

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง



3.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากไอโซโทปรังสี

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากไอโซโทปรังสี แบ่งออกได้ตามคุณสมบัติของการสลายตัวเป็น 3 ชนิดด้วยกันคือ

1. ต้นกำเนิดรังสีอัลฟา ได้แก่ Po^{210} และ Cm^{242}
2. ต้นกำเนิดรังสีเบตา ได้แก่ H^3 , P^{32} และ Pm^{147} เป็นต้น
ต้นกำเนิดพวกนี้จะให้รังสีเอกซ์ต่อเนื่องออกมากระตุ่นสารตัวอย่าง
3. ต้นกำเนิดโพซอน พวกนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกัน
 - ก. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ พวกนี้ใช้สารไอโซโทปรังสีที่มีการสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอนแคปเจอร์ (Electron Capture) หรือ อินเทอนอด คอนเวอร์ชัน (Internal Conversion) พลังงานที่ให้ออกมามีขนาดต่ำกว่า 60 keV ตัวอย่างของต้นกำเนิดรังสีชนิดนี้ได้แก่ แคดเมียม-109 (Cd^{109}) และ พลูโตเนียม-238 (Pu^{238})
 - ข. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานต่ำ พวกนี้จะให้พลังงานออกมาในช่วง 60 ถึง 150 keV ได้แก่ อเมริเซียม-241 (Am^{241}) และ โคบอลต์-57 (Co^{57})

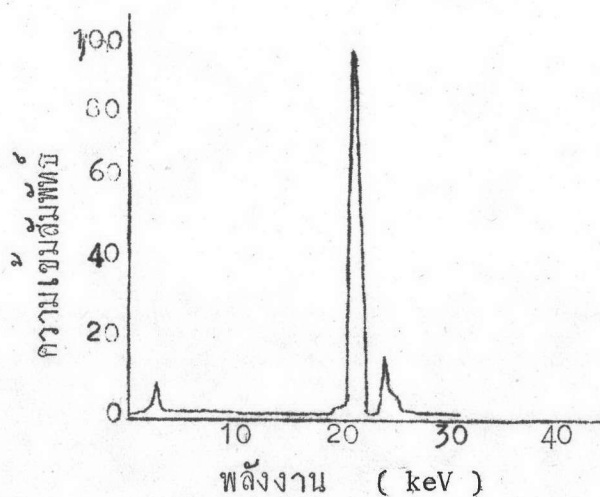
ในการทดลองนี้ใช้ต้นกำเนิด 3 ชนิดคือ แคดเมียม-109, พลูโตเนียม-238 และ โปรมีเนียม-147/อูมิเนียม (Pm^{147}/Al) สำหรับคุณสมบัติของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์และสเปกตรัมซึ่งวัดด้วยหัววัด Si(Li) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1, 3.2 และ รูปที่ 3.3⁽⁴⁾ ตามลำดับ

3.2 หัววัดรังสี

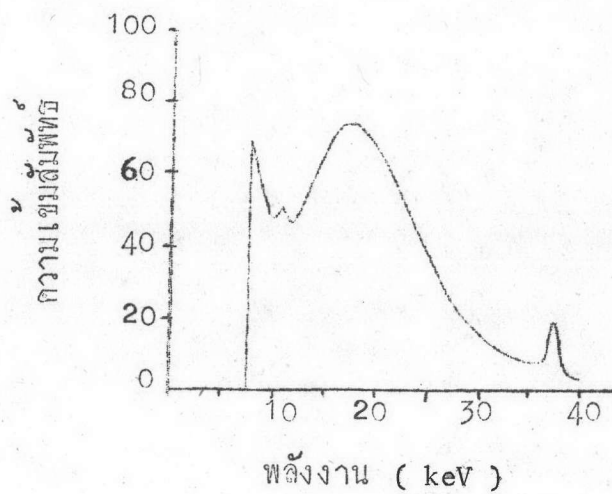
ในการทดลองนี้ใช้หัววัดรังสี 2 แบบด้วยกันคือ

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของต้นกำเนิดรังสี

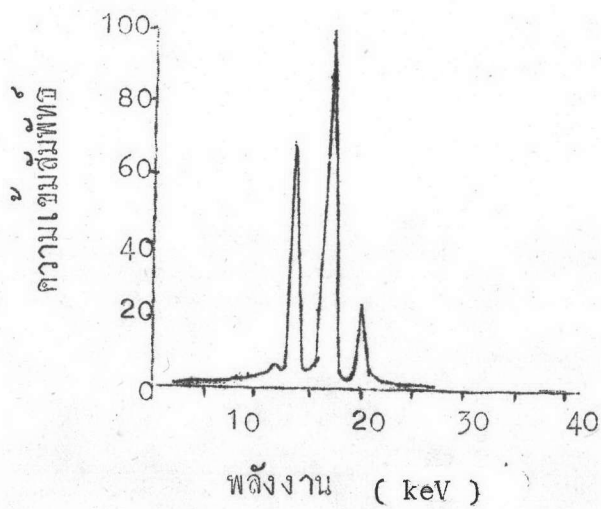
ต้นกำเนิดรังสี	ครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงาน keV	อัตราการ ปลดปล่อย	ความแรง mCi
แคดเมียม-109	453 วัน	Ag K X-rays Ag L X-rays	22.1, 25.0 2.63, 3.80	102.3% ~10%	14.1
โปรมิเทียม-147 / อลูมิเนียม	2.63ปี	Bremsstrahlung	17-40	~ 0.4%	180
พลูโตเนียม-238	87.75ปี	U L X-rays	11.6-21.7	~13%	10



