บทที่ 5
การวัดรังสี

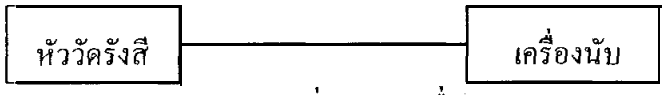
วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหัววัดรังสี
2. ศึกษาหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชัน
3. ศึกษาหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ
4. ศึกษาวงจรอิเล็กโทรนิกส์ของเครื่องวัดรังสี
5. ศึกษาเครื่องมือชนิดอื่น ๆที่ใช้ในการวัดรังสี

5.1. บทนำ

ประสาททั้งห้าของเรา ไม่มีส่วนไหนที่สามารถรู้สึกต่อรังสีได้เลย เรามองไม่เห็นรังสี จับต้องรังสีไม่ได้ ดังนั้นเราจึงไม่สามารถใช้ประสาททั้งห้ามารับความรู้สึกจากรังสีได้โดยตรง จึงต้องใช้เครื่องมือบางอย่างที่มีความไวต่อรังสีมารับการปรากฏของรังสีเสียก่อน จากนั้นเราจึงเปลี่ยนปรากฏการณ์นั้นเป็นสิ่งที่ประสาททั้งห้าสามารถรับได้ เช่น เป็นเสียงหรือเป็นตัวเลข การวัดรังสีจึงเป็นการวัดโดยอ้อม

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดรังสีอาจแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนหัววัดรังสี (detector) และส่วนที่เป็นเครื่องนับ (counter) ซึ่งเป็นวงจรอีเลคโรนิค ดังรูปที่ 5.1 ส่วนหัววัดรังสีจะเป็นส่วนที่รังสีทำให้เกิดปรากฏการณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง ส่วนที่เป็นเคร่องนับจะรายงานผลที่ได้จากหัววัดรังสีให้ปรากฏแก่ประสาทสัมผัส



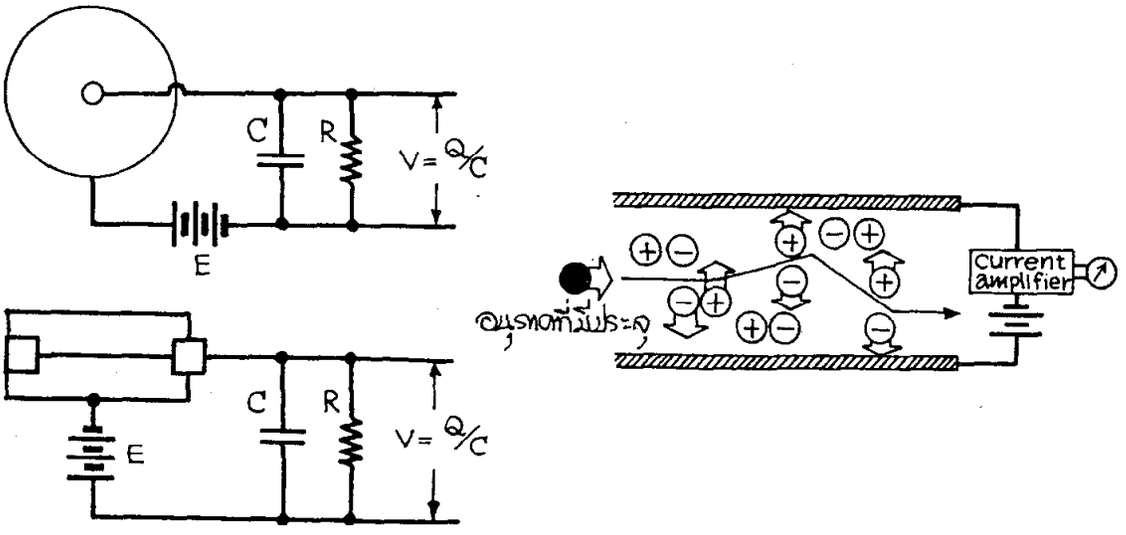
รูปที่ 5.1 เครื่องวัดรังสี

หัววัดรังสีหลายชนิดที่มีใช้กันอยู่ทั่วไป คือ

1. หัววัดรังสีแบบแกส (gas detector)
2. หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชั่น (scintiliation detector)
3. หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (semiconductor detector)
4. อื่นๆ

5.1 หัววัดรังสีแบบแกส

ประกอบด้วยแคโทด (cathode) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกทำจากทองแดง และมีเส้นลวดเป็นแอโนด (anode) อยู่กึ่งกลางกระบอกและเส้นลวดต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟตรงที่มีค่ามาก ประมาณ 250 - 1000 โวลต์ ภายในกระบอกมีแกสบรรจุอยู่



รูปที่ 5.2 หัววัดรังสีชนิดแกส

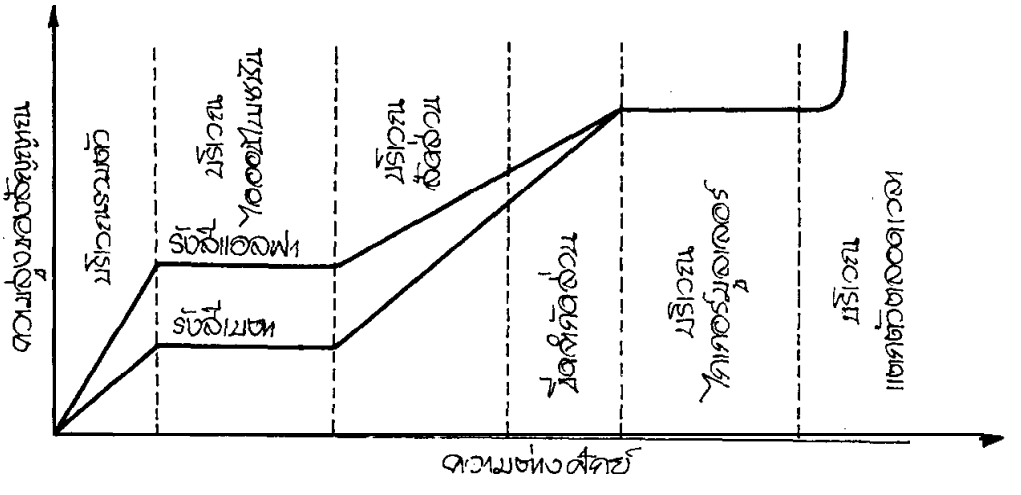
หลักการทำงาน

เมื่อวัดรังสีวิ่งผ่านเข้าไปในหัววัด รังสีที่มีประจุ เช่น รังสีเบต้าหรือรังสีแอลฟา จะทำให้อะตอมของแกสภายในหัววัดเกิดการแตกตัวได้อีเล็คตรอนและไอออนบวก (positive ion) อีเล็คตรอนและไอออนบวก มีชื่อเรียกรวมกันว่า ไออนคู่ (ion pair) จำนวนไอออนที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับจำนวนและชนิดของรังสีที่มีประจุผ่าน อีเล็คตรอนจะวิ่งเข้าไปที่เส้นลวด ไอออนบวกวิ่งไปที่

กระบอกทองแดง ทำให้เกิดการไหลของกระแสขึ้นในวงจร ก็เกิดสัญญาณ (pulse) ขึ้น ขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับอีเล็คตรอนที่มาที่เส้นลวด ก็คือ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่วิ่งผ่านเขาในหัววัด ส่งสัญญาณที่วิ่งผ่านเข้ามาในหัววัด ส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องนับ

5.1.1 **ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความสูงของสัญญาณ**

เมื่อมีรังสีผ่านเข้ามาแล้วทำให้เกิดไอออนคู่ ไอออนบวกจะวิ่งไปที่ทรงกระบอกทองแดง ซึ่งต่อกับขั้วลบ ส่วนอีเล็คตรอนจะวิ่งไปที่เส้นลวดตรงกลางซึ่งต่อกับขั้วบวก ทำให้เกิดกระแสขึ้นเมื่อมีกระแสไหลก็จะเกิดศักย์เป็นรูปสัญญาณขึ้น ขนาดของสัญญาณที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนอีเล็คตรอนที่เส้นลวดเก็บได้ อำนาจในการจับอีเล็คตรอนไว้ขึ้นกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟตรง เขียนกราฟระหว่างขนาดความสูงของสัญญาณ (pulse height) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟตรงจะได้กราฟตามรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสัญญาณกับความต่างศักย์

กราฟนี้แบ่งเป็น 5 บริเวณ

บริเวณที่ 1 เป็นช่วงที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าน้อยทำให้ความต่างศักย์ระหว่างทรงกระบอกทองแดงกับเส้นลวดต่ำ ในช่วงนี้ปริมาณไอออนที่ถูกจับ จะขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ ถ้าความต่างศักย์มีค่าน้อย ไอออนที่ถูกจับก็จะน้อย ความสูงของสัญญาณก็จะต่ำ ส่วนไอออนที่ไม่ถูกจับก็อาจจะรวมตัวกลับเป็นอะตอมตามเดิม ถ้าความต่างศักย์มีค่ามากความสูงของสัญญาณก็จะสูงขึ้น บริเวณนี้มีชื่อว่า บริเวณรวมตัว (recombination region)

บริเวณที่ 2 ไอออนที่เกิดถูกจับหมดทุกตัว ดังนั้นไม่ว่าจะเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นเท่าใด ขนาดของสัญญาณก็มีค่าคงที่ บริเวณนี้มีชื่อว่าบริเวณ ไอออนไนเซชัน (ionization region)

บริเวณที่ 3 ไอออนคู่ที่เกิดขึ้น เมื่อถูกดึงดูดโดยขั้วไฟฟ้าจะถูกเร่งจนมีพลังงานมากพอที่จะทำให้เกิดไอออนเพิ่มมากขึ้น ไอออนที่เกิดขึ้นที่หลังนี้มีชื่อว่า ไอออนทุติยภูมิ (secondary ion) ขนาดของสัญญาณในช่วงนี้จะขึ้นกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า เรียกบริเวณสัดส่วน (proportional region) เหนือบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ความสูงของสัญญาณไม่เป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี จึงใช้วัดไม่ได้ มีชื่อเรียกว่า บริเวณขีดจำกัดสัดส่วน (region of limited proportionlity)

บริเวณที่ 4 เป็นบริเวณที่ไอออนทุติยภูมิถูกจับหมดทุกตัว ดังนั้นไม่ว่าจะเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่าไร จำนวนไอออนที่ถูกจับก็จะไม่เพิ่มมากขึ้น ก็คือ ขนาดของสัญญาณมีค่าคงที่ บริเวณนี้มีชื่อเรียกว่า บริเวณไกเกอร์มูลเลอร์ (geiger muller region)

บริเวณที่ 5 บริเวณนี้ แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าสูงมากจนทำให้แกสภายในเกิดการแตกตัวเกิดไอออนคู่มากขึ้น ทำให้ความสูงของสัญญาณเพิ่มขึ้นรวดเร็ว จนอาจจะทำให้หัววัดรังสีเกิดการชำรุดเสียหายได้ ในการวัดรังสีจึงต้องไม่เพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าจนถึงบริเวณนี้ บริเวณนี้มีชื่อว่า บริเวณแตกตัวตลอดเวลา (continuous discharge region)

