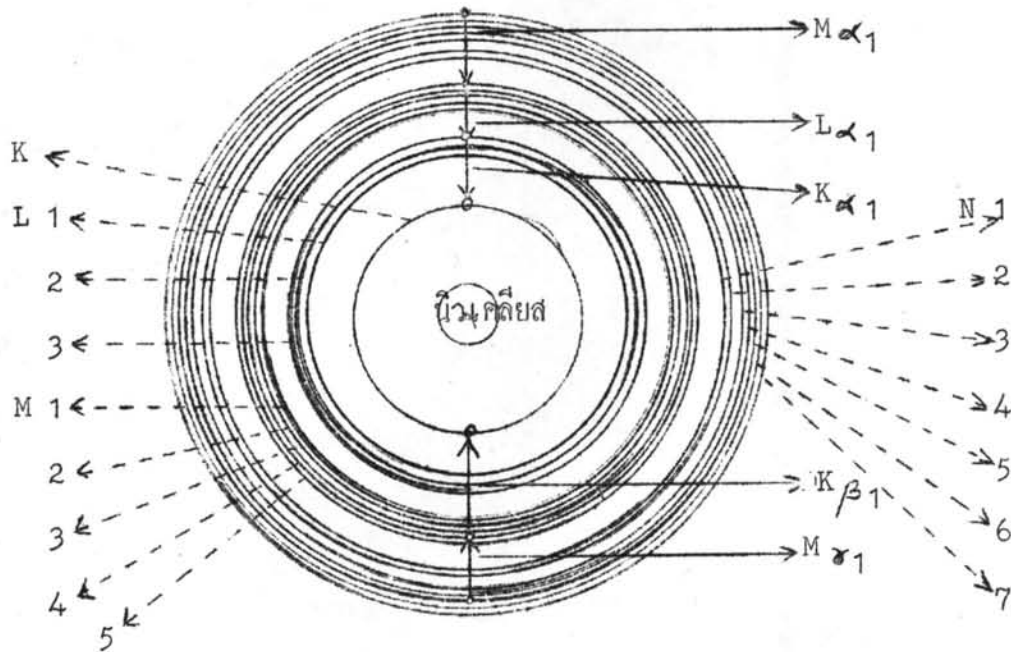




ทฤษฎีการเรืองรังสีเอกซ์

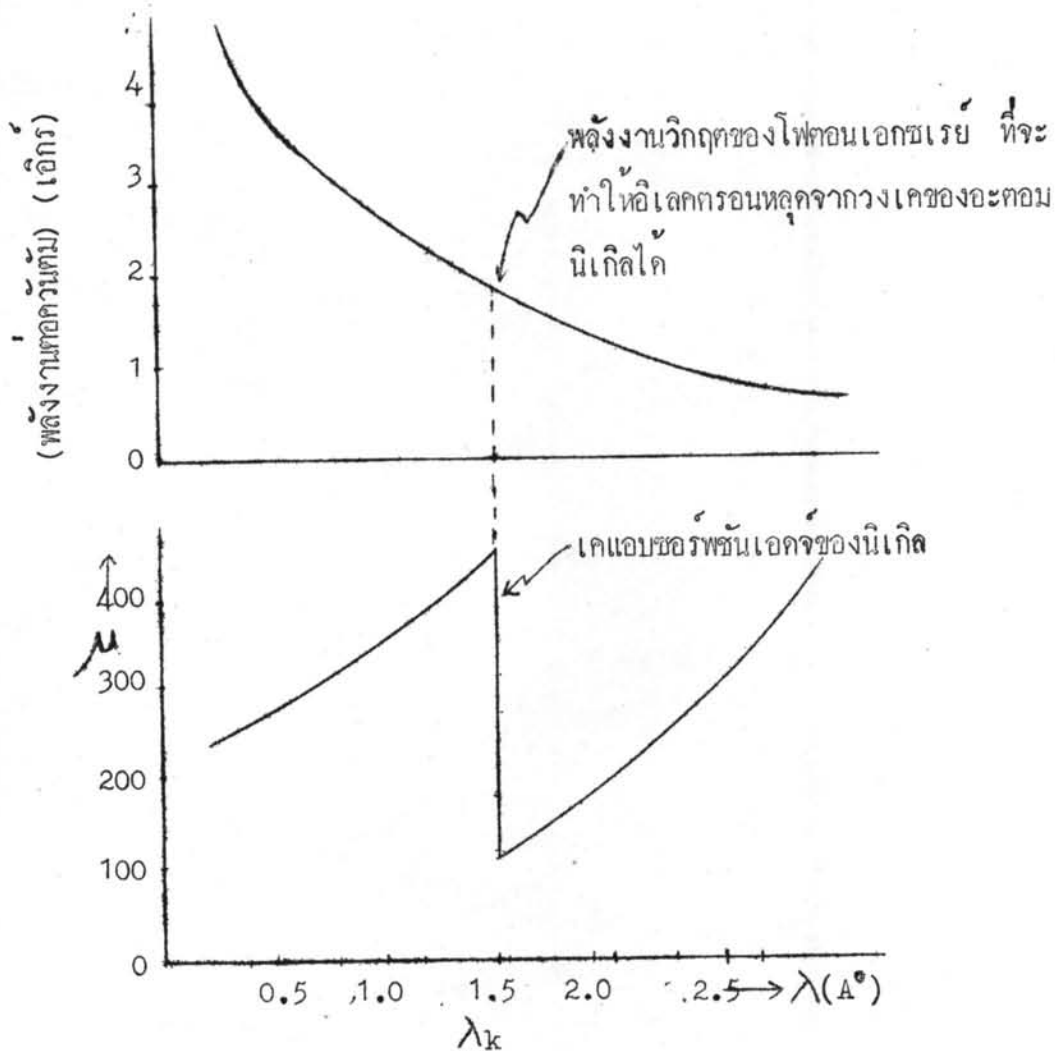
3.1 การเรืองรังสีเอกซ์ (X - ray fluorescence)

