



บทที่ 2

เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์และเทคนิคการสะท้อนรังสีเบตา

2.1 หลักการเบื้องต้นของวิธีเรืองรังสีเอกซ์

หลักการของวิธีการเรืองรังสีคือการยิงรังสีพลังงานที่เหมาะสม(โดยทั่วไปใช้รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา) ไปกระตุ้นตัวอย่างเพื่อทำให้อิเล็กตรอนวงโคจรใน(วงโคจร K หรือ L) หลุดออกไปนอกอะตอม อิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกซึ่งมีระดับพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่ว่าง จึงปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ เรียกว่า "รังสีเอกซ์เรือง(fluorescent x-ray)" ซึ่งจะทำให้หอะตอมของตัวอย่างเกิดการเรืองรังสีขึ้น พลังงานของรังสีเอกซ์เรืองที่ถูกปล่อยออกมามีพลังงานเฉพาะของแต่ละธาตุที่ถูกกระตุ้นโดยจะขึ้นกับเลขอะตอม(Z) ของธาตุนั้น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "รังสีเอกซ์เฉพาะตัว(characteristic x-ray)" พลังงานของรังสีเอกซ์เรืองจึงเป็นตัวบอชนีของธาตุในตัวอย่าง ส่วนความเข้มรังสีขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแต่ละธาตุ สำหรับตัวอย่างหนึ่งๆนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองจะขึ้นอยู่กับความหนาของตัวอย่าง

พลังงานของรังสีเอกซ์จะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

ดังนี้

$$E(\text{keV}) = 12.4 / \lambda \dots\dots\dots 2.1$$

โดยที่ λ มีหน่วยเป็น อังสตรอม (Angstrom, A)

E มีหน่วยเป็น กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านเข้าไปในสสารความเข้มของรังสีจะลดลงโดยขึ้นอยู่กับ เลขอะตอม ความหนา และความหนาแน่นของสสารนั้น ถ้ารังสีเอกซ์มีพลังงาน E_0 และมีความเข้ม I_0 ผ่านเข้าไปในสสารที่เป็นเนื้อเดียวกันความหนา x จะได้รับความเข้ม I ผ่านออกมา ดังนั้นจะได้รับความเข้ม $(I_0 - I)$ สูญเสียไปในเนื้อสสาร

ความเข้ม I ที่ได้ไม่ขึ้นอยู่กับ I_0 อย่างเดียวแต่จะขึ้นอยู่กับ ความหนา (dx) มวล (dm) จำนวนอะตอม (dn) ของสสารนั้น

- ถ้าให้หน้าตัดลำของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบมีพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร
- μ_x เป็นค่า linear absorption coefficient (สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น)
 - μ_m เป็นค่า mass absorption coefficient (สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล)
 - μ_n เป็นค่า atomic absorption coefficient (สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงอะตอม)

จะได้

$$dI/I = -\mu_x dx \dots\dots\dots 2.2$$

$$dI/I = -\mu_m dm \dots\dots\dots 2.3$$

$$dI/I = -\mu_n dn \dots\dots\dots 2.4$$

- โดยที่ $\mu_x = \mu_m \rho = \mu_n \rho \cdot N/A$
- ρ = ความหนาแน่น
 - N = อาโวกาโดรนามเบอร์
 - A = น.น.อะตอม

ความเข้มของโฟตอน (I) ที่ผ่านตัวกลางความหนา x โดยไม่เกิดการดูดกลืนหรือการสะท้อนจะคำนวณได้จากสมการ

$$\ln I_x - \ln I_0 = -\mu_x \cdot x \dots \dots \dots 2.5$$

$$I = I_0 e^{-\mu_x \cdot x} \dots \dots \dots 2.6$$

พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.1 - 100 Kev ซึ่งในช่วงพลังงานนี้ อันตรกิริยาของรังสีกับสสารแบบผลโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)* จะมีมากกว่าการสะท้อนคอมพ์ตัน (Compton scattering)** และการสะท้อนโคฮีเรนท์ (Coherent scattering) ค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption cross-section) จะเป็นสัดส่วนอยู่ระหว่างค่า Z^4/A และ Z^5/A (A = น.น.อะตอม)

ค่าภาคตัดขวางของการสะท้อนคอมพ์ตัน (Compton scattering cross-section) จะเป็นสัดส่วนกับ Z/A เพราะฉะนั้นค่าการสูญเสียพลังงานของการสะท้อนคอมพ์ตัน จะมีค่าน้อย ถ้าพลังงานสูญเสียที่มุม 90 องศาของการสะท้อนของพลังงาน 5 , 20 , 100 Kev จะได้ค่าพลังงานสูญเสีย 0.05, 0.75 , 16.4 ตามลำดับ

* Photoelectric effect เป็นอันตรกิริยาที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้แก่อิเล็กตรอนของอะตอมตัวกลาง ภายหลังจากอันตรกิริยาแบบนี้รังสีเอกซ์จะหายไป

