บทที่ 2

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และหลักการวัดปริมาณรังสี

รังสีเอกซ์เป็นรังสีที่พบโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน ชื่อ เรินท์เกน (Dr. Wilhelm Conrad Roentgen) ในวันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2438 ธรรมชาติของรังสีเอกซ์คล้ายกับพลังงานความร้อน แสงสว่าง คือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่มีความยาวช่วงคลื่นสั้นมาก คืออยู่ระหว่าง 0.01–1000 อังสโตรม มีอำนาจทะลุผ่านสูงมากเช่นเดียวกับรังสีแกมมา เกิดจากการที่อิเลคตรอนที่มีความเร็วสูงไปชนกับสสารทำให้ความเร็วลดลงทันทีทันใด พลังงานที่อิเลคตรอนสูญเสียไปทำให้เกิดเป็นรังสีเอกซ์ออกมา

2.1 <u>คุณสมบัติของรังสีเอกซ์</u>

1. เป็นรังสีที่มีอำนาจทะลุผ่านสูงมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้
2. เป็นรังสีที่ไม่มีประจุ ไม่สามารถเบนทิศทางด้วยสนามแม่เหล็กหรือไฟฟ้า
3. มีความยาวช่วงคลื่นกว้างมาก คือประมาณ 0.01 ถึง 1000 อังสโตรม แต่ช่วงที่ใช้ประโยชน์มากคือ 0.05–0.5 อังสโตรม
4. ลำรังสีเอกซ์ประกอบด้วยรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน (Heterogeneous energies)
5. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง คือ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาทีในสูญญากาศ
6. สามารถไอออนไนส์แกสได้
7. ทำให้ผลึกของสารบางอย่างเรืองแสงได้
8. ไม่สามารถโฟกัสด้วยเลนส์
9. ทำให้ฟิล์มดำได้
10. ทำให้เกิดรังสีทุติยภูมิ และรังสีสะท้อนในสารทุกชนิดที่รังสีเอกซ์ผ่านไปได้

2.2 ส่วนประกอบของหลอดรังสีเอกซ์

ในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ส่วนประกอบที่สำคัญคือหลอดรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดรังสีเอกซ์มีดังนี้ ดังรูป (2-1)

2.2.1 แหล่งกำเนิดอิเลคตรอน ซึ่งก็คือ Filament นั่นเอง ทำหน้าที่เป็นขั้วลบ Filament นี้ทำด้วยลวดทังสเตนซึ่งเมื่อเวลาให้ความร้อนโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป (ปกติอุณหภูมิสูงกว่า 2000°ซ) จะมีอิเลคตรอนมาออยู่ที่ผิว ๆ เตรียมที่จะเคลื่อนที่ได้

