



2.1 คุณสมบัติและกำเนิดของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเกิด คือ รังสีเอกซ์ต่อเนื่อง และ รังสีเอกซ์เฉพาะตัว

การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง เกิดจากการลดอัตราเร่งของอนุภาคที่มีประจุอย่างรวดเร็วแต่ต่อเนื่องกันเมื่อผ่านสสาร การลดความเร็วของอนุภาค ตามทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อนุภาคนั้นจะแผ่รังสีเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของโฟตอน 1 ตัว พลังงานของอนุภาคจะลดลงและเมื่ออนุภาคผ่านสารต่อไปก็จะเกิดการลดอัตราเร่งอีก อันเป็นผลให้เกิดการแผ่รังสีที่ติดต่อกันต่อเนื่องกันไป รังสีที่ได้จากขบวนการนี้เรียกว่า Bremsstrahlung หรือ White Radiation

การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวอธิบายได้โดยทฤษฎีอะตอมของบอร์ (Bohr) กล่าวคือ อะตอมในสภาวะปกติจะมีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนโปรตอนในนิวเคลียส เพื่อความสมดุลทางไฟฟ้าอิเล็กตรอนเหล่านี้โคจรรอบนิวเคลียสเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นมีพลังยึดเหนี่ยวกับนิวเคลียสคงที่ ชั้นของวงโคจรเหล่านี้ เรียกชื่อว่าชั้น K, L, M, N, ... และอื่นๆ เรียงจากวงโคจรใกล้นิวเคลียสที่สุดออกมาตามลำดับ

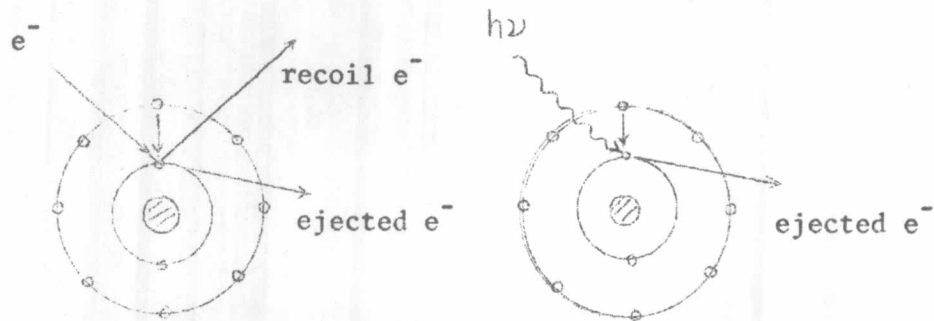
เมื่ออนุภาคหรือโฟตอนที่มีพลังงานสูงกว่าพลังยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนวิ่งไปชนอิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร ดังรูปที่ 2.1 จึงทำให้เกิดที่ว่างในวงโคจร อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในวงโคจรถัดไปข้างนอก จะวิ่งเข้ามาแทนที่เพื่อความสมดุลทางไฟฟ้าดังรูปที่ 2.2 พร้อมทั้งมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอะตอมควยขนาด พลังงานเท่ากับความแตกต่างของพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างวงโคจรทั้งสองดังกล่าว ดังตารางที่ 2.2

ดังแสดงโดยสมการ¹

$$h\nu = E_i - E_f \quad (2.1)$$

โดยกำหนดให้ $h\nu$ = พลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ถูกปลดปล่อย
 E_i = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้ามาแทนที่ว่าง
 E_f = พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนที่ถูกชนหลุดออกไป