** Compton Scattering เป็นอันตรกิริยาที่รังสีเอกซ์ถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้แก่อิเล็กตรอนของอะตอมตัวกลาง ภายหลังจากอันตรกิริยาแบบนี้รังสีเอกซ์จะมีพลังงานลดลงซึ่งมักเรียกว่า "incoherent scattering"

โดยปรกติการวัดโดยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์จะใช้เมื่อต้องการวัดธาตุที่มีค่าเลขอะตอมมากกว่าหรือเท่ากับ 20 ซึ่งเป็นเพราะเหตุผลสำคัญ 2 ประการคือ

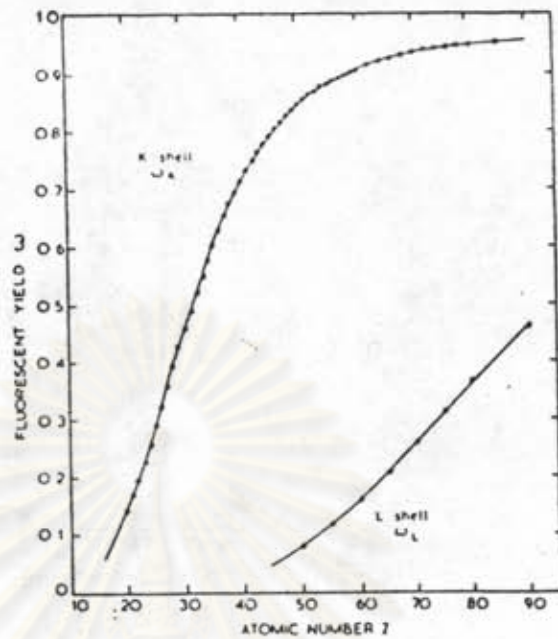
ประการแรกการเรืองรังสีเอกซ์ของธาตุที่มีค่าเลขอะตอมต่ำๆจะมีค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ต่ำมากดังนั้นจะไม่สามารถใช้วัดตัวอย่างที่มีความหนาได้ เพราะจะมีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำ

ประการที่สองค่า fluorescence yield " ω " จะมีค่าต่ำสำหรับธาตุที่มีค่าเลขอะตอมต่ำ ที่เช่นกรณีของรังสีเอกซ์อนุกรม K (K X-Rays) จะมีค่า $\omega_K = 0.11$ สำหรับธาตุแคลเซียม ($Z = 20$) แต่สำหรับธาตุยูเรเนียม ($Z = 92$) ω_K มีค่า = 0.96

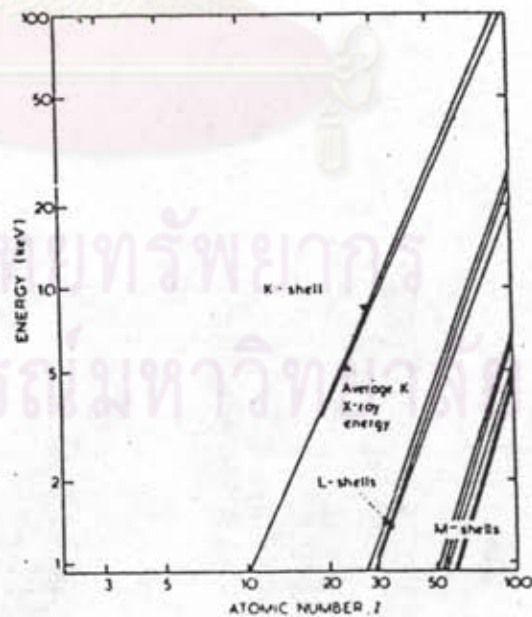
$$\omega = \frac{\text{อัตราการเกิดรังสีเอกซ์เรือง}}{\text{อัตราการเกิดที่ว่างในวงโคจรอิเล็กตรอน}}$$

$$\text{เช่น สำหรับอนุกรม K : } \omega_K = \frac{\text{อัตราการเกิดรังสีเอกซ์เรืองอนุกรม K}}{\text{อัตราการเกิดที่ว่างในวงโคจร K}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



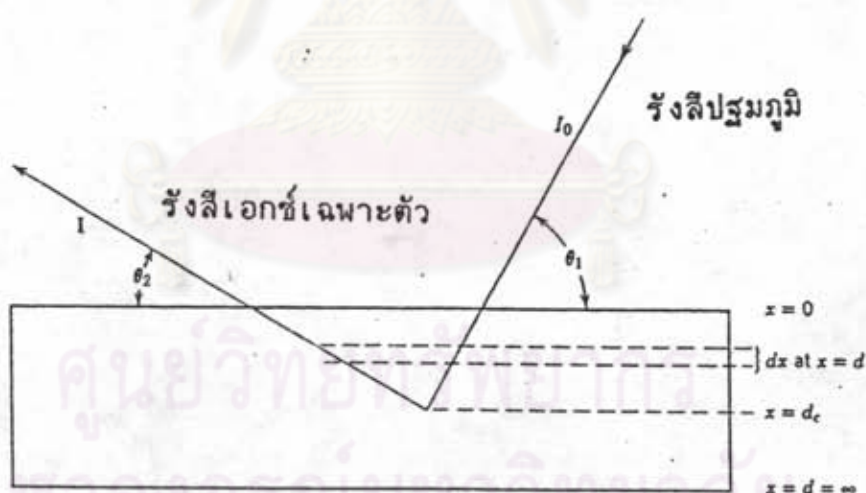
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของ Fluorescence Yield กับ เลขอะตอม