เมื่อรังสีเอกซ์ หรืออนุภาคที่มีประจุซึ่งมีพลังงานสูงกระทบสารตัวอย่าง พลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียให้แก่อิเล็กตรอนที่โคจร อยู่ตามชั้นพลังงานต่างๆทำให้อิเล็กตรอนหลุดไปจากอะตอม หรือย้ายขึ้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในชั้นที่ อิเล็กตรอนหลุดไป และมีผลให้อะตอมเกิดความไม่สมดุลทางไฟฟ้า ซึ่งตามธรรมชาติอะตอมจะพยายามปรับให้ตัวเองอยู่ในภาวะสมดุลทางไฟฟ้าเช่นเดิม ดังนั้นอิเล็กตรอนจากชั้นอื่นที่มีพลังงานสูงกว่าจึงได้วิ่งย้ายลงมาแทนที่พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ ซึ่งเรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว หรือรังสีเอกซ์เรือง ที่เรียกว่ารังสีเอกซ์เฉพาะตัว เนื่องจากพลังงานหรือความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์นี้จะมีค่าเฉพาะตัว สำหรับธาตุนั้น ๆ อันจะมีผลในทางวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอนที่ติดตามมาหลังจากอิเล็กตรอนในชั้น K เกิดว่างลง

(4)  
 3.1.1 แอมซอร์พชันเอจ (Absorption edge) ของรังสีเอกซ์ คำนวณประ  
 สิทธิการดูดกลืน ( $\mu$ ) ของสารแต่ละชนิดไม่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอตามขนาดความ  
 ยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ ถ้าเอา ( $\mu$ ) ของธาตุ และความยาวคลื่นของรังสี  
 เอกซ์ที่ตกกระทบมาเขียนกราฟ ตัวอย่าง เช่น ธาตุนี้เกิล จะได้กราฟดังแสดงในรูป 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานวิกฤต กับ เคแอมซอร์พชันเอจของนี้เกิล

จากรูป 3.2 เมื่อความยาวคลื่นลดลงไปเรื่อย ๆ ซึ่งก็คือพลังงานของรังสีเอกซ์

เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ค่า  $\mu$  จะลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง ... คือ  $1.486 \text{ \AA}$  ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนจะเพิ่มขึ้นโดยทันทีทันใด ทำให้เส้นกราฟ ไม่ต่อเนื่องที่ตรงนั้น ตรงค่าแห่งที่ไม่ต่อเนื่องนี้เป็นเคแอมซอร์พชันของนิเกิล ความยาวคลื่นที่ตรงนี้เกิดเคแอมซอร์พชันเอกซ์ เรียกว่า  $\lambda_K$  เหตุที่เกิดเช่นนี้ เพราะที่  $\lambda_K$  มีการดูดกลืนมาก รังสีเอกซ์จะถูกดูดกลืนหายหมด กลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ที่หลุดจากวงเค (K - shell) ของอะตอมของนิเกิล (อิเล็กตรอนจากชั้นอื่น ที่ย้ายลงมาที่วงเค จะควยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ ที่เรียกว่า รังสีเอกซ์เค) เมื่อความยาวคลื่นลดลงไปอีกจนต่ำกว่า  $\lambda_K$  ค่า  $\mu$  ก็จะเริ่มลด แม้ว่ารังสีเอกซ์เคจะยังคงเกิดอยู่เรื่อยก็ตาม เช่นที่  $1.0 \text{ \AA}$  ซึ่งรังสีเอกซ์มีพลังงานมากกว่าที่จะใช้ทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงเคเสียอีก แต่ยังมีรังสีเอกซ์พลังงานมากขึ้นก็ยังมีอำนาจทะลุทะลวงสารมากขึ้นตามไปด้วย

ถ้าลากเส้นกราฟในรูป 3.2 ต่อออกไปทางขวามือ ก็จะพบแอดแอมซอร์พชันเอกซ์ ซึ่งแยกเป็น  $L_I, L_{II}, L_{III}$  คือแยกเป็นกราฟไม่ต่อเนื่อง 3 เส้น และถ้าลากกราฟต่อไปอีกก็จะพบแอดแอมซอร์พชันเอกซ์ ซึ่งมี 5 เส้น และยังคงต่อไปอีกเรื่อย ๆ

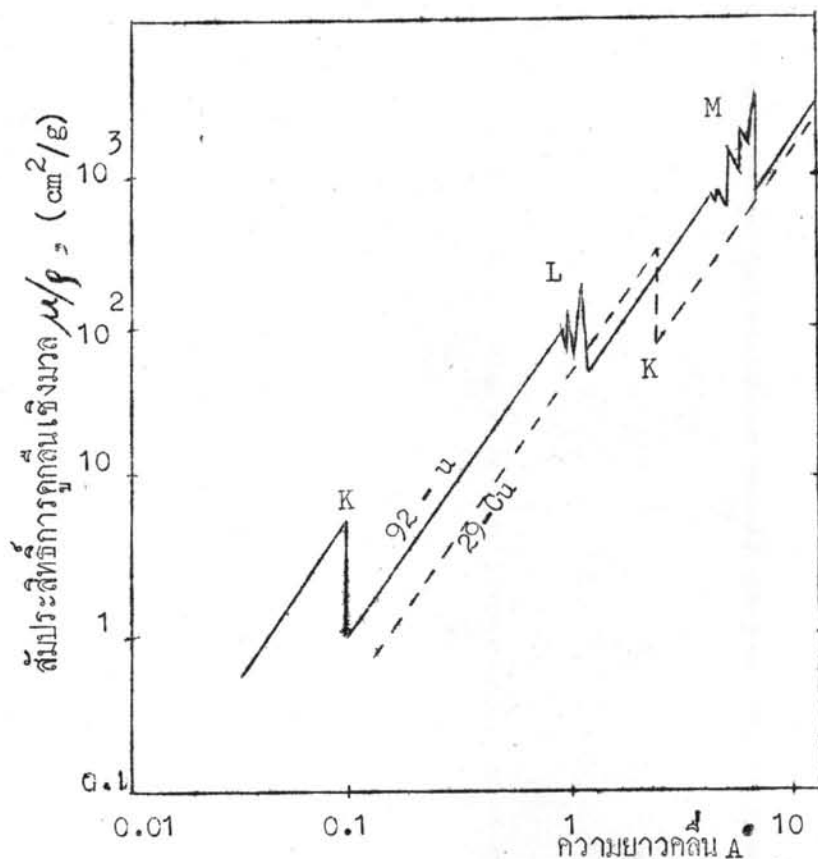
ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองจะขึ้นกับความเข้มและพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ใช้กระตุ้นด้วย โดยความเข้มของรังสีเอกซ์จะสูงสุด ถ้าพลังงานที่ใช้กระตุ้น มีค่ามากกว่าค่าเคแอมซอร์พชันเอกซ์ของธาตุนั้นเพียงเล็กน้อย ส่วนพลังงานของรังสีเรืองจะน้อยกว่าค่าเคแอมซอร์พชันเอกซ์ของธาตุที่ถูกกระตุ้นนั้น