รูปที่ 2.1² แสดงการชนอิเล็กตรอนและโฟตอนกับอิเล็กตรอนของอะตอม

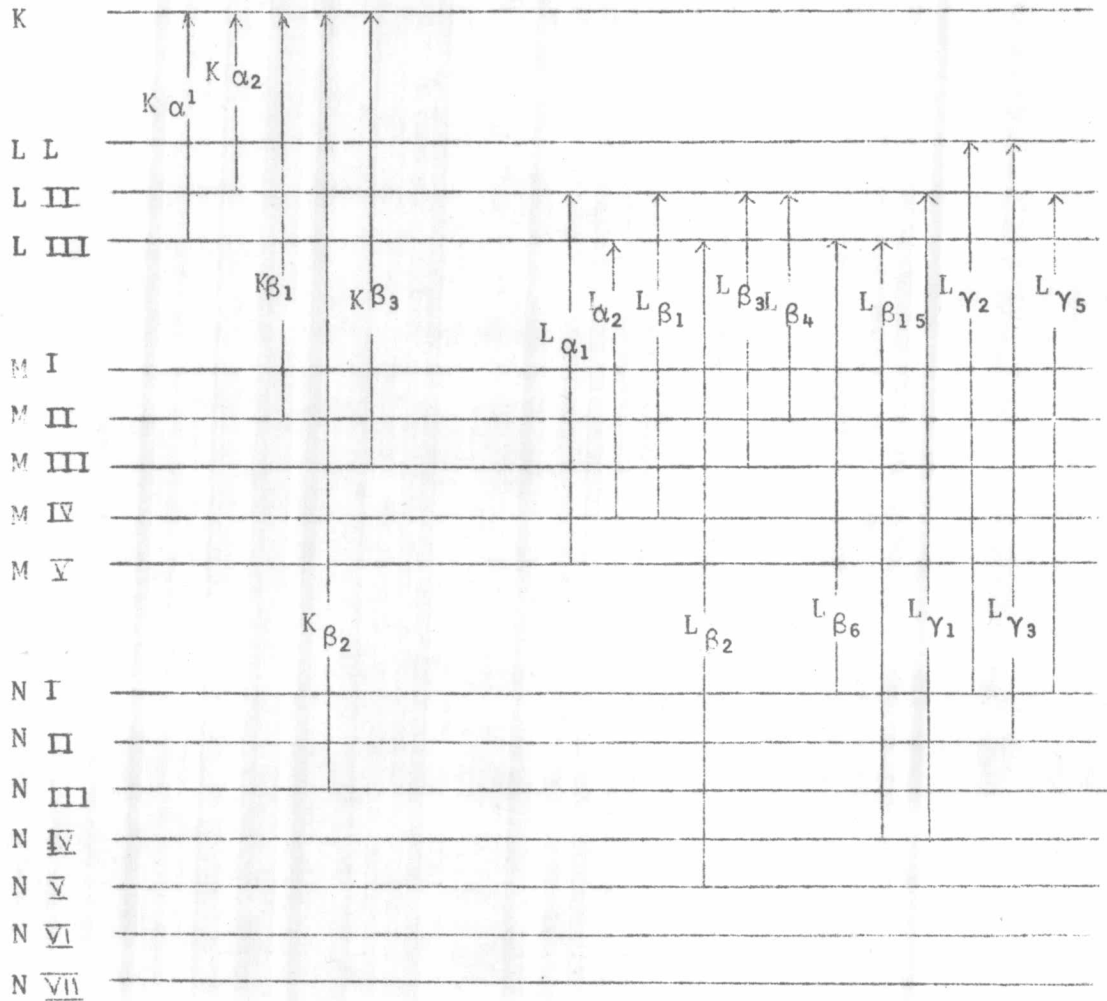


2.2 ขบวนการภายในอะตอมซึ่งเกิดการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

เมื่ออิเล็กตรอนของชั้น K หลุดออกไปจากวงโคจรเนื่องจากการชนและทำให้เกิดที่ว่าง ซึ่งในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนชั้น L หรือชั้น M วิ่งเข้ามาแทนที่พร้อมทั้งมีการปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา รังสีเอกซ์เฉพาะตัวบางส่วนวิ่งไปชนอิเล็กตรอนชั้น L

¹Isodore Adler, X-Ray Emission Spectrography in Geology. (Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1966), Vol. 4, p. 11.

²loc. cit.



รูปที่ 2.2³ แสดงการเคลื่อนตัวแทนที่ว่างของอิเล็กตรอน พร้อมทั้งทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวชนิดต่างๆ

³B. L. Worsnop, and F. C. Chalklin, X-Rays (London: Methuen and Co. Ltd., 1946), p. 46.

