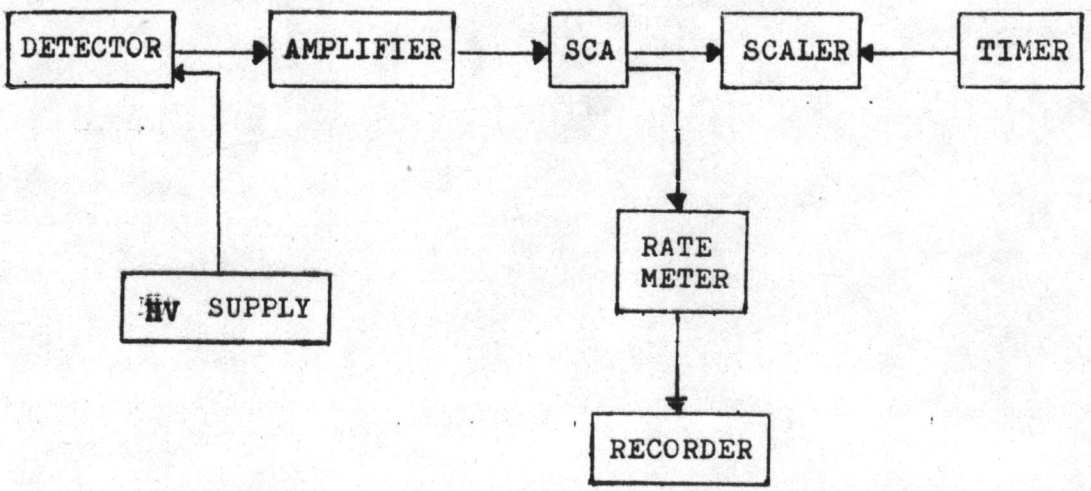
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ ๓

เครื่องมือวัดรังสีเบต้า

เครื่องมือวัดรังสี (radiation detectors) ประกอบด้วย หัววัดรังสี ทำหน้าที่รับรังสี แล้วเปลี่ยนพลังงานรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่วนที่สอง คือ เครื่องบันทึกสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า เคาน์เตอร์ หรือ rate meter ต่อไปนี้จะกล่าวถึงเฉพาะหัววัดรังสี ซึ่งแบ่งออกเป็น ๓ ชนิดใหญ่ ๆ คือ

๓.๑ <u>หัววัดรังสีชนิดบรรจุกาซ</u> เป็นหัววัดรังสีชนิดที่บรรจุกาซบางชนิด เช่น ฮีเลียม, อาร์กอน, นีออน ฯลฯ ไว้เพื่อให้เกิดการแตกตัว เมื่อมีรังสีผ่านเข้าไป ตัวหัววัดทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งมีความต่างศักย์ ๒ ขั้ว ขั้วลบ หรือแคโทด ส่วนมากเป็นรูปทรงกระบอก ทำด้วยสเตนเลส-สตีล, นิคเกิล หรือโลหะอื่น ๆ ที่มี work function สูง ขั้วบวก หรืออะโนด เป็นแกนกลาง ทำด้วยทังสะเตน เป็นเส้นลวดขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๐.๐๐๓-๐.๐๐๔ นิ้ว[๙] เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในหัววัด จะเกิดอันตรกริยากับอะตอมของกาซ ได้อิออนบวกกับอิออนลบ เมื่อความดันของกาซ และความต่างศักย์เหมาะสม อิออนจะไม่รวมตัวกัน แต่จะวิ่งไปที่แคโทดกับอะโนด เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เป็นสัญญาณผ่านเข้าไปในเครื่องนับ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องมือวัดรังสีชนิดกาซแสดงไว้ในรูปที่ ๓.๑