### 3.1.2 กฎคัดเลือก (Selection rule)

จากรูป 3.1 จะเห็นว่าอิเล็กตรอนในอะตอมมีหลายระดับชั้นพลังงานและเมื่ออิเล็กตรอนในชั้นใดเกิดว่างลงการที่อิเล็กตรอนจากชั้นอื่นจะวิ่งเข้าไปแทนที่ โข่ว่าจะสามารถทำได้ในทุกกรณีก็ตาม อิเล็กตรอนจะต้องประพฤติตัวตามทฤษฎีควันตัม ที่เรียกว่ากฎคัดเลือก ดังนี้

$$\Delta l = \pm 1 \quad (3.1)$$

$$\Delta j = 0 \text{ หรือ } \pm 1$$

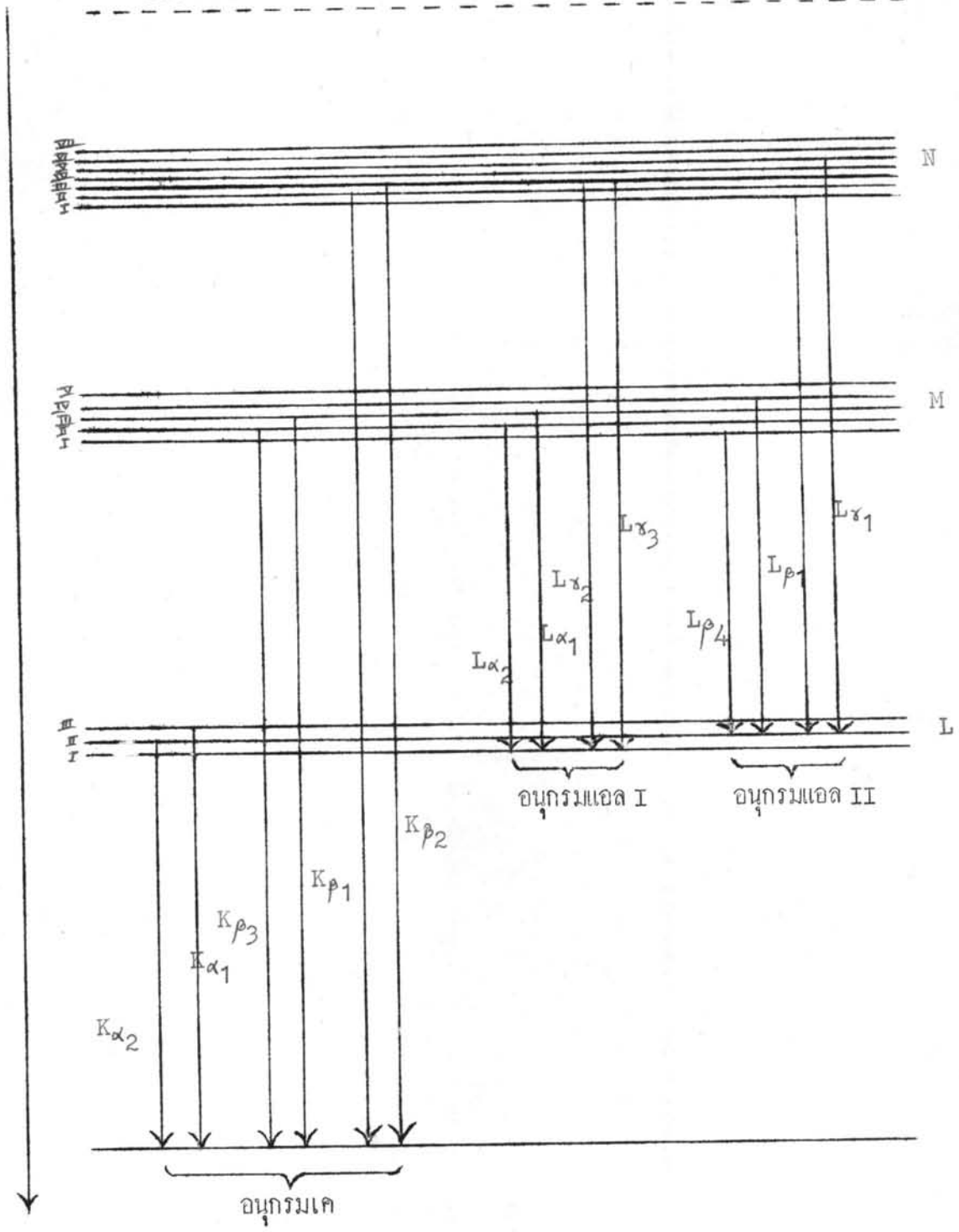


รูปที่ 3.3 แสดงแถบขอบชั้นเอกซ์ของธาตุยูเรเนียม และทองแดง

เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิทำให้อิเล็กตรอนชั้นใน ๆ ของอะตอมที่ถูกกระตุ้น หลุดออกไป เช่น หลุดจากชั้น เค เราจะพบว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจะมีเพียงเส้น  $K_{\alpha}$  เพียง 2 เส้น เท่านั้นคือ  $K_{\alpha_1}$  และ  $K_{\alpha_2}$  ทั้ง ๆ ที่ระหว่างพลังงานระหว่างชั้น K และ L มีค่าต่างกันถึง 3 ค่า ดังแสดงในรูป 3.4 น่าจะเกิด  $K_{\alpha_3}$  ด้วย แต่ที่ไม่เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนจากชั้น L จะย้ายไปอยู่ชั้น K ไปได้ เนื่องจาก  $\Delta l = 0$  ซึ่งผิดกฎของซีเล็คชัน และเมื่อมาพิจารณารังสี  $K_{\beta}$  ที่เกิดขึ้นก็จะพบว่า มีเพียง 2 เส้น เท่านั้น คือ  $K_{\beta_1}$  และ

