บทที่ 2

ทฤษฎี

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

2.1 การเกิดรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัว

อะตอมของธาตุต่างๆ ประกอบด้วยนิวเคลียส มีอิเลคตรอนโคจรอยู่เป็นชั้นๆ รอบนิวเคลียส ชั้นเหล่านี้จะมีหมายเลขประจำชั้นหรือที่เรียกว่า Principal Quantum Number แทนด้วย n ชั้นที่อยู่ใกล้นิวเคลียสมากที่สุดจะมีค่า n เท่ากับ 1 และชั้นถัดออกมาจะมีค่า n เท่ากับ 2, 3, 4... เรียงไปเรื่อยๆ ตามลำดับ แต่เพื่อความสะดวกได้มีการใช้ตัวอักษรเรียกชื่อแทนชั้นเหล่านี้โดยเรียกชื่อเป็น ชั้น K(n=1), L(n=2), M(n=3), N(n=4) อิเลคตรอนที่โคจรในแต่ละชั้นจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวคงที่และเนื่องจากอิเลคตรอนแต่ละตัวมีค่า Angular Momentum และ Spin แตกต่างกันซึ่งเขียนแทนได้ด้วยค่าควานตัม นัมเบอร์ (Quantum Number) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1[2]

เมื่อมีอนุภาคหรือโฟตอนวิ่งเข้าไปชนกับอะตอมของธาตุและทำให้อิเลคตรอนในชั้นใดชั้นหนึ่งหลุดออกเกิดมีที่ว่างขึ้น อิเลคตรอนที่อยู่ในชั้นอื่นจะย้ายเข้ามาแทนที่และจะต้องเป็นไปตามกฎของการเลือก (Selection Rule) คือ

$$\Delta \ell = \pm 1$$

$$\Delta j = 0 \text{ หรือ } \pm 1$$

ในขณะที่มีการย้ายที่ของอิเลคตรอนจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือที่เรียกว่ารังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวและสามารถหาพลังงานของโฟตอนได้จากสมการ

$$E_x = E_i - E_f$$

เมื่อ E_x = พลังงานของโฟตอนที่ให้ออกมา

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าควานตัม นัมเบอร์

Symbol	Name	Significant	Allowed values
n	Principal	Principal binding energy; indicates shell	1, 2, 3,..., n
ℓ	Azimuthal	Orbital angular momentum determine shape of orbital	0, 1,..., (n-1) s, p, d, f,...
m	Magnetic	Projection of angular momentum (ℓ) on magnetic field; indicates orientation of orbital in a magnetic field	$\pm\ell$, 0
s	Spin	Direction of spin-clockwise or counterclockwise	$\pm\frac{1}{2}$
j	Inner Precession	Vector sum of ℓ and s	$\ell\pm\frac{1}{2}$, except $j \neq 0, -\frac{1}{2}$

E_i = พลังงานของอิเลคตรอนก่อนที่จะย้าย

E_f = พลังงานของอิเลคตรอนหลังจากย้ายเรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 2.1[2] ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเรียงตัวของชั้นต่างๆ ซึ่งบางชั้นได้แบ่งออกเป็นชั้นย่อยพร้อมกับการย้ายที่ของอิเลคตรอนที่จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีที่ว่าง สำหรับ K_{ab}, L_{ab},... หรือที่เรียกว่า แอบซอพชั่นเอดจ์ (Absorption Edge) ของชั้น K, L,... ก็คือพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอนในชั้น K, L,...นั่นเอง

2.2 การเกิดรังสีเอ็กซ์ต่อเนื่อง

เมื่อมีอนุภาคที่มีประจุเช่นอิเลคตรอนวิ่งผ่านเข้าไปในสสาร อนุภาคจะถูกเบี่ยงเบนด้วยประจุไฟฟ้าในอะตอมและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราเร่งพร้อมกับมีการแผ่รังสีออกมา พลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีนี้จะมีได้หลายค่าโดยเริ่มจาก 0 จนถึงพลังงานของอิเลคตรอนที่วิ่งเข้าไปและมีค่าต่อเนื่องกัน ความเข้มของรังสีเอ็กซ์ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนประจุไฟฟ้าของอนุภาค มวลของอนุภาคและประจุไฟฟ้าของสสารหรือค่าหมายเลขอะตอม (Atomic Number)