รูปที่ ๓.๑ แสดงอุปกรณ์และวงจรของการวัดรังสี

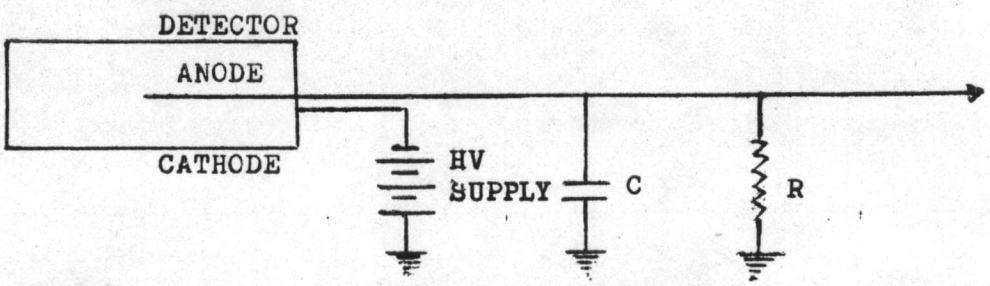
หัววัดรังสีชนิดบรรจุกาซ เหมาะสำหรับวัดรังสีแอลฟ่า และรังสีเบต้า เพราะรังสีทั้งสองชนิดนี้ทำให้เกิดไอออนไนเซชั่นในกาซได้ดี ส่วนรังสีจำพวกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือรังสีแกมม่า รังสีเอ๊กซ์ กับนิวตรอน ไม่สามารถทำให้เกิดไอออนไนเซชั่นได้โดยตรง แต่จะถ่ายเทพลังงานให้แก่อีเลคตรอนของกาซ แล้วอีเลคตรอนเหล่านั้นก็จะทำให้เกิดไอออนไนเซชั่นต่อไป แต่ทั้งนี้การวัดรังสีแต่ละชนิดจะต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นส่วนปลีกย่อยแตกต่างกันออกไป เพื่อให้ผลการวัดถูกต้อง และแม่นยำที่สุด

หัววัดรังสีชนิดกาซ แบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

๓.๑.๑ ไอออนไนเซชั่น แชมเบอร์ (ionization chamber) หัววัดรังสีอาจเป็นรูปทรงกระบอก รัศมี ๑ เซนติเมตร ยาวประมาณ ๑๐ เซนติเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด ส่วนอะโนดทำด้วยลวดทังสะเตน รัศมี ๐.๐๑ เซนติเมตร ภายในบรรจุกาซให้มีความดันเพียงเล็กน้อย เช่น กาซอาร์กอน ความดัน ๖๐ มิลลิเมตร ของปรอท ความต่างศักย์ระหว่างอีเลคโทรด ต่ำสุดในจำพวกหัววัดรังสีชนิดกาซ คือ ช่วง ๕๐-๒๐๐ โวลต์ ช่วงนี้จะไม่มีการรวมตัวของอิออน จำนวนอิออน หรือกระแสไม่เปลี่ยนแปลงตามความต่างศักย์ อิออนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับการไอออนไนเซชั่นของรังสีเท่านั้น ทำให้อิออนวิ่งเข้าอีเลคโทรดได้หมดทันทีหลังการแตกตัว หัววัดรังสีชนิดนี้เหมาะสำหรับวัดรังสีแอลฟ่า และรังสีเบต้า ต่อมามีการดัดแปลงรูปแบบและเพิ่มส่วนประกอบต่าง ๆ ทำให้วัดรังสีได้ทุกชนิด รวมทั้งดัดแปลงใช้เป็นอุปกรณ์วัดรังสีประจำบุคคล (pocket dosimeter)