ซีกจํากัดไอออนไนเซชัน

แรงยึดเกาะภายในอะตอม



รูปที่ 3.4 (5) แสดงแผนภาพระดับพลังงานของเอกซเรย์อนุกรมต่าง ๆ

ตารางที่ 3.- 1

แสดงภาวะต่าง ๆ ของอิเล็กตรอน

n	K		L		M				
	1	2	2	3	3	4	5	6	7
$l = 0 \rightarrow n-1$	0	0	1	1	0	1	1	2	2
$j = l \pm m_s$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{2}$
energy level	I	I	II	III	I	II	III	IV	V
$m = -j \rightarrow j$	$\pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{3}{2}, \pm \frac{1}{2}$	$\pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}$	$\pm \frac{1}{2}, \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{5}{2}$
no. of electron	2	2	2	4	2	2	4	4	6
electron configuration	$1s^2$	$2s^2$	$2p^6$		$3s^2$	$3p^6$		$3d^{10}$	

- $n$  = Principle quantum number
- $l$  = Orbital angular momentum quantum number
- $j$  = Total angular momentum quantum number
- $m_s$  = Spin quantum number
- $m$  = Magnetic quantum number

$K_{\beta_2}$  ทั้ง ๆ ที่ระดับพลังงานระหว่างชั้น M และ K ต่างกันถึง 5 ค่า น่าจะเกิดรังสี  $K_{\beta_3}$ ,  $K_{\beta_4}$  และ  $K_{\beta_5}$  ด้วย เมื่อเรามาดูค่าจากตาราง 3-1 เราจะพบว่าอิเล็กตรอนจากชั้น  $M_I$  กระโดดไปยังชั้น K ไม่ได้ เพราะว่า  $\Delta 1 = 0$  อิเล็กตรอนจากชั้น  $M_{IV}$  และ  $M_V$  กระโดดไปยังชั้น K ไม่ได้ เพราะว่า  $\Delta 1 = 3/2$  และ  $5/2$  ตามลำดับ ซึ่งนิกฏของซีเล็คชันทั้งสี่ ดังนั้นแทนที่จะเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว  $K_{\beta}$  รวม 5 เส้น ก็เกิดเพียง 2 เส้น เท่านั้น

### 3.2 กฎของโมสเลย์ และการจัดเรียงอย่างเป็นระบบ (Mosley's Law and the Periodic System)

หลังจากที่คัมบลิว เอช แบรกก (W. H. Bragg) ได้ค้นพบว่าเส้นสเปกตรัมของเอกซเรย์ที่เกิดจากเป้าต่าง ๆ กัน จะมีความยาวคลื่นต่างกันไปด้วย ซึ่งต่อมาโมสเลย์ได้ถ่ายรูปเส้นสเปกตรัมทั้ง K และ L ของธาตุต่าง ๆ ตั้งแต่อะลูมิเนียมไปจนถึงทอง รวม 38 ธาตุ ด้วยกล้องสเปกโทมิเตอร์แบบสูญญากาศของแบค ทำให้โมสเลย์พบว่า ถ้าพลอตกราฟระหว่างกราฟที่สองของความถี่ของเส้นสเปกตรัม เอกซเรย์ที่ถ่ายได้ กับเลขอะตอมของธาตุที่ใช้เป็นเป้าแล้ว จะได้กราฟเส้นตรงทั้งของ  $K_{\alpha}$  และ  $K_{\beta}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.5 และหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และเลขอะตอมของธาตุ ที่ให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมาซึ่งเราเรียกว่า กฎของโมสเลย์

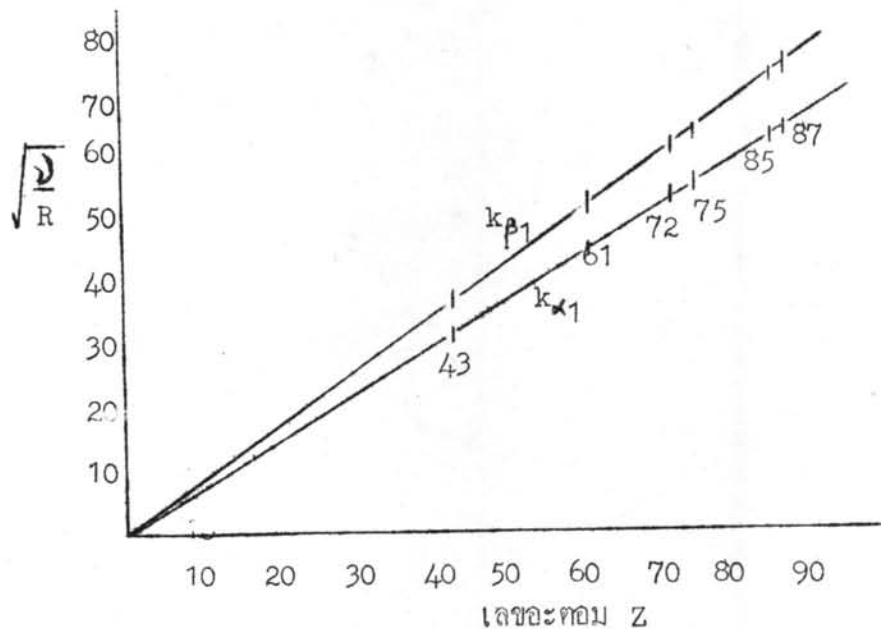
$$\sqrt{\frac{\nu}{R}} = 0.874 (Z - 1.13) \quad (3.2)$$