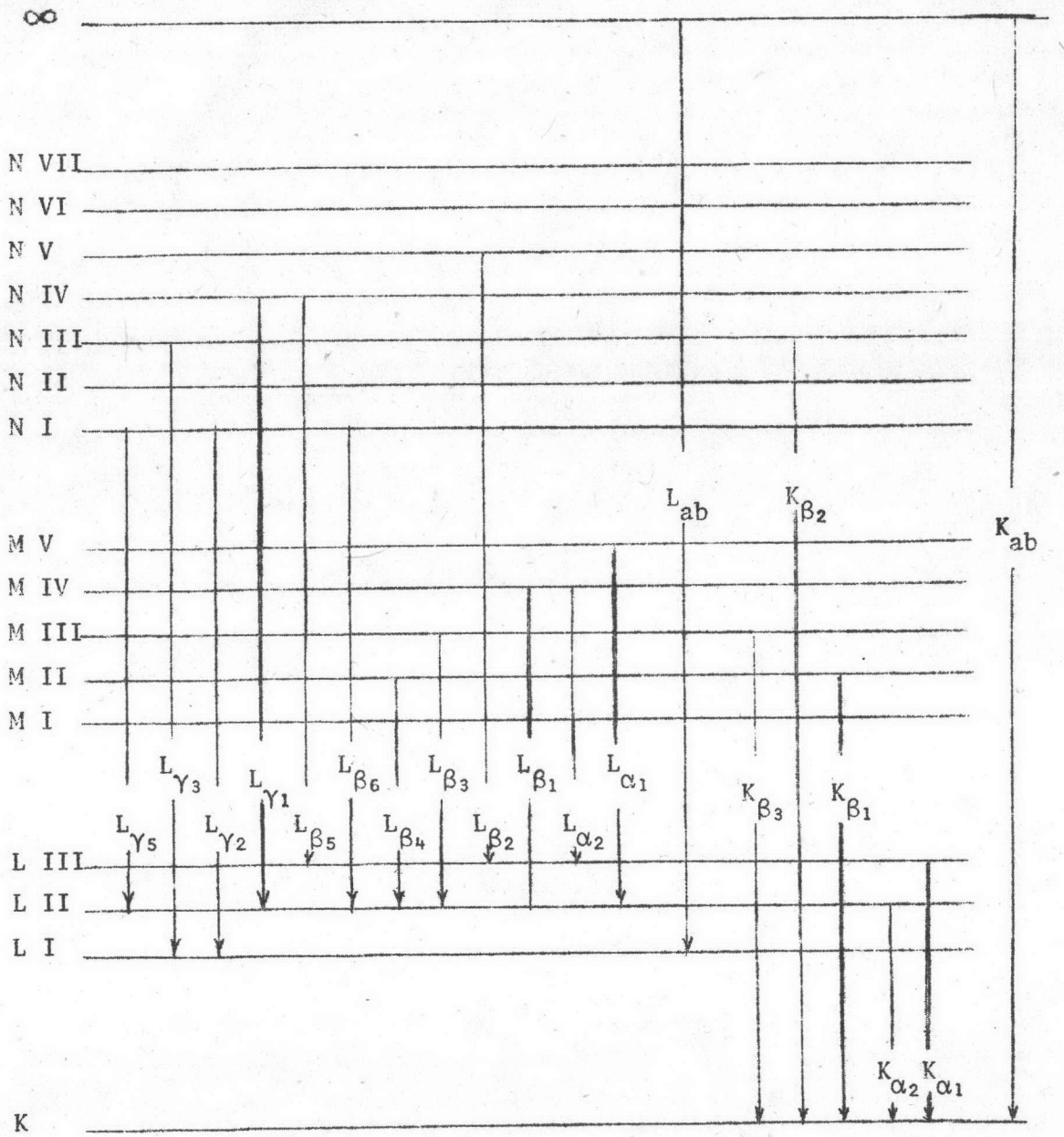
2.3 ปฏิกริยาของรังสีเอ็กซ์กับสสาร

เมื่อรังสีเอ็กซ์วิ่งเข้าไปชนกับอะตอมของสสารจะเกิดปฏิกริยาขึ้นมา 3 แบบ คือ

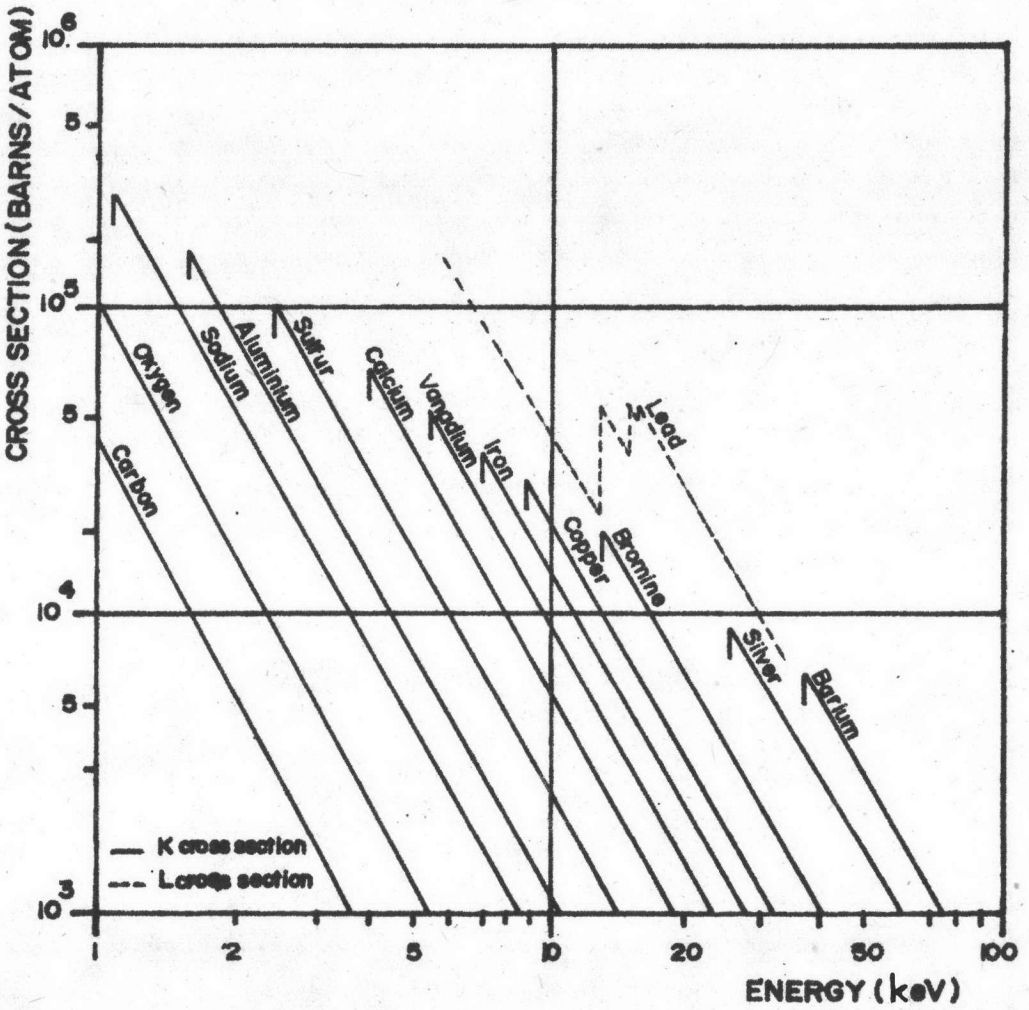
2.3.1 โฟโตอิเลคตริคเอฟเฟค (Photoelectric Effect)

รังสีเอ็กซ์จะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเลคตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสโดยเฉพาะอย่างยิ่งในชั้น K และ L ทำให้อิเลคตรอนหลุดออกไปนอกอะตอมโดยที่

พลังงานรังสีเอ็กซ์ = พลังงานจลน์ของอิเลคตรอน + พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเลคตรอน



รูปที่ 2.1 แสดงชั้นพลังงานของอะตอม และการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนเมื่อเกิดที่ว่าง พร้อมทั้งชนิดของรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้น