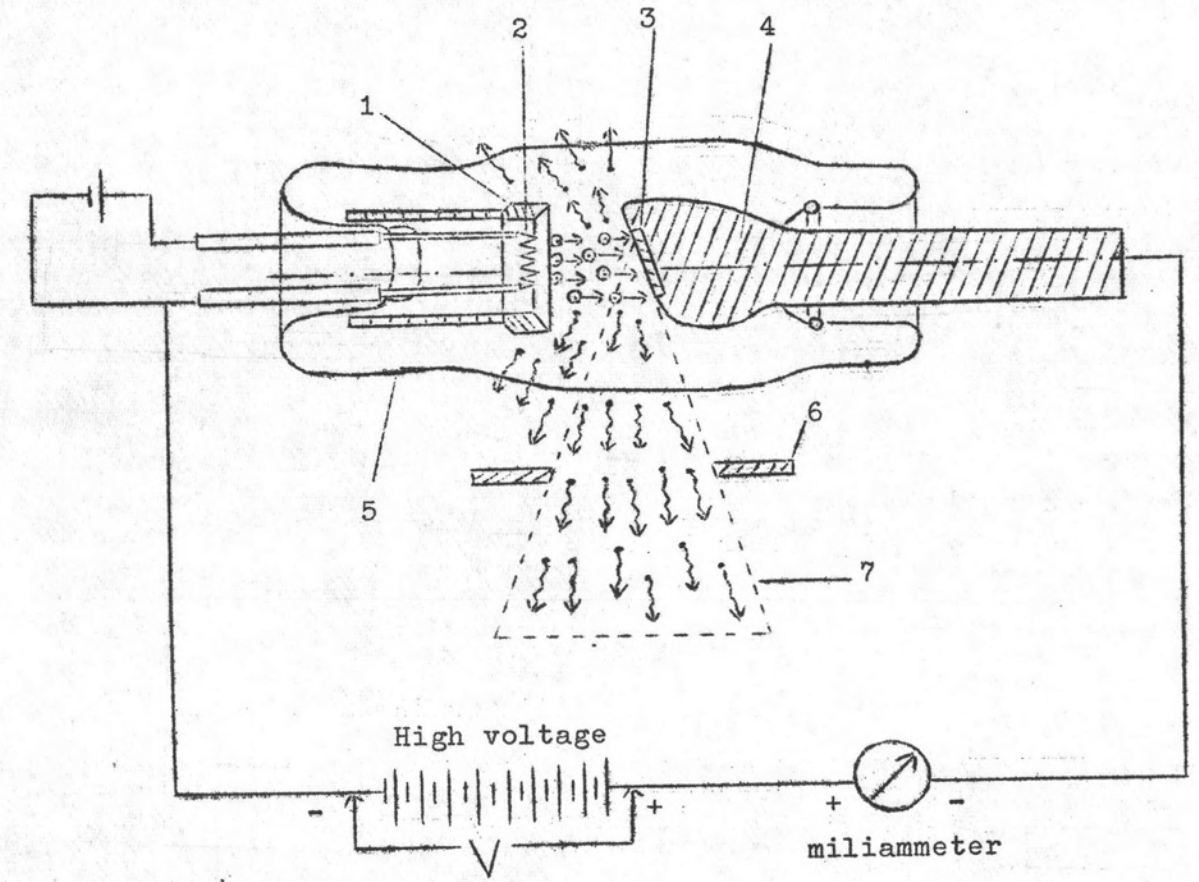
2.2.2 พลังงานที่ใช้เร่งอนุภาคอิเลคตรอน พลังงานส่วนนี้เกิดจากเราให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าไประหว่างขั้วบวกและขั้วลบ ถ้าเราให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าไปมาก อิเลคตรอนก็จะมีความเร็วสูง เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้อยู่โดยทั่ว ๆ ไปมีแรงเคลื่อนไฟฟ้า – ระหว่าง 30 ถึง 150 กิโลโวลท์ หรือ 50 ถึง 300 กิโลโวลท์ ขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้งาน ซึ่งเรามักเรียกเป็นกำลังของเครื่องคือ kV

2.2.3 หลอดสูญญากาศ สำหรับ Filament และเป้า (target) ที่จะให้อิเลคตรอนเคลื่อนเข้าชนนี้ จะต้องห่อหุ้มด้วยหลอดแก้วสูญญากาศเพื่อให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่ และภายนอกหลอดสูญญากาศต้องห่อหุ้มด้วยวัสดุป้องกันรังสีอีกชั้นหนึ่ง เช่นตะกั่ว เปิดเพียงช่องกลมเล็ก ๆ ไว้ให้รังสีเอกซ์ออกตามทิศทางที่ต้องการ

2.2.4 เครื่องบังคับการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนหรือเครื่องมือสำหรับโฟกัสลำแสงอิเลคตรอน ซึ่งเรียกว่า "Electronic lens" เพื่อบังคับไม่ให้อิเลคตรอนเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทาง ให้วิ่งพุ่งเข้าชนเป้า เมื่ออิเลคตรอนวิ่งทำให้เกิดกระแสไหลซึ่งเรียกว่า "Tube current" วัดเป็นมิลลิแอมแปร์ ซึ่งใช้วัดขนาดของเครื่องโดยทั่วไป เรียก "mA"

2.2.5 เป้าสำหรับให้อิเลคตรอนพุ่งเข้าชน สำหรับเป้านี้ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกไปในตัวด้วย ปกตินิยมใช้ทังสเตน เนื่องจากให้รังสีเอกซ์ได้ดี และมีจุดหลอมละลายสูงถึง 3370°ซ แต่เนื่องจากทังสเตนเป็นตัวนำความร้อนที่เลว จึงต้องใช้ทังสเตนชิ้นเล็ก ๆ บาง ๆ ฝังไว้ใน

แท่งทองแดงเพื่อช่วยระบายความร้อนและเป็นตัวนำไฟฟ้า



←~~~• X-ray quantum

←—⊙ Electron

1. Cathode
2. Filament(electron source)
3. Tungsten disc
4. Anode(copper)
5. Envelope made of hard glass
6. Primary diaphragm
7. Useful beam

รูปที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของหลอดรังสีเอกซ์

เนื่องจากในการเกิดรังสีเอกซ์นั้น พลังงานส่วนใหญ่ของอิเลคตรอน (กว่า 99%) กลายเป็นความร้อน มีเพียงไม่ถึง 1% กลายเป็นรังสีเอกซ์ ดังนั้นขณะเกิดรังสีเอกซ์ที่หลอด