รูปที่ 3.1 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีแคดเมียม-109



รูปที่ 3.2 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีโปรมีเทียม 47/อคูมิเนียม



รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสีพลูโทเนียม-238

3.2.1 หัววัดรังสีแบบปฏิภาค (Proportional Counter)

หัววัดรังสีแบบปฏิภาคเป็นหัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊สแบบหนึ่งซึ่งประกอบด้วยหลอดโอดที่นำทำหน้าที่เป็นขั้วลบ ตรงแกนกลางมีลวดเส้นเล็กๆ ซึ่งอยู่ ทำหน้าที่เป็นขั้วบวกและถูกกันเอาไว้ด้วยฉนวนดังแสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับหัววัดที่ทำขึ้นมาเพื่อวัดรังสีเอกซ์ทางคานข้างของหลอดจะมีหน้าต่างรับรังสีซึ่งทำด้วยเบอริลเลียม หรือ อลูมิเนียม เมื่อมีรังสีวิ่งผ่านหน้าต่างรับรังสีเข้าไปชนกับแก๊สภายในหลอด ทำให้แก๊สภายในหลอดเกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกและลบ ไอออนลบจะวิ่งไปยังขั้วบวก และเนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวกและลบมีมาก ความเข้มของสนามไฟฟ้าในหลอดจึงมีค่าสูง ทำให้ไอออนลบมีพลังงานมากขึ้นจนสามารถที่จะทำให้อะตอมของแก๊สตัวอื่นเกิดการแตกตัวเมื่อเกิดการชนขึ้น ดังนั้นจำนวนไอออนลบที่วิ่งไปถึงขั้วบวกมีจำนวนมากกว่าไอออนลบที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวครั้งแรก กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การทวีคูณของแก๊ส (Gas Multiplication) มีค่าอยู่ในช่วง 10^4 ถึง 10^7 ขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สภายในหลอดและค่าของศักดาไฟฟ้าที่ให้กับหัววัดรังสี

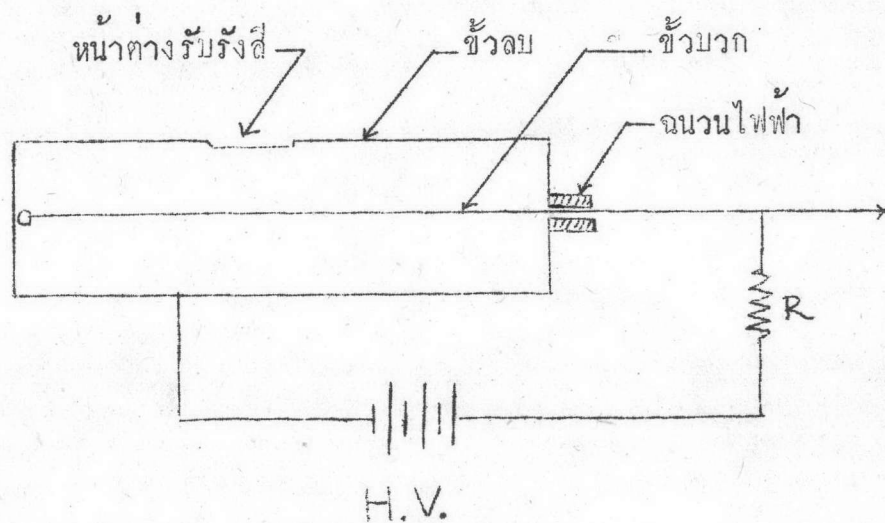
004568

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของหัววัดรังสีแบบปฏิภาคคือความสามารถในการแยกพลังงาน (Energy Resolution) ซึ่งมีผลมาจากความแปรปรวนของจำนวนไอออนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวและค่าของการทวีคูณของแก๊ส สภาวะแห่งความแปรปรวน (Variance) ของขนาดสัญญาณที่เกิดขึ้นหาได้จากสมการ (5)

