หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แกมมาสเปกโทรมิเตอร์ (Gamma Spectrometer)

2.1 บทนำ

การวัดปริมาณรังสีมีความจำเป็นอย่างมาก ในทางฟิสิกส์นิวเคลียร์เพื่อหาแหล่งสารกัมมันตรังสีรวมถึงอันตรายที่จะเกิดจากกัมมันตภาพรังสี จากระบบการวัดที่มีหัววัดอยู่หลายแบบ และหัววัดที่ใช้วัดรังสีแกมมาได้ดีคือหัววัดแบบซินทิลเลชัน(scintillation counter) ในการวิจัยนี้ใช้หัววัดแบบนี้ ชนิดที่มีโซเดียมไอโอไดด์(NaI)เป็นตัวเปล่งแสงวับ(scintillator) และมีแทลเลียม(Tl) เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดแสงวับ(scintillation)

2.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อผลึกโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลี่ยม)

อันตรกิริยา(interaction)ของรังสีแกมมากับผลึกหัววัด จะแตกต่างจากอันตรกิริยาของแอลฟาและเบตา เพราะรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การสูญเสียพลังงานของรังสีแกมมาเมื่อชนกับผลึกหัววัดจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

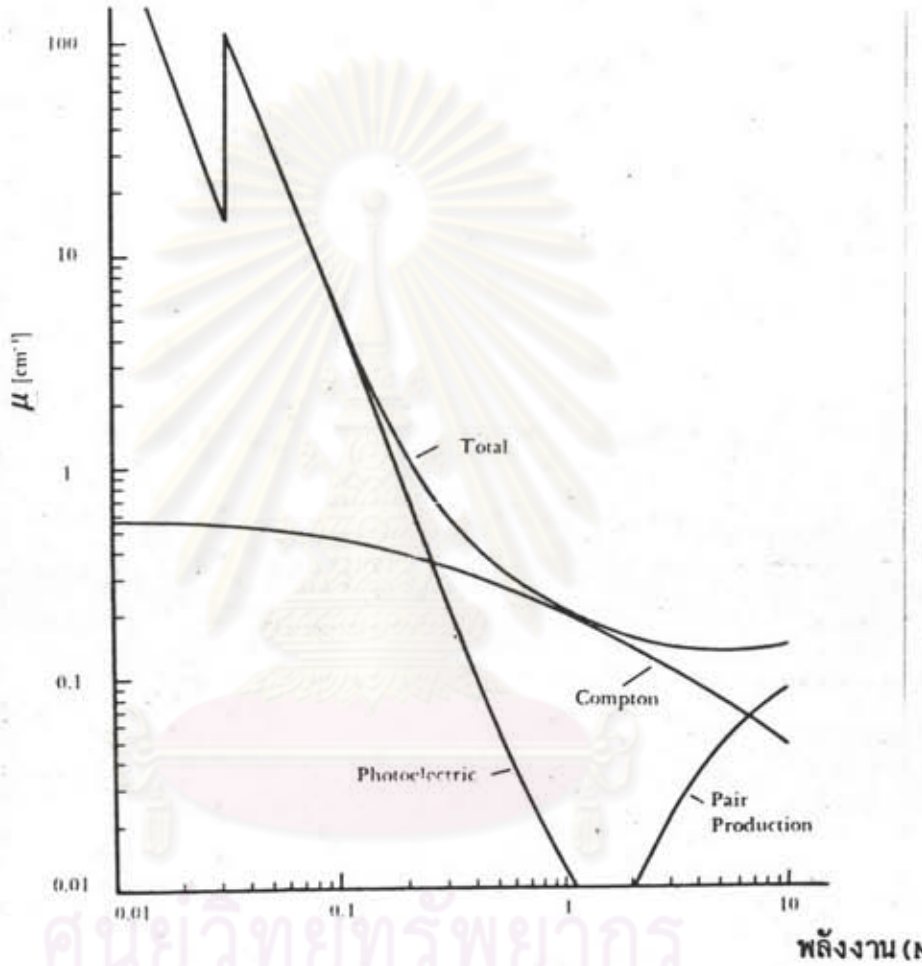
2.2.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) ซึ่งเกิดขึ้นได้เมื่อแกมมามีพลังงานต่ำ ประมาณ 0.1 MeV.

2.2.2 ปรากฏการณ์คอมพ์ตัน (Compton effect) เกิดขึ้นเมื่อแกมมามีพลังงานสูงขึ้น(ประมาณ 1 MeV.)