โดยเฉพาะเป้าจะมีความร้อนสูงมาก ดังนั้นในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ส่วนใหญ่จึงต้องมีระบบระบายความร้อนอยู่ด้วย สำหรับระบบระบายความร้อนนี้จะเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและกำลังของเครื่อง เป็นต้นว่าระบายความร้อนด้วยอากาศโดยใช้พัดลมเป่า ระบายความร้อนด้วยน้ำ และระบายความร้อนด้วยน้ำมัน สำหรับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์กำลังสูงขนาด 200–300 กิโลโวลท์นั้น มักใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมันและน้ำ (double cooling system) กล่าวคือใช้น้ำมันเป็นแบบวงจรปิดคอยระบายความร้อนจากเป้า แล้วใช้น้ำระบายความร้อนจากน้ำมันอีกทีหนึ่ง สำหรับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ขนาดเล็กที่มีกิโลโวลท์ต่ำ ๆ ปกติไม่เกิน 90 กิโลโวลท์ อาจไม่มีระบบระบายความร้อนเลยก็ได้ แต่กำลังการใช้งานก็ต่ำไปด้วย

2.3 <u>ชนิดของหลอดรังสีเอกซ์</u>

หลอดรังสีเอกซ์ที่ใช้อยู่โดยทั่วไปนั้นมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน หรืออีกนัยหนึ่งก็ขึ้นอยู่กับกิโลโวลท์และมิลลิแอมแปร์ หรือขนาดของเครื่องเป็นสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามเราพอแบ่งชนิดของหลอดรังสีเอกซ์ออกได้คร่าว ๆ เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งาน คือ

2.3.1 <u>ชนิดที่ต้องการใช้ครั้งละนาน ๆ เป็นนาที</u> แบบนี้ปกติค่าของ "Tube current" ต่ำ คือมักไม่เกิน 30 มิลลิแอมแปร์ ส่วนค่ากิโลโวลท์นั้นมีตั้งแต่ขนาด 10 กิโลโวลท์จนถึง 400 กิโลโวลท์ หรือมากกว่านี้ หลอดรังสีเอกซ์ชนิดนี้ระบบระบายความร้อนต้องดีเนื่องจากใช้ครั้งหนึ่ง ๆ เป็นเวลานานติดต่อกัน ในทางการแพทย์เราเรียกหลอดแบบนี้ว่า Therapy tubes ซึ่งใช้สำหรับรักษาโรค นอกจากนี้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ก็มักเป็นแบบนี้ เนื่องจากสามารถให้กำลังได้สูง และเดินเครื่องได้ครั้งละเป็นนาที

2.3.2 <u>ชนิดใช้งานครั้งละเป็นวินาทีหรือน้อยกว่านั้น</u> แบบนี้ส่วนมากใช้กันในวงการแพทย์เรียก Diagnostic tubes คือใช้สำหรับถ่ายฟิล์มเพื่อการวินิจฉัยโรค หลอดรังสีเอกซ์แบบนี้ค่าของ Tube current สูงมาก เนื่องจากต้องการใช้งานในระยะเวลา

สั้น ๆ ขนาด 0.1 หรือ 0.05 วินาทีก็มี มิฉะนั้นจะไม่สามารถถ่ายภาพที่เคลื่อนไหวได้เช่น ปอด หรือหัวใจ เป็นต้น ค่าของ Tube current มีตั้งแต่ 30 มิลลิแอมแปร์ขึ้นไปจนถึง 1000 มิลลิแอมแปร์ แต่ปกติส่วนมากมักไม่เกิน 500 มิลลิแอมแปร์ ส่วนค่ากิโลโวลท์นั้นสูงสุดแค่ 150 กิโลโวลท์เท่านั้น

2.4 ขบวนการเกิดรังสีเอกซ์

เมื่ออิเลคตรอนที่มีความเร็วสูงวิ่งจากขั้วลบไปชนเป้าซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวก มันจะสูญเสียพลังงานไปในรูปของความร้อนและรังสีเอกซ์ ประสิทธิภาพในการเกิดรังสีเอกซ์นั้นค่อนข้างต่ำ ขึ้นอยู่กับค่ากิโลโวลท์ที่ใช้ เช่นถ้าเราใช้ที่ 100 กิโลโวลท์ พลังงานของอิเลคตรอนที่เสียไปเพียง 1% เท่านั้นที่กลายเป็นรังสีเอกซ์ อีก 99% จะสูญไปในรูปของความร้อน จากรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะมีเพียง 10% เท่านั้นที่นำมาใช้งานได้ นอกนั้นเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำมากไม่สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ใด ๆ ได้ ประสิทธิภาพในการเกิดรังสีเอกซ์ขึ้นอยู่กับเลขอะตอม (Z) ของเป้า ถ้าเป้ามีเลขอะตอมสูงจะให้รังสีเอกซ์ได้มาก ดังสมการการเกิดรังสีเอกซ์ดังต่อไปนี้