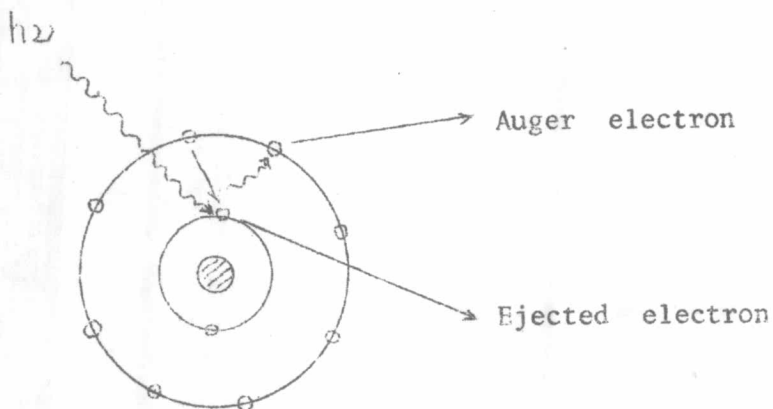
Atomic Number	Element	K series					L series							
		K _{αb}	Kβ ₂	Kβ ₁	Kα ₁	Kα ₂	L _{1αb}	L _{1αa}	L _{1βa}	Lγ ₁	Lβ ₂	Lβ ₁	Lα ₁	Lα ₂
51	Antimony	30.486	30.387	29.723	26.357	26.109	4.697	4.381	4.132	4.347	4.100	3.843	3.605	3.595
52	Tellurium	31.809	31.698	30.993	27.471	27.200	4.938	4.613	4.341	4.570	4.301	4.029	3.769	3.758
53	Iodine	33.164	33.016	32.292	28.610	28.315	5.190	4.856	4.559	4.800	4.507	4.220	3.937	3.926
54	Xenon	34.579	34.446	33.644	29.802	29.485	5.452	5.104	4.782	5.036	4.720	4.422	4.111	4.098
55	Cesium	35.959	35.819	34.984	30.970	30.623	5.720	5.358	5.011	5.280	4.936	4.620	4.286	4.272
56	Barium	37.410	37.255	36.376	32.191	31.815	5.995	5.623	5.247	5.531	5.156	4.828	4.467	4.451
57	Lanthanum	38.931	38.728	37.799	33.440	33.033	6.283	5.894	5.489	5.789	5.384	5.043	4.651	4.635
58	Cerium	40.449	40.231	39.255	34.717	34.276	6.561	6.155	5.729	6.052	5.613	5.262	4.840	4.823
59	Praseodymium	41.998	41.772	40.746	36.023	35.548	6.846	6.443	5.968	6.322	5.850	5.489	5.034	5.014
60	Neodymium	43.571	43.298	42.269	37.359	36.845	7.144	6.727	6.215	6.602	6.090	5.722	5.230	5.208
61	Promethium	45.207	44.955	43.945	38.649	38.160	7.448	7.018	6.466	6.891	6.336	5.956	5.431	5.408
62	Samarium	46.846	46.553	45.400	40.124	39.523	7.754	7.281	6.721	7.180	6.587	6.206	5.636	5.609
63	Europium	48.515	48.241	47.027	41.529	40.877	8.069	7.624	6.983	7.478	6.842	6.456	5.846	5.816
64	Gadolinium	50.229	49.961	48.718	42.983	42.280	8.393	7.940	7.252	7.788	7.102	6.714	6.059	6.027
65	Terbium	51.998	51.737	50.391	44.470	43.737	8.724	8.258	7.519	8.104	7.368	6.979	6.275	6.241
66	Dysprosium	53.789	53.491	52.178	45.985	45.193	9.083	8.621	7.850	8.418	7.638	7.249	6.495	6.457
67	Holmium	55.615	55.292	53.934	47.528	46.686	9.411	8.920	8.074	8.748	7.912	7.528	6.720	6.680
68	Erbium	57.483	57.088	55.690	49.099	48.205	9.776	9.263	8.364	9.089	8.188	7.810	6.948	6.904
69	Thulium	59.335	58.969	57.576	50.730	49.762	10.144	9.628	8.652	9.424	8.472	8.103	7.181	7.135
70	Ytterbium	61.303	60.959	59.352	52.360	51.326	10.486	9.977	8.943	9.779	8.758	8.401	7.414	7.367
71	Lutecium	63.304	62.946	61.282	54.063	52.959	10.867	10.345	9.241	10.142	9.048	8.708	7.654	7.604
72	Hafnium	65.313	64.936	63.209	55.757	54.579	11.264	10.734	9.556	10.514	9.346	9.021	7.898	7.843
73	Tantalum	67.400	66.999	65.210	57.524	56.270	11.676	11.130	9.876	10.892	9.649	9.341	8.145	8.087
74	Tungsten	69.508	69.090	67.233	59.310	57.973	12.090	11.535	10.198	11.283	9.959	9.670	8.396	8.333
75	Rhenium	71.662	71.220	69.298	61.131	59.707	12.522	11.955	10.531	11.684	10.273	10.008	8.651	8.584