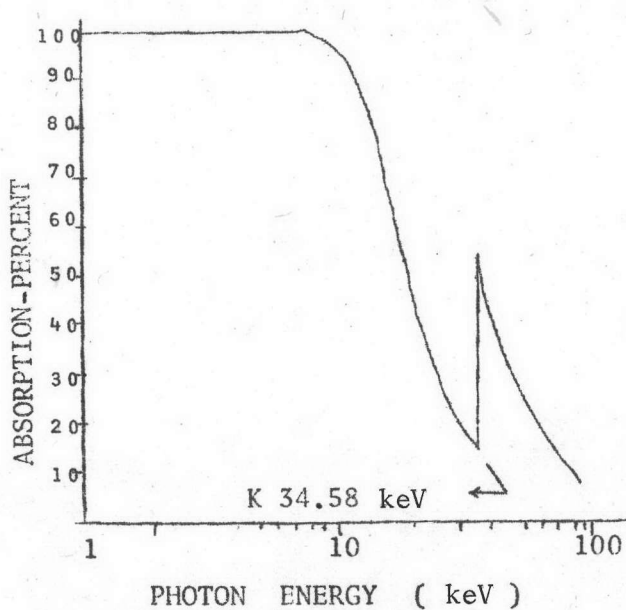
$$\sigma_p = \frac{P_O P_A^2}{\alpha} + 0.68 P_O P_A$$

โดยที่

- σ_p = สภาวะความแปรปรวนของขนาดสัญญาณที่เกิดขึ้น
- P_O = จำนวนไอออนที่เกิดขึ้นจากรังสีวิ่งมาชน
- P_A = จำนวนไอออนที่เกิดขึ้นเนื่องจากไอออนลบที่เกิดจากการแตกตัวครั้งแรก 1 ตัววิ่งไปชนอะตอมของแก๊สภายในหลอด

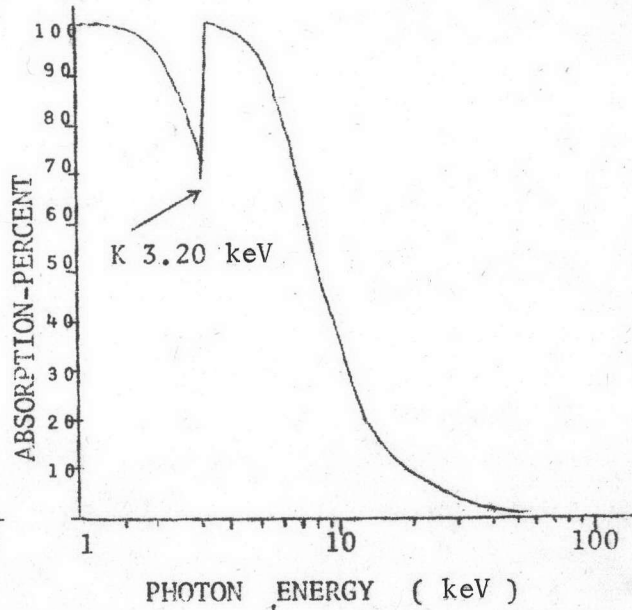


รูปที่ 3.4 แสดงภาคตัดขวางของหัววัควักรังสีแบบปฏิบัติการ



รูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของหัววัควักรังสีนิออน



รูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แสดงคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของหัววัควักรังสีอาร์กอน

α = ค่าคงที่ มีค่าอยู่ระหว่าง 2 กับ 3

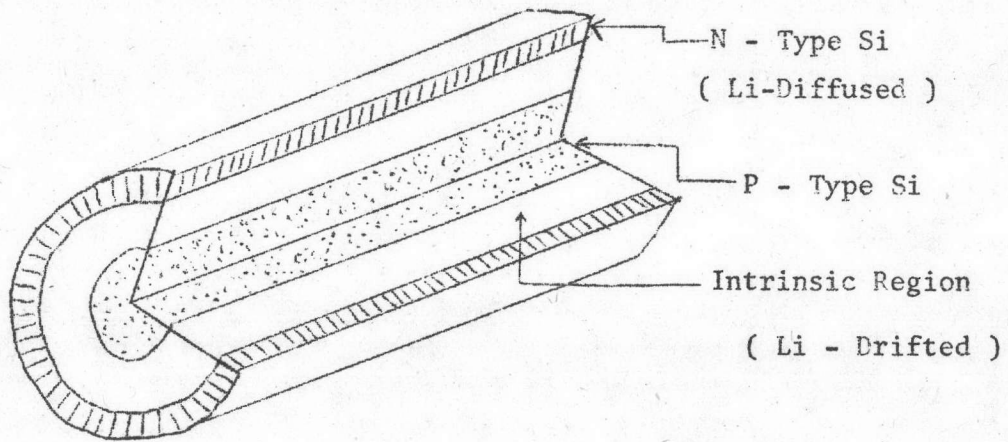
ในกรณีนี้ถือว่าความแปรปรวนของขนาดสัญญาณที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับศูนย์

