หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และรังสีเอกซ์

ในปีพ.ศ. 2438 ขณะที่เรินท์เกน (Wilhelm K. Rontgen) นัก - วิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน กำลังทดลองเกี่ยวกับรังสีแคโทด โดยคลุมหลอดรังสีแคโทดด้วยกระดาษดำเพื่อจะศึกษาความทึบแสงของกระดาษแผ่นนั้น ขณะที่ทำการทดลองในห้องมืดสนิท เรินท์เกนสังเกตเห็นว่า ก้อนแร่ แบเรียม แพลททิโนไซยาไนด์ (Barium Platinocyanide) ซึ่งวางไม่ห่างจากหลอดรังสีแคโทดนัก เกิดเรืองแสงขึ้น ปกติก้อนแร่นี้จะเรืองแสงก็ต่อเมื่อถูกรังสีอุลตราไวโอเลต แต่ว่าขณะนั้นในห้องไม่มีรังสีอุลตราไวโอเลตอยู่เลย และทราบว่ารังสีแคโทด สามารถวิ่งผ่านอากาศได้เพียง 2 - 3 เซนติเมตรเท่านั้น ดังนั้นรังสีแคโทดจึงไม่ใช่ต้นเหตุที่ทำให้ก้อนแร่นั้น เกิดการเรืองแสงขึ้นมาได้ จึงทำให้เรินท์เกนสรุปได้ว่าจะต้องเป็นรังสีบางอย่าง ที่มาจากหลอดรังสีแคโทดนั้น แต่ว่ายังไม่รู้ชื่อ เรินท์เกินจึงเรียกชื่อรังสีนี้ว่ารังสีเอกซ์ (X - rays) จากนั้นเมื่อเรินท์เกนศึกษาต่อมาก็พบว่ารังสีเอกซ์เกิดจากรังสีแคโทดชนผนังหลอดสุญญากาศ ทำให้เขาสามารถสร้างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ขึ้นมาได้ และได้พบคุณสมบัติของรังสีเอกซ์ คือ สามารถจะทำให้ฟิล์มถ่ายรูปดำ และมีอำนาจ ทะลุทะลวงสารต่าง ๆ ได้ ซึ่งต่อมานักวิทยาศาสตร์ได้ทดลองเกี่ยวกับรังสีเอกซ์ และพบคุณสมบัติอีกหลายอย่างเช่น เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วเท่าแสง (3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาทีในสุญญากาศ) ไม่สามารถถูกเบี่ยงเบนด้วยสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็กได้ ไม่สามารถถูกโฟกัสด้วยเลนส์ได้ แต่สามารถทำให้โมเลกุลของก๊าซ หรือของเหลวเกิดการแตกตัวเป็นอิออนได้ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมี และทางชีววิทยาแก่สิ่งมีชีวิต

2.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

หลังจากที่เรินท์เกนได้ผลิตหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ขึ้นมาได้ และได้มี การ

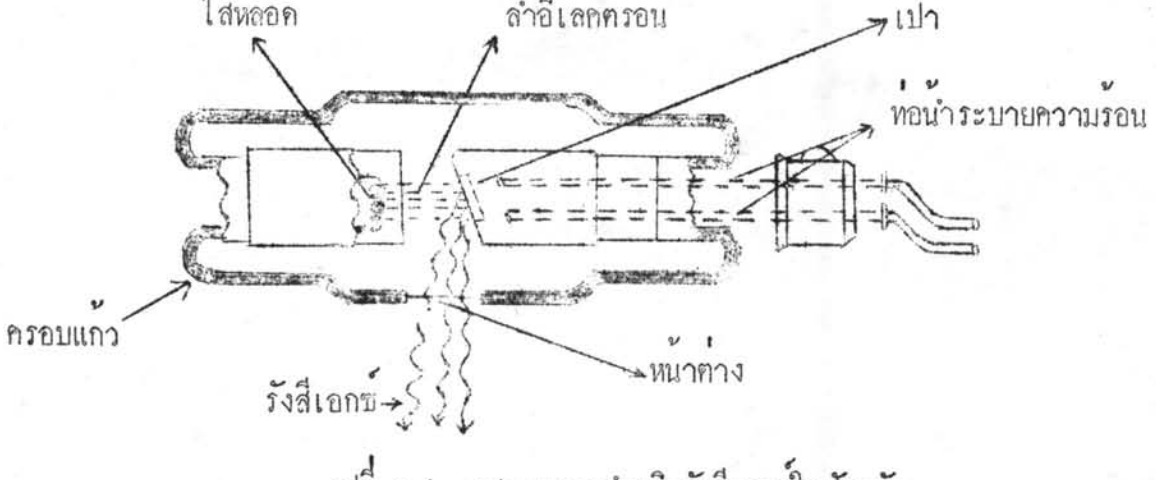
พัฒนามาตามลำดับ จนกระทั่งในปัจจุบันได้มีการสร้างหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ออกมาหลายแบบเพื่อให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการจะนำไปใช้ แต่หลักการใหญ่ยังเหมือน-เดิม ดังนั้นหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ทุกแบบจึงประกอบไปด้วย ขั้วอะโนด และ ขั้วแคโทด โดยขั้วทั้งสองนี้จะอยู่ภายในหลอดสุญญากาศ ขั้วอะโนดอาจจะทำด้วยโลหะทองแดง, โมลิบดินั่ม, เงิน หรือทังสะเตนก็ได้ ส่วนขั้วแคโทดประกอบไปด้วย ไส้หลอดที่ทำด้วยทังสะเตน (เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 3370° C) วางอยู่ในช่องที่เราเรียกว่า Focusing Cup ในที่นี้จะพูดเฉพาะหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานสเปคโตรมิเตอร์ ซึ่งได้ออกแบบเฉพาะเพิ่มเติมเพื่อให้มีคุณสมบัติดังนี้คือ