หัววัดรังสีชนิดแกสเป็นหัววัดรังสีที่มีนานแล้วแต่ก็ยังมีเป็นที่นิยมใช้กันมาก แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

(1) หัววัดไอออนไนเซชัน (ionization detector)

(2) หัววัดสัดส่วน (proportional detector)

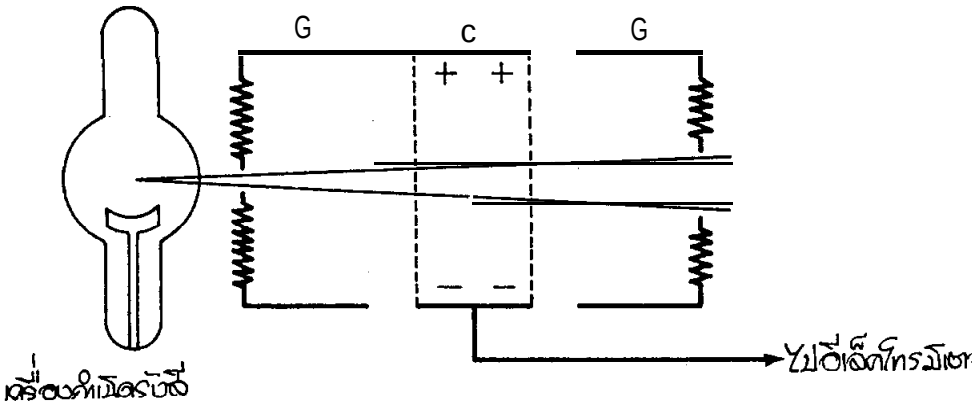
(3) หัววัดไกเกอร์มูลเลอร์ (geiger muller detector)

หัววัดรังสีทั้งสามนี้ต่างก็บรรจุแกสเอาไว้ภายในหัววัดความแตกต่างของหัวรังสีทั้งสามชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างศักย์ที่ใช้

5.1.2 **หัววัดไอออนไนเซชัน**

หัววัดรังสีชนิดนี้ ให้ความต่างศักย์แก่ทรงกระบอกทองแดงและขั้วอันกลางอยู่ในบริเวณที่ 2 คือ บริเวณไอออนไนเซชัน แกสที่บรรจุนั้นโดยทั่วไปใช้อากาศแห้ง (dry air) ณ ความดันปกติ ต่อาจจะใช้แกสอื่นเพื่อความเหมาะสมได้

ฟรีแอร์แชมเบอร์ (free air chamber) ประกอบด้วยแผ่นอีเล็คโทรด 2 แผ่น ใช้เก็บไอออนที่เกิดขึ้นเรียกว่า อีเล็คโทรดเก็บ ผcollecting electrodes) ตรงกลางเป็นอากาศ อีเล็คโทรดอันหนึ่งต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ (electro meter) ซึ่งทำหน้าที่นับจำนวนไอออนที่ถูกเก็บ ด้านข้างเป็นแผ่นควบคุม (guard ring) ทำหน้าที่ควบคุมให้แผ่นอีเล็คโทรดเก็บไอออนที่เกิดขึ้นภายในปริมาตรที่ต้องการเท่านั้น เมื่อรังสีผ่านเข้ามา อากาศระหว่างแผ่นขนานจะเกิดการแตกตัว ไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ อีเล็คตรอนเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวกซึ่งต่อกับอีเล็คโทรมิเตอร์ รายงานผลออกมา จำนวนอีเล็คตรอนที่เคลื่อนไปยังอีเล็คโทรมิเตอร์ แปรผันกับปริมาณรังสี



รูปที่ 5.4 ฟรีแอร์แชมเบอร์

5.1.3 หัววัดสัดส่วน

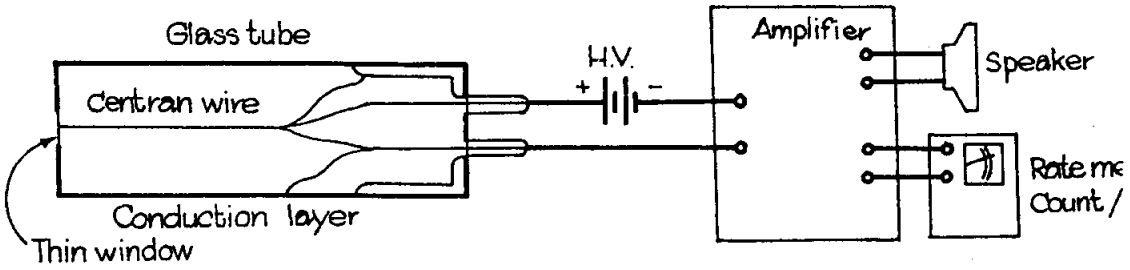
หัววัดสัดส่วนทำงานในขอบเขตที่มีความต่างศักย์อยู่ในบริเวณที่ 3 ซึ่งมีจำนวนไอออนมาก เพราะว่ามีไอออนทุติยภูมิเพิ่มขึ้นความสูงของสัญญาณสูง ทำให้สามารถวัดรังสีปริมาณน้อยได้ นอกจากนี้หัววัดสัดส่วนยังสามารถแยกรังสีต่างชนิดกันหรือรังสีชนิดเดียวกันแต่ให้พลังงานต่างกันได้เพราะจำนวนที่แตกตัวได้สัดส่วนกับพลังงานของรังสี

5.1.4 หัววัดไกเกอร์มูลเลอร์

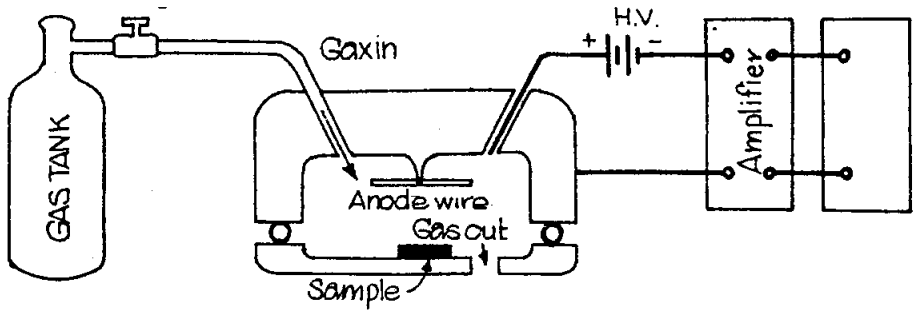
หัววัดไกเกอร์มูลเลอร์ทำงานในขอบเขตที่มีความต่างศักย์อยู่ในบริเวณที่ 4 เป็นเครื่องวัดวังสีที่ใช้กันมาก เพราะว่ามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ มีความไวมาก, ใช้ได้กับรังสีแทบทุกชนิด, มีรูปร่างต่างๆ ตามความเหมาะสมแก่การใช้, ให้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่และราคาไม่แพง

หัววัดไกเกอร์มีความไวมาก แม้ว่าปริมาณรังสีเพียงเล็กน้อยก็สามารถที่จะให้สัญญาณออกมาได้รวมทั้งรังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมาซึ่งให้ไอออนโดยขบวนการทุติยภูใก็สามารถที่จะวัดได้ อย่างไรก็ดีรังสีแอลฟาซึ่งให้ไอออนไนเซชันจำเพาะ (specific inoization) มากบางทีเราก็ใช้หลอดไกเกอร์ได้เช่นเดียวกัน แต่รังสีแอลฟานั้นมีระยะไกลสุดสั้นมาก ดังนั้นหลอดไกเกอร์จึงต้องมีหน้าต่าง (window) ไว้เพื่อเป็นทางผ่านของรังสีแอลฟาและแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ใกล้ๆ หลอด หรือบางครั้งแหล่งกำเนิดอยู่ภายในหลอด

เมื่อรังสีเข้าไปในบริเวณไวรังสี(sensitive area) ของหลอดไกเกอร์ แกสภายในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออน ไอออนบวกจะวิ่งเข้าหาขั้วลบ อีเล็คตรอนวิ่งไปหาขั้วบวก ภายในหลอดบรรจุแกสบางชนิด เพื่อป้องกันไม่ให้อีเล็คตรอนหลุดออกจากผิวของหลอด เพราะเมื่อประจุบวกพุ่งชนขั้วลบ อาจจะถ่ายเทพลังงานแก่อีเล็คตรอนหลุดออกมาได้



รูปที่ 5.5 หัววัดแบบไกเกอร์



รูปที่ 5.6 หัววัดแบบแกส

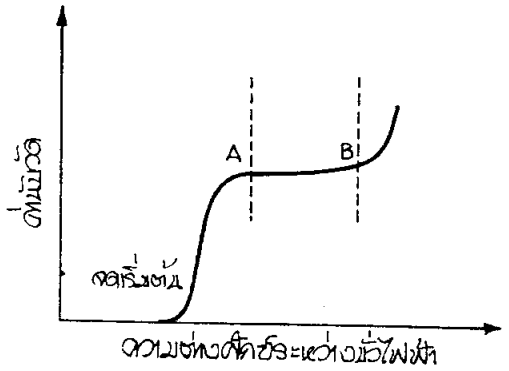
5.1.5 **กราฟแสดงคุณสมบัติของหลอดไกเกอร์**

กราฟแสดงคุณสมบัติของหลอดไกเกอร์ จะเห็นได้จากการพล๊อตกราฟระหว่างค่านับวัด (count rate) กับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอดไกเกอร์ จะเห็นได้ว่าบางส่วนของกราฟมีลักษณะเกือบขนานกับแกน X ส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า พลาโต (Plateau) เป็นส่วนที่ค่านับวัดเกือบไม่ขึ้นกับความต่างศักย์ ความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าของหลอดไกเกอร์จะมีค่าอยู่ในช่วงนี้

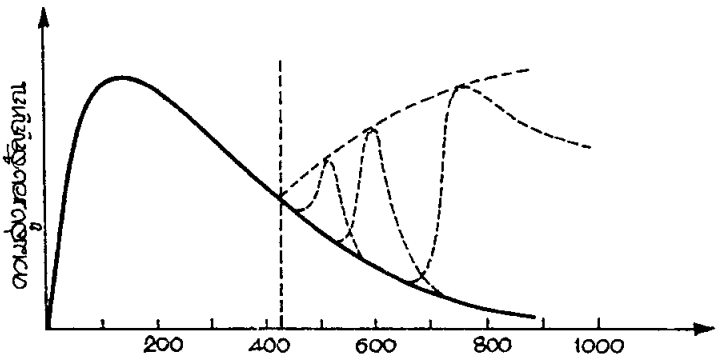
เมื่อเริ่มให้ความต่างศักย์แก่หลอดไกเกอร์ จะไม่เกิดสัญญาณที่โตพอที่จะนับได้ จนกระทั่งความต่างศักย์มีค่าถึงจุดเริ่มต้นสัญญาณจะมีขนาดโตพอที่เครื่องนับจะนับได้ เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ขึ้นเรื่อยๆ ค่านับวัดจะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่ง (จุด A) ค่านับวัดเริ่มจะมีค่าเกือบคงที่ ไม่ว่าจะเพิ่มความต่างศักย์เท่าไรค่านับวัดจะเพิ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์จนถึงจุด B ค่านับวัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้หลอดไกเกอร์เกิดการชำรุด เนื่องจากแกสภายในหลอดเกิดการแตกตัวอย่างมากมาย ช่วงความต่างศักย์ระหว่าง A กับ B เรียกว่า พลาโต หลอดไกเกอร์ที่ดีจะมีค่าความชันของ AB น้อยกว่า 5% ต่อ 100 โวลต์