$$I = CZ (E_{max} - E) \qquad (2-1)$$

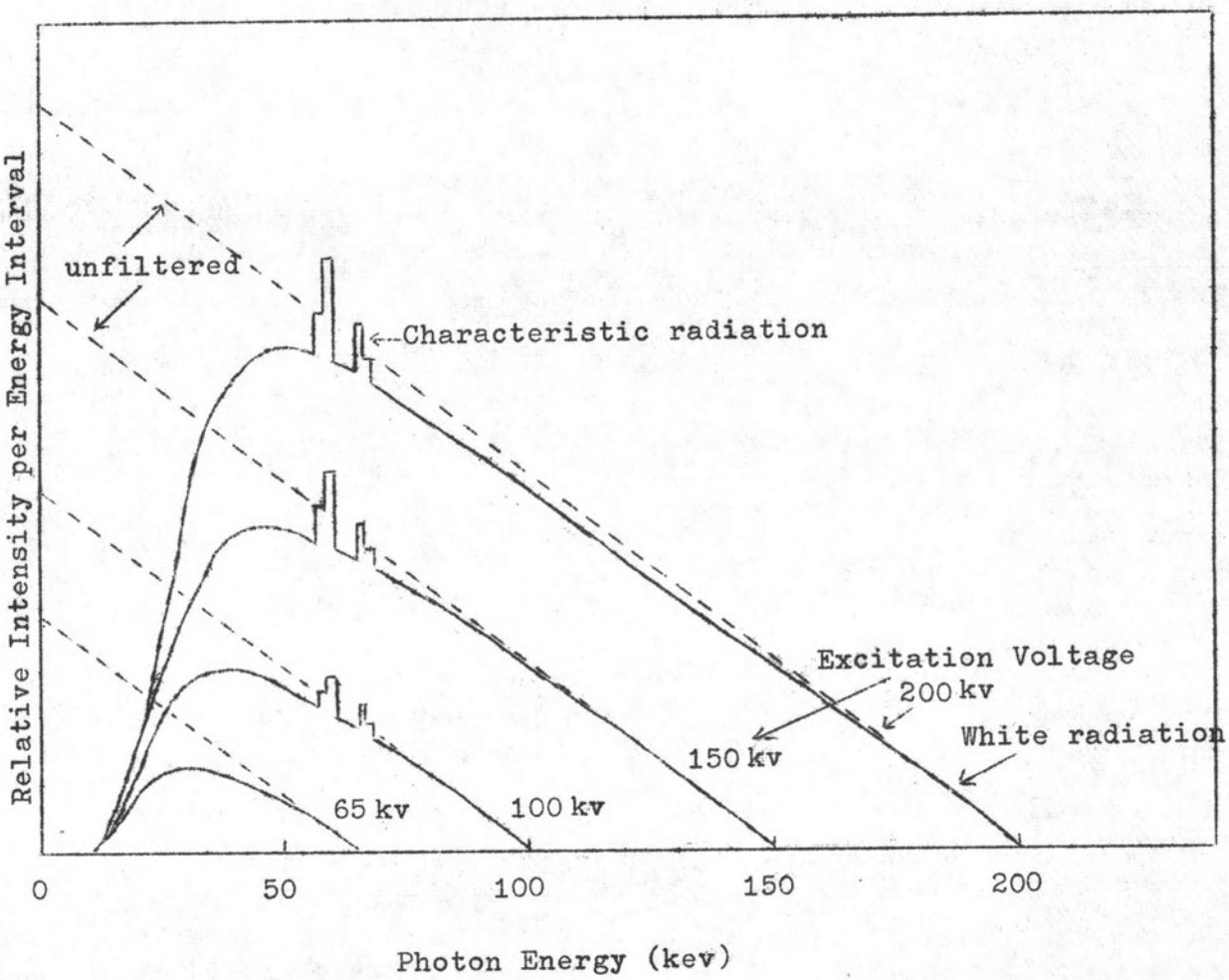
เมื่อ E_{max} คือค่าพลังงานสูงสุดของรังสีโฟตอน ที่ได้ออกมาซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานสูงสุดของอิเลคตรอนที่ใช้ยิงเข้าไปในเป้า

I คือความเข้มของรังสีโฟตอน ที่มีพลังงานเท่ากับ E

Z คือค่าเลขอะตอมของเป้า

C คือค่าคงที่

ถ้า $E = E_{max}$ ค่าของ I จะเท่ากับศูนย์ นั่นคือจะไม่มีรังสีเอกซ์ที่พลังงานสูงกว่าพลังงานของอิเลคตรอนที่ใช้ยิงเป้า



รูปที่ 2–2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับพลังงานเมื่ออิเลคตรอนถูกเร่งด้วยพลังงาน 65, 100, 150 และ 200 กิโลอิเลคตรอนโวลท์วิ่งกระทบเป้า สำหรับเส้นไข่ปลาเป็นเส้นที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (2–1) เส้นหนักเป็นรังสีเอกซ์ที่ผ่านการกรองด้วยอลูมิเนียมหนา 1 มม.