76	Osmium	73.860	73.393	71.404	62.991	61.477	12.965	12.363	10.869	12.094	10.596	10.354	8.910	8.840
77	Iridium	76.097	75.605	73.549	64.886	63.278	13.413	12.819	11.211	12.509	10.918	10.706	9.173	9.098
78	Platinum	78.379	77.866	75.736	66.820	65.111	13.873	13.268	11.559	12.939	11.249	11.069	9.441	9.360
79	Gold	80.713	80.165	77.968	68.794	66.980	14.353	13.733	11.919	13.379	11.582	11.439	9.711	9.625
80	Mercury	83.106	82.526	80.258	70.821	68.894	14.841	14.212	12.283	13.828	11.923	11.823	9.987	9.896
81	Thallium	85.517	84.904	82.558	72.860	70.820	15.346	14.697	12.657	14.288	12.268	12.210	10.266	10.170
82	Lead	88.001	87.343	84.922	74.957	72.794	15.870	15.207	13.044	14.762	12.620	12.611	10.549	10.448
83	Bismuth	90.521	89.833	87.335	77.097	74.805	16.393	15.716	13.424	15.244	12.977	13.021	10.836	10.729
84	Polonium	93.112	92.386	89.809	79.296	76.868	16.935	16.244	13.817	15.740	13.338	13.441	11.128	11.014
85	Astatine	95.740	94.976	92.319	81.525	78.956	17.490	16.784	14.215	16.248	13.705	13.873	11.424	11.304
86	Radon	98.418	97.616	94.877	83.800	81.080	18.058	17.337	14.618	16.768	14.077	14.316	11.724	11.597
87	Francium	101.147	100.305	97.483	86.119	83.243	18.638	17.904	15.028	17.301	14.459	14.770	12.029	11.894
88	Radium	103.927	103.048	100.136	88.485	85.446	19.233	18.481	15.442	17.845	14.839	15.233	12.338	12.194
89	Actinium	106.759	105.838	102.846	90.894	87.681	19.842	19.078	15.865	18.405	15.227	15.712	12.650	12.499
90	Thorium	109.630	108.671	105.592	93.334	89.942	20.460	19.688	16.296	18.977	15.620	16.200	12.966	12.808
91	Protactinium	112.581	111.575	108.408	95.851	92.271	21.102	20.311	16.731	19.559	16.022	16.700	13.291	13.120
92	Uranium	115.591	114.549	111.299	98.428	94.648	21.753	20.943	17.163	20.163	16.425	17.218	13.613	13.438
93	Neptunium	118.619	117.533	114.181	101.005	97.023	22.417	21.596	17.614	20.774	16.837	17.740	13.945	13.758
94	Plutonium	121.720	120.592	117.146	103.653	99.457	23.097	22.262	18.066	21.401	17.254	18.278	14.279	14.082
95	Americium	124.876	123.706	120.163	106.351	101.932	23.793	22.944	18.525	22.042	17.677	18.829	14.618	14.411
96	Curium	128.088	126.875	123.235	109.098	104.448	24.503	23.640	18.990	22.699	18.106	19.393	14.961	14.743
97	Berkelium	131.357	130.101	126.362	111.896	107.023	25.230	24.352	19.461	23.370	18.540	19.971	15.309	15.079
98	Californium	134.683	133.383	129.544	114.745	109.603	25.971	25.080	19.938	24.056	18.980	20.562	15.661	15.420
99		138.067	136.724	132.781	117.646	112.244	26.729	25.824	20.422	24.758	19.426	21.166	16.018	15.764
100		141.510	140.122	136.075	120.598	114.926	27.503	26.584	20.912	25.475	19.879	21.785	16.379	16.113