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่า พลังงานยึดเหนี่ยว ของอิเล็กตรอนชั้น K และ L กับ เลขอะตอม

ในการที่จะทำให้อิเล็กตรอนในวงโคจรใด ๆ หลุดออกนอกอะตอม พลังงานของรังสีที่ไปกระตุ้นจะต้องมีค่ามากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจรนั้นๆ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนชั้นในสุด (วงโคจร K) มีค่าตั้งแต่ 13.6 อิเล็กตรอนโวลต์ ($Z = 1$, ไฮโดรเจน) จนถึง 141.51 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ($Z = 100$, Fermium) และสำหรับวงโคจร L พลังงานยึดเหนี่ยวมีค่าตั้งแต่ 22 อิเล็กตรอนโวลต์ ($Z = 10$, Neon) จนถึง 27.503 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ($Z = 100$, Fermium)

2.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเรอริงรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.3 หลักการเรอริงรังสีเอกซ์ในตัวอย่าง

หลักเบื้องต้นของการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรอริงส์เอ็กซ์ เมื่อพิจารณารูป 2.3 ซึ่งแสดงการตกกระทบของรังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิต่อตัวอย่าง เมื่อเกิดอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นที่จุด dx ที่ระยะห่างจากผิวตัวอย่าง x จะสามารถคำนวณค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์เรอริงส์จากจุด dx โดยสมมุติว่า

- ก. อันตรกิริยาแบบโฟโตอิเล็กตริก มีมากกว่าการสะท้อนคอมพ์ตันมาก
- ข. มุมตกกระทบ θ เท่ากับมุมรังสีสะท้อน θ
- ค. ระยะของการทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์เรอริงส์ในตัวอย่งน้อยกว่าระยะห่างระหว่าง ต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง และ ตัวอย่างกับหัววัดรังสีมาก

ค่าความเข้มของรังสีเอ็กซ์เรอริงส์จากจุด dx เป็นไปดังสมการ

$$I_x(x) \cdot dx = \frac{G \cdot \mu_{-1} \cdot W_{-1} \cdot \omega_x \cdot P_x \cdot P \left\{ \exp[-\sum_1 (\mu_1 + \mu_{x1}) W_1] \cdot p_x / \csc \theta \right\} \cdot dx}{\csc \theta}$$

โดยที่ G เป็น Calibration constant ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของหัววัด การจัดระบบวัดและความแรงของต้นกำเนิดรังสี

$\exp[-\sum_1 (\mu_1 W_1) p_x / \csc \theta]$ เป็นสัดส่วนของรังสีเอ็กซ์ที่ตกกระทบบนตัวอย่างที่จุด dx

μ_1 และ W_1 เป็นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลและสัดส่วนของน้ำหนักธาตุในตัวอย่งตามลำดับ

$$\begin{aligned} \sum_1 W_1 &= 1 \\ \sum_1 \mu_1 W_1 &= \mu_1 W_1 + \mu_2 W_2 + \dots + \mu_n W_n \end{aligned}$$

$\exp[-\sum_1 (\mu_{x_1} W_1) \rho x / \csc \theta]$ เป็นสัดส่วนของรังสีเอกซ์เรืองซึ่ง
เกิดจากชั้น dx ซึ่งสามารถวัดได้โดยหัววัดรังสี