หัววัดรังสีแบบปฏิภาคที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีด้วยกัน 2 หัวเป็นของบริษัท Reuter Stroke Type RSG-61 ลักษณะโดยทั่วไป⁽⁶⁾ เป็นหลอดโลหะทรงกระบอกทำด้วยเหล็กไร้สนิมยาว $7\frac{1}{2}$ นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลาง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว หน้าต่างรับรังสีทำด้วยเบอริลเดี่ยวหนา 0.01 นิ้ว เป็นรูปวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว โวลเตจที่ใช้งาน (Operating Voltage) อยู่ในช่วง 1,750 ถึง 2,000 โวลต์ ความดันของก๊าซภายในหลอดเท่ากับ 1 บรรยากาศ ก๊าซ ข้อแตกต่างระหว่างหัววัดรังสีทั้งสองก็คือก๊าซที่บรรจุอยู่ในหลอด หัวหนึ่งบรรจุด้วยก๊าซผสมระหว่าง 97% Xe-3% CO₂ เรียกว่า หัววัดรังสีซีนอน ส่วนอีกหัวหนึ่งบรรจุด้วยก๊าซผสม 97% Ar-3% CO₂ เรียกว่า หัววัดรังสีอาร์กอน คุณสมบัติในการถูกกระตุ้นรังสีเอกซ์พลังงานต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 และ 3.6

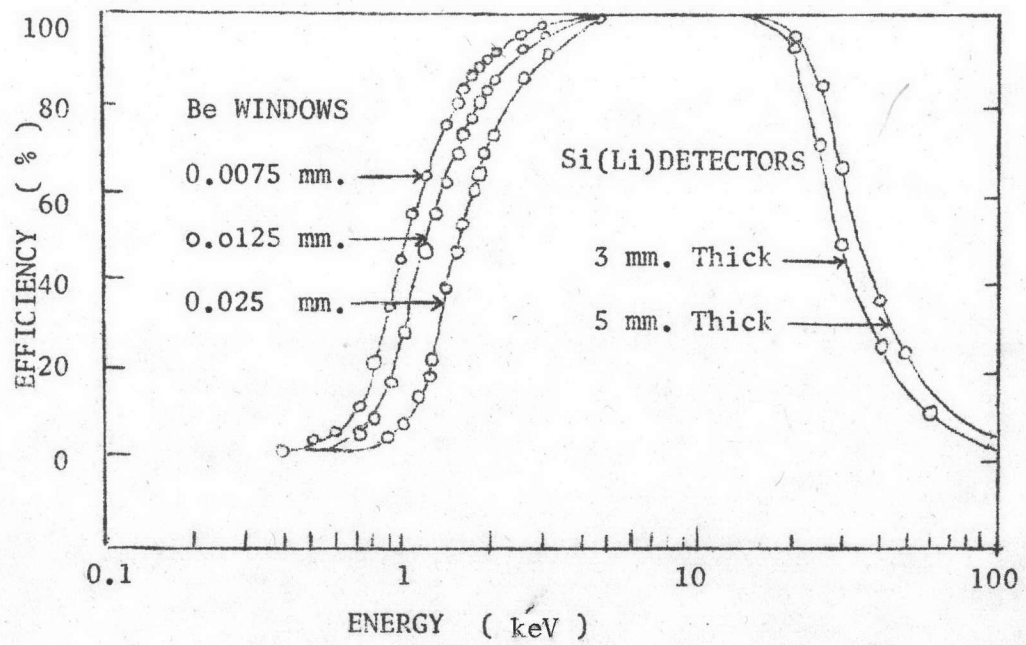
3.2.2 หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (Solid State Detector) Si(Li)

หัววัดรังสีแบบ Si(Li) ทำมาจากแท่ง p-type Si และแพร่อะตอมของ Li เข้าไปจากผิวคานนอกศูนย์กลางโดยการใช้อุณหภูมิสูงๆ ซึ่งจะทำให้เกิดเป็น p-i-n junction ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7

เมื่อมีรังสีวิ่งผ่านเข้าไปในหัววัดรังสีจะทำให้เกิดอิเล็กตรอน-โฮลขึ้น โดยที่จำนวนของอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่วิ่งเข้าไป โฮลจะวิ่งไปยังขั้วที่มีศักดาไฟฟ้าเป็นลบ อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังขั้วที่มีศักดาไฟฟ้าเป็นบวก และถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยปรีแอมป์



รูปที่ 3.7 แสดงภาคตัดขวางภายในของหัววัดรังสี Si(Li)



รูปที่ 3.8 แสดงประสิทธิภาพในการวัดรังสี ของหัววัดรังสี Si(Li)

หัววัดรังสี Si(Li) ที่ใช้ในการทดลอง เป็นของบริษัท ORTEC
7000 Series Si(Li) X-Rays Detectors ซึ่งประกอบด้วย

1. Lithium-drifted silicon diode
2. Low noise cryogenic preamplifier
3. Cryostat
4. Liquid nitrogen reservoir dewar

ลักษณะของผลึกซิลิกอน⁽⁷⁾ เป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง
6 มม. สูง 5.15 มม. ทอด้วยฟิวด์เอฟเฟกทรานซิสเตอร์ (Field Effect
Transistor) ซึ่งเป็นส่วนแรกของปรีแอมพลิฟายเออร์ ทั้งหมดนี้ติดตั้งบรรจุอยู่ใน
Cryostat และรักษาไว้ที่ระดับอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลวคือ 77°K

หน้าตากรับรังสีทำด้วยเบอรอลเดียมหนา 0.025 มม. ระยะจาก
หน้าตากรับรังสีถึงผิวหน้าผลึก 7 มม.