รูป (2–2) แสดงสเปคตรัมของรังสีเอกซ์ที่ผลิตขึ้นที่ 200, 150, 100 และ 65 กิโลโวลท์ ส่วนแกนตั้งคือค่าความเข้ม (จำนวนโฟตอน x พลังงานของโฟตอน) ในแต่ละช่วงของพลังงาน สำหรับเส้นไข่ปลาเป็นค่าความเข้มที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ (2–1) เป็นความเข้มที่ไม่ผ่านวัตถุกรองรังสีใด ๆ แต่ถ้ากรองรังสีเอกซ์ด้วยอลูมิเนียมหนาเพียง 1 มม. จะลดความเข้มลงเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่ำกว่า 10 กิโลอิเลคตรอนโวลท์จะถูกตัดออกหมด เนื่องจากรังสีเอกซ์มีค่าพลังงานต่อเนื่องกันไม่เหมือนรังสีแกมมา ซึ่งมีค่าพลังงานเฉพาะตัว ดังนั้นการคำนวณหรือวัดค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์จึงเป็นเรื่องยุ่งยากซับซ้อนซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.5 การวัดค่าพลังงานของรังสีเอกซ์

ค่าพลังงานของรังสีเอกซ์หรือคุณภาพของรังสีเอกซ์ หมายถึงความสามารถในการทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ ถ้ารังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงอำนาจการทะลุผ่านก็ย่อมสูงตามไปด้วย ค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ปกติขึ้นอยู่กับค่ากิโลโวลท์ที่เราให้กับอิเลคตรอน เนื่องจากรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง และถ้ารังสีเอกซ์มีพลังงานสูง ความยาวคลื่นก็จะสั้นเป็นปฏิภาคกลับกัน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับความยาวคลื่นพอเขียนได้ดังนี้

จาก $E = h\nu$ (2 – 2)

เมื่อ E = พลังงานมีหน่วยเป็นจูล (Joules)

h = ค่าคงที่ (Planck's constant) มีหน่วยเป็นจูล–วินาที

ν = ความถี่ มีหน่วย $\frac{1}{\text{วินาที}}$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad (2 - 3)$$

เมื่อ λ = ความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

$$\therefore E = \frac{hc}{\lambda} \qquad (2 - 4)$$

แทนค่าจะได้ $E = \frac{6.61 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{\lambda}$

ถ้าเปลี่ยนพลังงานให้มีหน่วยเป็นอิเลคตรอนโวลท์ และความยาวคลื่นให้มีหน่วยเป็นอังสโตรม จะได้

$$E\ (ev) = \frac{6.61 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{\lambda(A) \times 10^{-10} \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$\text{หรือ } E\ (ev) = \frac{12,400}{\lambda(A)} \qquad (2-5)$$

สมการ (2-5) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของรังสีเอกซ์กับความยาวคลื่น ถ้าเราทราบค่ากิโลโวลท์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ก็อาจหาค่าความยาวคลื่นต่ำสุดได้ เช่น เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ทำงานที่ 30 กิโลโวลท์ ค่าพลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์นี้มีค่าเท่ากับ 30 กิโลอิเลคตรอนโวลท์

$$\therefore \lambda \text{ต่ำสุด} = \frac{12,400}{30,000} = 0.41\ A^{\circ}$$

ดังได้กล่าวมาแล้วว่ารังสีเอกซ์มีค่าพลังงานต่อเนื่องจากศูนย์ถึงค่ากิโลโวลท์สูงสุดที่ใช้ ดังนั้นการหาค่าพลังงานเฉลี่ยจึงเป็นเรื่องยุ่งยาก ค่ากิโลโวลท์ของเครื่องจึงเป็นเพียงค่าที่บ่งถึงพลังงานสูงสุดเท่านั้น ส่วนค่าพลังงานเฉลี่ยโดยทั่วไปจะมีค่าเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของค่า Kilovolt peak เท่านั้น[1] ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนิยมวัดค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ออกมาในรูป Half value layer

"Half value layer (H.V.L.) คือค่าความหนาของวัตถุที่นำมากั้นรังสีไว้แล้วสามารถทำให้ปริมาณรังสีลดลงไปได้ 50%"

สำหรับวัตถุที่ใช้นั้นโดยทั่วไปนิยมใช้อลูมิเนียม และทองแดง สำหรับรังสีเอกซ์ที่มีค่ากิโลโวลท์ต่ำกว่า 120 นิยมวัดออกมาในรูปของ H.V.L. เป็นมิลลิเมตรของอลูมิเนียม ตั้ง