2.1.1 ให้รังสีเอกซ์เรย์พลังงานสูง และสเปคตรัมค่อนข้างบริสุทธิ์ ดังนั้นกำลังของหลอดจึงต้องใช้สูง ระยะระหว่างเป้าและหน้าต่างสั้น โดยใช้หน้าต่างเบอริเลียมที่บางมาก

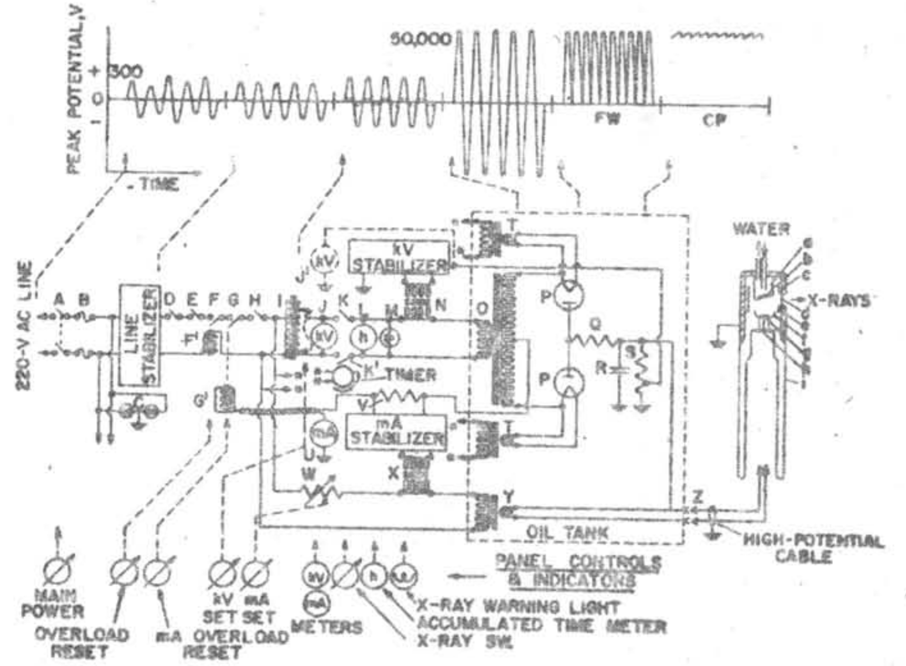
2.1.2 ให้พลังงาน และความเข้มสม่ำเสมอ แม้จะเดินเครื่องเป็นระยะเวลานาน ๆ

2.1.3 ให้อุณหภูมิของหลอดต่ำขณะทำงาน

2.1.4 มีอายุการทำงานของหลอดยาว ซึ่งขึ้นอยู่กับการเผาไหม้ไส้หลอด สำหรับรูปของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ และวงจรที่ใช้ควบคุมการทำงานได้แสดงในรูป2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แสดงหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.2 [1]แสดงวงจรของเครื่องที่ใช้ควบคุมหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะอยู่ทางขวามือของรูปที่ 2 ซึ่งได้ขยายใหญ่ดังแสดงใน รูปที่2.1ช่วงบนสุดจะเป็นศักย์ของหลอดเทียบกับเวลา ซึ่งผ่านการกรองจนได้ศักย์ค่อนข้างเรียบ ช่วงล่างสุดจะเป็นปุ่มควบคุมและเข็มที่แสดงค่าต่าง ๆ บนหน้าปัทม์ตามการควบคุม