เมื่อรังสี 1 ตัวเคลื่อนผ่านหลอดไกเกอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณขึ้น 1 สัญญาณ สัญญาณที่เกิดขึ้นยังคงปรากฏอยู่ภายในช่วงเวลาหนึ่งขึ้นกับค่าคงที่เวลา (time constant) ของวงจร ถ้าหากมีรังสีอีกตัวหนึ่งเคลื่อนผ่านหลอดไกเกอร์ภายในช่วงเวลานี้ สัญญาณจากรังสีตัวที่ 1 ที่ยังคงปรากฏอยู่จะบดบังสัญญาณจากรังสีตัวที่สอง ทำให้ไม่พบสัญญาณจากรังสีตัวที่สอง เครื่องนับเพียงหนึ่ง 1 ครั้งเท่านั้น ระยะเวลาช่วงนี้มีชื่อเรียกว่า เดดไทม์ (dead time) รังสีตัวที่สองที่เครื่องนับสามารถนับได้ จะต้องเคลื่อนที่ผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่เครื่องนับจะสามารถนับ อนุภาคสองตัวที่เข้าติดๆ กันได้นี้มีชื่อว่า รีโซวิงไทม์ (resolving time) ช่วงเวลาที่สัญญาณจากรังสีตัวที่สองเริ่มมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆ จนเครื่องนับสามารถนับได้เรียกว่า รีโคเวอรี-ไทม์ (recovery time)

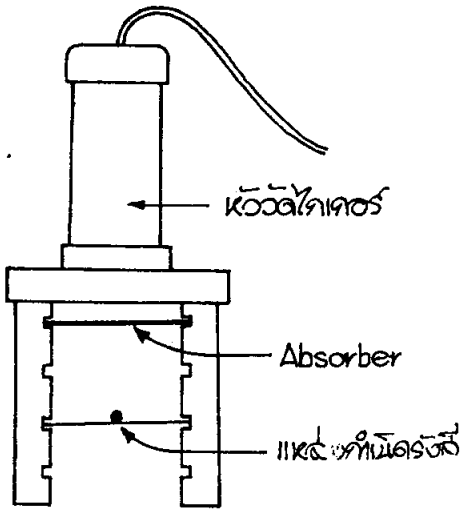
หัววัดรังสีชนิดไกเกอร์ ถ้าด้านข้างเปิดรับรังสีมีชื่อว่า หัววัดรังสีไกเกอร์ชนิดเปิดข้าง (side window) แต่ถ้าด้านปลายด้านหนึ่งเปิดรับรังสีมีชื่อว่า หัววัดรังสีไกเกอร์ชนิดเปิดท้าย (end window)



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงคุณสมบัติของไกเกอร์



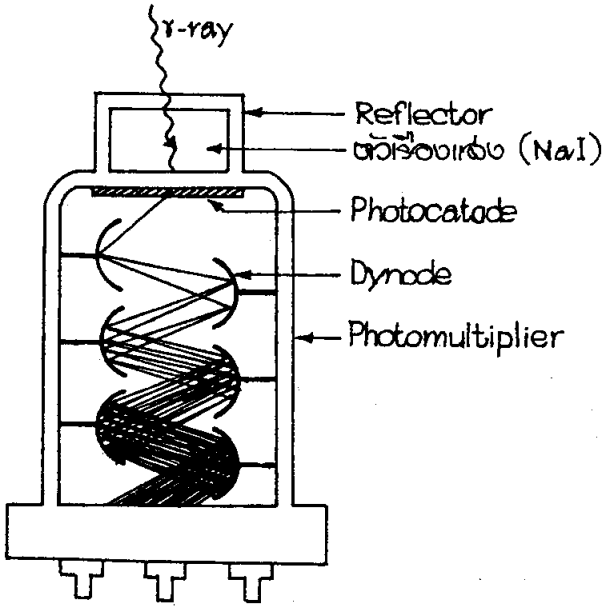
รูปที่ 5.8 ความสูงของสัญญาณที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 5.9 แสดงการใช้หัววัดรังสีไกเกอร์ชนิดเปิดท้ายวัดรังสี

5.2 หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชั่น

เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในการค้นคว้าต่างๆ ทางนิวเคลียร์ ส่วนมากจะใช้วัดรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ รูปร่างลักษณะที่สำคัญของเครื่องมือประกอบด้วยตัวเรืองแสง (Scintillator) ซึ่งสามารถปล่อยแสงออกมา เมื่อถูกรังสีพุ่งเข้าชนและประกอบด้วยหลอดทวีคูณ (photomultiplier tube) ซึ่งจะทำหน้าที่รับแสงและเพิ่มอีเล็คตรอนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.10 หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชั่น

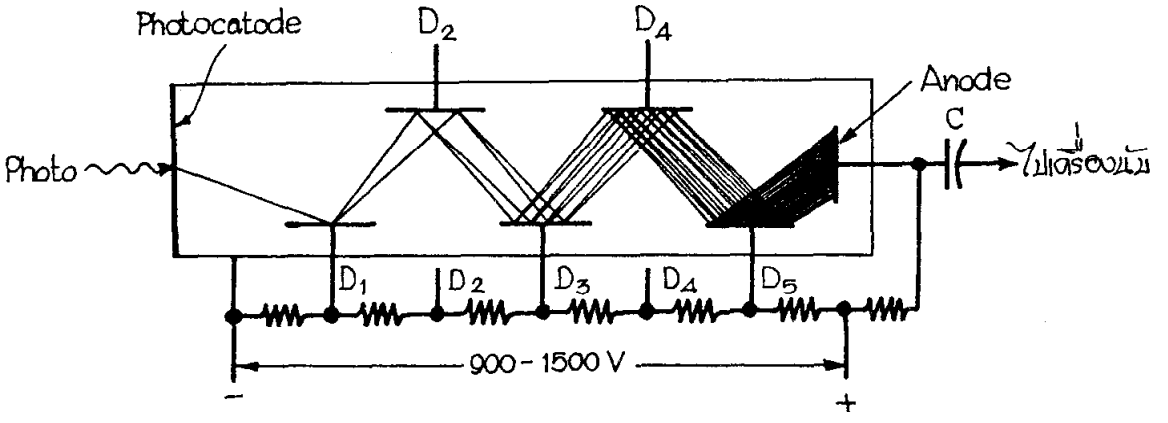
5.2.1 **หลักการทำงาน**

เมื่อรังสีตกกระทบตัวเรืองแสงพลังงานของรังสีทั้งหมดหรือบางส่วนจะเปลี่ยนไปเป็นโฟตอน โฟตอนเหล่านี้จะถูก รีเฟล็คเตอร์ (reflector) สะท้อนกลับให้ตกมาบนโฟโตแคโทด (photocathode) ของหลอดทวีคูณ และโฟโตแคโทดจะปล่อยอีเล็คตรอนออกมา อีเล็คตรอนจะออกมาเป็นจำนวนมาก และถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปได้เนื่องจากศักย์ที่ใส่ระหว่างโฟโตแคโทดและไดโนด (dynode) เมื่ออีเล็คตรอนชนไดโนดจะทำให้เกิดอีเล็คตรอนเพิ่มขึ้นอีกมากมาย และในทำนองเดียวกันที่ไดโนดอันต่อมา ก็จะมีอีเล็คตรอนเกิดขึ้นโดยวิธีเดียวกัน โดยที่แต่ละไดโนดอันถัดมาจะมีศักย์สูงกว่าไดโนดอันก่อนเสมอ ซึ่งผลสุดท้ายจะได้อีเล็คตรอนออกมาประมาณ 10^6 ถึง 10^9 เท่า และอีเล็คตรอนนี้ก็นำมารวมกันยังแอโนด นำเข้าสู่วงจรสำรับนับสัญญาณต่อไป

5.2.2 **หลอดทวีคูณ**

หลอดทวีคูณเป็นหลอดที่ทำให้จำนวนอีเล็คตรอนเพิ่มขึ้นประกอบด้วย

1. โฟโตแคโทด (photocathode) ซึ่งเป็นตัวปล่อยอีเล็คตรอน
2. ไดโนด (dynode) เป็นขั้วไฟฟ้า มีอยู่หลายขั้วต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟแรงสูง โดยที่ขั้วที่อยู่ใกล้กับโฟโตแคโทดมีศักย์ต่ำที่สุด ขั้วที่ห่างออกมามีศักย์สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีอีเล็คตรอนตกกระทบ จะทำให้ปริมาณอีเล็คตรอนเพิ่มมากขึ้น
3. แอโนด (anode) เป็นตัวเก็บรวบรวมอีเล็คตรอนที่เกิดขึ้นเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องนับ



รูปที่ 5.11 หลอดทวีคูณ

5.2.3 **ตัวเรืองแสง**

คุณสมบัติของตัวเรืองแสง

1) มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีเป็นโฟตอนที่มีความยาวคลื่นประมาณความยาวคลื่นของแสงสว่างสูง

2) โปร่งแสง เพื่อให้โฟตอนที่เกิดขึ้นสามารถเดินทางผ่านไปถึงโฟโตแคโทดได้มาก

3) สามารถทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ง่าย

4) ดัชนีหักเหมีค่าสูง

5) มีอำนาจในการดูดกลืนรังสีมาก

ตัวเรืองแสงอาจจะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ตัวเรืองแสงที่เป็นของแข็ง (solid scintillators)
2. ตัวเรืองแสงที่เป็นของเหลว (liquid scintillators)

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติของตัวเรืองแสงที่เป็นของแข็ง

ตัวเรืองแสง	เลขอะตอม (Z)	ความหนาแน่น (กรัม/ซ.ม.^{3})	ความยาวคลื่นสูงสุดของโฟตอน (A°)	เวลาสลายตัว (ns)
anthracene	5.8	1.24	4400	**26**
p-terphenyl	5.7	1.17	4100	10
stillbene	5.7	1.19	4100	**8**
NaI (Tl)	50	3.26	4100	**0.23**
ZnS (Ag)	27	4.1	4500	**9**

ตัวเรืองแสงชนิดของแข็งที่นิยมใช้มากที่สุด คือ NaI (Tl) เพราะว่า

1. มีความหนาแน่นมาก
2. มีเลขอะตอมเฉลี่ยสูง
3. ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีเป็นโฟตอนสูง
4. โปร่งแสง