2.2.3 การผลิตคู่ (pair production) เกิดขึ้นเมื่อแกมมามีพลังงานอย่างต่ำเท่ากับ 1.02 MeV.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของอันตรกิริยาเหล่านี้เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างสัมประสิทธิ์การ**ขวางกั้น**ของผลึกโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลียม) กับพลังงานรังสีแกมมาได้แสดงดังรูปที่ 2.1 อันตรกิริยาทั้งสามแบบจะทำให้เกิดโฟตอนของแสงสว่าง และอิเล็กตรอนทุติยภูมิ(secondary electron) ขึ้นในผลึกและเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณรับวัดต่อไป

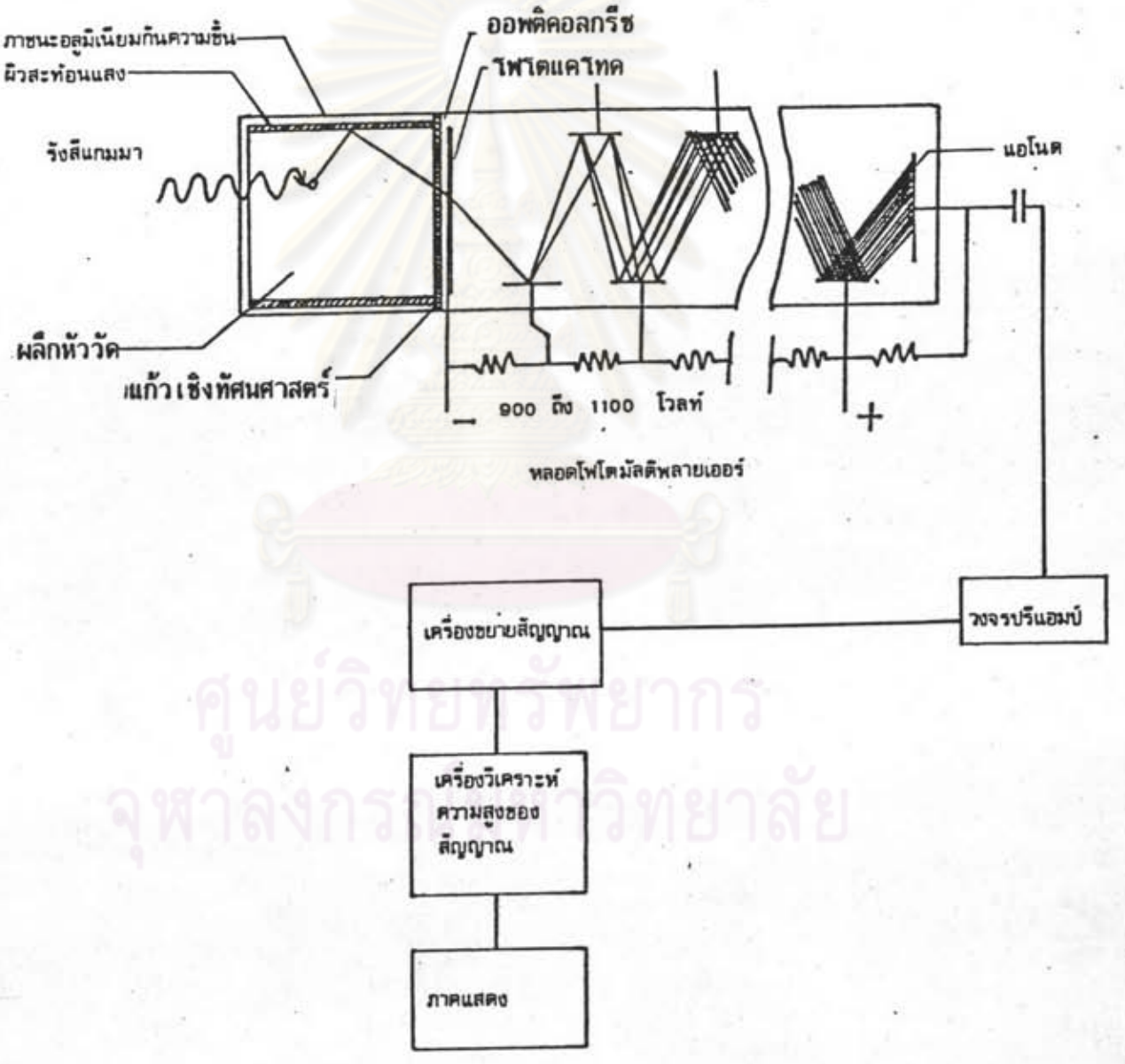


รูปที่ 2.1 แสดงอันตรกิริยาของรังสีแกมมาต่อผลึกโซเดียมไอโอไดด์ที่มีแทลเลียมเป็นตัวกระตุ้น[NaI(Tl)]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ผลึกหัววัดซินทิลเลชันโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม)