ตาราง 2.24 แสดงพลังงานการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของธาตุและไอออนของธาตุเหล่านี้

หรือ M ดังรูปที่ 2.3 ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านี้หลุดออกมาจากวงโคจรเรียกว่า Auger electron ขบวนการเช่นนี้เรียกว่า (Internal photoelectric absorption) ซึ่งเป็นผลทำให้รังสีเอกซ์ที่เรือง (Fluorescent yield) ลดจำนวนลงไปจากที่ควรจะเป็น แสดงได้โดยสมการ⁵

$$\omega_k = \frac{(n_k)_i}{N_k} = \frac{n_{k\alpha_1}}{N_k} + \frac{n_{k\alpha_2} + \dots}{N_k} \quad (2.2)$$

โดยกำหนดให้ ω_k = Fluorescent yield
 N_k = อัตราการเกิดที่ว่างในชั้น k
 $(n_k)_i$ = อัตราการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวชนิดที่เรืองออกมา

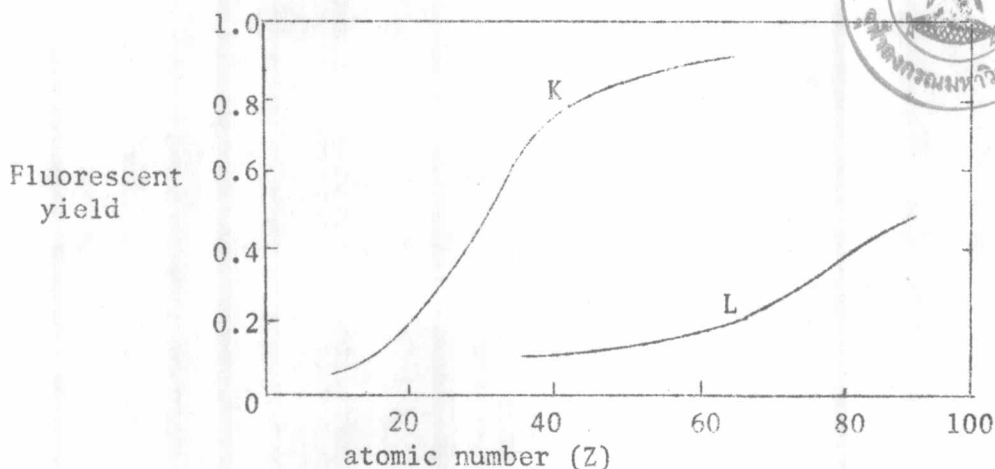


รูปที่ 2.3⁵ แสดงขบวนการ Internal photoelectric absorption

ความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescent yield กับเลขอะตอมได้
 แสดงไว้ในรูปที่ 2.4

⁵Eugene P. Bertin, Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis (New York: Plenum Press., 1970), pp. 60-61.

รูปที่ 2.4⁶ แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fluorescent yield กับเลขอะตอม



2.3 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากไอโซโทปรังสี

ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการกระตุ้นสารเพื่อทำให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ที่เป็นสารกัมมันตรังสี อาจสลายตัวให้รังสีอัลฟา, เบตา, แกมมา หรือรังสีเอกซ์ ตัวอย่างต้นกำเนิดรังสีอัลฟา ได้แก่ ^{242}cm และ ^{210}Po ต้นกำเนิดรังสีเบตา ได้แก่ ^{147}Pm , ^{45}Ca , ^{32}P , ^{63}Ni , ^{204}Tl และ ^{90}Sr ส่วนต้นกำเนิดโฟตอนอาจแบ่งตามขนาดของพลังงานได้ดังนี้ คือ