A = สวิทซ์ใหญ่ควบคุมกำลัง

B = ฟิวส์

C = ชิ้นส่วนประกอบภายนอก

D,E = สวิทช์ควบคุมระบบน้ำแรงดันสูง และค่าตามลำดับ

F', F = ขดลวดโซลีนอยด์ ใช้ตรงจุดควบคุมการทำงานเกินกำลังของเครื่อง

G', G = ขดลวดโซลีนอยด์ใช้ควบคุมเมื่อกระแสมากเกิน

H = ตัวควบคุมหน้าต่าง

I = ตัวทรานสฟอร์มเมอร์

J = มิเตอร์ที่บอก kV

K = สวิทช์ควบคุมรังสีเอกซ์

L = มิเตอร์ที่บอกเวลาสะสม

M = ควบคุมสัญญาณแสงเมื่อหลอดเริ่มให้รังสีเอกซ์

N = ตัวควบคุมที่ทำให้ kV คงที่

O = ทรานสฟอร์มเมอร์แบบศักย์สูง

Q = ตัว ก.ต.ท

R = ตัวประจุ

S = ตัว ก.ต.ท ที่ใช้แบ่งความต่างศักย์

U = มิเตอร์บอก mA

V = ตัว ก.ต.ท ที่ใช้กับตัวควบคุมให้ mA คงที่

W = rheostat ที่ใช้ควบคุมไส้หลอด

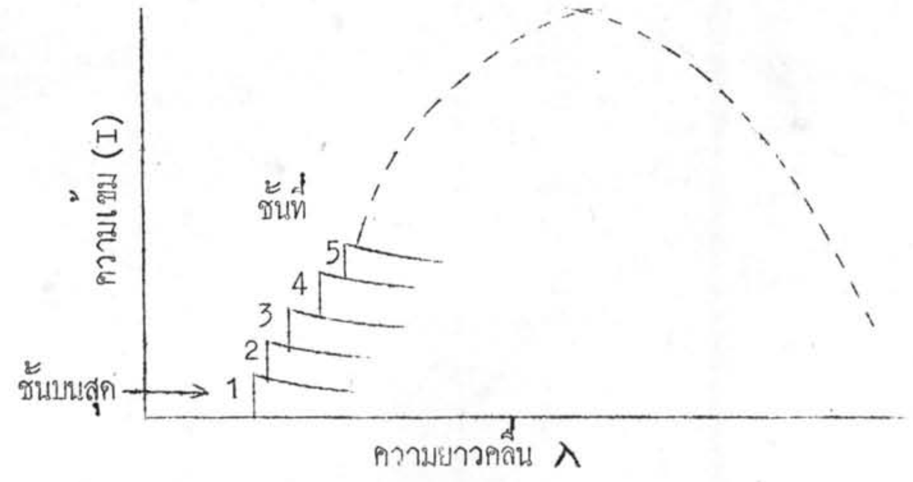
Y = ทรานสฟอร์มเมอร์ของไส้หลอดเอกซเรย์

2.2 ขบวนการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

2.2.1 การเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง

เมื่อเผาไส้หลอดแคโทดของหลอดเอกซเรย์จนร้อนแล้ว อิเลคตรอนจะหลุดออกมาอยู่รอบ ๆ ไส้หลอดนั้น และเมื่อทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอะโนด และแคโทดสูงมาก ๆ แล้ว กลุ่มอิเลคตรอนที่ลอย อยู่รอบขั้วแคโทดก็จะวิ่งไปชนขั้วอะโนดหรือเป้า จากการพิจารณาเป้าโดยแบ่งออกเป็นชั้นบาง ๆ เมื่ออิเลคตรอนแต่ละตัวชนชั้นบนสุดของเป้าแล้ว จะสูญเสียพลังงานสูงสุดให้เพียงส่วนน้อย ซึ่งจะออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่ำสุด ในขณะที่ชั้นต่อ ๆ ไป อิเลคตรอนก็จะสูญเสียพลังงานที่ต่ำกว่าชั้นบนไปเรื่อย ๆ จึงทำให้รังสีเอกซ์ที่ออกมาในช่วงต่อ ๆ ไป มีความยาวคลื่นมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

แต่ในทางปฏิบัติแล้วรังสีเอกซ์ที่เกิดในชั้นลึก ๆ ลงไปไม่มีโอกาสที่จะทะลุทะ-



รูปที่ 2.3 แสดงสเปคตรัมของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องเมื่อใช้เป้าที่หนามาก โดยเป็นผลรวมอันเนื่องมาจากเป้าที่บางแต่ละชั้นรวมกัน

ลวงออกมาเนื่องจากพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดในช่วงนั้นนอกจากมีค่าต่ำแล้ว ยังต้องทะลุทะลวงผ่านชั้นที่หนา ๆ อีกด้วย จึงถูกดูดกลืนไปเป็นส่วนใหญ่ แต่ที่หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ยังให้รังสีเอกซ์ต่อเนื่องออกมาก็เนื่องจากอิเลคตรอนที่ออกมาจากไส้หลอดได้รับพลังงาน เนื่องจากความร้อนไม่เท่ากันเลย มีค่าตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงค่าสูงสุด และเมื่อกระทบเป้า โดยวิ่งเฉียดนิวเคลียสด้วยความเร็วสูง จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวก และลบขึ้นมา ซึ่งทำให้อิเลคตรอนเปลี่ยนแปลงทิศทาง ตามหลักการคงตัวของพลังงาน. อิเลคตรอนจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่อเนื่องกันตั้งแต่สูงสุดจนถึงต่ำสุด

โดยความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องที่ออกมาจะมีความสัมพันธ์ดังสมการ2.1

$$I = CZ\,(E_{max} - E) \qquad (2.1)$$

I = ความเข้มของโฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับ E

E_{max} = พลังงานสูงสุดของโฟตอนที่ออกมา ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานสูงสุดของอิเลค-ตรอนที่ชนเป้า

Z = เลขอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า

C = ค่าคงที่

2.2.2 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว

ถ้าใช้ศักย์ที่ควบคุมหลอดรังสีเอกซ์ (kV) สูงกว่าค่า เค หรือ แอล แอบซอบชั่นเอดจ์ (K,L absorption edge) ของธาตุที่ใช้ทำเป็นเป้าแล้ว หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ก็จะให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัว รวมออกมากับรังสีเอกซ์ต่อเนื่องด้วย

2.2.3 พลังงานของอิเลคตรอนส่วนที่เปลี่ยนไปเป็นรังสี

ในหลอดรังสีเอกซ์ พลังงานส่วนใหญ่ของอิเลคตรอนจะกลายไปเป็นความ-ร้อน เนื่องจากทำให้อะตอมของเป้าเกิดการเอกไซเตชั่น (excitation) และไอออนไนเซชั่น (ionization) เป็นจำนวนถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะเปลี่ยนไปเป็นโฟตอน โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = 3.5 \times 10^{-4} \; ZE \qquad (2.2)$$

เมื่อ f = ส่วนของพลังงานของอิเลคตรอนที่เปลี่ยนไปเป็นโฟตอน

Z = เลขอะตอมของธาตุที่ใช้เป็นเป้า

E = พลังงานสูงสุดของอิเลคตรอนที่วิ่งชนเป้ามีหน่วย MeV

2.3 ความยาวคลื่นต่ำสุด

ในปี พ.ศ. 2458 ดวน (Duane) และ ฮันท์ (Hunt) ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์ที่ให้ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดรังสีเอกซ์อย่างเดียว

ถ้าพลังงานของอิเลคตรอนได้ถ่ายทอดให้แก่โฟตอนของรังสีเอกซ์หมดแล้วจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$E_x = E_e$$

$$\frac{hc}{\lambda_{cm}} = eV$$

$$\lambda_{cm} = \frac{hc}{eV}$$

เมื่อ E_x = พลังงานของเอกซเรย์โฟตอน

E_e = พลังงานของอีเลคตรอน 1 ตัว ที่ได้รับพลังงานในช่วงที่วิ่งระ - หว่างความต่างศักย์ V (หน่วยโวล์ต)

λ_{cm} = ความยาวคลื่นต่ำสุดของเอกซเรย์โฟตอน

h = ค่าคงตัวของแพลงค์ = 6.62619×10^{-34} J.s

c = ความเร็วแสงในสูญญากาศ = 3×10^{8} m/s $\times 10^{10}$ Å/m

e = ประจุของอีเลคตรอน = 1.60219×10^{-19} C

$$\lambda_{cm} = \frac{6.62619 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8} \times 10^{10}}{1.60219 \times 10^{-19} \quad V} = \frac{12,400}{V} \text{ Å/V}$$

ดังนั้นกฎของดวนและฮันท์ ให้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นต่ำสุดของรังสีเอกซ์ที่ให้ออกมา และความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ว่า

$$\lambda_{cm} = \frac{12,400}{V \text{ (volts)}} \qquad (2.3)$$

2.4 ผลของ กระแส, ศักย์และเป้าของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องกับเป้า กระแส และศักย์ของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ และใช้ประโยชน์มากที่สุดมีดังนี้

$$I_{\lambda} = CZ\left(\frac{1}{\lambda^2}\right)\left(\frac{1}{\lambda_{min}} - \frac{1}{\lambda}\right) + BZ^2 \frac{1}{\lambda^2} \qquad (2.4)$$

$$I_{\lambda} \propto iZ\left(\frac{\lambda}{\lambda_{min}} - 1\right)\frac{1}{\lambda^2} \qquad (2.5)$$