ประสิทธิภาพในการวัดรังสีของหัววัด Si(Li) แสดงไว้ในรูปที่ 3.8
จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อพลังงานต่ำประสิทธิภาพในการวัดจะต่ำ เนื่องจากการดูดกลืนของ
รังสีในหน้าตากรับรังสี และที่พลังงานสูงประสิทธิภาพในการวัดจะต่ำ ขึ้นอยู่กับขนาดของ
หัววัดรังสีที่ใช้งาน

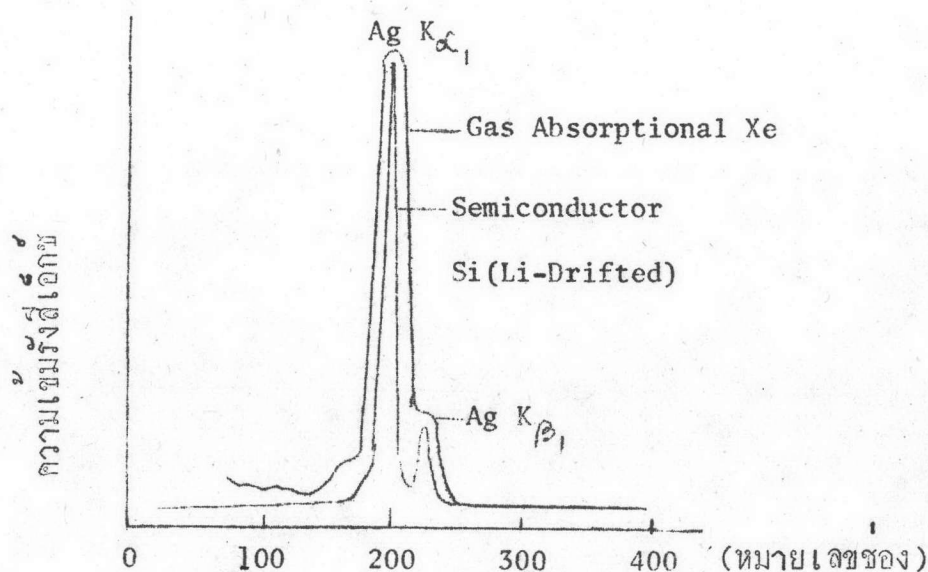
ความสามารถในการแยกพลังงานเป็นคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของ
หัววัดรังสีซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะความแปรปรวนของจำนวนคู่อิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นรวมกับ
สภาวะความแปรปรวนของขนาดสัญญาณที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้ ความสามารถในการ
แยกพลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ⁽⁷⁾

$$\text{FWHM (eV)} = [P^2 + (2.35 \sqrt{EFe})]^{\frac{1}{2}}$$

โดยกำหนดให้

- FWHM = Full Width at Half Maximum
คิดเป็นขนาดของพลังงานตรงส่วนกว้างของครึ่งหนึ่งของความสูงยอดพีค
- P^2 = สภาวะความแปรปรวนของขนาดสัญญาณที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้
- E = พลังงานของรังสีเอกซ์
- ϵ = พลังงานเฉลี่ยที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอน-โฮล 1 คู่ สำหรับซิลิกอนมีค่าเท่ากับ 3.8 eV
- F = Fano factor มีค่า 0.125

หัววัดรังสีแบบ Si(Li) จะมีความสามารถในการแยกพลังงานได้ดีกว่าหัววัดรังสีแบบปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.9



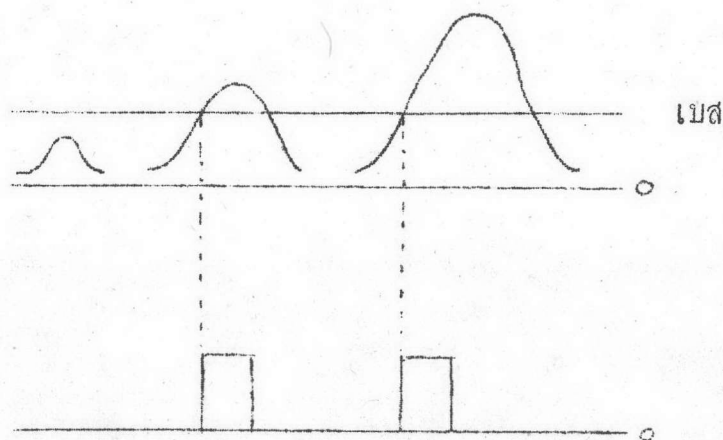
รูปที่ 3.9⁽⁸⁾ เปรียบเทียบสเปกตรัมของเงินเมื่อวัดด้วยหัววัดรังสีซีลีออน และหัววัดรังสี Si(Li)