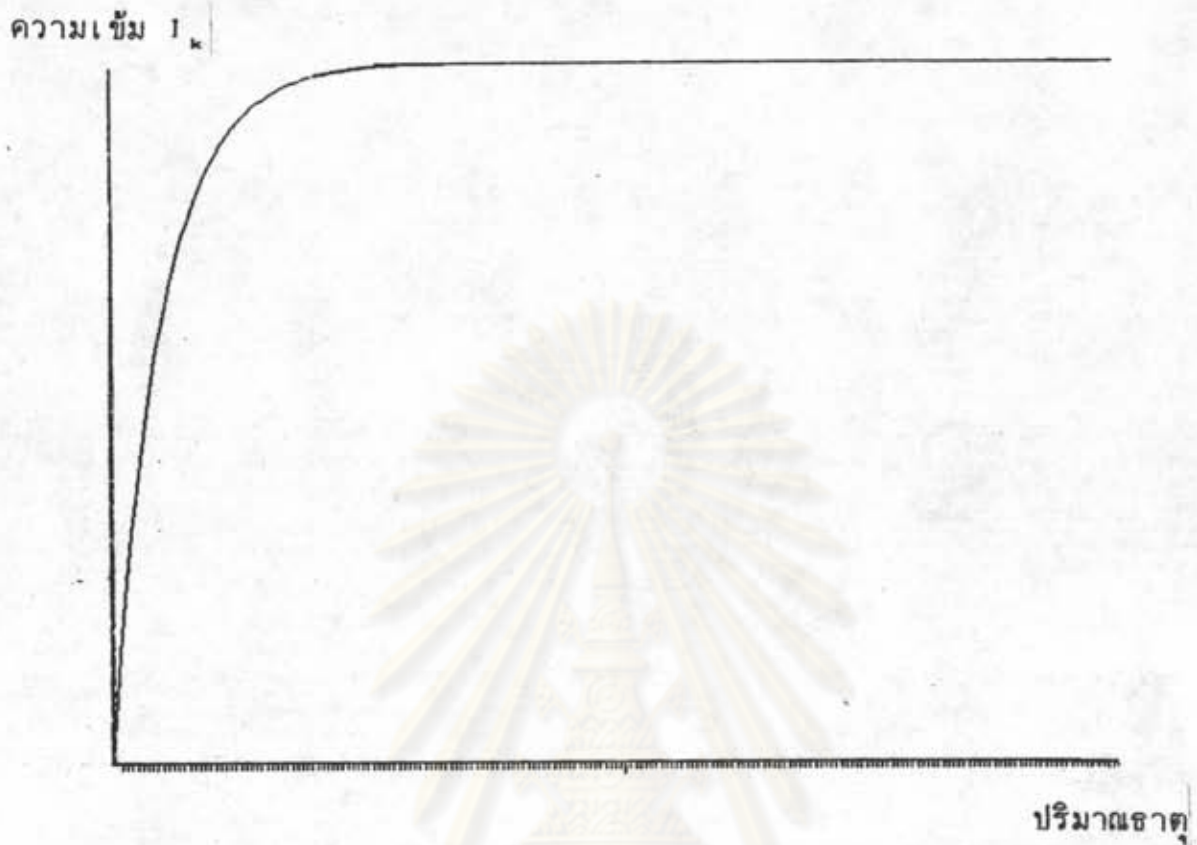
$\mu_{-1} \cdot W_{-1} \cdot \rho \cdot dx / \csc \theta$ เป็นสัดส่วนของรังสีเอกซ์ซึ่งทำ
อันตรกิริยากับอะตอมของธาตุที่ต้องการวัด

$\omega_x \cdot P_x$ เป็นสัดส่วนของรังสีเอกซ์ซึ่งทำอันตรกิริยากับอะตอมของ
ธาตุที่ต้องการวัดซึ่งทำให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์

เมื่ออินทิเกรตสมการ โดยสมมุติให้ตัวอย่างมีความหนาเป็นอนันต์
จะได้

$$I_x = \frac{k \cdot \mu_{-1} \cdot W_{-1} \cdot \omega_x \cdot P_x \dots \dots \dots 2.8}{\sum_1 (\mu_1 + \mu_{x_1}) W_1}$$

จากสมการที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง
ของธาตุที่ต้องการวัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุที่ต้องการวัด และ ปริมาณของธาตุ
อื่นๆ ที่ปนอยู่ในตัวอย่าง คือเมื่อปริมาณของธาตุที่ต้องการวัดมีมากในตัวอย่างนิพจน์
($\mu_{-1} \cdot W_{-1} \cdot \omega_x \cdot P_x$) จะมามีค่ามากดังนั้นความเข้ม I_x จะมากด้วย นิพจน์ $\sum_1 (\mu_1 + \mu_{x_1}) W_1$ เรียกว่า Sample matrix absorption จะมีค่ามากเมื่อปริมาณ
ของธาตุอื่นๆที่ปนอยู่ในตัวอย่างมีมาก



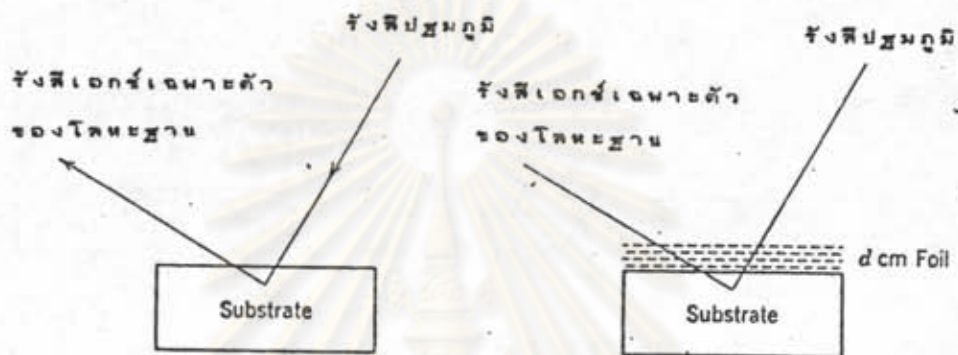
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณธาตุที่ต้องการวัดกับความชื้น I_u