$$Iint = (1.4 \times 10^{-9}) \quad iZV^2 \qquad (2.6)$$

เมื่อ I_λ = ความเข้มของความยาวคลื่น λ ใด ๆ

Iint = ความเข้มรวมของความยาวคลื่นต่อเนื่อง

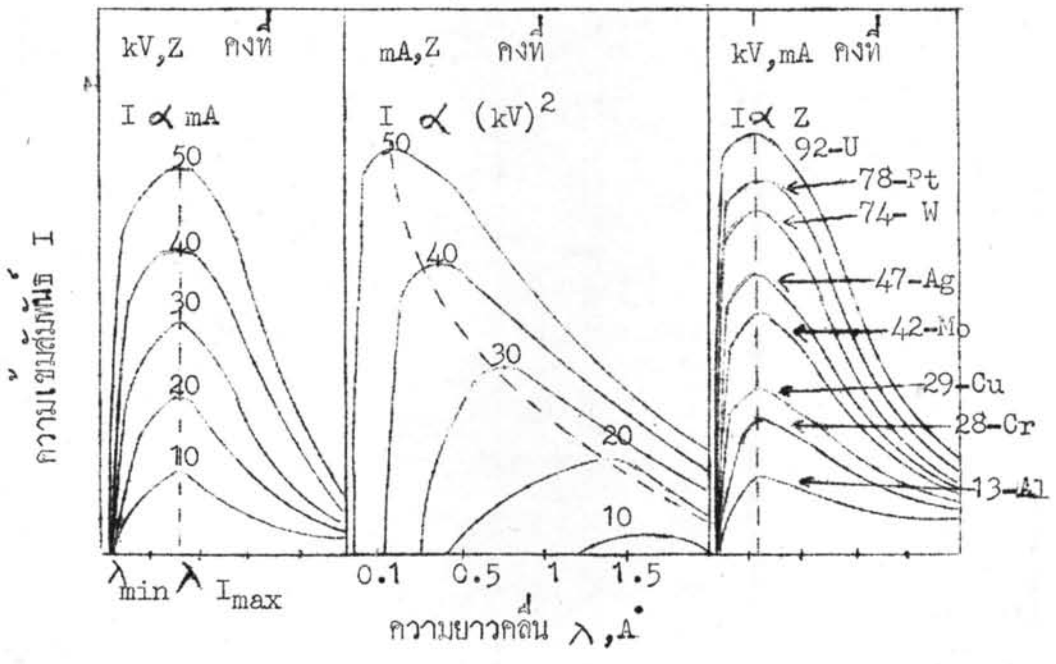
Z = เลขอะตอมของธาตุที่ใช้ทำเป็นเป้า

V,i = ศักย์และกระแสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

λmin = ค่าความยาวคลื่นต่ำสุด

B,C = ค่าคงที่ ; C $\gg$ B

สมการ (2.4) ค่า C $\gg$ B ดังนั้น เทอมที่สองเมื่อเทียบกับเทอมแรกแล้วไม่ค่อยมีความหมาย



รูปที่ 2.4 [1] แสดงผลของกระแส, ศักย์ และ เลขอะตอมของเป้า สัมพัทธ์กับความเข้มของสเปคตรัมต่อเนื่อง

จากรูปที่ 2.4 ช่องแรกเมื่อ kV และ Z คงที่ แล้วจะพบว่าความเข้มของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องจะแปรผันตรงกับกระแสของหลอด และตำแหน่งของยอดพีคของสเปคตรัม

จะคงที่ เนื่องจากอิเลคตรอนที่วิ่งจากขั้วแคโทดไปยังขั้วอะโ◦ นจะแปรผันตามกระแสของหลอดเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงเลขอะตอมของเป้าในช่องที่สาม จะมีผลทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์แปรผันโดยตรงกับเลขอะตอมของเป้า เนื่องจากอิเลคตรอนที่อยู่ตามวงต่างๆ รอบอะตอมของธาตุที่เป็นเป้าจะแปรผันโดยตรงกับ Z คือ ถ้าเป้าเป็นธาตุหนัก Z สูง อิเลคตรอนที่วิ่งวนอยู่รอบนิวเคลียสก็จะมีค่ามาก ซึ่งจะหน่วงอิเลคตรอนที่วิ่งมาชนเป้าให้ความเร็วของอิเลคตรอนลดลงอย่างรวดเร็ว และในกรณีที่ให้กระแส (mA) และเลขอะตอมเป้า (Z) คงที่ ในช่องที่ 2 ของรูป 2.4 และให้ศักย์ของเป้าเปลี่ยนแปลงในทางที่เพิ่มขึ้นจะให้ผลที่น่าสังเกตุดังนี้

2.4.1 ความเข้มของทุกความยาวคลื่นจะเพิ่มขึ้นเพราะอิเลคตรอนจากไส้หลอดจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูงขึ้นและในขณะเดียวกันก็จะถูกหน่วงได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

2.4.2 λ_{min} และ λ_{Imax} จะโน้มเอียง ที่ทำให้ความยาวคลื่นสั้นลง

2.4.3 ความเข้มที่ตำแหน่ง λ_{Imax} และบริเวณใกล้ ๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของ V

2.5 ประสิทธิภาพของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

จากหัวข้อ 2.2.3 ได้กล่าวแล้วว่าพลังงานอิเลคตรอนที่กระทบเป้า ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนถึง 99 เปอร์เซนต์ และเปลี่ยนมาเป็นรังสีเอกซ์เพียงประมาณ 1 เปอร์เซนต์เท่านั้น

ซึ่งประสิทธิภาพของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะขึ้นอยู่กับค่า 2 อย่างคือ