3.3 เครื่องวัดพลังงาน

หลักการทำงานของเครื่องวัดพลังงานคือการวิเคราะห์ขนาดความสูงของสัญญาณที่ได้จากหัววัดรังสีเมื่อผ่านการขยายแล้ว เครื่องวัดพลังงานที่ใช้ในการทดลองมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

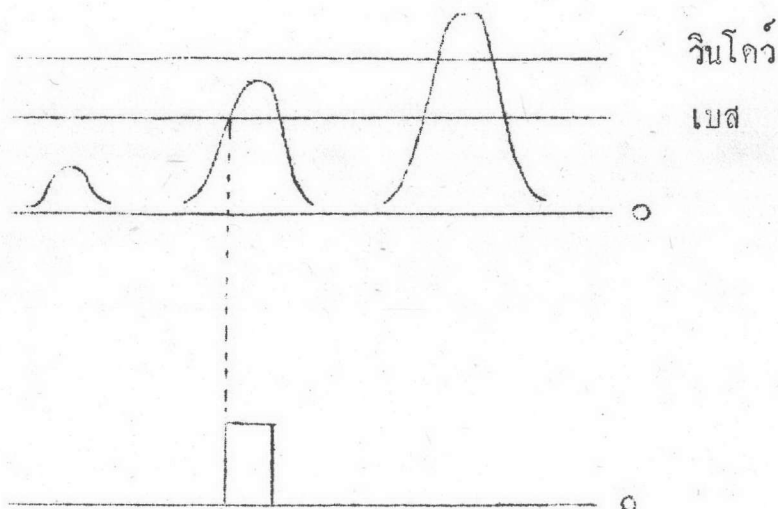
3.3.1 เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer) ส่วนที่สำคัญก็คือ Lower Level Discriminator หรือ เบส (Base) กับ Upper Level Discriminator หรือ หน้าต่าง (Window) ทั้ง 2 ตัวนี้จะเป็นตัวกำหนดโวลเตจมาตรฐานในการเลือกความสูงของสัญญาณที่ได้จากแอมพลิฟายเออร์การทำงานของเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

1. แบบอินทิกรัล (Integral) เอาท์พุทของเครื่องจะเกิดขึ้นเมื่อสัญญาณไฟฟ้าที่เข้ามามีความสูงมากกว่าเบสที่ตั้งเอาไว้



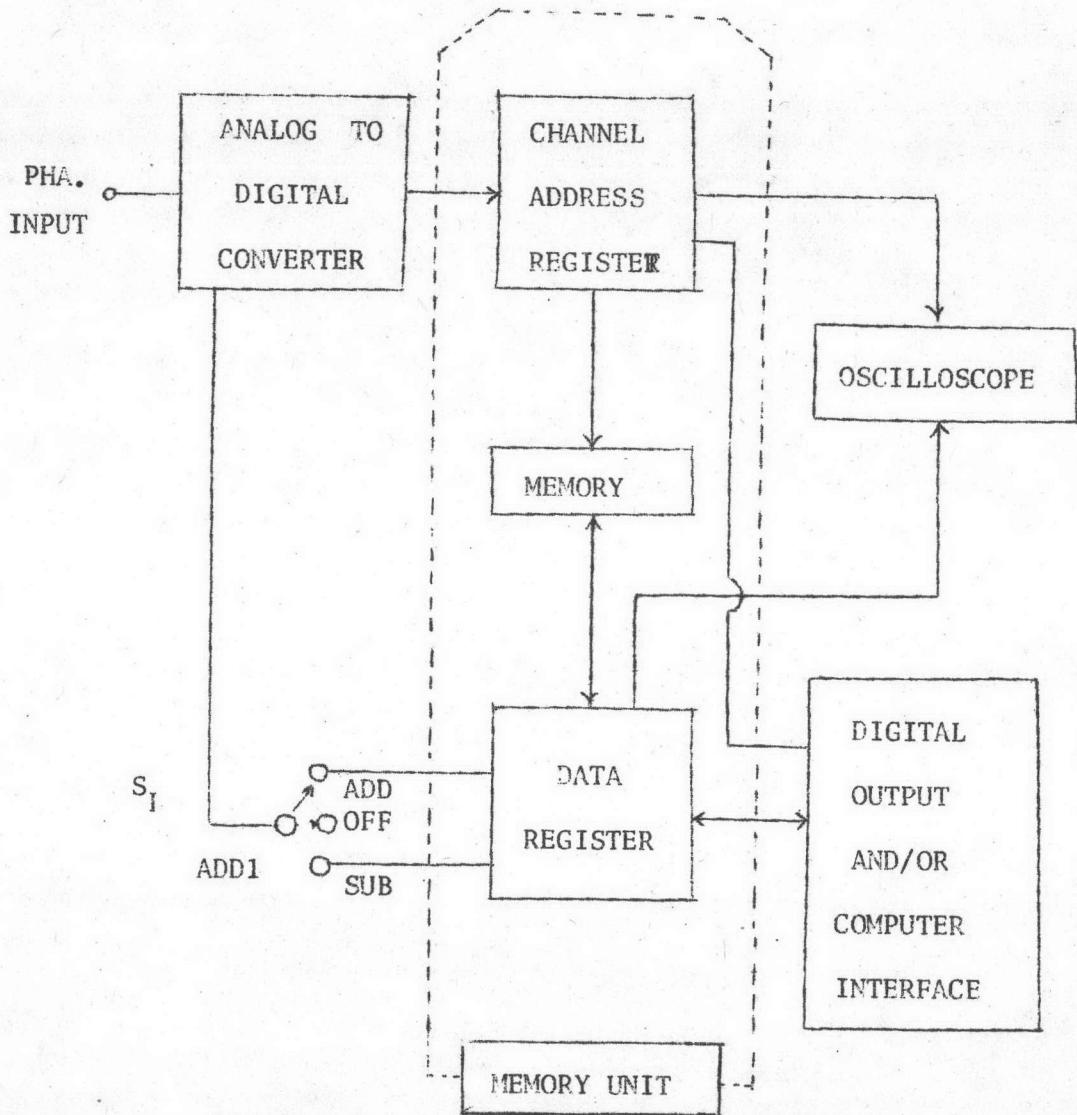
รูปที่ 3.10 แสดงการเกิดเอาท์พุทเมื่อวัดแบบอินทิกรัล