- ก) ต้นกำเนิดโฟตอนที่ให้พลังงานสูงเกิน 150 keV เช่น ^{60}Co , ^{192}Ir และ ^{137}Cs
- ข) ต้นกำเนิดโฟตอนขนาดพลังงานปานกลาง 60 ถึง 150 keV เช่น ^{57}Co และ ^{153}Gd
- ค) ต้นกำเนิดโฟตอนขนาดพลังงานต่ำกว่า 60 keV เช่น ^{55}Fe , ^{238}Pu , ^{109}Cd , ^{125}I และ ^{241}Am
- ง) ต้นกำเนิดที่ให้รังสีเอกซ์พลังงานต่อเนื่อง ได้แก่ $^3\text{H}/\text{Zr}$, $^{147}\text{Pm}/\text{Al}$

⁶Ibid.

และ Kr^{85}/C

ต้นกำเนิดที่ให้อพลังงานขนาดเดียวจะกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากธาตุที่เหมาะสมได้ดีกว่าต้นกำเนิดที่ให้อพลังงานต่อเนื่องเมื่อมีความแรงเท่ากัน แต่ต้นกำเนิดดังกล่าวนี้จะกระตุ้นธาตุได้ในขอบเขตที่น้อยกว่าต้นกำเนิดประเภทที่ให้อรังสีเอกซ์พลังงานต่อเนื่อง ทั้งนี้เพราะการเกิด Photoelectric interaction สำหรับพลังงานที่มีค่าแน่นอนค่าใดซึ่งมีค่ามากกว่า Absorption edge ของธาตุใดๆ ค่า Photoelectric cross section จะเพิ่มขึ้นตามเลขอะตอม จนกระทั่งเมื่อโฟตอนที่เข้าไปกระตุ้นมีพลังงานน้อยกว่า Absorption edge ของธาตุใดแล้ว ค่า Photoelectric cross section จะลดลงทันที

ในการกระตุ้น K.X-Ray ของธาตุใด เมื่อพลังงานที่เข้ากระตุ้นมีค่าน้อยกว่า K.absorption edge ของธาตุนั้น พลังงานนั้นจะกระตุ้น K.X-Ray ไม่ได้ แต่จะสามารถกระตุ้น L.X-Ray ได้ และค่า cross section สำหรับการกระตุ้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามเลขอะตอมของธาตุ

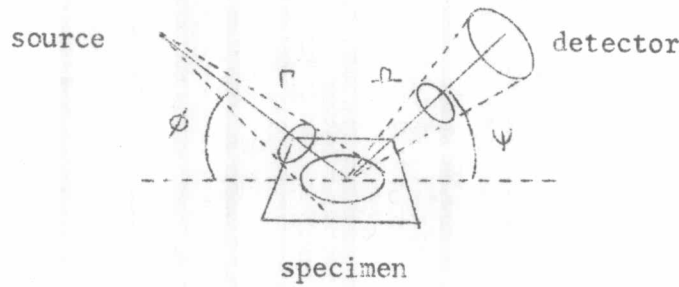
ตามรายงานเกี่ยวกับ X-Ray cross section เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่าง Photoelectric cross section กับ Atomic number⁷ จากตารางที่ 2.3 มาเขียนจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.5

2.4 ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

การกระตุ้นเพื่อให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอะตอม เราสามารถกระตุ้นโดยใช้อนุภาคอิเล็กตรอน, โปรตอน, ไอออนส์, รังสีอัลฟา, เบตา, แกมมา หรือรังสีเอกซ์ จากสารกัมมันตรังสี โดยทั่วไปนิยมใช้รังสีเอกซ์จากหลอดแบบ Coolidge

⁷W. H. Master. et al. Compilation of X-Ray Cross Section. (California: California Univ., 1969) Sec. 2. pp. 1-6.

หรือรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาพลังงานต่ำจากสารกัมมันตรังสี



รูปที่ 2.6 การกระตุ้นสารโดยใช้รังสีเอกซ์

จากรูปที่ 2.6 เมื่อใช้รังสีเอกซ์กระตุ้นสารโดยทำมุม ϕ กับสาร วัสดุรังสีเอกซ์-
เรือง โดยหัววัดทำมุม ψ กับสาร จะได้ความเข้มตั้งสมการต่อไปนี้⁸

$$I = \frac{\Gamma \Omega}{4\pi} \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{ab}} T(\lambda_p, \lambda_L) J(\lambda_p) d\lambda_p \quad (2.3)$$

- โดย Γ = Solid angle จากสารรองรับต้นกำเนิดรังสี
 Ω = Solid angle จากหัววัดรังสีรองรับรังสีเรืองจากสาร
 ϕ = มุมระหว่างแกนรังสีต้นกับแผ่นสาร
 ψ = " รังสีเรืองกับแผ่นสาร
 λ_p = ความยาวคลื่นของรังสีต้น
 λ_L = " รังสีเรือง
 λ_{min} = " ที่สั้นที่สุดของรังสีต้น
 λ_{ab} = " absorption edge ของรังสีเรือง

⁸Bertin, Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis, pp. 83-83.

$$T(\lambda_p, \lambda_L) = \begin{array}{l} \text{Conversion efficiency} \quad \text{คือจำนวนรังสีเรือง } \lambda_L \\ \text{ต่อรังสีต้น } \lambda_p \end{array}$$

$$J(\lambda_p) = \begin{array}{l} \text{การกระจายของจำนวนรังสีต้นในหนึ่งหน่วย} \\ \text{Solid angle } \Gamma \end{array}$$

จากสมการ (2.3) E. L. Gunn ได้ทดลองใช้รังสีเอกซ์กระตุ้นสารตัวอย่าง
 บางมาก ซึ่งถือได้ว่าไม่มีผลเนื่องจากการดูด-เสริมของรังสีเรือง (Absorption
 enhancement effect) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเรืองเป็นปฏิภาค
 โดยตรงกับจำนวนอะตอมของธาตุหรือปริมาณความหนาของสารนั้น
 ดังแสดงได้โดยสมการ⁹

$$dI = K(\text{cosec } \phi) I_0 \exp -\left\{ \left[\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\lambda_p} \text{cosec } \phi + \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{\lambda_L} \text{cosec } \psi \right] \rho t \right\} dt \quad (2.4)$$

$$I_0 = \text{ความเข้มของรังสีต้น}$$

$$\mu/\rho = \text{Mass absorption coefficient ของสาร (cm}^2/\text{g)}$$

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

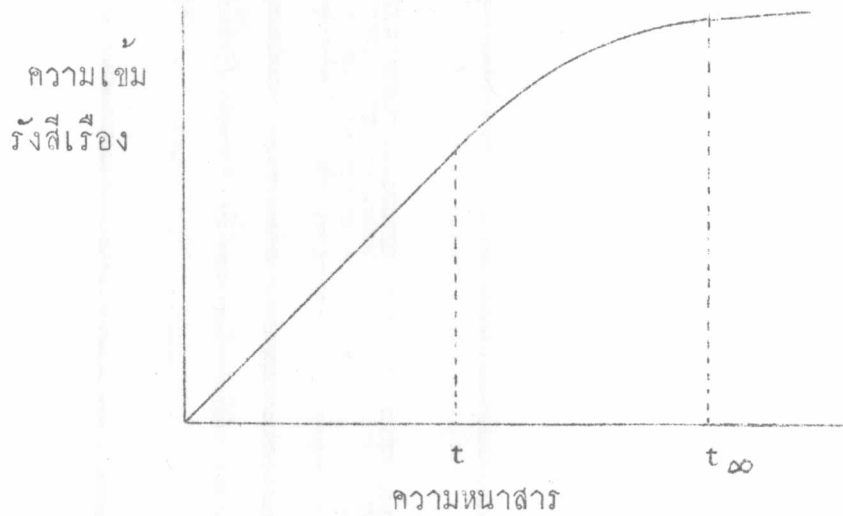
$$t = \text{ความหนาของสาร (cm)}$$

$$K = \text{ค่าคงที่เนื่องจากการวัด, การดูดกลืนและ} \\ \text{การผันรังสีต้นเป็นรังสีเรือง}$$