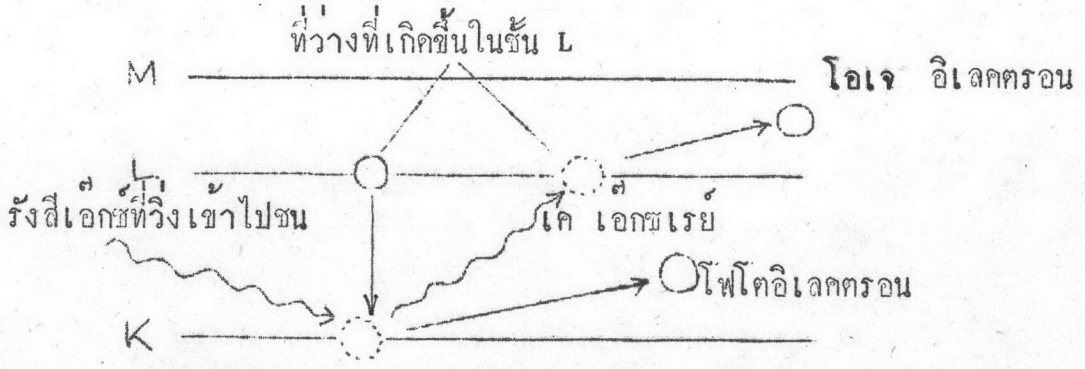


รูปที่ 2.2 แสดงค่าโฟโตอิเลกตริกครอสเซกชั่นของธาตุ
เทียบกับพลังงานของรังสีเอ็กซ์

หรือ $$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + w$$

โอกาสในการเกิดปฏิกริยานี้จะอธิบายในเทอมของครอสเซคชั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.2[3] ซึ่งจะเห็นได้ว่าโฟโตอิเลคตริคครอสเซคชั่นจะขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เข้าไปกระตุ้นและหมายเฉพาะตอม ของธาตุที่ถูกกระตุ้น ในกรณีของตะกั่วจะเห็นได้ว่าเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้นค่าของครอสเซคชั่นจะเพิ่มขึ้นทันทีทันใด ทำให้กราฟไม่ต่อเนื่องตรงตำแหน่งนี้เองที่เรียกว่า แอบซอพชั่นเอดจ์ และจะมีค่าเท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของ**อิเลคตรอนในชั้นต่างๆ** ดังนั้นกระบวนการนี้จะเกิดได้ดีที่สุดต่อเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์ที่วิ่งเข้าไปมีค่ามากกว่าค่าแอบซอพชั่นเอดจ์เพียงเล็กน้อย ผลที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยานี้จะทำให้อะตอมของธาตุนั้นปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา

2.3.2 **โอเจ** เอฟเฟค (Auger Effect) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในอะตอมของธาตุมีผลทำให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้ออกมามีน้อยกว่าที่เป็นจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าถ้ารังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจากกระบวนการโฟโตอิเลคตรอนมีพลังงานสูงพอที่จะชนให้อิเลคตรอนที่อยู่ในชั้นถัดไปหลุดออกจากวงโคจรและเกิดที่ว่างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.3 อิเลคตรอนที่หลุดออกไปเรียกว่า **โอเจ** อิเลคตรอน (Auger Electron)



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการเกิด**โอเจ** เอฟเฟค

จากรูปจะเห็นได้ว่า เค เอ็กซเรย์ (K X-ray) ที่เกิดขึ้นจะหายไปและมีที่ว่างเกิดขึ้นสองแห่งในชั้น L ผลที่ได้ก็คือการเกิด แอล เอ็กซเรย์ (L X-ray) แทน เค เอ็กซเรย์ อัตราส่วนระหว่างรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่ได้ออกมากับจำนวนที่ว่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระตุ้นเรียกว่าฟลูเรสเซนซ์ ยีล (Fluorescence Yield) ซึ่งหาได้จากสมการ[2]

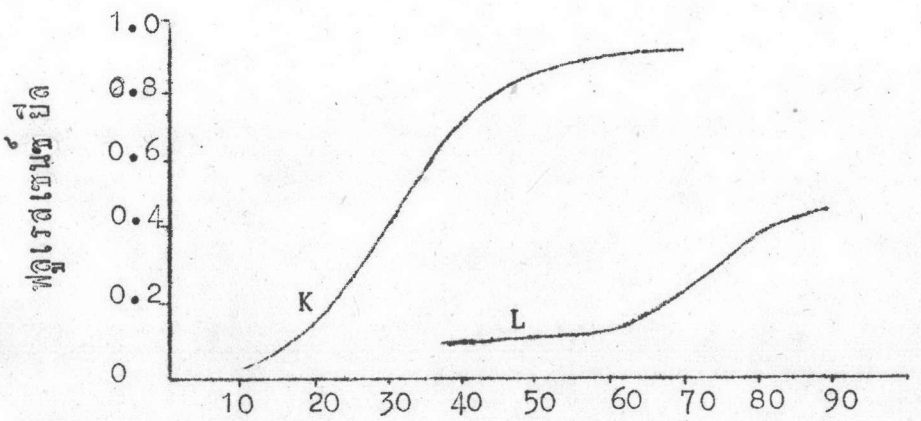
$$W_K = \frac{\Sigma(n_K)_i}{N_K} = \frac{n_{K\alpha 1} + n_{K\alpha 2} + n_{K\beta 1} + \cdots}{N_K}$$