2.5.1 โลหะที่ใช้ทำเป็นเป้า

2.5.2 ความต่างศักย์ของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

ความสัมพันธ์ของกำลังของรังสีเอกซ์ที่ออกมากับโลหะที่ใช้ทำเป็นเป้า กระแสและศักย์ของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีดังนี้

$$P_x = kZIV^2 \qquad (2.7)$$

เมื่อ P_x = กำลังของรังสีเอกซ์ที่ออกมาในหน่วยวัตต์

Z = เลขอะตอมของธาตุที่ใช้ทำเป็นเป้า

I = ค่า rms (root mean square) ของกระแสหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ มีหน่วยแอมแปร์

V = ค่า rms (root mean square) ของความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีหน่วยโวลท์

k = ค่าคงที่

จากการทดลอง $k^{(2)} = 1.4 \times 10^{-9}$/volt เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

$$\text{จาก ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{กำลังของรังสีเอกซ์ที่ออกมา } (P_x)}{\text{กำลังของอิเลคตรอนจากแคโทดวิ่งชนเป้า } (P_e)} \times 100\ \% \quad ;(2.8)$$

P_e = กำลังของอิเลคตรอนจากแคโทดวิ่งชนเป้า

= VI (ทั้งค่า V และ I คิดเป็น rms)

จาก (2.7) ; $P_x = kZIV^2$

แทนค่าใน (2.8) ประสิทธิภาพ $= \frac{kZIV^2}{VI} \times 100\ \%$

$= kZV \times 100\ \%$

$= 1.4 \times 10^{-9}/\text{volt} \times ZV \times 100\%$

ประสิทธิภาพในการกำเนิดรังสีเอกซ์ $= 1.4 \times 10^{-7}\ ZV\ \%$ (2.9)

ตัวอย่าง เช่น เป้าของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ใช้ธาตุ ทองแดง ($Z = 29$) และในการเดินเครื่องครั้งหนึ่งใช้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วของหลอดเท่ากับ 15 kV ให้หาว่าประสิทธิภาพของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์มีค่าเท่าใด

จาก (2.9); ประสิทธิภาพ $= 1.4 \times 10^{-7}\ ZV\ \%$

$Z = 29$; $V = 15 \times 10^3 \times 0.707$ Volt (ใช้ค่า rms)

$\therefore$ ประสิทธิภาพ $= 1.4 \times 10^{-7} \times 29 \times 15 \times 10^{3} \times 0.707\ \%$

$= 0.043\ \%$

นั่นคือประสิทธิภาพในการเกิดรังสีเอกซ์ 0.043 เปอร์เซนต์

2.6 ตัวกรองรังสี (Filters)

ตัวกรองรังสีแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามจุดประสงค์การใช้งานคือ

2.6.1 Attenuation Filters ทำด้วยโลหะบาง ๆ หรือ วัตถุอื่นที่เป็นชั้นบาง ๆ เพื่อใช้กั้นรังสีเอกซ์เฉพาะตัว อันจะมีผลให้ดูดกลืนพลังงาน หรือ ช่วงพลังงานที่มีค่ามากกว่าค่าแอบซอบชั่น เอดจ์ (absorption edge) ของธาตุที่ทำเป็นตัวกรองอย่างรุนแรง แต่จะยอมให้พลังงานที่ต่ำกว่าผ่านไปได้ เช่น ตัวกรองรังสีที่มีแอบซอบชั่น เอดจ์ระหว่างค่า เค เบต้า (k_β) และ ค่า เค อัลฟ่า (k_α) ของตัวที่กั้น แล้วตัวกรองจะดูดกลืนรังสี k_β เกือบหมด ทำให้อัตราส่วนความเข้มของ $k_\beta : k_\alpha = 1:5$ (1) จากเดิมเปลี่ยนไปเป็น 1 : 500 แต่ในขณะเดียวกันความเข้มของ k_α ก็จะลดลงจากเดิมไป–ครึ่งหนึ่ง

2.6.2 Enhancment Filters ทำด้วยวัตถุที่เป็นแผ่นบาง ๆ เช่นเดียวกันใช้กั้นรังสีเอกซ์ปฐมภูมิเพื่อช่วยให้อัตราส่วนความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ต้องการจะวิเคราะห์ต่อแบคกราวน์ดีขึ้น แม้จะมีผลทำให้ความเข้มของเส้นที่ต้องการจะวิเคราะห์ลดลงด้วยก็ตาม ซึ่งเทคนิคของตัวกรองแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ กับรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานอยู่ในช่วงกลาง ๆ สำหรับช่วงพลังงานน้อย ๆ แล้วจะมีผลดังนี้คือ

2.6.2.1 ถ้าช่วงรังสีเอกซ์ปฐมภูมิต่อเนื่องมีความเข้มต่ำ จะทำให้ช่วงที่เป็นประโยชน์ยิ่งลดต่ำลงไปอีก