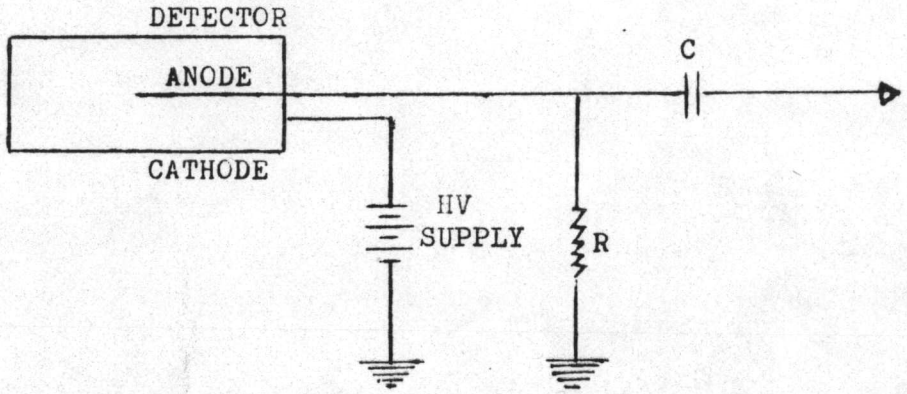
ไอออนไนเซชั่น แชมเบอร์ แบ่งออกเป็น ๒ ระบบ คือ

ก. Integrating Circuit วัดเป็นจำนวนนับรวม เช่น เครื่องวัดรังสีประจำบุคคล



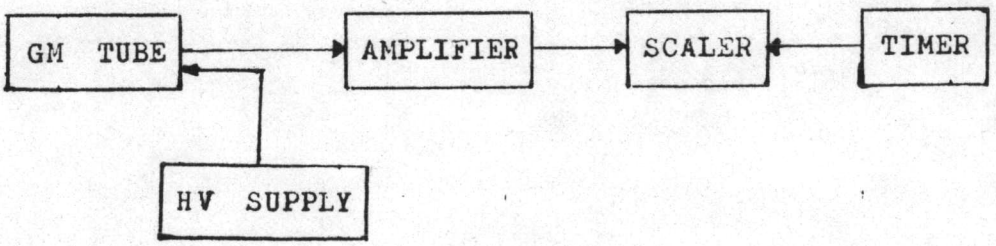
รูปที่ ๓.๒ [๑๔] แสดงอุปกรณ์และวงจรของอินติเกรดไอออนไนเซชั่น แชมเบอร์

ข. Differentiating Circuit เป็นวงจรที่ต่อสำหรับอ่านเป็นปริมาณต่อหน่วยเวลา เช่น เคานท์ต่อนาที หรือ ปริมาณรังสีเป็นเรินท์เกน (roentgen) ต่อนาที เป็นต้น



รูปที่ ๓.๓[๑๔] แสดงอุปกรณ์และวงจรของดิฟเฟอเรนเชียลไอออนไนเซชั่น แชมเบอร์

๓.๑.๒ ไกเกอร์ มูลเลอร์ เคานท์เตอร์ (Geiger-Müller Counter) หัววัดรังสีไกเกอร์ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด เพราะเป็นอุปกรณ์การวัดแบบง่าย ๆ ราคาถูกกว่าชนิดอื่น ๆ สามารถวัดได้ทั้งรังสีแอลฟ่า, เบต้า, แกมม่า และรังสีเอ๊กซ์ หัววัดใช้ความต่างศักย์สูงที่สุด ในจำนวนหัววัดรังสีชนิดกาซ เป็นช่วงที่จำนวนอิออนไม่เปลี่ยนแปลงตามความต่างศักย์ของอีเลคโทรด กาซมัลติพลิเคชั่นสูงมาก ไม่สามารถแยกพลังงานของรังสีได้ และให้สัญญาณไฟฟ้าสูง จึงไม่ต้องใช้พลีแอมปลิไฟเออร์ อุปกรณ์ส่วนประกอบของหัววัดไกเกอร์ดังแสดงในรูปที่ ๓.๔