$\nu$  = ความถี่ของรังสีเอกซ์เรือง  
 $R$  = ค่าคงที่ลีดเบอร์ก (Rydberg's const)  
 $Z$  = เลขอะตอมของเป้า

### 3.3 ผลไอเจ (Auger effect)

เมื่ออะตอมถูกกระตุ้นด้วยพลังงานจากรังสีเอกซ์ หรืออนุภาคที่มีประจุก็ตาม แล้วทำให้อิเล็กตรอนจากชั้นใน ๆ หลุดไป จากการขาดสมดุลทางไฟฟ้า

ทำให้อะตอมภายในเกิดการจลน์เร็วขึ้นใหม่ โดยการที่อิเล็กตรอนจากชั้นที่มีพลังงานสูงกว่าจะวิ่งเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่อิเล็กตรอนหลุดออกไป พร้อมกับปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ ซึ่งเราได้ทราบมาแล้ว แต่แทนที่พลังงานส่วนนี้จะออกมาภายนอกอะตอมในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับไปที่กระทบอิเล็กตรอนในชั้นที่อยู่นอกออกมา แล้วทำให้อิเล็กตรอนในชั้นนอกนี้หลุดออกมาแทนพลังงานรังสีเอกซ์ ซึ่งปรากฏการณ์อันนี้เราเรียกตามชื่อของนักวิทยาศาสตร์ที่เป็นคนสังเกตพบเป็นคนแรกคือ ไอเจอร์ (Auger) และเรียกชื่อปรากฏการณ์นั้นว่าผลไอเจอร์



รูปที่ 3.5 (5) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และ เลขอะตอมตามกฎของโมสเลย์ ส่วนที่เป็นช่องว่างเป็นธาตุที่ไม่ได้ทำการทดลอง

### 3.4 Fluorescent Yield (W)

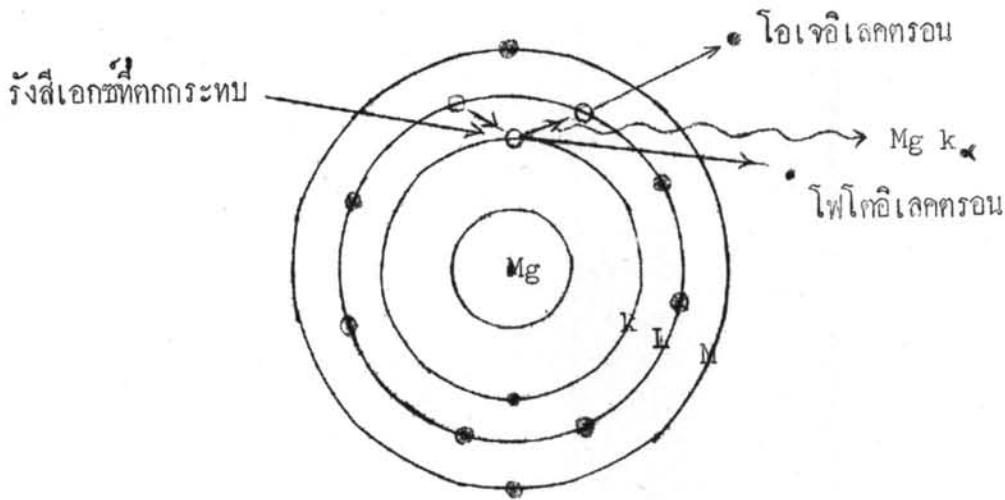
เนื่องจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ผลไอเจอร์ จึงทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองไม่เข้มเท่าที่ได้คำนวณไว้จากจำนวนช่องว่างของอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในวงโคจรต่าง ๆ อย่าง fluorescent yield ในอนุกรมเค ( $W_K$ ) กำหนดจากปริมาณโฟตอน ทั้งหมดของทุกเส้นในอนุกรมเคในหนึ่ง-



เวลาหารด้วยจำนวนของช่องว่างที่เกิดขึ้นในวงโคจรของเคในเวลาที่เท่ากัน

$$W_k = \frac{\sum (n_k)_i}{N_k} = \frac{n_{k1} + n_{k2} + n_{k3} + \dots}{N_k} \quad (3.2)$$

- เมื่อ  $W_k$  = K - fluorescent yield  
 $N_k$  = อัตราการเกิดช่องว่างในวงโคจรเค  
 $(n_k)_i$  = อัตราโฟตอนของเส้นสเปกตรัม i ที่เกิดขึ้น  
 ซึ่ง L และ M fluorescent yield ก็จะกำหนดแบบเดียวกัน