2. แบบวินโดว์ (window) เอาท์พุทของเครื่องจะเกิดขึ้นเมื่อ สัญญาณไฟฟ้าที่เข้าไปมีความสูงอยู่ระหว่าง เบสและวินโดว์



รูปที่ 3.11 แสดงการเกิดเอาท์พุทเมื่อวัดแบบวินโดว์

3.3.2 เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Pulse Height Analyzer) รูปที่ 3.12 แสดงแผนภูมิการทำงานของเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือ Analog to Digital Converter ซึ่งจะทำให้เปลี่ยนขนาดความสูงของสัญญาณที่เข้าไปให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อระบุตำแหน่งในระบบความจำหรือก็คือหมายเลขของ จำนวนครั้งของ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะถูกบันทึกไว้ในระบบความจำ พร้อมกับแสดงออกมาทางออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ในขณะที่ทำการวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บไว้ในระบบความจำจะรายงานออกมาเป็นตัวเลขทางเครื่องพิมพ์ดีด หรือเขียนเป็นสเปกตรัมโดยเครื่องวาดกราฟ



รูปที่ 3.12 แสดงแผนภูมิในการทำงานของเครื่องวิเคราะห์
พลังงานแบบหลายช่อง



3.4 ระบบการวัดรังสี

ระบบการวัดรังสีที่ใช้ในการทดลองมีด้วยกัน 2 แบบ คือ

3.4.1 ระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสีแบบปฏิภาค

ระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสีแบบปฏิภาคมีส่วนประกอบ
ดังต่อไปนี้คือ

1. หัววัดรังสีแบบปฏิภาคซึ่งได้แก่หัววัดรังสีชนิดอนและอาร์กอน
2. ORTEC 109 PC Pre amplifier
3. ORTEC 459 Bias supply 0-5 kV
4. ORTEC 471 Spectroscopy amplifier
5. ORTEC 730 Single channel analyzer
6. ORTEC 771 Timer-Counter
7. OAFP Model 8112 Timer

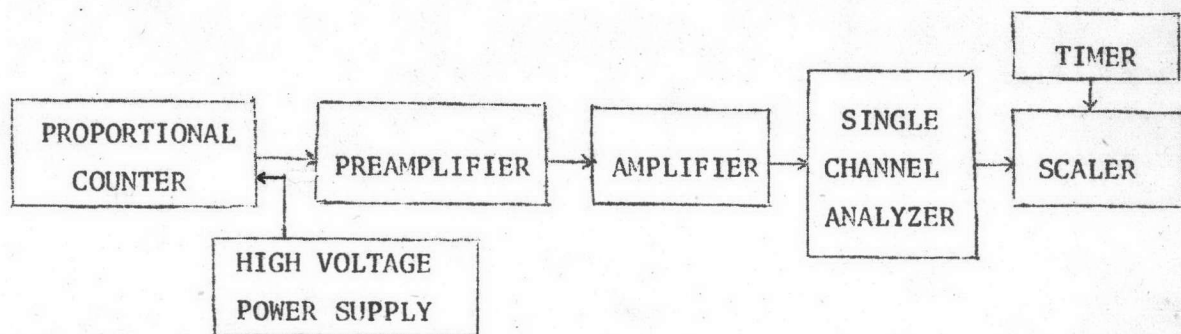
เวลาทำการทดลองจะเปลี่ยนเฉพาะหัววัดรังสีเท่านั้นสำหรับเครื่องมือ
อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ยังคงเดิม

3.4.2 ระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสี Si(Li)