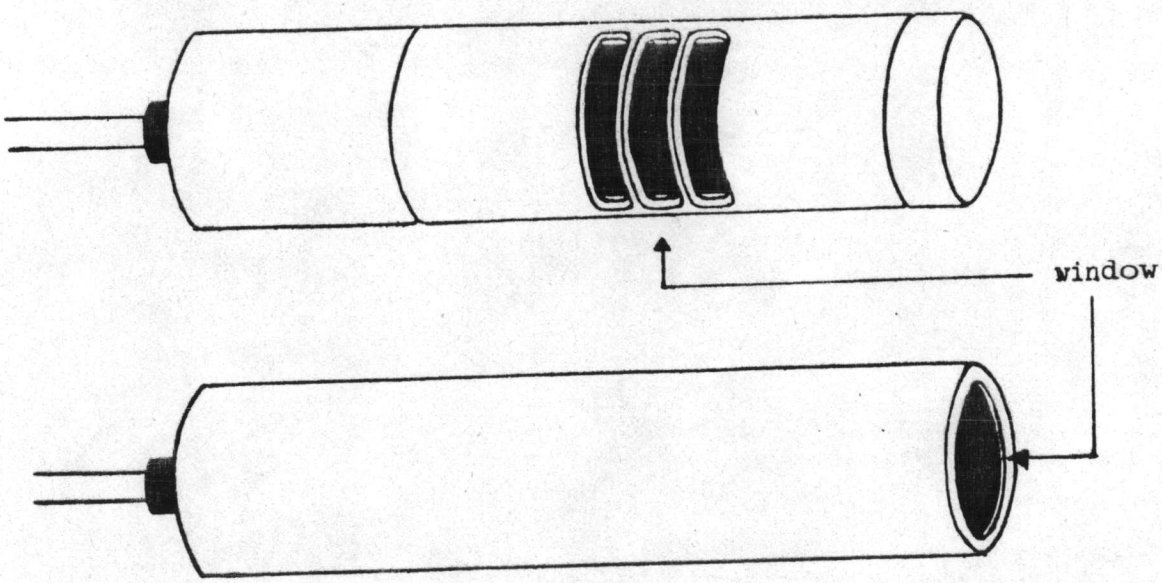
รูปที่ ๓.๔ แสดงอุปกรณ์ และวงจรของหัววัดไกเกอร์

หัววัดไกเกอร์ที่ใช้สำหรับวัดรังสีแกมม่า และรังสีเอ็กซ์ แคโทด ทำด้วยโลหะ เช่น อะลูมิเนียมตลอด ส่วนหัววัดที่ใช้วัดรังสีแอลฟ่า กับรังสีเบต้า จะต้องมีหน้าต่าง ทำด้วย ไมกา หรือไมลาร์ (mica or mylar) ที่บางมาก วัดความหนาเป็นมิลลิกรัมต่อตาราง เซนติเมตร

หัววัดรังสีที่ใช้วัดรังสีแอลฟ่า กับรังสีเบต้า ถ้าแบ่งออกตามลักษณะของหน้าต่าง แบ่งได้ ๒ แบบ คือ

ก. แบบหน้าต่างปลาย (end window) หน้าต่างสำหรับให้ลำรังสีผ่านอยู่ที่ปลายสุดของหลอด

ข. แบบหน้าต่างข้าง (side window) หน้าต่างสำหรับให้ลำแสงผ่านอยู่ด้านข้างของหลอด



รูปที่ ๓.๕ แสดงหัววัดแบบ หน้าต่างข้าง และ หน้าต่างปลาย

ถึงแม้จะมีหน้าต่างรับรังสีอยู่แล้ว หน้าต่างก็อาจจะไม่บางพอสำหรับรังสีแอลฟ่า เพราะแม้แต่รังสีเบต้าพลังงานสูงหน้าต่างต้องหนาน้อยกว่า ๓๐ มิลลิกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ถ้าพลังงานต่ำ ๆ หน้าต่างต้องบางถึง ๑๐๐ ไมโครกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ฉะนั้น หัววัดแบบนี้จึงเหมาะที่จะวัดรังสีเบต้ามากกว่าวัดรังสีแอลฟ่า