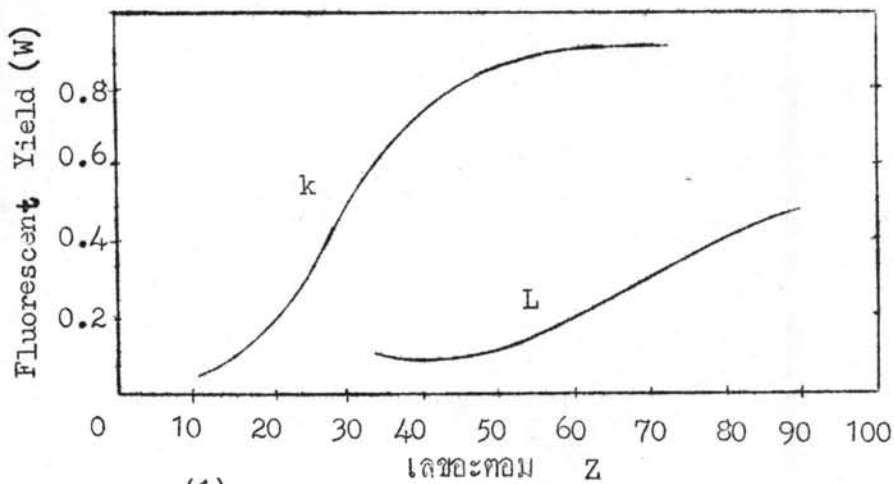
รูปที่ 3.6 แสดงการเกิดผลไอเจ

ได้มีนักวิทยาศาสตร์มากมายหลายท่าน ที่ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับ K- fluorescent yield ( $W_k$ ) ของธาตุต่าง ๆ กัน จะขอรวบรวม ผลงานของนักวิทยาศาสตร์ชื่อไอเจ (Auger), บาลด์เจอร์สตัน (Balderston) คอมพ์ตัน (Compton), ฮาร์ส (Haas), ฮาร์มส์ (Harms), ลอชเชอร์ (Locher) มาร์ติน (Martin) และ สตอกมัยเออร์ (Stock meyer) เข้าไว้ด้วยกัน ทั้งแสดงในตารางที่ 3 - 2

เมื่อนำเอาค่า Fluorescent Yield และเลขอะตอมของธาตุ ที่เรืองรังสีเอกซ์ออกมา และหาความสัมพันธ์ จะได้ผลดังแสดงในกราฟรูป 3.7

Fluorescent Yields ในอนุกรมเค

ธาตุ	โองเจ (Auger)	บาลเดรสตัน (Balderston)	ฮาร์มส์ (Harms)	มาร์ติน (Martin)	คอมพตัน (Compton)	สตอกมัยเลอร์ (Stockmeyer)	ลอคชเชอร์ (Locher)	ฮาร์ส (Haas)
8 O	-	-	-	-	-	-	0.082	-
10 Ne	-	-	-	-	-	-	0.083	-
12 Mg	-	-	-	-	-	-	-	0.013
14 Si	-	-	-	-	-	-	-	0.038
16 S	-	-	-	-	-	-	-	0.083
17 Cl	0.04	-	-	-	-	-	-	0.108
18 Ar	0.07	-	-	-	-	-	0.149	-
20 Ca	-	-	-	-	-	-	-	0.150
24 Cr	-	-	-	-	-	-	-	0.263
26 Fe	-	0.33	0.28	0.29	-	-	-	-
28 Ni	-	0.39	-	0.35	0.37	-	-	-
29 Cu	-	0.44	0.38	0.40	-	-	-	-
30 Zn	-	0.50	0.40	0.46	-	-	-	-
34 Se	-	-	0.52	0.59	0.55	-	-	-
35 Br	-	-	-	0.59	0.56	0.56	-	-
36 Kr	0.51	-	-	-	-	-	-	-
38 Sr	-	-	0.62	-	-	-	-	-
42 Mo	-	0.83	0.73	-	0.68	-	-	-
47 Ag	-	0.75	-	-	-	-	-	-
53 I	-	-	-	0.75	-	-	-	-
54 Xe	0.70	-	-	-	-	-	-	-



(1)

รูปที่ 3.7 แสดง Fluorescent yield ของ K และ L สัมพันธ์กับเลขอะตอม จากสมการ (3.2) ถ้าไม่มีผลไอเจแล้ว Fluorescent Yield (W) = 1 หรือเราจะกำหนดใหม่จะได้ว่า Auger yield = 1 - W

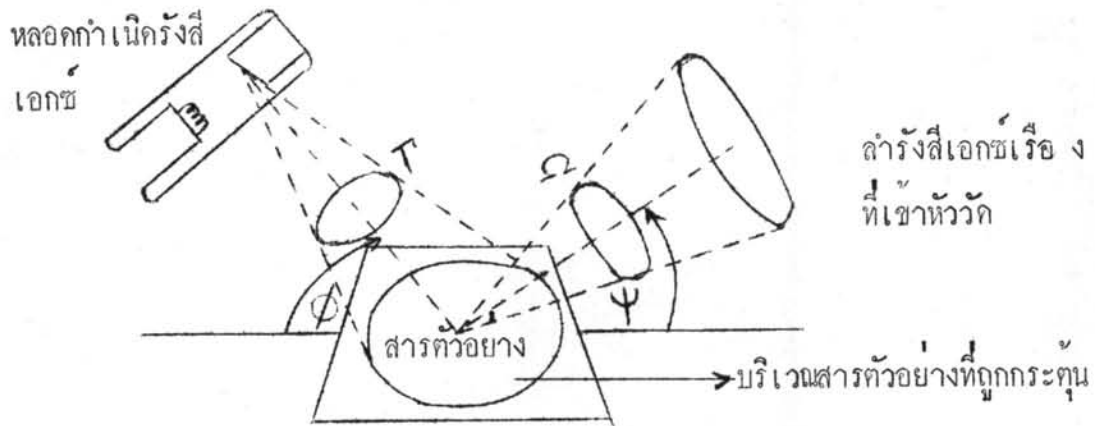
### 3.5 การกระตุ้นสารตัวอย่าง (Excitation of Specimen)

การกระตุ้นสารตัวอย่าง เพื่อให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองออกมาจาก สารตัวอย่าง มีได้หลายวิธี เช่น ใช้อิเล็กตรอน, โปรตอน, อีออน, แอลฟา, แกมมา หรือ เอกซเรย์จากสารกัมมันตรังสี แต่ว่าในที่นี้จะขอล่าเฉพาะ การใช้รังสีเอกซ์ จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ในการกระตุ้นสารตัวอย่าง

จากรูป 3.8 แสดงการจี้ควางหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์, สารตัวอย่าง และตัววัดรังสี และจะหาว่าด้วยการวางตัวในลักษณะนี้ แล้ว ปริมาณรังสีเอกซ์ - เรือง ความยาวคลื่น  $\lambda_L$  ซึ่งเป็นตัวที่เราต้องการจะวิเคราะห์นั้นจะเข้าตัววัดรังสีได้ปริมาณสักเท่าใด