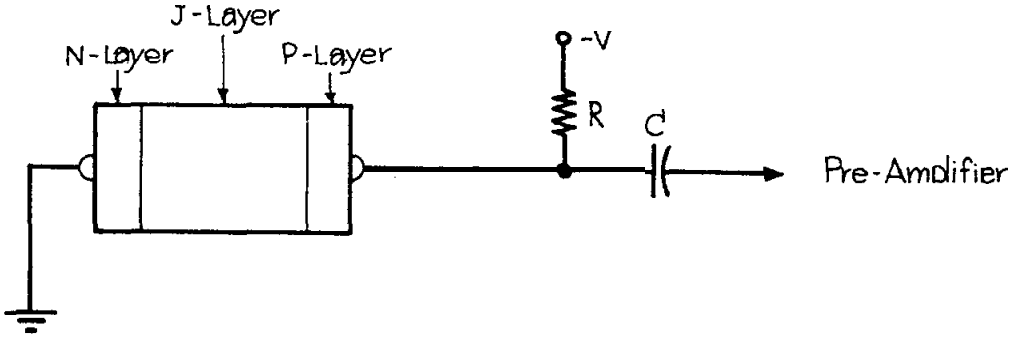
ตัวเรืองแสงชนิดของเหลวอยู่ในรูปของสารละลายประกอบด้วยสารหลายชนิด ตัวอย่าง

ของตัวเรืองแสงชนิดหนึ่ง เหมาะสำหรับวัดรังสีเบต้าพลังงานต่ำจากคาร์บอน-14 และตริเตียม ประกอบด้วย

1. 2, 5 - diphenyloxazole (PPO) 5 กรัม
2. 1, 4 - bis - (5 - phenyloxazole) 0.1 กรัม
3. Toluene 1 ลิตร

5.3 หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ

หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำได้รับการพัฒนาขึ้นมา เนื่องจากความก้าวหน้าในการประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามต้องการ สารกึ่งตัวนำมาทำเป็นตัววัดรังสี คือ เยอรมันเนียม (germanium) และซิลิคอน (silicon)



รูปที่ 5.12 หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ

หลักการทำงาน

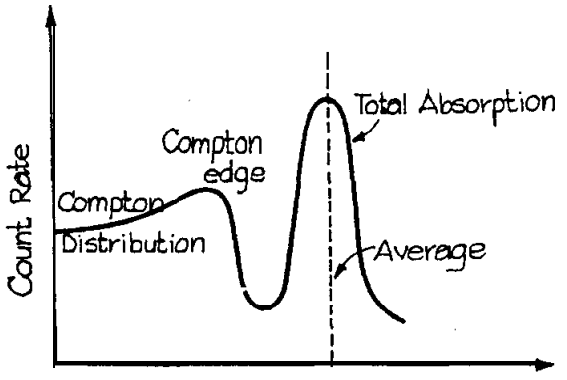
หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำอาศัยการทำงานเช่นเดียวกับหัววัดรังสีแกส หัววัดมีทั้งสองชนิดเป็นไอออนไนเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) เมื่อรังสีวิ่งผ่านหัววัดรังสี จะคายพลังงานออกให้แก่หัววัดรังสีทำให้อะตอมของหัววัดเกิดการแตกตัว (ionization) ได้อีเล็คตรอนและโฮลปลายทั้งสองข้างของหัววัดมีขั้วไฟฟ้า ที่มีความต่างศักย์กัน อีเล็คตรอนจะวิ่งไปยังขั้วบวก ทำทำให้เกิดสัญญาณขึ้น สัญญาณถูกส่งต่อไปยังเครื่องนับแสดงผลออกมา

5.4 การวิเคราะห์พลังงานของรังสีแกมมา

เมื่อรังสีแกมมาพุ่งเข้าชนตัวเรืองแสงจะถ่ายเทพลังงานให้แก่ตัวเรืองแสงด้วยขบวนการต่างๆ คือ ขบวนการโฟโตอีเล็คทริค, ขบวนการคอมป์ตัน และขบวนการแพร์โปรดักชั่น ความสูงของสัญญาณจากหัววัดจะขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืน เพราะว่า ถ้าตัวเรืองแสงได้

รับพลังงานน้อยจำนวนโฟตอนที่เกิดขึ้นน้อย ความสูงของสัญยาณต่ำ ความสูงของสัญญาณจึงเป็นตัวบ่งชี้พลังงานของรังสีได้ ถ้าเขียนกราฟระหว่างค่านับวัดกับความสูงของสัญญาณจะได้กราฟรูปที่ 5.3 ซึ่งมีชื่อเรียกว่าพัลซ์ไฮท์สเปคตรัม (pulse height spectrum) โดยทั่วไปอย่างน้อยที่สุดกราฟจะต้องประกอบด้วย

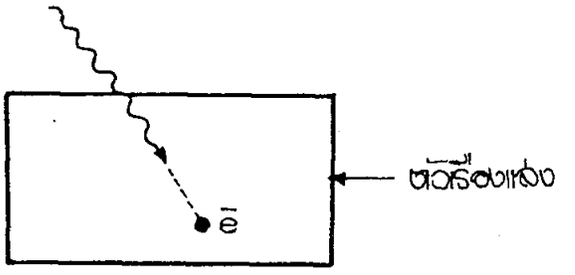
1. โทเทิลแอบซอฟชันพีก (total absorption peak)
2. คอมป์ตันเอ็ดจ์ (compton edge)
3. การกระจายคอมป์ตัน (comption distribution)
4. คอมป์ตันวอลเลย์ (compton valley)



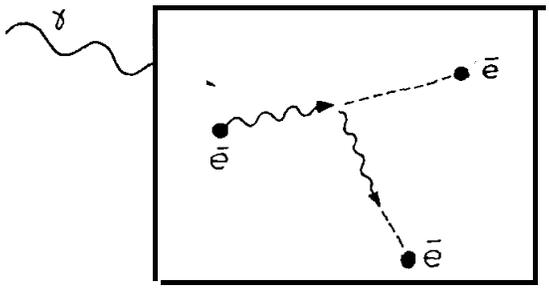
รูปที่ 5.3 Phase Height spectrum

5.4.1 **โทเทิลแอบซอฟชันพีก** (total absorption peak) เป็นพีก (peak) ที่ได้จากการที่พลังงานของรังสีถูกดูดกลืนด้วยตัวเรืองแสงหมด จึงมีความสูงของสัญญาณมากที่สุด เกิดจากขบวนการต่างๆ ดังนี้

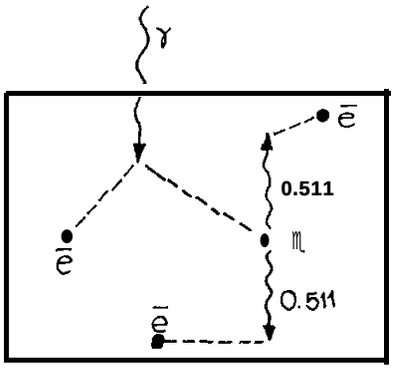
1. โฟโตอีเล็คทริค
2. คอมป์ตันแล้วคอมป์ตันอีเล็คตรอนชนกับตัวเรืองแสงด้วยขบวนการโฟโตอีเล็คทริค
3. แพร์โปรดักชัน แล้วโฟตอนจากขบวนการแนนิฮิเลชัน (annihilation) เกิดโฟโตอีเล็ค-ทริค



รูปที่ 5.14 รังสีแกมมาถายเทพลังงานให้แก่ตัวเรืองแสงจนหมดโดยขบวนการโฟโตอีเล็คทริค



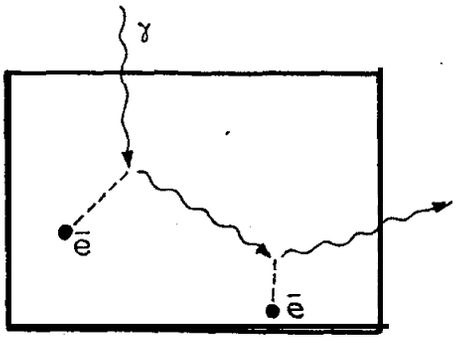
รูปที่ 5.15 รังสีแกมมาชนกับตัวเรืองแสงเกิดขบวนการคอมป์ตัน 2 ครั้ง แล้วเกิดขบวนการโฟโตอีเล็คทริค พลังงานถูกดูดกลืนหมด



รูปที่ 5.16 รังสีแกมมาชนกับตัวเรืองแสงเกิดขบวนการแพร์โปรดักชันได้อีเล็คตรอนและโพซิตรอน โพซิตรอนรวมกับอีเล็คตรอนตัวอื่น ได้โฟตอนสองตัว ซึ่งทั้งสองตัวชนกับตัวเรืองแสงด้วยขบวนการโฟโตอีเล็คทริค พลังงานถูกดูดกลืนหมด

5.4.2 **ขบวนการคอมป์ตันสแกทเทอริง** (Compton scattering)

เมื่อเกิดขบวนการคอมป์ตันรังสีแกมมาจะสูญเสียพลังงานบางส่วน พลังงานจึงถูกดูดกลืนไม่หมด มีบางส่วนหลุดออกมาจากตัวเรืองแสงได้ พลังงานที่ถูกดูดกลืนจะมีค่าจาก 0 ถึงพลังงานสูงสุดที่คอมป์ตันอีเล็คตรอนรับไว้ได้ ความสูงของสัญญาณจึงมีค่าจาก 0 ถึงพลังงานสูงสุดที่อีเล็คตรอนรับไว้ตรงคอมป์ตันเอ็ดจ์ (Compton) จึงเกิดสเปคตรัมจาก 0 จนถึงคอมป์ตัน-เอ็ดจ์



รูปที่ 5.17 ขบวนการคอมป์ตันสูญเสียพลังงานบางส่วน

เมื่อ E = พลังงานโฟตอนก่อนเกิดขบวนการคอมป์ตัน

E' = พลังงานโฟตอนหลังเกิดขบวนการคอมป์ตัน

T_e = พลังงานของอีเล็คตรอน

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{mc^2}(1 - \cos\theta)} \quad , \quad T_e = E - E'$$

พลังงานสูงสุดที่อีเล็คตรอนได้รับจะเกิดขึ้นเมื่อ $\theta = 180^\circ$ เป็นพลังงานที่คอมป์ตันเอ็ดจ์