2.3 เทคนิคการวัดความหนาของโลหะชุบโดยใช้การเรืองรังสีเอกซ์

การวัดความหนาของโลหะชุบโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
สามารถทำได้ 2 แบบคือ

แบบที่หนึ่ง วัดความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของโลหะฐานซึ่งลดลง
เนื่องจากความหนาของโลหะเคลือบผิวเพิ่มขึ้น

แบบที่สอง วัดความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของโลหะเคลือบผิวที่เพิ่ม
ขึ้นเนื่องจากความหนาของโลหะเคลือบผิวเพิ่มขึ้น



รูป 2.5 หลักการวัดความหนาโลหะเคลือบผิวด้วยเทคนิคการเรอรังสีเอกซ์

เมื่อวัดโดยวิธีวัดความเข้มของรังสีเอกซ์เรอของโลหะฐานจะได้ความสัมพันธ์ของความเข้มของรังสีเอกซ์เรอกับความหนาดังนี้

$$\ln(I_0/I) = (\mu_1 \csc \theta_1 + \mu_2 \csc \theta_2) pd \dots 2.9$$

โดยที่

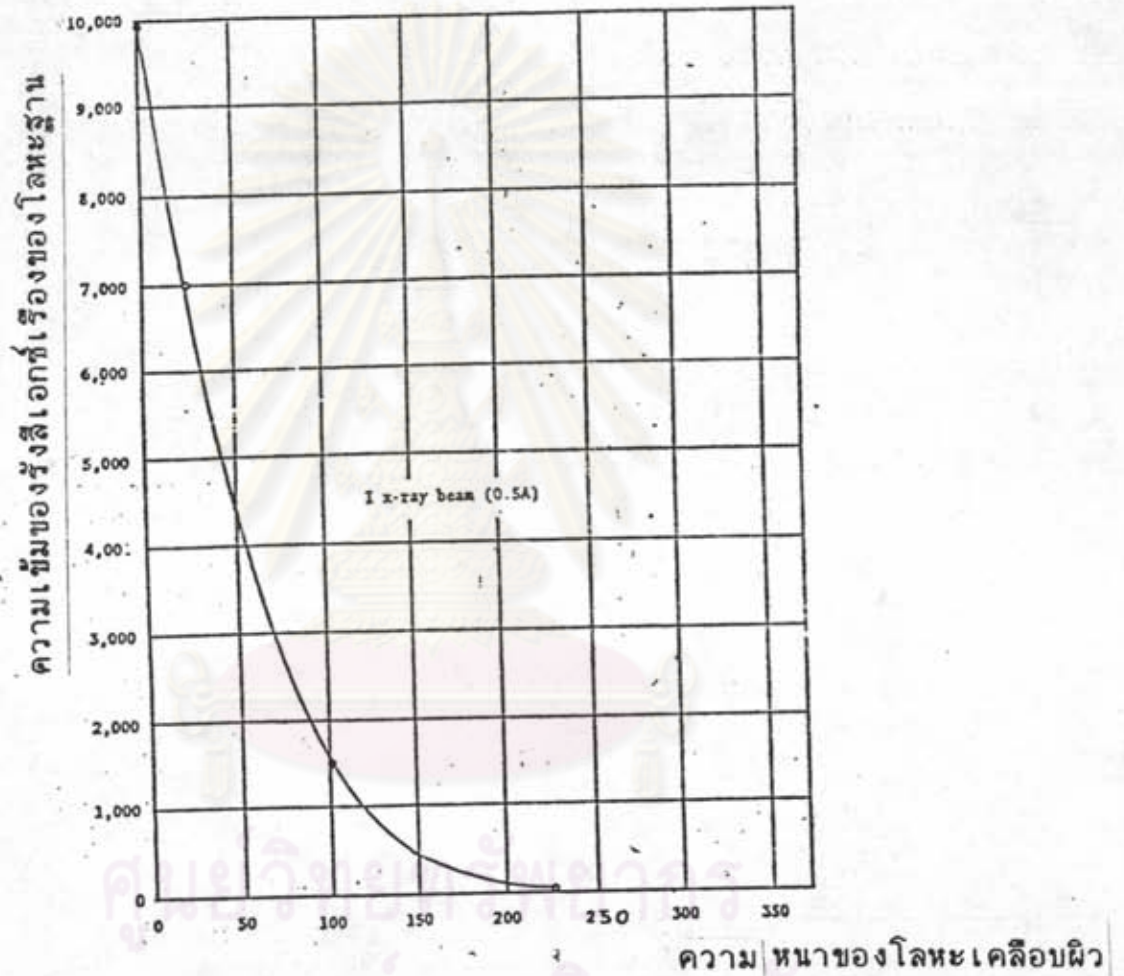
$$d(\csc \theta_1 + \csc \theta_2) = \text{ระยะทางทั้งหมดที่รังสีเอกซ์ทะลุผ่านผิวโลหะเคลือบ}$$