2.6.2.2 ถ้าต้องการจะลดแบคกราวน์ โดยใช้ตัวกรองที่หนาขึ้นแล้วจะทำให้รัง–สีที่มีพลังงานต่ำถูกดูดกลืน โดยตัวกรองเป็นส่วนใหญ่ และปล่อยให้รังสีที่มีพลังงานสูงผ่านไปได้ ทำให้สเปคตรัมของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิต่อเนื่องมียอดเคลื่อนไปทางพลังงานสูง หรือช่วงความยาวคลื่นต่ำ ดังรูป 2.5

2.7 การดูดกลืน (Absorption)

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบสารที่เป็นตัวกรอง บางส่วนของรังสีจะถูกดูดกลืนเอาไว้บางส่วนจะทะลุผ่านออกไปได้

2.7.1 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น (Linear absorption coefficient) การดูดกลืนจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

001036

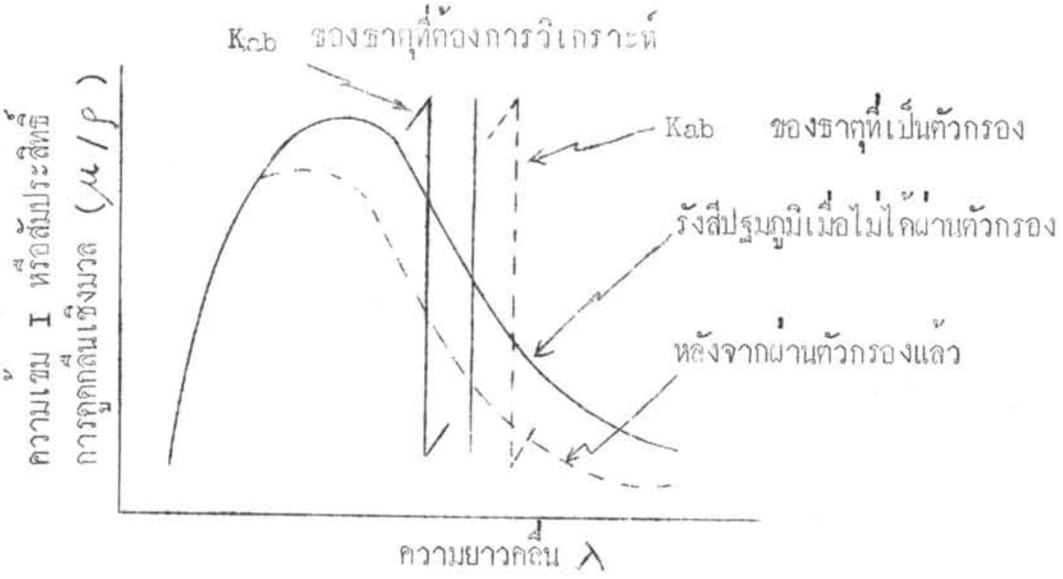
$$I = I_o e^{-\mu t} \tag{2.10}$$

I = ความเข้มของรังสีที่ผ่านไปได้

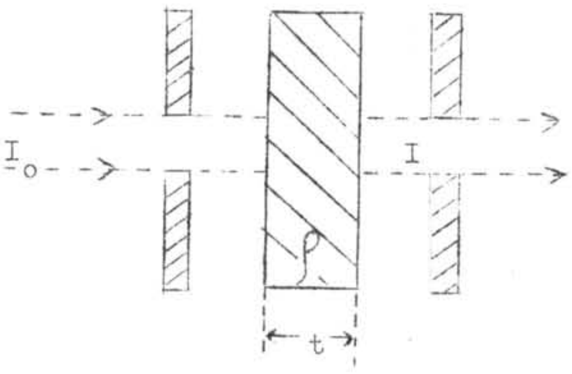
I_o = ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ

μ = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงเส้น

t = ความหนาของสารตัวกรองรังสี



รูปที่ 2.5 แสดงลำรังสีปฐมภูมิกับการใช้ตัวกรองแบบ enhancement



รูปที่ 2.6 แสดงการวางตัวสำหรับการดูดกลืนรังสีเอกซ์

2.7.2 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล(Mass absorption coefficient): ถ้าคิดรังสีที่หลังจากผ่านตัวกรองออกมาโดยพิจารณาจากการดูดกลืนต่อหน่วยน้ำหนักแล้ว ความสัมพันธ์ของสมการ (2.10) จะเปลี่ยนไปเป็น

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho t} \qquad (2.11)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

t = ความหนา หน่วย เซนติเมตร

ρt = ความเข้มข้นต่อพื้นที่ หน่วย กรัมต่อตารางเซนติเมตร

$\mu_m = \mu/\rho$ = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล

2.7.3 ฮาล์ฟ วาลิว แลเยอร์ (Half Value Layer)

ฮาล์ฟ วาลิว แลเยอร์ หรือเขียนย่อ ๆ ว่า H.V.L เป็นค่าความหนาของวัตถุที่ทำให้ปริมาณรังสีเริ่มต้นลดลงครึ่งหนึ่ง