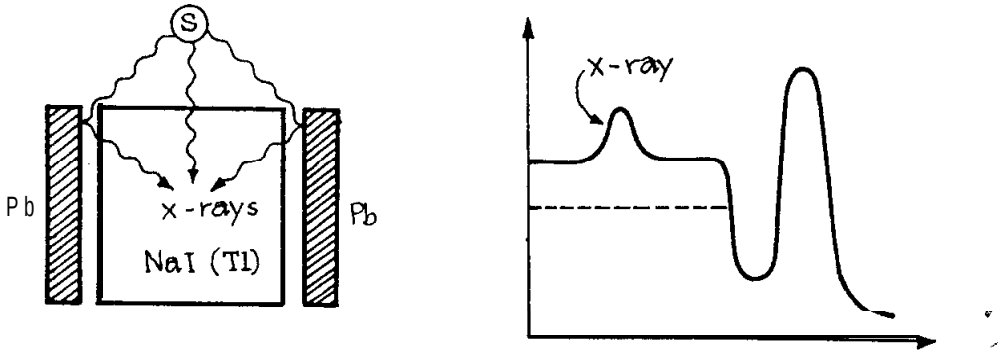
$$Te_{(max)} = E - \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}} = \frac{E}{1 + \frac{mc^2}{2E}} \quad \text{เมื่อ } \theta = 180^\circ$$

ที่คอมป์ตันเอ็ดจ์พลังงานที่ถูกดูดกลืน $= \dfrac{E}{1 + \frac{mc^2}{2E}}$

นอกจากนี้ ก็ยังมพีก (peak) อื่นๆ เกิดขึ้นอีกดังนี้

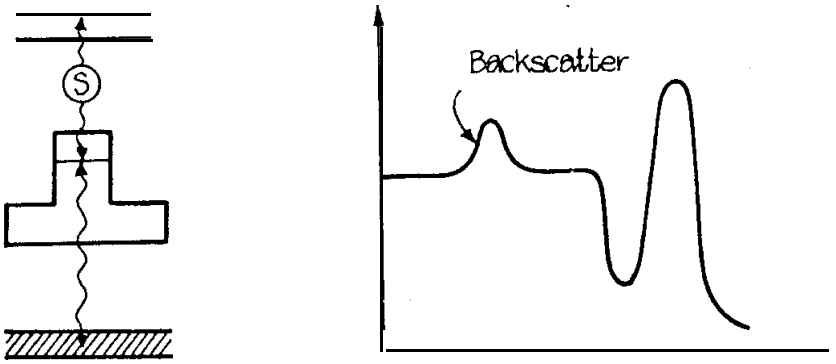
5.4.3 **Pb x-rays**

เมื่อตัวเรืองแสงถูกหุ้มด้วยตะกั่ว จะพบพีกที่พลังงาน 72 เคอีวี เกิดจากการที่รังสีแกมมาพุ่งเข้าชนตะกั่วแล้วทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์พลังงาน 72 เคอีวี รังสีเอ็กซ์ที่เกิดขึ้นนี้เมื่อวิ่งเข้าไปในตัวเรืองแสงจะถูกดูดกลืนจนหมดทำให้เกิดพีกขึ้น หรือถูกดูดกลืนบางส่วนเกิดขบวนการคอมป์ตันทำให้ความสูงของสัญญาณเพิ่มขึ้นโดยตลอดสเปคตรัม



รูปที่ 5.18 การเกิดรังสีเอ็กซ์และขบวนการคอมป์ตันจากตะกั่ว

5.4.4 **แบ็คสแครทเทอพี** fl (Backscatter peak)



รูปที่ 5.19 แบ็คสแครทเทอพีก

แบ็คสแครท์เทอพีก เกิดจากการที่รังสีแกมมาชนกับวัตถุที่อยู่ใกล้หัววัดรังสี เช่น เพดานและผนังแล้วสะท้อนเป็นมุม 180° เข้าสู่หัววัดรังสี ถูกดูดกลืนจนหมด พลังงานสูงสุดของแบ็คสแครทเทอพีก = 0.225 เอ็มอีวี ถ้าโฟตอนสะท้อนไปเป็นมุม 180° โดยขบวนการคอมป์ตัน

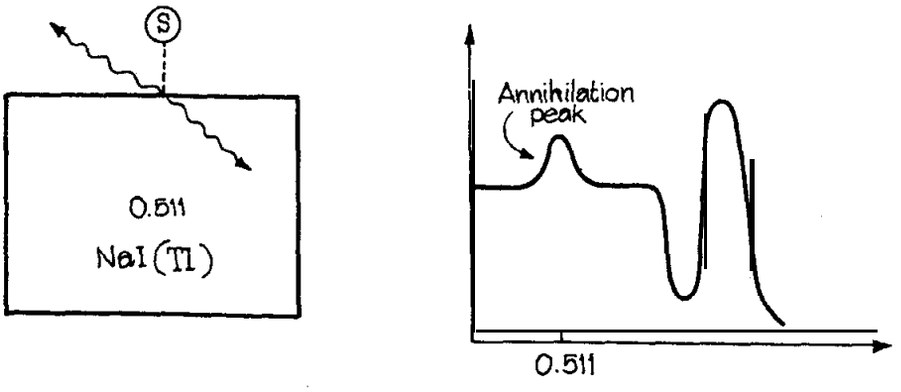
$$E' = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}} \qquad E \rightarrow \infty$$

$\therefore \quad \frac{E}{mc^2} >> 1$ เมื่อ $mc^2 = 0.511$ MeV

$$E' \rightarrow \frac{E}{2E / 0.511} = \frac{0.511}{2} = 0.255 \text{ MeV}$$

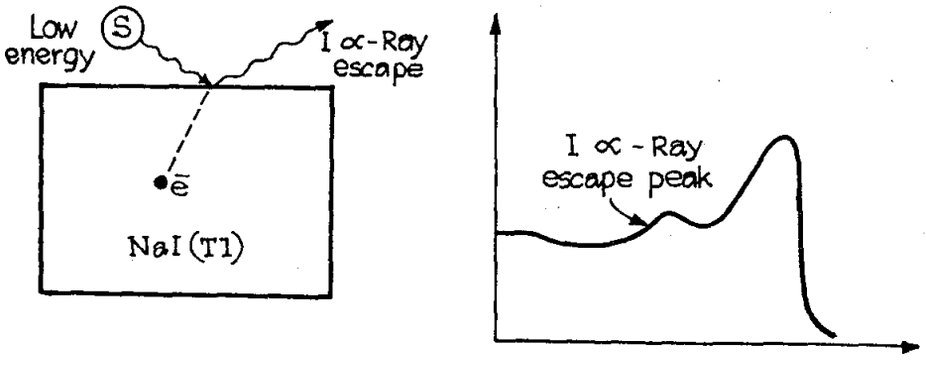
5.4.5 **แอนนิฮิเลชันพีก** (Annihilation peak)

แอนนิฮิเลชันพีกเกิดที่พลังงาน 0.511 เอ็มอีวี เกิดจากแหล่งกำเนิดรังสีที่ให้โพซิตรอนชนกับตัวเรืองแสงเกิดขบวนการแอนนิฮิเลชัน ได้โฟตอน 2 ตัว พลังงานตัวละ 0.511 เอ็มอีวี ตัวหนึ่งหลุดจากตัวเรืองแสง อีกตัวหนึ่งถูกดูดกลืนโดยตัวเรืองแสง จงเกิดพีกขึ้นที่พลังงาน 0.511 เอ็มอีวี



รูปที่ 5.20

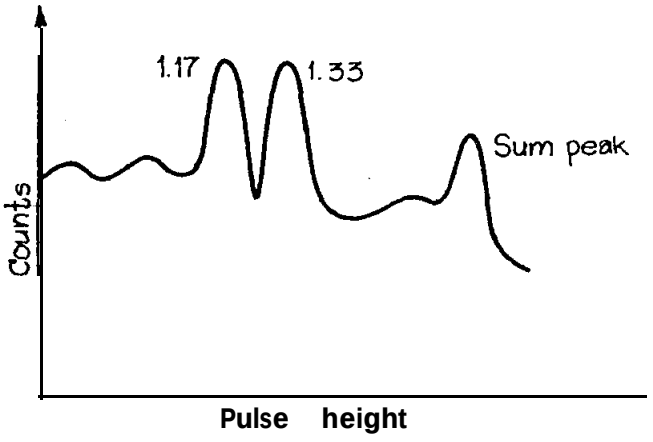
5.4.6 **ไอโอดีนเอ็สเคปพีก** (iodene escape peak)



รูปที่ 5.21 รังสีเอ็กซ์จากไมโอดีนหลุดจากสารเรืองแสง

ส่วนมากจะเกิดกับรังสีแกมมาพลังงานต่ำประมาณ 100 ถึง 200 เคอีวี รังสีแกมมาพลังงานต่ำจะชนบริเวณผิวของผลึกโซเดียมไอโอไดด์ NaI (Tl) และเกิดขบวนการโฟโตอีเล็คทริค ทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์ พลังงาน 28 เคอีวี เนื่องจากปรากฏการณ์นี้เกิดที่ผิว ดังนั้นรังสีเอ็กซ์จึงหลุดจากสารเรืองแสงได้ง่าย ทำให้เกิดพีกต่ำกว่าโฟโตพีก 28 เคอีวี

5.4.7 **พีกรวม** (Sum peak)

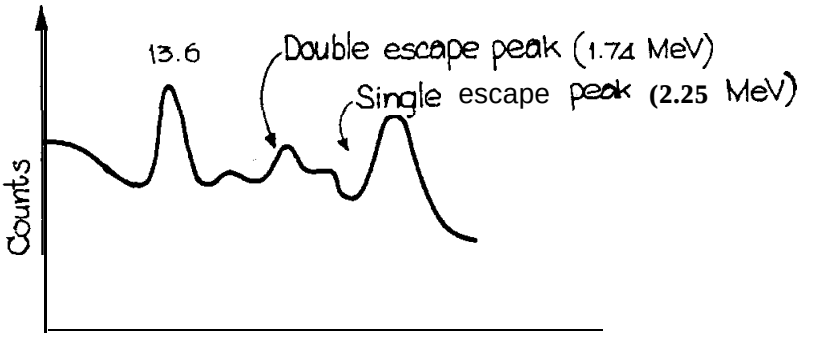


รูปที่ 5.22 **พีกรวม**

เกิดขึ้นเมื่อสารกัมมันตรังสีให้รังสีแกมมา 2 ตัวที่มีพลังงานใกล้กัน เช่น โคบอลท์-60 .ให้รังสีแกมมาพลังงาน 1.17 เอ็มอีวี และ 1.33 เอ็มอีวี บางครั้งเครื่องนับจะนับรังสีแกมมาตัวรวมกัน ทำให้เกิดพีกที่มีพลังงานเท่ากับผลรวมของพลังงานของรังสีแกมมาทั้งสอง เช่น โคบอลท์-60 เกิดพีกรวมที่ 1.17 + 1.33 = 2.5 เอ็มอีวี