---

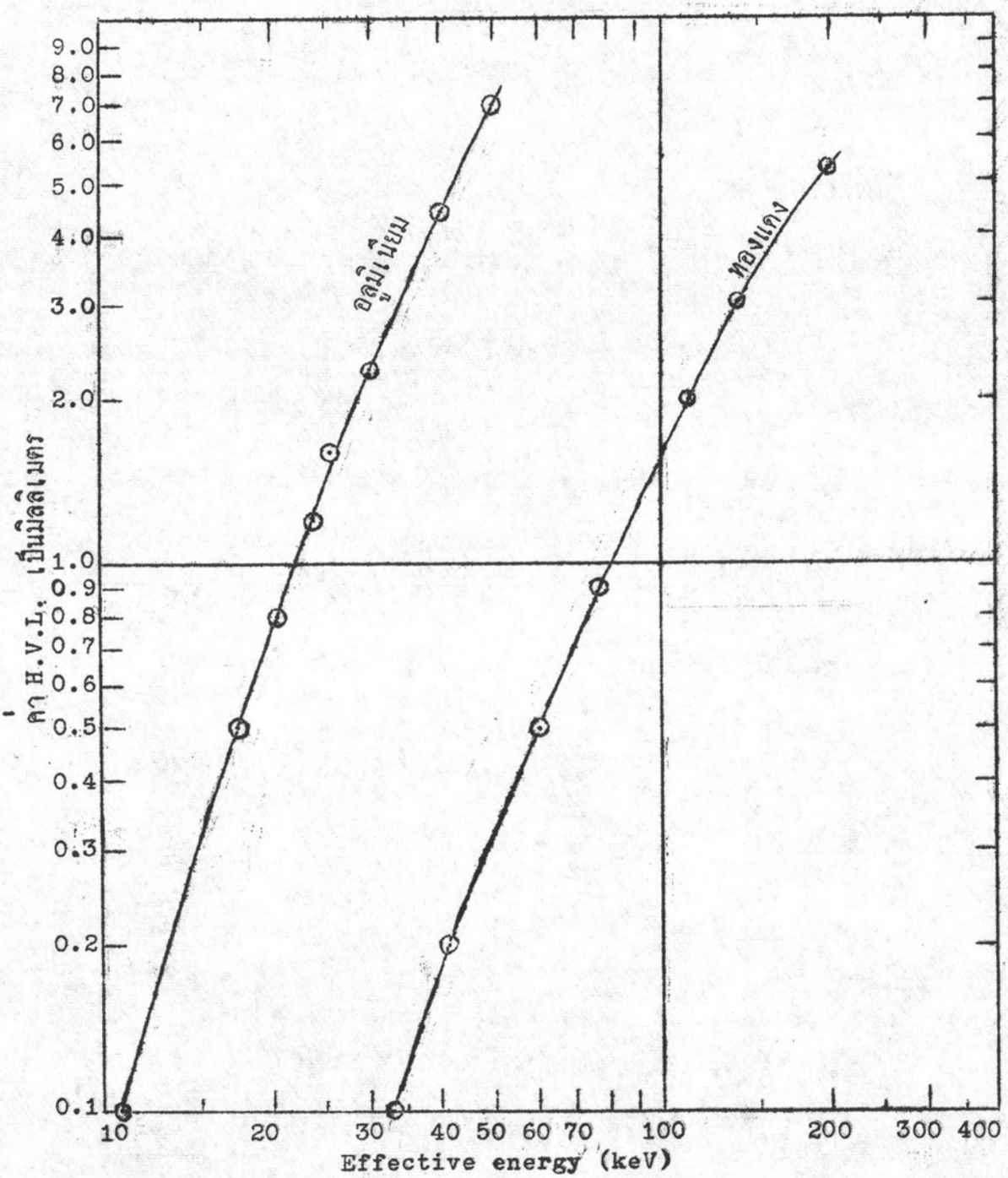
[1] Selman, Joseph 1965. The Fundamentals of X-ray and Radium Physics. Illinois; Charles C. Thomas. pp.162

แต่ 120 กิโลโวลท์ขึ้นไปถึง 400 กิโลโวลท์ นิยมวัดค่า H.V.L. เป็นมิลลิเมตรของทองแดง

