อนชนออกมาด้วย โดยอิเลคตรอนที่แบ่งเอาพลังงานจากโฟตอนอันเดิมเรียกว่า รีคอยล์อิเลคตรอน (recoil electron) หรือ คอมพ์ตันอิเลคตรอน (Compton electron)



รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยาแบบคอมพ์ตัน

คอมพ์ตันได้แสดงความสัมพันธ์ไว้ดังนี้

$$E' = E\left\{1 + (1-\cos\theta)\frac{E}{mc^2}\right\}^{-1}$$

$$E_k = E\left\{1 + mc^2/(1-\cos\theta)\,E\right\}^{-1}$$

โดยที่

E' = พลังงานโฟตอนสะท้อน

E_k = พลังงานจลน์ของคอมพ์ตันอิเลคตรอน

E = พลังงานเดิมของโฟตอน

m = มวลของอิเลคตรอน

C = ความเร็วแสง

θ = มุมที่โฟตอนสะท้อนออกมาจากแนวทิศเดิม

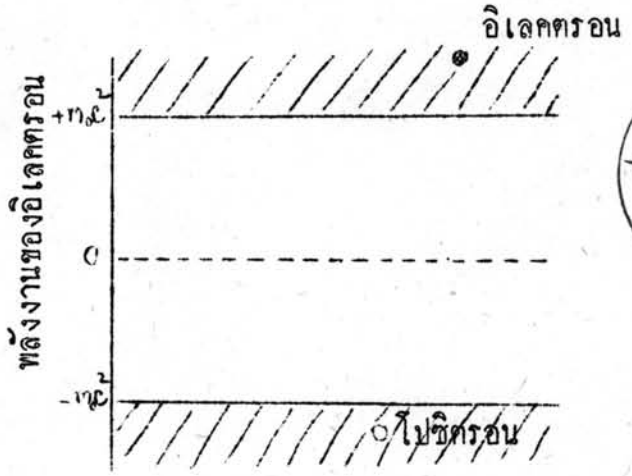
จากความสัมพันธ์เหล่านี้ได้ว่า พลังงานส่วนหนึ่งของโฟตอนเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของอิเลคตรอนมีค่าเท่ากับ $E - E'$ เมื่อพิจารณา $\theta = 0^\circ$ ทำให้ $E' = E$ และที่ $\theta = 180^\circ$ ทำให้ $E' = E - E_{Kmax}$

๒.๓ ปฏิกิริยาแบบอิเลคตรอนคู่ (Pair Production)

เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่มาตกกระทบมีพลังงานมากกว่า 1.02 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ ผ่านเข้ามาภายในสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียส เกิดเป็นโปซิตรอนและอิเลคตรอน ทั้งนี้ เพราะระดับพลังงานที่เป็นไปได้มีทั้ง $E \geq m_0c^2$ และ $E \leq -m_0c^2$ สำหรับอิเลคตรอนในระดับพลังงานเป็นลบจะมีโอกาสแสดงตัวออกมาเมื่อได้รับพลังงานพอที่จะกระโดดขึ้นสู่ระดับพลังงาน $E \geq m_0c^2$ ส่วนตำแหน่งเดิมที่ว่างอยู่จัดเป็นอนุภาคอันหนึ่งเรียกว่าโปซิตรอน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$h\nu \longrightarrow e^+ + e^- + 2E_K$$

โดยโปซิตรอนและอิเลคตรอนจะเฉลี่ยพลังงานไปเท่า ๆ กัน เช่นถ้าโฟตอนที่เข้ามามีพลังงาน 1.02 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ ทั้งคู่จะเฉลี่ยพลังงานตัวละ 0.51 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ ถ้าพลังงานเกินกว่านี้ก็จะเฉลี่ยไปเท่า ๆ กัน



หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

รูป 2-3 ปฏิกิริยาการเกิดอิเลคตรอนคู่

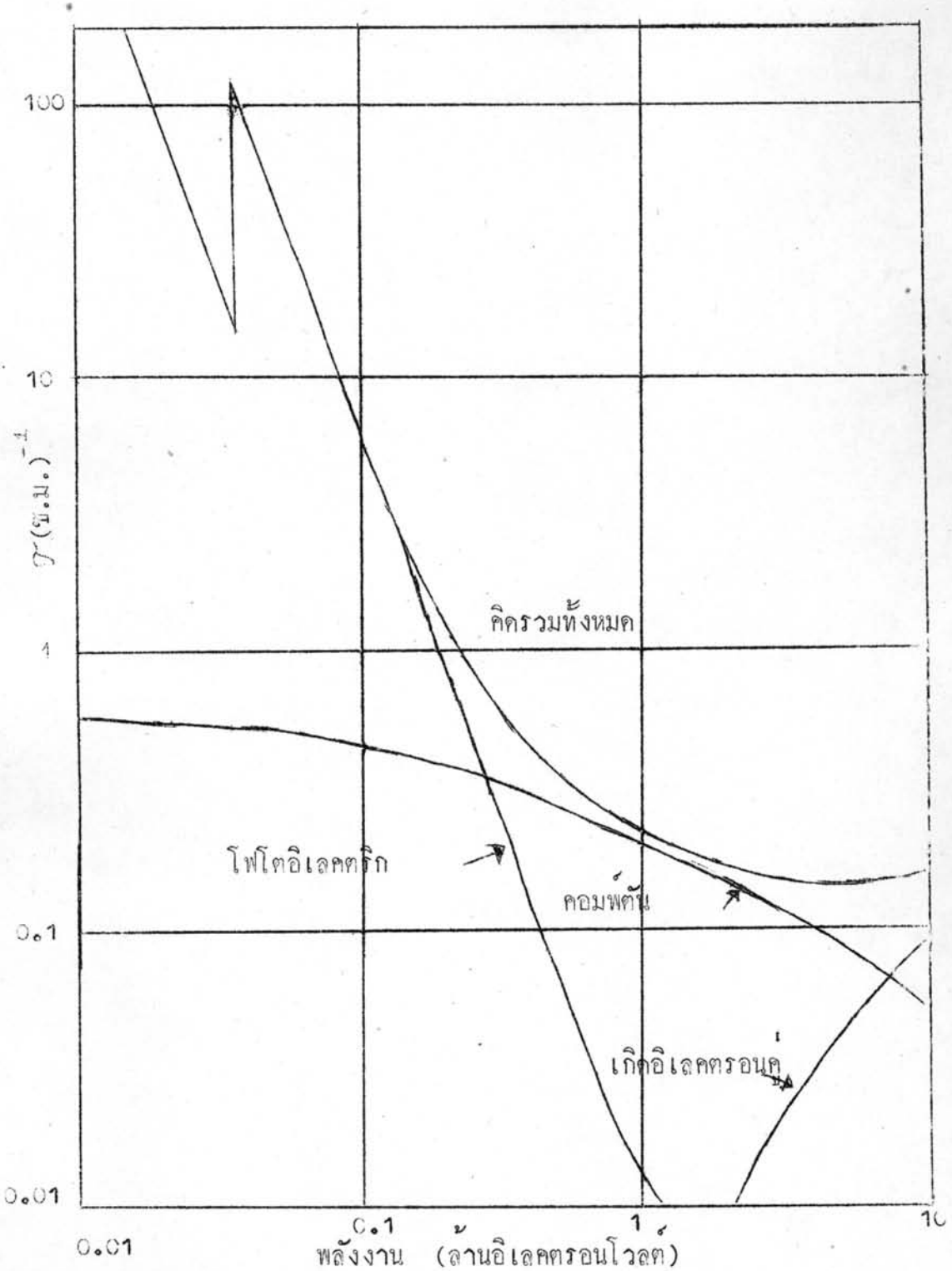
นอกจากการเกิดอันตรกริยาของรังสีแกมมาต่อสสารทั้งสามแบบแล้ว ยังอาจเกิดแบบอื่น ๆ ได้อีก เช่น ถ้าพลังงานโฟตอนที่ตกกระทบมีค่าใกล้เคียงกับค่ายึดเหนี่ยวของอิเลคตรอน ทำให้โฟตอนปฐมภูมิจะถูกปล่อยออกมาใหม่มีพลังงานคงเดิม ทั้งนี้เป็นเพราะรีคอยล์โมเมนตัมที่อะตอมรับไว้ เมื่อเทียบกับมวลของอะตอมจะน้อยมาก จึงถือว่ามันไม่ได้รับพลังงานจากโฟตอน จึงไม่จัดเป็นการดูดกลืนพลังงานเหมือนแบบที่กล่าวมาข้างต้น

2.4 อันตรกริยาของรังสีแกมมาที่มีต่อโซเดียมไอโอไดด์[1]

ปรากฏว่าที่พลังงานต่ำ ๆ จะเกิดปฏิกิริยาแบบโฟโตอิเลคตริกเป็นส่วนใหญ่ และที่พลังงานสูงขึ้นมาจะเกิดปฏิกิริยาแบบคอมพ์ตัน ถ้าพลังงานรังสีแกมมาสูงเกินกว่า 1.02 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ เกิดปฏิกิริยาแบบอิเลคตรอนคู่ ผลของอันตรกริยาเหล่านี้นำมาเขียนเป็นกราฟระหว่างสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนพลังงานของโซเดียมไอโอไดด์ ซึ่งมีหน่วยเป็นส่วนกลับของระยะทางเซนติเมตร กับพลังงานรังสีแกมมา มีหน่วยเป็นล้านอิเลคตรอนโวลต์

---

[1] William J. Price, Nuclear Radiation Detection (New York McGraw-Hill Book Company, Inc. 1958), P. 190.



รูปที่ 2-4 แสดงอันตรกริยาของรังสีแกมมากับโซเดียมไอโอไดด์