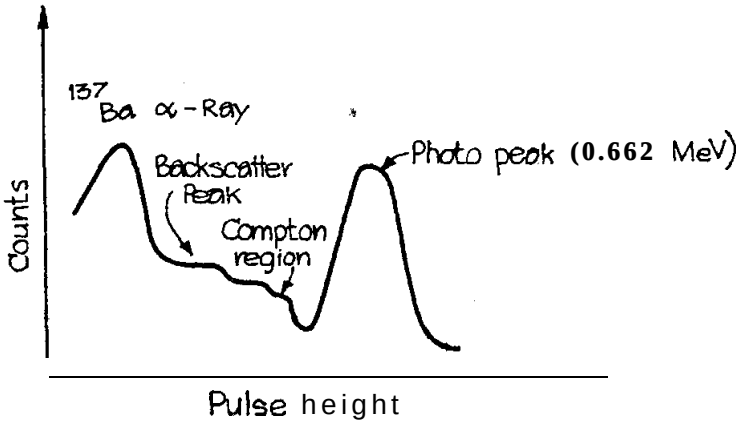
5.4.8 **เอ็สเคปพีก (Escape peak) หลังจากเกิดขบวนการแพร์โปรดักชัน**

เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานสูง (มากกว่า 1.02 เอ็มอีวี) เมื่อเกิดแพร์โปรดักชันขึ้นในสารเรืองแสง เกิดโพซิตรอ โพซิตรอนรวมตัวกับอีเล็คตรอน เกิดขบวนการแอนนิฮิเลชันได้โพซิตรอนตัวหนึ่งหลุดจากสารเรืองแสงจะเกิดต่ำกว่าโฟโตพีก 0.511 เอ็มอีวี เรียกว่า เอ็สเคปพีกเดี่ยว (Single escape peak) แต่ถ้าโฟตอนหลุดจากผลึกทั้งสองตัวจะเกิดพีกต่ำกว่าโฟโตพีก 1.02 เอ็มอีวี เรียกว่า เอ็สเคปพีกคู่ (double escape peak) เช่น โซเดียมให้รังสีแกมมาพลังงาน 1.36 และ 2.76 จึงเกิดโฟโตพีกที่ 1.36 และ 2.73 เอ็มอีวี จะเกิดเอ็สเคปพีกเดี่ยว 2.76 - 0.522 = 2.25 เอ็มอีวี และเอ็สเคปพีกคู่ที่ 2.76 - 1.03 = 1.74 เอ็มอีวี



รูปที่ 5.23 สเปคตรัมของโซเดียม-24 แสดงเอ็สเคปพีก

5.4.9 **เอ็กซ์เรย์พีก (x-ray peak) เนื่องจากขบวนการอินเทอนัลคอนเวอชัน**



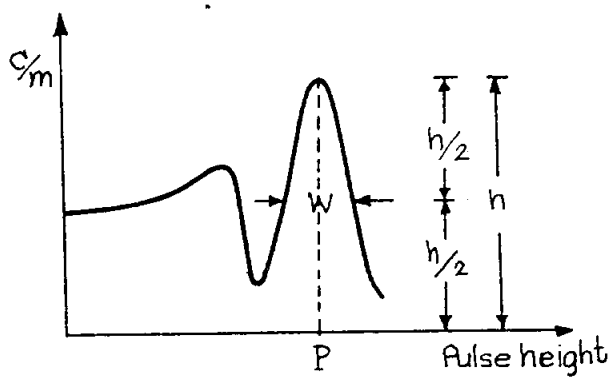
รูปที่ 5.24 สเปคตรัมของซีเซียม-137

ซีเซียม-137 แผ่รังสีเบต้าออกมาแล้วเปลี่ยนเป็นแบเรียม-137 ซึ่งอยู่ในภาวะกระตุ้น เมื่อแบเรียม-137 กลับสู่ภาวะพื้นฐาน จะให้รังสีแกมมาออกมา รังสีที่ออกมาพุ่งเข้าชนอีเล็คตรอนในวงโคจรชั้นนอกเคลื่อนเข้าไปแทนที่พร้อมกับคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอ็กซ์ พลังงาน 32 เคอีวี จึงเกิดแบเรียม-137 เอกเรย์ ^{137}(Ba x-rays) ขึ้นที่พลังงาน 32 เคอีวี

5.5 รีโซลูชัน (Resolution) ของหัววัด

รีโซลูชันของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ คือ อัตราส่วนระหว่างความกว้างตรงความสูงครึ่งหนึ่งของโฟโตพีก กับจุดกึ่งกลางของโฟโตพีก

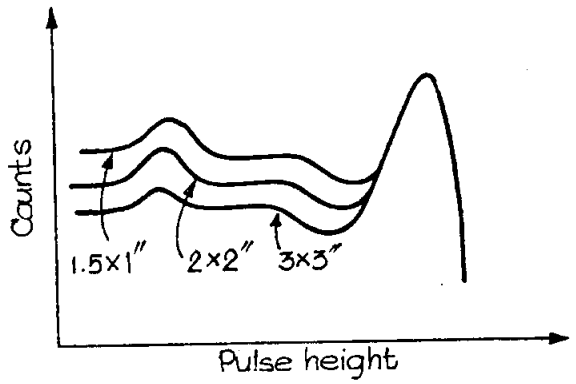
รีโซลูชัน = $\frac{\text{ความกว้างครึ่งหนึ่งของค่านับวัดสูงสุด (W)}}{\text{จุดกึ่งกลาง (P)}}$



รูปที่ 5.25 การหารีโซลูชัน

5.6 ผลเนื่องจากขนาดของตัวเรืองแสง

ถ้าตัวเรืองแสงมีความหนามาก รังสีแกมมาจะถูกดูดกลืนมาเกิดขบวนการโฟโตอีเล็คทริคมาก ขบวนการคอมป์ตันลดลง รูปที่ 5.26 แสดงผลเนื่องจากความหนาของตัวเรืองแสง โดยที่กำหนดให้โฟโตพีกมีค่าเท่ากัน เมื่อความหนาเพิ่มขึ้นขบวนการคอมป์ตันลดลง

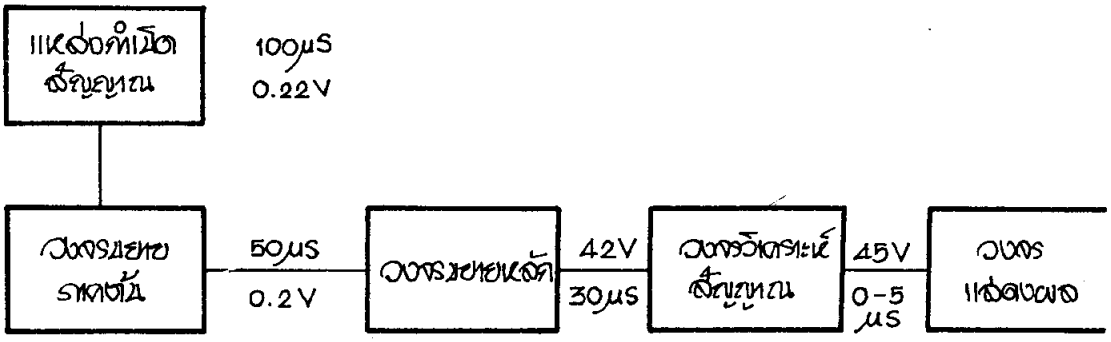


รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบสเปคตรัมของซีเซียม-137 โดยใช้ตัวเรืองแสงที่มีความหนาต่างกัน

ตารางที่ 5.2 แสดงพีกต่างๆ ที่พบในพัลซ์ไฮท์สเปคตรัม

พลังงานของรังสีที่หลุดออกจากผลึก	ต้นกำเนิด	พลังงานของพีกในสเปคตรัม	ชื่อพีก
1. none	Photelectric (plus x-rays) and multiple absorption process	E	photopeak
2. mc^2	pair production and escape of on annihilation photon	$E - mc^2$	single escape
3. $2mc^2$	pair production and escape of both annihilation photons	$E - 2mc^2$	double escape
4. $E = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}}$	compton 180° scattering	$T_{max} = \frac{E}{1 + \frac{E}{mc^2}}$	compton
5. E′ to E	single compton scattering	T_{max} To = 0	single compton distributive
6. 0 to E	multiple compton scattering	E To 0	multiple compton distribution
7. E_K - 28 KV	escape of iodene K x-rays	$E - E_K$	iodene escape peak
8. E escape E′ enters externally	external compton 180° scattering	$E' = \frac{E}{1 + \frac{2E}{mc^2}}$	baxkscatt peak

5.7 วงจรอีเล็คโทรนิคส์ของเครื่องวัดรังสี



รูปที่ 5.27 ไดอะแกรมแสดงวงจรอีเล็คโทรนิคส์ที่ใช้ในเครื่องวัดรังสี

สัญญาณจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อมาเข้าเครื่องนับ เครื่องนับรังสีไม่ได้นับสัญญาณทีเดียว แต่จะถูกเพิ่มขนาดและวิเคราะห์สัญญาณก่อน ดังนั้นวงจรเครื่องนับจึงประกอบด้วยวงจรต่างๆ อีกหลายชนิด คือ

1. ปรีแอมปลิฟายเออร์ (preamplifier) ส่วนมากนั้นอยู่หลังหัวรังสีหรือไม่มีส่วนนี้
2. วงจรขยายหลัก (main amplifier)
3. วงจรเลือกสัญญาณ (pulse selector)
4. วงจรตั้งเวลา (timer)
5. วงจรนับ (scalar or ratemeter)
6. วงจรจ่ายไฟแรงสูง (high voltage power supply)

วงจรเครื่องนับจะประกอบด้วยส่วนใดบ้างขึ้นอยู่กับความต้องการในการทำงานและชนิดของหัววัดรังสี เช่น ถ้าใช้หัววัดรังสีแบบไกเกอร์ก็อาจจะใช้เพียงวงจรขยายหลัก วงจรนับและวงจรจ่ายไฟแรงสูงเท่านั้น แต่ถ้าเป็นหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชัน และแบบสารกึ่งตัวนำต้องใช้ภาคต่างๆ ทั้งหมดและอาจจะเพิ่มวงจรพิเศษบางชนิด เช่น มัลติชันแนล แอนาไลเซอร์ (multichannel analyzer) เครื่องพิมพ์ (printer) หรือเครื่องบันทึก (recorder) อีกด้วย

5.7.1 ปรีแอมปลิฟายเออร์

สัญญาณเอาท์พุทจากหัววัดรังสีเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมีขนาดต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัดรังสี ดังแสดงในตารางที่ 5.3 เมื่อสัญญาณถูกส่งผ่านสายเคเบิล (cable) ยาวก่อนเข้าสู่วงจรขยายหลักจะมีขนาดลดลงและอาจจะเกิดการเพี้ยน (distortion) ได้ ดังนั้นจึง

ต้องมีวงจรขยายเรียกว่า ปรีแอมปลิฟายเออร์อยู่ระหว่างหัววัดรังสีละวงจรขยายหลัก เพื่อทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้มีขนาดพอเหมาะ ส่วนมากจะอยู่หลังหัววัดรังสี ปรีแอมปลิฟายเออร์เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ (impedence) ของหัววัดรังสีซึ่งสูงมากให้เหมาะกับวงจรขยายหลักซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำ และยังทำให้คาปาซิแตนซ์อินพุทของวงจรขยายหลักลดลงด้วย