005251

ผลการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณความหนาของสารแล้วปริมาณความเข้มของรังสี-
 เรืองจะเป็นไปตามกราฟรูปที่ 2.7 ช่วงแรกเป็นช่วงของสารตัวอย่างบาง ซึ่งไม่มีผล
 จากการดูด-เสริมของรังสีเรือง จึงทำให้มีความสัมพันธ์เป็นปฏิภาคโดยตรงระหว่าง
 ความหนากับปริมาณความเข้มของรังสีเรือง ช่วงที่สอง ความหนาของสารมีผลต่อการ
 ดูดกลืนรังสีเอกซ์เรืองที่มีพลังงานต่ำทำให้จำนวนรังสีเอกซ์เรืองลดลงไปจากที่ควรจะ

⁹ Ibid., pp. 416-419.



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของสารต่อความเข้มของรังสีเอ็กซ์

เป็นและเมื่อเพิ่มความหนาของสารขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่งจะได้ค่าปริมาณความเข้มของรังสีเอ็กซ์เอียงคงที่ แม้จะเพิ่มความหนาเท่าใดก็ตาม เราเรียกความหนา ณ จุดนี้ว่าความหนาวิกฤต (Critical thickness)¹⁰

จากสมการที่ (2.4) เราสามารถหาความเข้มรังสีเอ็กซ์เอียง ณ ความหนาใดๆ จากสมการดังต่อไปนี้¹¹

$$dI_t = KI_0 \operatorname{cosec} \phi \int_0^t e^{-\mu_p t} dt \quad (2.5)$$

$$I_t = KI_0 \operatorname{cosec} \phi (1 - e^{-\mu_p t}) / \mu_p \quad (2.6)$$

¹⁰ Ibid.

¹¹ Ibid.

$$\bar{\mu} = (\mu/\rho)_{\lambda_p} \cos \phi + (\mu/\rho)_{\lambda_L} \operatorname{cosec} \psi \quad (2.6)$$

โดยให้ความหนาของสาร เท่ากับ ความหนาวิกฤต คือ $t = \infty$ ดังนั้นความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองจะเท่ากับ

$$I_{\infty} = \frac{KI_0 \operatorname{cosec} \phi}{\bar{\mu} \rho} \quad (2.7)$$

และที่ความหนาวิกฤต จะสามารถหาความเข้มรังสีเอกซ์เรือง ณ จุดความหนา t ใดๆ ดังนี้

$$I_t / I_{\infty} = 1 - \exp \{ -\bar{\mu} \rho t \} \quad (2.8)$$

จุดความหนาวิกฤตหาได้โดยกำหนดให้อัตราส่วนปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์เรือง¹²

$I_t / I_{\infty} = 0.999$ และจากสมการที่ (2.8) แสดงให้เห็นว่า ความหนาวิกฤตขึ้นอยู่กับค่า

- ก) ความหนาแน่นของสาร
- ข) พลังงานรังสีต้นที่นำมากระตุ้น
- ค) พลังงานรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่เรืองออกมา

เมื่อทราบความหนาวิกฤตของสารแล้วจึงนำไปประยุกต์กับการทดลองโดยพิจารณาถึงสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยธาตุหลายชนิด ซึ่งมีปริมาณสัดส่วนต่างกัน ได้ผลปรากฏว่าปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุใดๆ จะมีสัดส่วนเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณของธาตุนั้นที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง¹³

¹² Ibid.

¹³ Adler, X-Ray Emission Spectrography in Geology, p. 113.

ข้อ

$$I_A \propto W_A$$

$$I_A = I(A) \cdot W_A \quad (2-9)$$

กำหนดให้

$$I_A = \text{ปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุ ที่ประกอบในสารตัวอย่าง}$$

$$W_A = \text{สัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง}$$

$$I(A) = \text{ค่าคงที่ของปริมาณความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุบริสุทธิ์ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก}$$