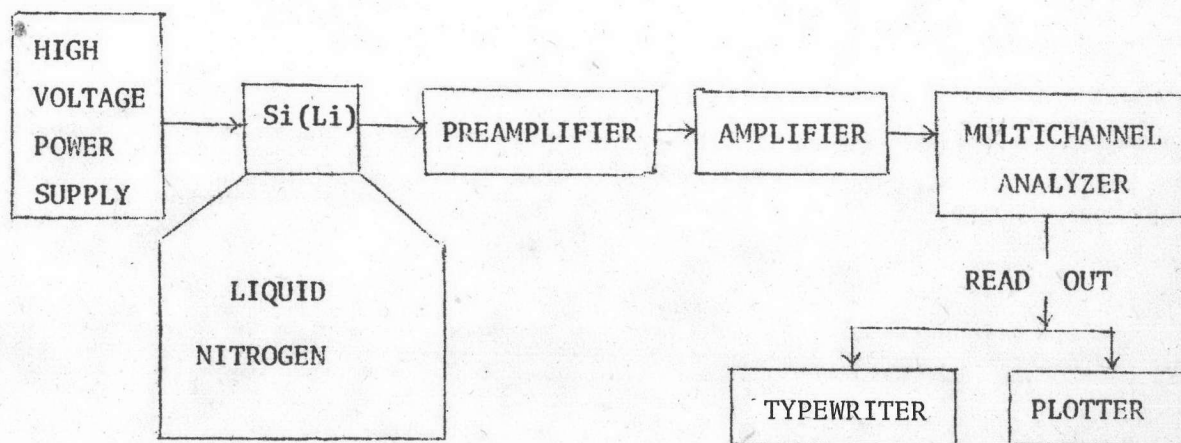
ระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสี Si(Li) มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้
คือ

1. ORTEC 7000 Series Si(Li) X-Rays Detector

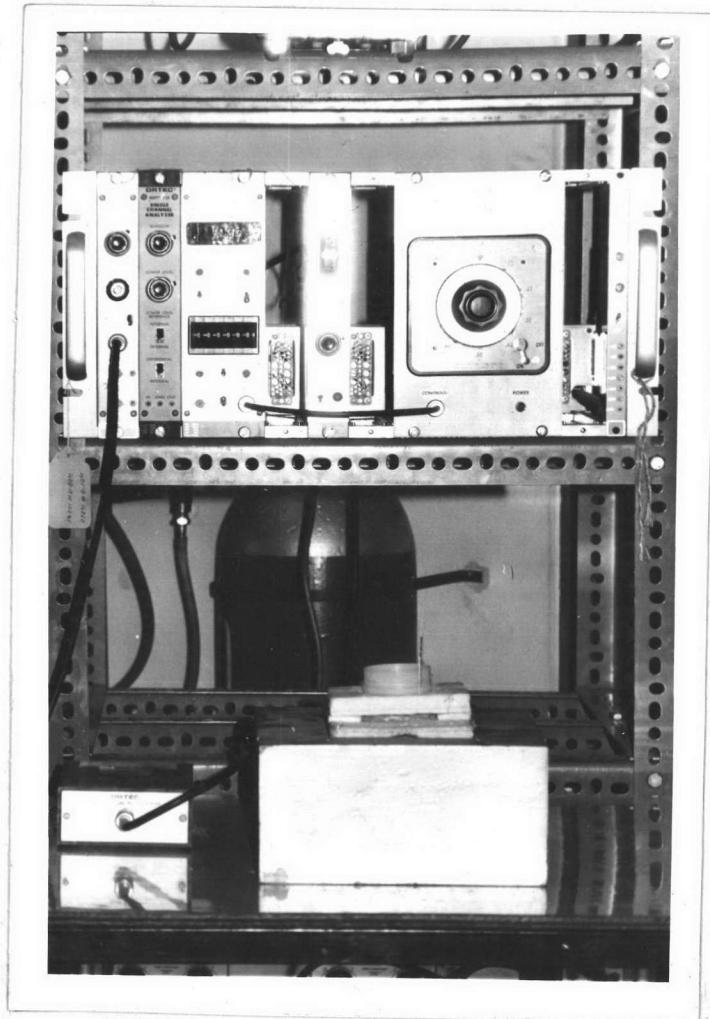
2. ORTEC 456 High voltage power supply 0-3 kV
3. ORTEC 472 Spectroscopy amplifier
4. ND 2200 Multichannel pulse height analyzer
5. RM 503 Oscilloscope
6. IBM Selectric typewriter with ND 316 Autofinger
7. HP Type 7004 B X-Y Recorder



รูปที่ 3.13 แสดงแผนภาพระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสีแบบปฏิภาค



รูปที่ 3.14 แสดงแผนภาพระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสี Si(Li)



รูปที่ 3.15 แสดงภาพระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสีแบบปฏิภาค



รูปที่ 3.16 แสดงภาพระบบการวัดรังสีเมื่อใช้หัววัดรังสี $Si(Li)$