บางครั้งอาจจะไม่ใช้ปรีแอมปลิฟายเออร์ก็ได้ถ้าหัววัดรังสีให้ประจุมากกว่า 10 พิคโคคูลอมป์ ต่อ 1 สัญญาณ และสายเคเบิลยาวไม่เกิน 1 เมตร ตัวอย่างเช่น หัววัดรังสีแบบไกเกอร์หรือหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชัน เมื่อใช้วัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานปานกลาง โดยใช้ร่วมกับหลอดทวีคูณที่มีอัตราการขยายสูง

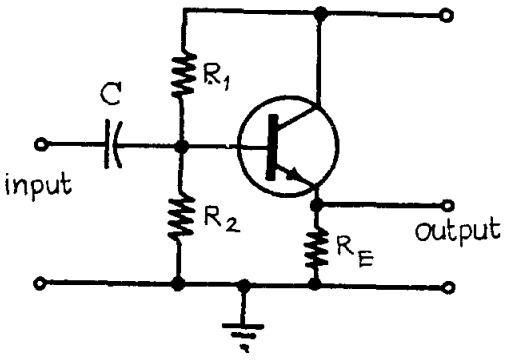
ตารางที่ 5.3 คุณสมบัติของสัญญาณจากหัววัดรังสีชนิดต่างๆ

หัววัดรังสี	ประจุ (พิคโคคูลอมป์)	ระยะเวลาที่เกิดสัญญาณ (μsec)
หัววัดโซลิดสเตท	$10^{2} - 10^{-1}$	10^{2}
หัววัดแบบสัดส่วน	$10^{-2} - 1$	1
หัววัดซินทิลเลชัน (สารอินทรีย์)	$10^{-2} - 10$	10^{2}
หัววัดไกเกอร์ (สารอินทรีย์)	10	50 – 300
หัววัดไกเกอร์ (แฮโลเจน)	10^{3}	50 – 300
หัววัดซินทิลเลชัน (NaI)	$10^{-1} - 10^{-2}$	0.25

ปรีแอมปลิฟายเออร์ชนิดที่ง่ายที่สุด คือ แคโทดฟอลโลเออร์ (cathode follower) และอีมิตเตอร์ฟอลโลเออร์ (emiter follower) เป็นวงจรที่ใช้มากที่สุด ทำให้เกิดอิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (impedence matching) ระหว่างหัววัดรังสีและวงจรขยายหลัก อัตราการขยายของวงจรนี้น้อยกว่า 1

สัญญาณที่เกิดจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อมายังตัวเก็บประจุ (capacitor) C ในรูปที่ 5.28 ตัวต้านทาน R_2 ต่อขนานกับ R_1 ทำให้เกิดการไหลของสัญญาณ สัญญาณเอาท์พุทได้จากการเปลี่ยนแปลงของกระแสจากอีมิตเตอร์ไปคอลเลคเตอร์ผ่านตัวต้านทาน RE ทำให้สามารถใช้สายเคเบิลที่มีขนาดยาวได้โดยมีคาปาซิแตนซ์ที่อินพุทของวงจรขยายน้อย การลดลงของสัญญาณจากค่าสูงสุดเป็นศูนย์ขึ้นอยู่กับค่า C และ R_1, R_2 ซึ่งมีผลต่อค่าคงที่เวลา (time constant)

ถ้าสัญญาณจากปรีแอมปลิฟายเออร์ มีรูปร่างไม่ตรงกับที่วงจรขยายหลักต้องการ จะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในระบบการวัดได้ ส่วนประกอบของวงจรที่ทำให้รูปร่างของสัญญาณเหมาะเพื่อใช้กับเครื่องวัดต่างชนิดกันจะไม่เหมือนกัน



รูปที่ 5.28 อีมิตเตอร์ฟอลโลเออร์

อัตราการขยายกระแส (กำลัง) ที่ใช้กันทั่วไปคือ 1,000 อัตราการขยายเป็นฟังก์ชันของปรีแอมปลิฟายเออร์ แต่จะกล่าวถึงความไว (sensitivity) ซึ่งหมายถึงศักย์เอาท์พุทได้จากประจุที่เกิดจากหัววัดรังสี หน่วยที่ใช้ คือ มิลลิโวลต์ ต่อพิคโคคูลอมป์ หรือ มิลลิโวลต์ ต่อล้านอีเล็คตรอนโวลต์

ปรีแอมปลิฟายเออร์อาจจะสร้างจากทรานซิสเตอร์อย่างเดียว หรือหลอดสูญญากาศอย่างเดียว หรือเป็นแบบผสมก็ได้ เนื่องจากทรานซิสเตอร์มีอินพุทอิมพีแดนซ์ การทำงานขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและมีสัญญาณรบกวน (noise) สูง ดังนั้นในการสร้างปรีแอมปลิฟายเออร์แบบผสมจึงใช้หลอดสูญญากาศทางอินพุท 1 หลอดหรือมากกว่า ซึ่งจะทำให้ได้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณและสัญญาณรบกวนสูง

เอฟอีที (FET = field effect transistor) ก็ใช้มากในการสร้างปรีแอมปลิฟายเออร์และทำให้การใช้ทรานซิสเตอร์อย่างเดียวประสบความสำเร็จมากขึ้น สัญญาณรบกวนในทรานซิสเตอร์ เกิดจากการรวมตัวของพาหะในบริเวณเบสเอฟอีทีที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ

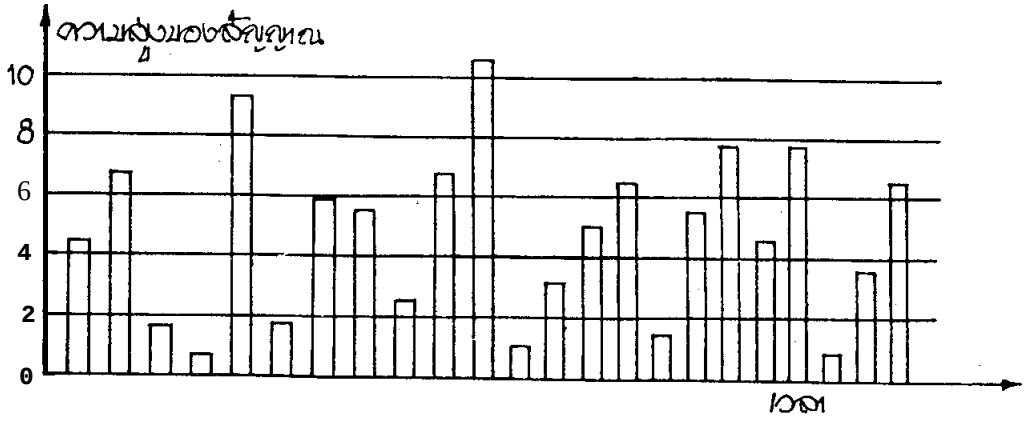
5.7.2 วงจรขยายหลัก

วงจรขยายหลักทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณที่มีขนาดเล็กจากปรีแอมปลิฟายเออร์เป็นสัญญาณที่มีขนาดพอเพียงและมีรูปร่างเหมาะที่จะส่งต่อไปยังวงจรเลือกสัญญาณ อัตราการขยายจะต้องพอเพียงที่จะทำให้วงจรเลือกสัญญาณทำงานโดยที่ยังคงทำให้หัววัดรังสีทำงานโดยที่ยังคงทำให้หัววัดรังสีทำงานในช่วงที่เหมาะสม อัตราการขยายจะต้องคงที่เสมอ แม้ว่าจะเกิดการ

เปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าในวงจรจ่ายกำลังหรือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือแฟคเตอร์ (factor) อื่นๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชั่วคราวหรือเป็นเวลานาน วงจรขยายต้องมีเวลาที่สัญญาณก่อตัวขึ้น (resetime) ที่เหมาะสม เพื่อว่าสัญญาณจากหัววัดจะไม่สูญหายเลย ในทางตรงกันข้าม เวลาที่สัญญาณก่อตัวขึ้นจะต้องไม่เร็วจนกระทั่งสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการถูกนำเข้ามาในระบบ ระดับของสัญญาณรบกวนที่ได้จากการรวมตัวของพาหะบริเวณเบสขึ้นอยู่กับคาปาซิแตนซ์อินพุท

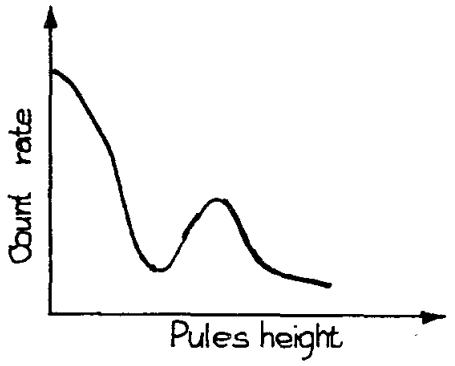
5.7.3 วงจรเลือกสัญญาณ

สัญญาณที่ ออกมาจากหัววัดรังสีและวงจรขยาย จะออกมาอย่างต่อเนื่องเป็นฟังก์ชันกับเวลามีขาดต่างๆ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของระบบตรวจจับ ชนิดและพลังงานของรังสี ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.29

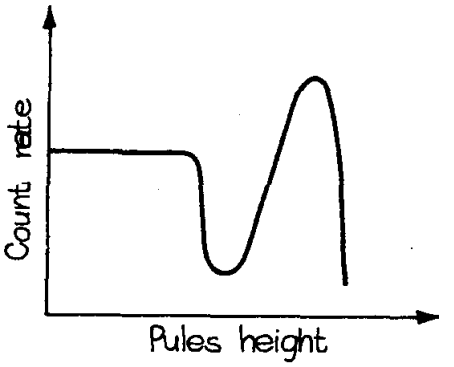


รูปที่ 5.29 สัญญาณจากวงจรขยาย

รูปที่ 5.30 ได้จากการเขียนกราฟระหว่างจำนวนสัญญาณที่มีขนาดมากกว่าขนาดหนึ่งกับขนาดนั้นเรียกการเขียนกราฟ เช่นนี้ว่า อินทีกรัลพล๊อต (integral plot) จากรูปที่ 5.29 จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณที่มีขนาดมากกว่า 0 ถึง 25 สัญญาณ มากกว่า 1 อยู่ 21 สัญญาณ มากกว่า 2 อยู่ 18 สัญญาณ และอื่นๆ นำค่าเหล่านี้ไปเขียนกราฟ จะได้กราฟรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 อินทีกรัลพล๊อต



รูปที่ 5.31 ดิฟเฟอเรนเชียลพล๊อต

จากการสังเกตดูรูปที่ 5.29 พบว่าสัญญาณที่มีขนาดมากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 มีอยู่ 4 สัญญาณ สัญญาณขนาดระหว่าง 1-2 มีอยู่ 4 สัญญาณ ระหว่าง 2-3 มีอยู่ 2 สัญญาณ และอื่นๆ นำไปเขียนกราฟเรียกกราฟเช่นนี้ว่า ดิฟเฟอเรนเชียลพล๊อต (differential plot) ทำให้ได้ดิฟเฟอ-เรินเชียลสเปคตรัมดังรูปที่ 5.31