- p = ความหนาแน่นของตัวอย่าง
 μ_1 และ μ_2 = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้นของโลหะเคลือบที่ระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิและรังสีเอกซ์เรืองจากโลหะฐานตามลำดับ
 d = ความหนาของโลหะเคลือบผิว
 I_0 = ความเข้มรังสีเอกซ์ปฐมภูมิที่สามารถกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองของโลหะฐานได้ (effective intensity)
 I = ความเข้มรังสีเอกซ์เรืองของโลหะฐานที่ความหนาของโลหะเคลือบผิว = d

$$\text{จากสูตร } \ln(I_0/I) = (\mu_1 c s c o_1 + \mu_2 c s c o_2) p d$$

$$\text{จะได้ } \ln I = \ln I_0 - (\mu_1 c s c o_1 + \mu_2 c s c o_2) p d \dots\dots\dots 2.10$$

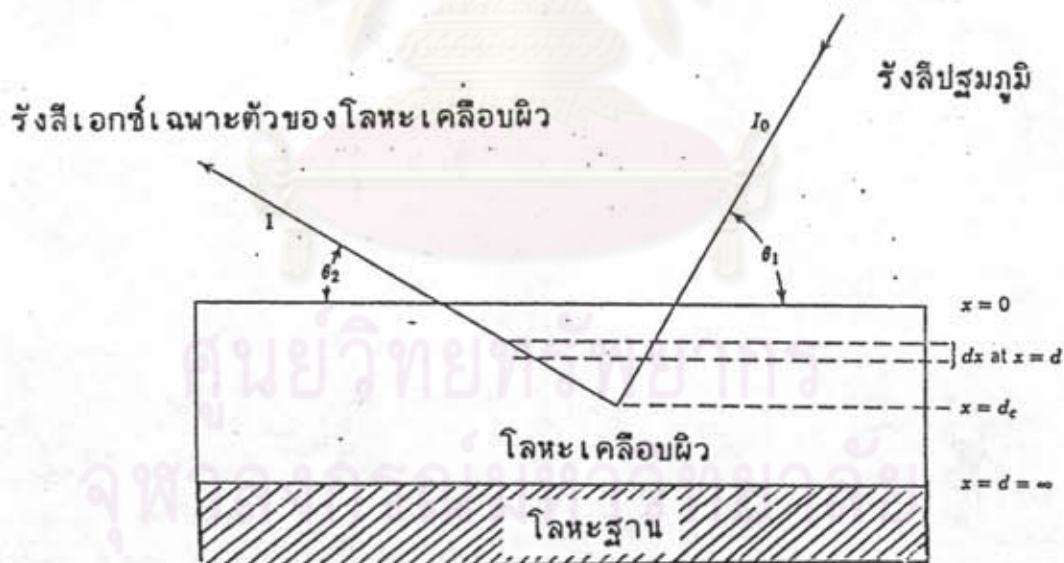
จะเห็นได้ว่า ความเข้ม I จะขึ้นอยู่กับค่า μ_1 , μ_2 , d ในการวิเคราะห์หาความหนาของโลหะเคลือบผิว ปริมาณและสัดส่วนของธาตุที่เป็นโลหะเคลือบผิวและโลหะฐานในแต่ละตัวอย่างจะเท่ากัน ดังนั้นค่า μ_1 , μ_2 จะคงที่ และเมื่อใช้ระบบวัดเหมือนกันค่า $\mu_1 c s c o_1 + \mu_2 c s c o_2$ จะคงที่ เพราะฉะนั้นความเข้ม I จะขึ้นอยู่กับความหนา (d) เท่านั้น เมื่อ d (ความหนา) เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า $\ln I$ ลดลงคือความเข้ม I น้อยลงในทางกลับกันเมื่อ d ลดลง $\ln I$ เพิ่มขึ้นคือความเข้ม I เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของโลหะฐานกับความหนาของโลหะเคลือบผิว

วิธีนี้เป็นวิธีวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวโดยการวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่มาจากโลหะเคลือบผิวโดยตรง เมื่อความหนาของโลหะเคลือบผิวเพิ่มมากขึ้นความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากโลหะเคลือบผิวจะเพิ่มขึ้นด้วยจนถึงความหนาระดับหนึ่งซึ่งเรียกว่า "ความหนาริกฤต (critical thickness)" ที่ความหนาที่ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้จะถึงจุดอิ่มตัวไม่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาเพิ่มมากขึ้นอีกต่อไป ซึ่งค่าความหนาริกฤตนี้เป็นตัวกำหนดค่าความหนาสูงสุดที่สามารถวัดได้ด้วยวิธีนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของโลหะเคลือบผิวและความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้ค้นพบโดย Glocker และ Schreiber



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของความหนาและความเข้มของรังสีเอกซ์ที่วัดได้ของโลหะเคลือบผิว