จาก (2.10) ; $I = I_0 e^{-\mu t}$

$$I/I_0 = e^{-\mu t}$$

$$t = \frac{\log_e (I_0/I)}{\mu}$$

ถ้า $I = 0.5\,I_0$; $t = t_{\frac{1}{2}} = 0.693/\mu$ (2.12)

2.7.4 พลังงานเอฟเฟคตีฟ (Effective energy)

พลังงานเอฟเฟคตีฟ หมายถึงค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องใด ๆ ในทางปฏิบัติแล้ว จะนำเอาค่าพลังงานเพียงค่าเดียวไปคำนวณการดูดกลืนโดยตัวกรองแล้ว จะให้ปริมาณการดูดกลืนที่ถูกต้องของรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่องทั้งหมด โดยทั่ว ๆ ไป แล้ว ค่าพลังงานเอฟเฟคตีฟ จะเปรียบเทียบกับพลังงานของรังสีแกมมาที่มีค่า H.V.L เท่ากัน ดังแสดงในตาราง 2–1

2.7.5 กฎระยะทางกำลังสองผกผัน (Inverse–square law)

ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีเป็นจุด ความเข้มของรังสีที่ระยะทางต่าง ๆ จากจุดกำเนิด

ตารางที่ 2-1 (3)

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานเอฟเฟคตีฟกับค่า H.V.L

พลังงานเอฟเฟคตีฟ (keV)	H.V.L มม.อลูมิเนียม	H.V.L มม.ทองแดง
26	1.5	0.041
29	2.0	0.059
33	3.0	0.10
39	4.0	0.15
43	5.0	0.20
48	6.0	0.26
56	8.0	0.39
62	9.5	0.50
[illegible]	10.0	0.54
82	15.0	1.00

รังสีจะแปรผันตามกฎกำลังสองผกผัน ดังความสัมพันธ์

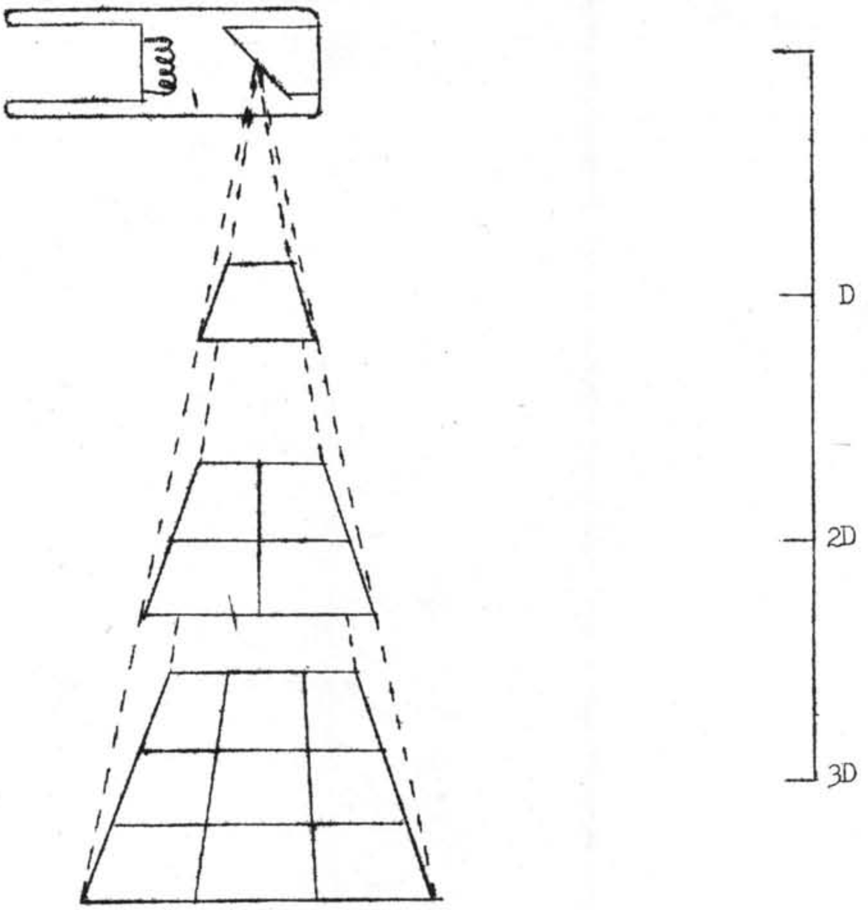
$$I \propto \frac{1}{D^2}$$

หรือ ถ้าเปรียบเทียบความเข้มรังสีที่ระยะทางต่างกัน D_1 และ D_2 ดังรูป2.7 จะได้ว่า

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2} \quad \text{หรือ} \quad I_2 = I_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \qquad (2.13)$$

เมื่อ I_1 = ความเข้มรังสีที่ระยะทาง D_1 จากต้นกำเนิดรังสี

I_2 = ความเข้มรังสีที่ระยะทาง D_2 จากต้นกำเนิดรังสี



รูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมของกฎระยะทางกำลังสองผกผัน