อินทีกรัลพล๊อตและดิฟเฟอเรนเชียลพล๊อตเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล กราฟทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน อาจจะเขียนกราฟชนิดหนึ่งจากอีกชนิดหนึ่งได้ ถ้ารวมจุดออร์ดิเนต (ordinate) ของกราฟดิฟเฟอเรนเชียลเหนือค่าหนึ่ง จะได้อินทีกรัลโคออร์ดิเนต (co-ordinate) หรือจากออร์ดิเนตอื่น เพื่อให้ได้โคออร์ดิเนตของกราฟดิฟเฟอเรนเชียล ก็คือ จุดที่มีความเอียงมากที่สุดบนกราฟอินทีกรัล

วงจรขจัดสัญญาณ (discriminator) ที่ใช้มากที่สุดคือ วงจรชมิดท์ทริกเกอร์ (schmitt trigger) ทันเนลไดโอด (tunnel diode) เป็นอุปกรณ์ที่ดีในการสร้างวงจรขจัดสัญญาณที่มีความเชื่อถือได้ มีลิเนียร์ริตี้ (linearity) ดี และความไว (sensitivity) มาก อาศัยการดัดแปลงเพียงเล็กน้อยจะสามารถสร้างวงจรขจัดสัญญาณระดับต่ำ (lower level discriminator) และวงจรขจัดสัญญาณระดับสูง (upper level discriminator) ได้ เหตุที่ใช้ทันเนลไดโอด เพราะว่ามีขนาดเล็กทำงานด้วยความเร็วสูง สัญญาณรบกวนต่ำ และสูญเสียกำลังต่ำ ข้อเสียก็คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้กับไดโอดจะต้องคงที่มาก เพื่อให้จุดทำงานคงที่เพราะว่า คุณสมบัติของวงจรขจัดสัญญาณขึ้นอยู่กับจุดทำงานของไดโอดมาก

5.7.4 **สเกเลอร์** (Scaler)

คำว่าสเกเลอร์ หมายถึงอุปกรณ์หนึ่งชิ้นที่ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟตรง วงจรขยาย

หลักวงจรขจัดสัญญาณ วงจรฟลิฟฟลอฟ (flip-flop circuit) และแมคคานิคอลรีจีสเตอร์ (mechanical register) แต่ในปัจจุบันจะหมายถึงอุปกรณ์หรือเครื่องกลหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการนับสัญญาณที่ได้จากการวัดรังสี จึงคิดว่าสเกเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แล้วแสดงผลออกมา

วิธีแรกในการวัดสัญญาณคือ การใช้อีเล็คโทรแมคเนติครีจิสเตอร์ (electromagnetic register) รีจิสเตอร์ชนิดนี้ประกอบด้วยรีเลย์แมคคานิซึม (relay mechanism) และกระบอกที่มีตัวเลข 0 - 9 เขียนอยู่ ตัวเลขเหล่านี้ในชั่วขณะหนึ่งจะสังเกตเห็นเพียงตัวเดียวเท่านั้น เมื่อสัญญาณของกระแสผ่านคอยล์ อาร์มาเจอร์ (armature) จะถูกดึงทำให้แสดงตัวเลขขึ้นมาความเร็วสูงสุดที่รีจิสเตอร์ชนิดนี้จะทำได้คือ 10 - 25 สัญญาณใน 1 วินาที ซึ่งมีค่าน้อยเกินไปต่องานบางชนิด

สเกเลอร์ไฟฟ้าชิ้นแรก ประกอบด้วยชุดไบนารีอีลีเมนต์ (Binary element) ต่ออย่างอนุกรม

5.7.5 **ภาคแสดงผล**

เป็นเครื่องมือรายงานผลชิ้นสุดท้ายทำให้สามารถมองเห็นได้ด้วยตา มี 2 ชนิดที่ใช้แสดงค่านับเรียกว่า ดิจิทอล (digital) และแอนาล็อก (analog) ภาคแสดงผลชนิดแอนาล็อกจะแสดงอัตราการนับ โดยแสดงรูปการเคลื่อนที่ของเข็มมิเตอร์ หรือการเคลื่อนที่ของจุดบนฉากของหลอดแคโทด ไม่ได้แสดงจำนวนนับโดยตรง ภาคแสดงผลชนิดดิจิทอลจะแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข เช่น 1, 2, 500

5.7.6 **แหล่งจ่ายไฟสูง**

ขนาดของสัญญาณของหัววัดรังสีขึ้นอยู่กับไฟแรงสูงที่จ่ายให้แก่หัววัดรังสี ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟสูงจึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในเครื่องวัดรังสี ถ้าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย จะทำให้สัญญาณเอาท์พุทเปลี่ยนไปถึง 10 หรือมากกว่า อย่างไรก็ตามศักย์ไฟฟ้า มีผลต่อหัววัดไกเกอร์และโซลิดสเตทเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เสถียรภาพของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสูงขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายอย่าง เช่น เวลา อุณหภูมิ ศักย์อินพุท และตัวต้านทานโหลด

5.8 เครื่องมือชนิดต่างๆ

5.8.1 เครื่องวัดนิวตรอน

ใช้วัดนิวตรอน เนื่องจากนิวตรอนไม่สามารถทำให้เกิดไอออนได้ด้วยตัวเองจึงต้องใช้

นิวตรอนทำปฏิกิริยาทางนิวเคลียร์กับนิวเคลียสได้อนุภาคที่มีมวลออกมา ซึ่งสามารถทำให้ก๊าซในหัววัด เกิดการแตกตัวได้เสียก่อน ปกติจะใส่โบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) ลงในหัววัด ซึ่ง ณ อุณหภูมิปกติมันจะเป็นแกส เมื่อนิวตรอนเข้ามาก็จะทำปฏิกิริยากับนิวเคลียสของโบรอน

$$^{12}_{5}B + ^{1}_{0}N \longrightarrow {}^{11}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{5}Li + {}^{4}_{2}He + Q$$

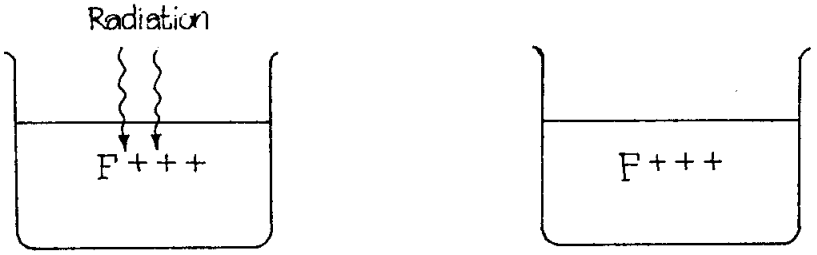
จากสมการจะเห็นว่าโบรอน-12 หนึ่งอะตอมจับเอานิวตรอนไว้หนึ่งตัวเกิดเป็นโบรอน-11 ซึ่งไม่อยู่ตัว จะแตกตัวให้ลิเธียม (litrium) และรังสีแอลฟากับพลังงาน Q ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.78 เอ็มอีวี ซึ่งเป็นพลังงานศักย์ของลิเธียมและรังสีแอลฟา ทั้งสองตัวนี้แหละที่จะทำให้เกิดไอออนตลอดระยะทางที่มันผ่านไปจะทำให้เปิดสัญญาณไฟฟ้าพอที่จะส่งไปยังเครื่องนับได้

5.8.2 **ฟิล์มแบดจ์** (Film badge)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีที่มีมานานชนิดหนึ่ง อาศัยหลักการที่ว่ารังสีสามารถทำปฏิกิริยากับฟิล์มถ่ายรูปได้ ทำให้เกิดความดำบนฟิล์มมากน้อยขึ้นกับปริมาณของรังสีแต่ละชนิด เป็นเครื่องมือที่สะดวกต่อการใช้ ราคาถูก ปัจจุบันยังใช้กันมากถึงแม้ว่ามีความผิดพลาดในการวัดมากกว่าเครื่องมือชนิดอื่น ใช้วัดปริมาณรังสีที่ผู้ทำงานทางด้านรังสีได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง

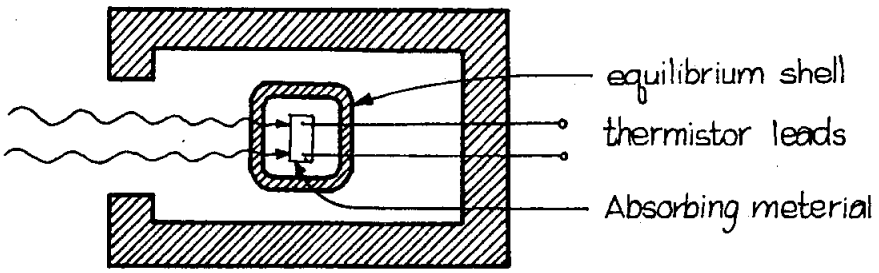
5.8.3 **เครื่องวัดรังสีชนิดสารเคมี**

ใช้หลักการสังเกตปริมาณอ๊อกซิเดชัน (oxidation) และปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อสารเคมีได้รับรังสีจำนวนหนึ่ง ปริมาณของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสี



5.8.4 **เครื่องวัดรังสีชนิดความร้อน** (Calorimeter)

เมื่อรังสีวิ่งผ่านตัวกลางจะคายพลังงานให้แก่ตัวกลางทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น ถ้าทราบปริมาณความร้อนก็จะทราบปริมาณรังสีได้



5.8.5 **เครื่องวัดรังสีชนิดพลาสติค** (Plastic)

เมื่อได้รับรังสีจะมีความดำเปลี่ยนไปตามปริมาณรังสี

5.8.6 **ทีแอลดี** (TLD = Themoluminesence dosemeter)

ผลึกบางชนิดเมื่อได้รับรังสีจะเกิดการแตกตัว ได้รับอีเล็คตรอนออกมา อีเล็คตรอนจะถูกจับอยู่กับแลททิสของผลึก (Crystal lattice) ในภาวะปกติ อีเล็คตรอนจะถูกจับอยู่อย่างถาวร แต่ถ้านำไปเผาด้วยความร้อนจะทำให้อีเล็คตรอนหลุดออกมา ซึ่งจะไปรวมกับประจุตรงกันข้ามพร้อมกับปล่อย แสงที่ส่งออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืน วัตถุที่ใช้กันมากที่สุดคือ ลิเธียมฟลูออไรด์ (LiF) เครื่องวัดแบบนี้คาดว่าจะเป็นที่นิยมใช้กันมากในอนาคต เพราะว่ามีขนาดเล็กสามารถใช้วัดปริมาณรังสี ณ ส่วนต่างๆ ของร่างกายได้

แบบฝึกหัดที่ 5

1. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดรังสีชนิดไกเกอร์
2. จงอธิบายหลักการทำงานของเครื่องวัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน
3. จงอธิบาย gamma ray s[ectrometry
4. จงอธิบายวงจรอีเล็คโทรนิคส์ที่ใช้ในเครื่องวัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน
5. จงอธิบาย Film bodge และ TLD