ตารางที่ ๓.๑[๙] แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับปริมาณรังสีเบต้าเป็นเปอร์เซนต์ที่ทะลุผ่านหน้าต่างความหนาต่าง ๆ กัน

Beta source	Maximum energy of beta particle, Mev	μ_m, cm²/mg	Per cent transmission through window of thickness as given		
			30 mg/cm²	4 mg/cm²	0.9 mg/cm²
C^{14}	0.154	0.26	0.04	35	79
Ca^{45}	0.250	0.122	3.0	61	89
Cu^{64}	0.58	0.035	35	87	97
P^{32}	1.707	0.0078	79	97	99

๓.๒ <u>หัววัดชนิดกึ่งตัวนำ แบ่งออกเป็น ๒ แบบ คือ</u>

๓.๒.๑ Surface Barrier เป็นหัววัดที่ดีที่สุด สำหรับวัดรังสีแอลฟ่ากับรังสีเบต้า ทั้งนี้ เพราะ depletion region หรือ sensitive volume ของหัววัดสามารถปรับให้พอเหมาะกับพิสัยของพลังงานของอนุภาคแต่ละชนิด จากพิสัยที่แตกต่างกันระหว่างอนุภาคแอลฟ่ากับเบต้า หัววัดจะสามารถแยกแต่ละรังสีโดยไม่ปนกันเหมือนหัววัดชนิดอื่น

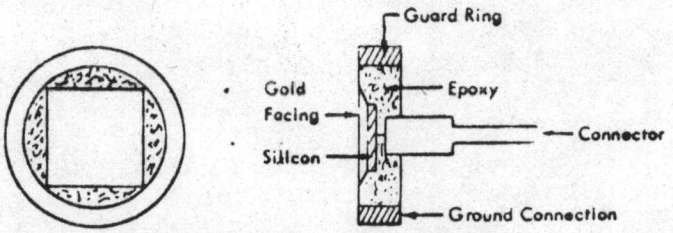
ตัวอย่างของหัววัดแบบ surface barrier เช่น silicon surface-barrier ตัวซิลิกอนเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n-type ถูกฉาบด้วยทองหนาประมาณ ๔๐ ไมโครกรัม ต่อตารางเมตร จะได้ sensitive volume ขึ้นหลังแผ่นทอง ซึ่งความหนาของ sensitive volume ขึ้นอยู่กับ bias voltage กับความต้านทานของสารกึ่งตัวนำ n-type ที่ใช้ด้วยความสัมพันธ์ ดังนี้

$$d = 0.5\sqrt{\rho_n V_a} \quad \text{เซนติเมตร}$$

เมื่อ d เป็นความหนาหรือความลึกของ sensitive volum (ซม)

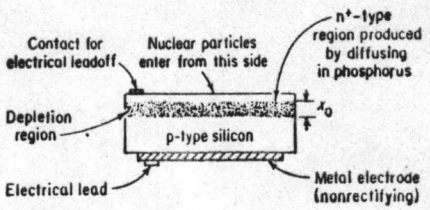
V_a เป็น bias voltage (โวลต์)

ρ_n เป็น resistivity ของ n-type (โอห์ม-ซม)



รูปที่ ๓.๖[๑๐] แสดงส่วนประกอบของหัววัด silicon surface-barrier

๓.๒.๒ Diffused Junction หัววัดประกอบด้วย p-type silicon ที่แพร่ซึม (diffused) ที่ผิวด้านหนึ่งด้วยธาตุที่เป็นตัวให้อิเลคตรอน เช่น ฟอสฟอรัส จะได้ n-type ทางด้านที่ถูกแพร่ซึม ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็น p-type อย่างเดิม และมี sensitive volume ระหว่าง type ทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ ๓.๗



รูปที่ ๓.๗[๙] แสดงส่วนประกอบของหัววัด แบบ diffused junction