ส่วนค่าพลังงานเฉลี่ยหรือเรียกโดยทั่วไปอีกอย่างว่า Effective energy อาจหาได้โดยเปรียบเทียบกับพลังงานรังสีแกมมาที่มีค่า H.V.L. เท่ากับพลังงานรังสีเอกซ์ เช่น รังสีแกมมามีค่าพลังงานเท่ากับ 24 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ เมื่อวัดค่า H.V.L. แล้วได้ 1.2 มม.ของอลูมิเนียม ดังนั้นก็อาจกล่าวได้ว่าค่า effective energy ของรังสีเอกซ์ที่มีค่า H.V.L เท่ากับ 1.2 มม.ของอลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 24 กิโลอิเลคตรอนโวลท์ ดังความสัมพันธ์ตามรูป (2-3) การกำหนดค่าพลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์โดยใช้ค่า H.V.L. เป็นหลักนั้นค่อนข้างหยาบ (crude) เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่มีค่าสเปคตรัมต่างกันก็อาจให้ค่า H.V.L. เท่ากันได้ และค่า H.V.L. ไม่สามารถบอกถึงลักษณะสเปคตรัมของรังสีเอกซ์ได้ และโดยแท้จริงแล้วค่าเฉลี่ยของพลังงานรังสีเอกซ์ที่แท้จริงจะต่างกับค่า effective energy เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับสเปคตรัมเป็นสำคัญ นอกจากนี้ค่า H.V.L. ไม่สามารถบอกให้ทราบถึงจำนวนและพลังงานของรังสีโฟตอนในลำแสงได้ การกำหนด quality ที่สมบูรณ์แบบต้องบอกให้ทราบถึงจำนวนพลังงานที่มีอยู่ในแต่ละช่วงพลังงาน (energy interval) แต่ในทางปฏิบัติโดยเฉพาะในวงการแพทย์ การกำหนดค่าพลังงานในรูป H.V.L. เป็นการเพียงพอที่จะใช้งานได้ เพราะผลทางชีววิทยาของรังสีเอกซ์ไม่ไวต่อคุณภาพของรังสีมากนัก ค่า effective energy ของรังสีเอกซ์ นอกจากขึ้นอยู่กับกิโลอิเลคตรอนโวลท์ที่ใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของ filter ที่ใช้ในการกรองรังสีอีกด้วย ถ้ามี filter หนา ค่า effective energy ก็จะเพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้หมายความว่าถ้าใช้ filter หนาแล้วจะเพิ่มรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงมากขึ้นกว่าเดิม เพียงแต่หมายความว่าถ้าใช้ filter หนาจะกรองรังสีพลังงานต่ำออกมากทำให้ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่เหลือสูงขึ้นเท่านั้น

2.6 ปริมาณของรังสีเอกซ์

ค่าปริมาณของรังสีเอกซ์โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ประการ คือ ค่ามิลลิแอมแปร์ หรือ Tube current, ค่ากิโลโวลท์, ระยะทาง และ filter ซึ่งพอจะอธิบายได้ดังนี้:-



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Effective energy กับค่า H.V.L.

2.6.1 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งก็คือปริมาณอิเลคตรอนที่วิ่งไปชนเป้านั่นเอง ถ้าปริมาณอิเลคตรอนจาก Filament ในหลอดรังสีเอกซ์เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้กระแสในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สูงขึ้น เมื่อวิ่งไปชนเป้าก็จะทำให้เกิดรังสีเอกซ์มากขึ้นด้วย ปริมาณของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับจำนวนมิลลิแอมแปร์ แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่ามิลลิแอมแปร์ไม่ทำให้คุณภาพของรังสีเอกซ์เปลี่ยนแปลง

2.6.2 กิโลโวลท์ เมื่อค่ากิโลโวลท์ของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์สูงขึ้นก็จะทำให้อัตราปริมาณรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นด้วย โดยปกติแล้วค่ากิโลโวลท์เพิ่มก็จะทำให้ความเร็วหรือพลังงานของอิเลคตรอนที่วิ่งไปกระทบเป้าสูงขึ้น ทำให้ได้รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงกว่าที่ค่ากิโลโวลท์ต่ำ ๆ การเพิ่มค่ากิโลโวลท์จะทำให้อัตราปริมาณและคุณภาพของรังสีเอกซ์เพิ่มตามไปด้วยคู่กันไป แต่อัตราปริมาณของรังสีเอกซ์ที่เพิ่มขึ้นไม่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับ kV แต่เป็นปฏิภาคกับ $(kV)^n$ และจากผลการทดลองแสดงว่า n มีค่าประมาณ 2 ถึง 4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของรังสี[2] นั่นคือค่ากิโลโวลท์ และ filter ดังนั้นจะสังเกตได้ว่าถ้าเพิ่มค่ากิโลโวลท์ อัตราปริมาณรังสีเอกซ์ก็จะเปลี่ยนไปด้วยและจะเพิ่มมากกว่าการเพิ่มมิลลิแอมแปร์