จากการจี้ควางตัวทั้งรูป เราจะหาปริมาณโฟตอนของรังสีเอกซ์เรือง ได้ดังสมการ (3.3)

$$N = \frac{T \Omega}{4 \pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{ab}} T(\lambda_p, \lambda_L) J(\lambda_p) d\lambda_p \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.8 (1) แสดงการจัดวางตัวของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์, สายตัวอย่าง และหัววัดรังสี

- เมื่อ  $N$  = ปริมาณโฟตอนของรังสีเอกซ์เรียงจากสายตัวอย่างที่ต้องการจะวิเคราะห์
- $\Gamma$  = Solid angle จากสายรองรับคั่นกำเนิดรังสี
- $\Omega$  = Solid angle จากหัววัดรังสีรองรับรังสีเรียงจากสายตัวอย่าง
- $\phi$  = มุมระหว่างแกนรังสีคั่นกำเนิด กับ แผ่นสายตัวอย่าง
- $\psi$  = มุมระหว่างแกนรังสีเรียงกับแผ่นสายตัวอย่าง
- $\lambda_p$  = ความยาวคลื่นของคั่นกำเนิดรังสีเอกซ์
- $\lambda_L$  = ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์เรียง
- $\lambda_{ab}$  = แอ็บซอร์พชัน เอกซ์ ของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสายตัวอย่าง
- $\lambda_{min}$  = ความยาวคลื่นสั้นสุดของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์
- $T(\lambda_p, \lambda_L)$  = Conversion efficiency คือ จำนวนรังสีเรียง  $\lambda_L$  ต่อรังสีคั่นกำเนิด  $\lambda_p$
- $J(\lambda_p)$  = การกระจายของรังสีคั่นต่อหนึ่งหน่วย Solid angle  $\Gamma$

ปริมาณโฟตอนของรังสีเอกซ์เรือง (N) ขึ้นอยู่กับ

3.5.1 การจับวางตัวของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์, สารตัวอย่างและ หัววัดรังสี

3.5.2 ความเข้มของรังสีจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ และการกระจายของสเปกตรัม ซึ่งก็ขึ้นกับเป้า, ฟิล์ม และกระแสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์นั่นเอง

3.5.3 conversion efficiency  $T(\lambda_p, \lambda_L)$

$$\text{เมื่อ } T(\lambda_p, \lambda_L) = \frac{Z\omega g G}{\mu_{\lambda_p}} \quad (3.4)$$

$$= \frac{1}{1 + (\mu_{\lambda_L} / \mu_{\lambda_p}) (\sin \beta) (\sin \psi)}$$

$\mu_{\lambda_p}$  และ  $\mu_{\lambda_L}$  = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้นของสารตัวอย่าง กับ รังสีจากต้นกำเนิด และรังสีเรืองตามลำดับ

$Z$  = ส่วนของ  $\mu_{\lambda_p}$  เนื่องจากการดูดกลืนของโฟโตอิเล็กทริกในอะตอมชั้น k, L และ M กับรังสีเรืองที่ต้องการวิเคราะห์

$W$  = fluorescent yield ของรังสีเรือง

$g$  = โอกาสของอิเล็กตรอนในชั้นต่าง ๆ จะมีการย้ายจากชั้นเดิม อันเป็นสาเหตุให้เกิดรังสีเรือง

### 3.6 สารตัวอย่างแบบบาง (Thin film methods)

ในหัวข้อ 3.5 มีกล่าวถึงว่าสารตัวอย่างที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์นั้นเป็นแบบใด บาง หรือ หนา ในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์เพื่อเตรียมให้สารตัวอย่างบางมาก ซึ่งจะช่วยลดการดูดกลืนหรือการเสริมรังสีเอกซ์เรืองของสารตัวอย่าง ซึ่ง Gunn ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง

ความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง และความหนาของสารตัวอย่างที่เตรียมขึ้นมา ดังสมการ (3.5)

$$(1) \quad dI = k(\operatorname{cosec} \phi) I_0 \exp - \left\{ \left[ (\mu/\rho)_{\lambda_p} \operatorname{cosec} \phi + (\mu/\rho)_{\lambda_L} \operatorname{cosec} \psi \right] \rho t \right\} dt$$

เมื่อ  $I_0$  = ความเข้มของรังสีเอกซ์จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่ตกกระทบสารตัวอย่าง

$\phi$  = มุมระหว่างแกนรังสีต้นกำเนิดกับแผ่นสารตัวอย่าง

$\psi$  = มุมระหว่างแกนรังสีเรืองกับแผ่นสารตัวอย่าง

$\lambda_p, \lambda_L$  = ความยาวคลื่นของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ และรังสีเอกซ์เรืองตามลำดับ

$\mu/\rho$  = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของสารตัวอย่าง ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )

$\rho$  = ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$t$  = ความหนาของแผ่นสารตัวอย่าง

$k$  = ค่าคงที่

เมื่อความหนาของสารตัวอย่างบางมาก  $\therefore t \rightarrow 0$  ดังนั้น  $(\mu/\rho)_{\lambda_p}$  และ

$(\mu/\rho)_{\lambda_L}$  ทั้งคู่ถือว่าค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นสมการ (3.5) จะเหลือ

$$dI = k(\operatorname{cosec} \phi) I_0 dt$$

$$\text{หรือ } \Delta I = k(\operatorname{cosec} \phi) I_0 \Delta t$$

ถ้าพื้นที่ของสารตัวอย่างที่รองรับรังสีจากต้นกำเนิด พงที่แล้วจะได้ว่า

$$\Delta I \propto \Delta t \quad (3.6)$$

และถ้าจำนวนอะตอมของธาตุที่เราต้องการจะวิเคราะห์มี  $N$  ตัว จะได้ว่า

$$\Delta I = k(\operatorname{cosec} \phi) I_0 \Delta N \quad (3.7)$$

$$\text{หรือ } \Delta I \propto \Delta N \quad (3.8)$$

จาก (3.6) และ (3.8) สรุปได้ว่าความเข้มของรังสีเอกซ์เรือง จากสารตัวอย่างจะแปรผันโดยตรงกับความหนา หรือจำนวนอะตอมของสารที่ต้องการจะวิเคราะห์ -