จากรูป 2.7 เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิซึ่งเป็น polychromatic beam ความเข้ม I_0 ตกกระทบบนผิวของโลหะเคลือบผิวที่มุม θ_1 ถ้าให้

1. $K_1 I_1$ เป็น effective intensity
2. $K_1 I_0 e^{-\mu_1 x}$ เป็น effective intensity ที่จุด x
3. $|dI|$ เป็น effective intensity ที่ลดลงไปที่ปริมาตร $dV = |K_1 I_0 a_1 e^{-\mu_1 x} dx|$; $a_1 = (\csc \theta_1 \mu_1 \rho)$
4. $dI_2 e^{-\mu_2 x}$; $a_2 = (\csc \theta_2 \mu_2 \rho)$
5. $dI = |K_2 dI|$
6. $I =$ ความเข้มรังสีเอกซ์เรืองของโลหะเคลือบผิวที่วัดได้
 $= K_2 e^{-\mu_2 x} dT$

หลังจากทำการรวมค่าคงที่ต่างๆแล้วจะได้

$$I_d = k a_1 I_0 e^{-\mu_1 x} \dots \dots \dots 2.11$$

$$I_d = k a_1 I_0 (1 - e^{-\mu_1 d}) / \mu_1 \quad ; \quad a = a_1 + a_2$$

ถ้าความหนา $d > d_c$ (criticle thickness) สมการที่

2.1 จะใช้ไม่ได้ เพราะที่ $d = \text{infinity}$ ค่า I จะคงที่

ที่ $d = \text{infinity}$

$$I_{\text{infinity}} = k a_1 I_0 / a$$

$$I_d = (1 - e^{-\mu_1 d})$$

$$\ln(1 - I_d) = -\mu_1 d = \text{constant}$$

โดยทั่วไปแล้วการวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวโดยการใช้อการ
 เรืองรังสีเอกซ์จะใช้วิธีการวัดรังสีเอกซ์เรืองของโลหะเคลือบผิวอย่างไรก็ตามการ

จะเลือกใช้วิธีใดนั้นจะต้องเลือกตามความเหมาะสม ซึ่งจะต้องพิจารณา ดังนี้

เมื่อใช้วิธีวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองของโลหะฐาน

1. โลหะฐานต้องมีความหนาและความเข้มข้นของธาตุที่สนใจเท่ากัน ในแต่ละตัวอย่างที่ต้องการวัด เพราะถ้าไม่เท่ากันค่า I_0 จะได้ไม่เท่ากันจะทำให้ค่าความเข้ม I ที่วัดได้ไม่ถูกต้อง
2. ถ้าเลขอะตอมของโลหะฐานมากกว่าเลขอะตอมของโลหะเคลือบผิวมากจะวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวได้ช่วงกว้างกว่าแต่ความไวในการแยกความแตกต่างของความหนาจะลดลง เนื่องจากเลขอะตอมสูงกว่าให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวพลังงานสูง ถ้าเลขอะตอมของโลหะฐานน้อยกว่าเลขอะตอมของโลหะเคลือบผิวจะสามารถวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวได้ช่วงกว้างกว่าวิธีการวัดโดยความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองของโลหะฐาน
3. โลหะฐานต้องมีเลขอะตอมสูงพอเพราะรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำมีพลังงานต่ำ หากต่ำเกินไปก็ไม่อาจทะลุโลหะเคลือบผิวออกมาได้

เมื่อใช้วิธีการวัดโดยความเข้มของรังสีเอกซ์ เรืองของโลหะเคลือบผิว

1. โลหะฐานไม่จำเป็นต้องมีเลขอะตอมมากกว่าโลหะเคลือบผิว
2. โลหะฐานในตัวอย่างไม่จำเป็นต้องมีความหนาและความเข้มข้นของธาตุที่สนใจเท่ากัน
3. ถ้าความหนาของโลหะเคลือบผิวมากกว่าความหนาริเกตจะไม่สามารถวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวได้

ข้อได้เปรียบของวิธีการวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวโดยการใ้
การเรืองรังสีเอกซ์คือ

1. ใ้ง่าย
2. สะดวก รวดเร็ว และมีความไวสูง
3. แม่นยำ
4. ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

ข้อเสียของวิธีการวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวโดยการใ้การ
เรืองรังสีเอกซ์คือ

1. อุปกรณ์มีราคาค่อนข้างแพง
2. ผิวของชิ้นงานตัวอย่างและชิ้นงานมาตรฐานต้องเหมือนกัน (เช่นเดียวกับเทคนิคอื่น ๆ)

2.4 หลักการวัดความหนาของโลหะเคลือบผิวโดยวิธีการสะท้อนกลับของรังสีเบตา

รังสีเบตาคืออิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงซึ่งถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี รังสีเบตาจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงวัสดุปานกลาง ความลึกในการทะลุทะลวงจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสีเบตา ความเข้มของรังสีเบตาที่ทะลุผ่านวัสดุจะลดลงขึ้นอยู่กับอันตรกิริยา 2 แบบคือ การดูดกลืนและการสะท้อน