เมื่อ W_K = เค ฟลูเรสเซนซ์ ยีล

N_K = อัตราการเกิดที่ว่างในชั้น

$(n_K)_i$ = อัตราการเกิดรังสีเอ็กซ์เฉพาะตัวที่เรืองออกมา

สำหรับ L และ M ฟลูเรสเซนซ์ ยีล ซึ่งแทนด้วย W_L และ W_M ก็มีคำจำกัดความคล้ายๆ กัน รูปที่ 2.4[2] แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ฟลูเรนเซนซ์ ยีล กับ หมายเลขอะตอม



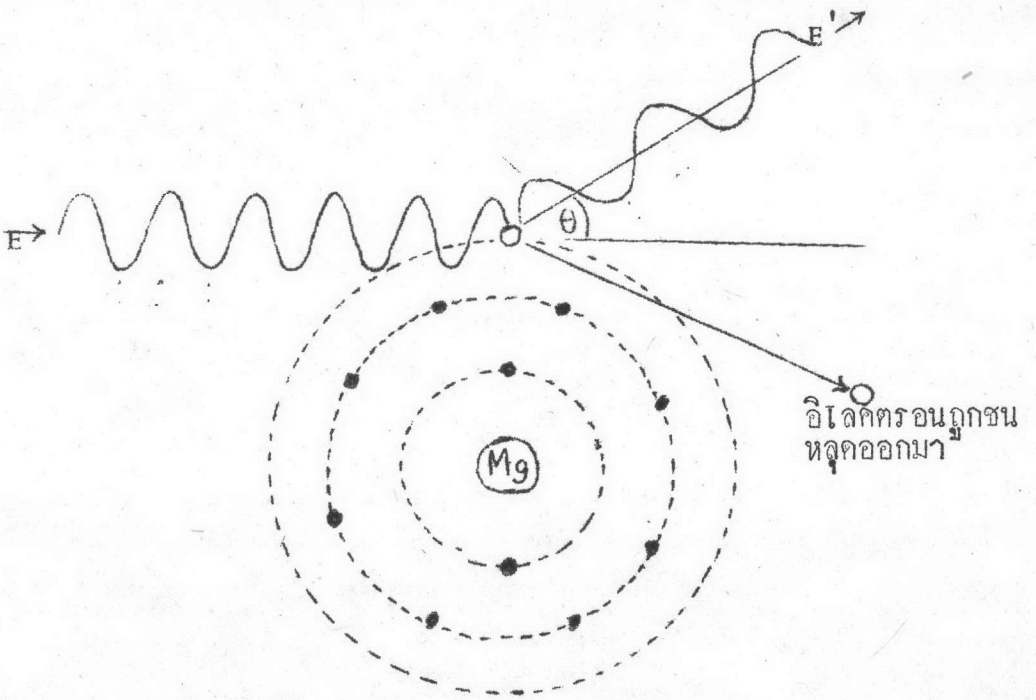
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง W_K และ W_L กับหมายเลขอะตอม

2.3.3 Elastic Scattering

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอ็กซ์วิ่งเข้าไปชนกับอิเลคตรอนที่ยึดตัวอยู่อย่างเหนียวแน่นกับอะตอมและทำให้ระบบของอิเลคตรอนที่โคจรอยู่ทั้งหมดมีการสั่นพร้อมกับแผ่รังสีออกมาโดยมีพลังงานเท่ากับพลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่วิ่งเข้าไปชน

2.3.4 Compton Scattering

กระบวนการนี้เกิดขึ้นเมื่อรังสีเอ็กซ์วิ่งเข้าไปชนกับอิเลคตรอนในอะตอมซึ่งมีสภาพคล้ายกับเป็นอิเลคตรอนอิสระและถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอิเลคตรอนพร้อมกับเปลี่ยนทิศทางในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการเกิด Compton Scattering

พลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่เบี่ยงเบนออกไปหาได้จากสมการ

$$E' = E \frac{1}{1 + \frac{E}{m_0 c^2}(1-\cos\theta)}$$

E, E' = พลังงานของรังสีเอ็กซ์ที่วิ่งเข้าไปชน และเบี่ยงเบนตามลำดับ

Θ = มุมที่รังสีเอ็กซ์เบี่ยงเบนไปจากทิศทางการเคลื่อนที่เดิม