เคราะห์นั้น

### 3.7 สารตัวอย่างแบบหนา (Infinite or Critical thickness)

ในการเตรียมสารตัวอย่างแบบบาง มีใช้เป็นที่ทำได้ง่ายนัก แม้ว่าจะมีผลคิโนแงของการที่ไม่มีการดูดกลืน หรือเสริมรังสีเอกซ์เรอองที่เราต้องการจะวิเคราะห์ก็ตาม ส่วนการเตรียมสารตัวอย่างให้หนาขึ้นจะมีผลเช่นไร ก็จะได้พิจารณาจากนั้นต่อไป

$$\text{จากสมการ (3.5) } dI = k (\operatorname{cosec} \phi) I_0 \exp \left\{ -\left[ \frac{\mu}{\rho} \right]_{\lambda_p} \operatorname{cosec} \phi + \left( \frac{\mu}{\rho} \right)_{\lambda_s} \operatorname{cosec} \psi \right\} \rho t \, dt$$

ถ้าเราต้องการหาความเข้มเมื่อความหนาใด ๆ ( $I_t$ ) จะได้ว่า

$$I_t = k I_0 \operatorname{cosec} \phi \int_0^t \exp \left[ -(\bar{\mu} \rho t) \right] dt$$

$$I_t = \frac{k I_0 \operatorname{cosec} \phi (1 - \exp - \bar{\mu} \rho t)}{\bar{\mu} \rho} \quad (3.9)$$

ถ้าความหนาของสารตัวอย่างหนามาก คือ  $\frac{\bar{\mu} \rho t}{\bar{\mu} \rho} \rightarrow \infty$

จากสมการ (3.9) จะได้ว่า

$$I_\infty = \frac{k I_0 \operatorname{cosec} \phi}{\bar{\mu} \rho} \quad (3.10)$$

$$\text{ให้ (3.9) / (3.10) ได้ } \frac{I_t}{I_\infty} = 1 - \exp(-\bar{\mu} \rho t) \quad (3.11)$$

เราจะสามารถหาความหนาวิกฤตได้ ถ้าให้  $\frac{I_t}{I_\infty} = 0.999$  แทนค่าใน(3.11)

$$\text{ได้ } t_\infty = \frac{\log_e \left( 1 - \frac{I_t}{I_\infty} \right)}{-\bar{\mu} \rho} \quad (3.12)$$

$$t_\infty = \frac{6.908}{\bar{\mu} \rho} \quad (3.13)$$

จากรูป 3.9 ในช่วงที่ 1 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม และความหนาของสารตัวอย่างแบบบาง (thin sample) ส่วนช่วงที่ 2 เมื่อใช้สารตัวอย่างหนามากในช่วงนี้ ความเข้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารตัวอย่างหนาขึ้น แต่ไม่สัมพันธ์กันแบบเส้นตรง ส่วนในช่วงที่ 3 เรียกว่าสารตัวอย่างหนาวิกฤต

เพราะไม่ว่าจะให้หนาเพิ่มขึ้นอีกเท่าใดก็ตาม ความเข้มรังสีเอกซ์เรื่อง ก็จะไม่เพิ่มขึ้นอีก

ได้มีการนำประโยชน์ของการใช้สารตัวอย่างแบบหนาวิฤตในการวิเคราะห์แร่ธาตุที่ปนกันอยู่หลาย ๆ ตัว ในลักษณะที่แตกต่างกัน ปรากฏว่าความเข้มของรังสีเอกซ์เรื่องเฉพาะตัวของธาตุใด จะแปรผันตามปริมาณที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้น อย่างเช่นต้องการจะวิเคราะห์ Fe ใน แมทริก (matrix) จะเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$I_{Fe\ k\alpha\ M} \propto W_{Fe\ k\alpha\ M} \quad (3.14)$$

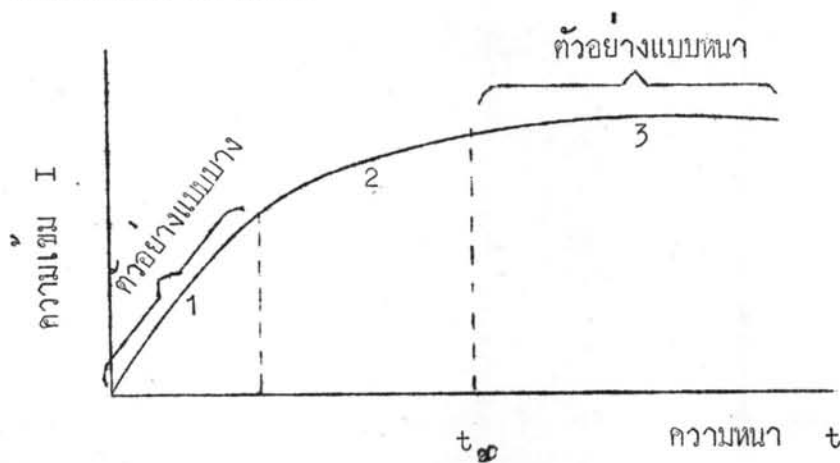
เมื่อ  $I_{Fe\ k\alpha\ M}$  คือ ความเข้มของธาตุ Fe ในแมทริก M ที่ต้องการจะวิเคราะห์

$$I_{Fe\ k\alpha\ M} = W_{Fe\ k\alpha\ M} \cdot I_{Fe\ k\alpha\ Fe} \quad (3.15)$$

$W_{Fe\ k\alpha\ M}$  คือ สัดส่วนน้ำหนักของธาตุ Fe ในแมทริก M

$I_{Fe\ k\alpha\ Fe}$  คือ ความเข้มของ Fe ที่ต้องการจะวิเคราะห์จาก Fe บริสุทธิ์

จาก (3.4) ทำให้เราสามารถจะวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุที่จะวิเคราะห์โดยวิธีการเรื่องรังสีเอกซ์ได้



รูปที่ 3.9 แสดงความเข้มของรังสีเอกซ์เรื่องเมื่อใช้สารตัวอย่างหนาวิฤต