ธาตุที่มีค่าเลขอะตอมสูงจะมีจำนวนอิเล็กตรอนในอะตอมมาก โอกาสที่รังสีเบตาจะชนกับอิเล็กตรอนของธาตุที่มีค่าเลขอะตอมสูงจึงมีมากกว่าธาตุที่มีค่าเลขอะตอมต่ำ ดังนั้นธาตุที่มีค่าเลขอะตอมสูงจะทำให้รังสีเบตาสะท้อนได้มาก

เช่นความเข้มของการสะท้อนของรังสีเบตาจากทองจะมากกว่าความเข้มของการสะท้อนของรังสีเบตาจากทองแดงที่ความหนาเท่ากัน

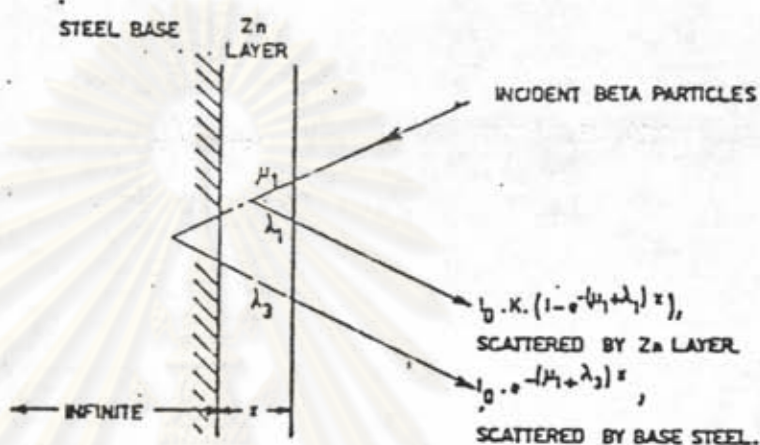
เนื่องจากอำนาจการทะลุทะลวงของรังสีเบตาขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีเบตาดังนั้นจึงต้องเลือกพลังงานของรังสีเบตาที่เหมาะสมที่จะใช้ในการวัดความหนาในช่วงที่ต้องการ เพราะถ้าใช้รังสีเบตาที่มีพลังงานไม่เหมาะสม เช่นใช้รังสีเบตาที่มีพลังงานสูงไปจะทำให้ผลการวัดของตัวอย่างบางๆมีความไวต่ำ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงต้นกำเนิดรังสีเบตาบางชนิดและช่วงความหนาที่เหมาะสมในการวัดความหนาของทองคำที่เคลือบบนทองแดง

ต้นกำเนิดรังสี	พลังงาน Mev	optimum or linear range* (microinches)	range** (microinches)
C - 14	0.16	10 - 65	0 - 75
Pm - 147	0.22	15 - 100	5 - 120
Tl - 204	0.77	80 - 500	50 - 600
Ra	1.17	200 - 700	75 - 800
Sr - 90	2.18	300 - 1000	200 - 1200

* ช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีสะท้อนกับความหนาเป็นเส้นตรง

** ช่วงที่ใช้งานได้



รูป 2.8 การสะท้อนของรังสีเบตา

การสะท้อนของรังสีเบตาจากตัวอย่างระนาบจะขึ้นอยู่กับค่าเลขอะตอม โดยความสัมพันธ์ระหว่างความหนา x และความเข้ม F ที่วัดได้

$$F = F(x) \quad 2.$$

$$F = I_0 [K(1 - e^{-(\mu + \lambda) \cdot x}) + e^{-(\mu + \lambda) \cdot x}] \quad 2.13$$

I_0 = ความเข้มรังสีสะท้อนสูงสุด (Saturation backscatter) จากโลหะฐาน หรือ $F(x)_{x=0}$

μ_a = สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption coefficient) ของรังสีเบตาปฐมภูมิสำหรับโลหะเคลือบ

λ_1, λ_2 = สัมประสิทธิ์การดูดกลืน Absorption coefficient ของรังสีเบตาที่สะท้อนกลับจากโลหะเคลือบผิวและโลหะฐานตามลำดับ

$$K = G_{\text{เคลือบ}} / G_{\text{ฐาน}}$$

$G_{\text{เคลือบ}}, G_{\text{ฐาน}}$ = สัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุด (Saturation backscatter coefficient) ของโลหะเคลือบผิวและโลหะฐานตามลำดับ

ข้อได้เปรียบของวิธีสะท้อนรังสีเบตา

1. ราคาถูก
2. ใช้งาน สะดวก
3. เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีไม่ปล่อยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ จึงทำให้กำบังรังสีได้ง่าย
4. ไม่ต้องทำลายตัวอย่าง

ข้อเสียเปรียบของวิธีสะท้อนรังสีเบตา

1. ความไวน้อยกว่าเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์
2. ผิวของชิ้นงานตัวอย่างและชิ้นงานมาตรฐานต้องเหมือนกัน (เช่นเดียวกับเทคนิคอื่น ๆ)