2.6.3 ระยะทาง ในการวัดค่าปริมาณรังสี สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงไว้เสมอก็คือระยะทางจากจุดกำเนิดรังสีถึงมาตรวัด ถ้าระยะทางมากอัตราปริมาณรังสีจะลดลง และการลดลงนี้จะเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผันโดยประมาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของจุดกำเนิดรังสี, ระยะทางที่วัด และพลังงานของรังสีเอกซ์ ดังสมการ (2–6)

$$\frac{I_1}{I_2} = \left[\frac{d_2}{d_1}\right]^2 \qquad (2-6)$$

เมื่อ I_1 = ความเข้มของรังสีที่ระยะทาง d_1

I_2 = ความเข้มของรังสีที่ระยะทาง d_2

---

[2] Plaats, G.J. Van Der. 1961 Medical X-ray technique, 2nd. ed. Eindhoven : Centrex Publishing Company p.p.350

และสมการนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อจุดกำเนิดรังสีเป็น "Point source"

2.6.4 <u>เครื่องกรองรังสี</u> อัตราปริมาณรังสีนอกจากขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของ filter ที่ใช้กรองรังสีอีกด้วย filter ที่มีความหนาและเลขอะตอมสูง จะตัดปริมาณหรือความเข้มลงได้มาก แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้ค่า effective energy สูงขึ้นด้วย เนื่องจาก filter จะตัดพวกรังสีพลังงานต่ำออกไปเหลือแต่รังสีที่มีพลังงานสูงเท่านั้นที่ผ่านออกมาได้

2.7 <u>การวัดปริมาณรังสี</u>

วิธีที่ดีที่สุดของการวัดปริมาณรังสีโดยเฉพาะรังสีเอกซ์ หรือแกมมา คือการวัดความสามารถในการไอออนไนส์อากาศออกเป็น ion pairs เครื่องมือประเภทนี้ได้แก่พวก Ionization chamber ซึ่งนิยมใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานเพราะวัดได้แม่นยำมาก ในการวัดรังสีเอกซ์ต้องพิจารณาถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ เช่นกิโลโวลท์ มิลลิแอมแปร์ filter และระยะทาง เนื่องจากถ้าเทคนิคต่างกันแล้วค่าปริมาณรังสีจะผิดแผกแตกต่างกันไป นอกจากนี้การวัดปริมาณรังสียังต้องคำนึงถึงเครื่องมือที่ใช้วัดด้วยว่าสามารถวัดปริมาณรังสีได้ขนาดไหน สามารถวัดรังสีในพลังงานเช่นนั้น ๆ ได้หรือไม่ และมีความแน่นอน (Stability) เพียงไร คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิดก็คือ Energy dependent กล่าวคือเครื่องมือวัดรังสีทุกชนิดจะสามารถวัดรังสีในช่วงพลังงานใดช่วงพลังงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถวัดได้ในทุกช่วงพลังงาน เนื่องจากเครื่องมือแต่ละชนิดมีความไวต่อรังสีในช่วงพลังงานต่าง ๆ ไม่เท่ากัน จะต่างกันมากน้อยเพียงไรขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ ยิ่งต่างกันน้อยเพียงใดก็จะยิ่งมีประโยชน์ในการใช้วัดรังสีได้มากเพียงนั้น ในการเลือกใช้เครื่องมือวัดรังสีนั้นควรคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้[3]

---

[3] International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU report 17). 1970. <u>Radiation Dosimetry X-rays Generated at Potential of 5 to 150 kV</u> Washington, D.C. U.S.A. pp.17

1. มีการเปลี่ยนแปลงความไวต่อรังสีในช่วงพลังงานต่าง ๆ ที่ใช้น้อยที่สุด
2. มีการเปลี่ยนแปลงความไวเนื่องจากทิศทางของรังสีน้อยที่สุด
3. เครื่องมือวัดรังสีที่ใช้ต้องได้รับการสอบเทียบความแม่นยำกับเครื่องมือวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิหรือทุติยภูมิในช่วงพลังงานต่าง ๆ มาแล้ว
4. มีความแน่นอน และมี linearity ในการวัด กล่าวคือทุกครั้งที่วัดรังสีที่ปริมาณและพลังงานเดียวกันต้องอ่านค่าได้เท่ากันเสมอ นอกจากนี้ถ้าเราเพิ่มปริมาณรังสีที่พลังงานเดียวกันขึ้นเท่าตัว ค่าที่อ่านได้ควรเพิ่มขึ้นเท่าตัวด้วย นั่นคือ

   อัตราส่วนระหว่าง $\frac{\text{Exposure}}{\text{Reading}}$ = คงที่หรือคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1%
5. ต้องมีขนาดและสามารถวัดปริมาณรังสีได้ในช่วงที่พอเหมาะ

002405

i 17042409