ผลึกโซเดียมไอโอไดด์บริสุทธิ์ทำให้เกิดแสงที่มีความยาวคลื่น 303 nm. เมื่อเติมสารเจือปนแทลเลียมลงไป จะทำให้ความยาวคลื่นแสงเปลี่ยนไปเป็น 410 nm. ซึ่งหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์มีความไวต่อแสงในช่วงนี้มากกว่า และจะทำให้การดูดกลืนแสงภายในตัวมันเองลดลงด้วย



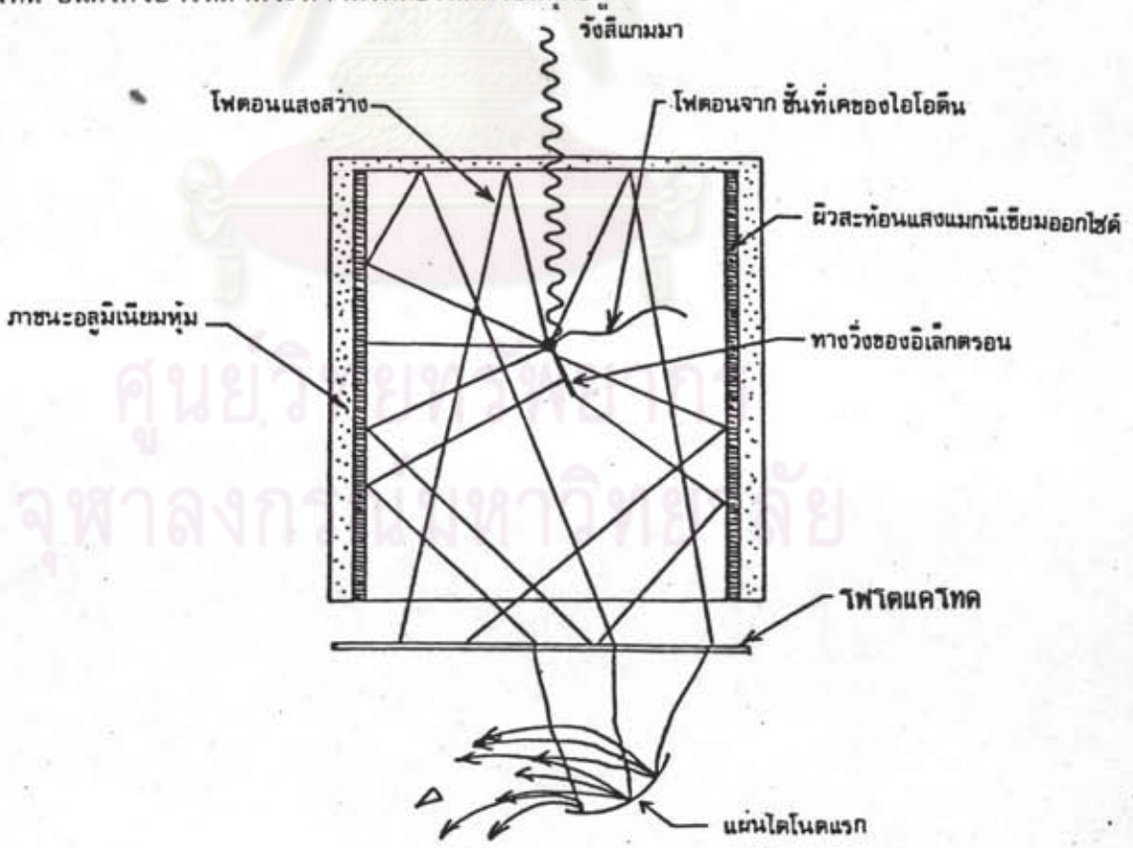
รูปที่ 2.2 แสดงระบบของเครื่องนับวัดรังสีแกมมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลึกหัววัดหุ้มไว้ด้วยอลูมิเนียมรูปทรงกระบอก เพื่อป้องกันความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ผลึกหัววัด เพราะผลึกหัววัดโซเดียมไอโอไดด์สามารถดูดความชื้นได้ดีซึ่งจะทำให้การโปร่งแสงเสียไป เนื่องจากผลึกจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองผิวภายในภาชนะอลูมิเนียมที่ห่อหุ้มผลึกฉาบไว้ด้วยตัวสะท้อนแสงแมกนีเซียมออกไซด์(MgO) เพื่อป้องกันการรั่วของแสงออกจากผิวผลึกและภาชนะห่อหุ้มผลึก ที่ปลายเปิดของภาชนะอลูมิเนียมปิดด้วยแก้วเชิงทัศนศาสตร์ (optical glass window) ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับผิวของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ตรงส่วนที่เรียกว่าออพติคอลกรีซ (optical grease) เพื่อเป็นตัวกลางให้แสงจากผลึกหัววัดเข้าสู่โฟโตแคโทดของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ได้

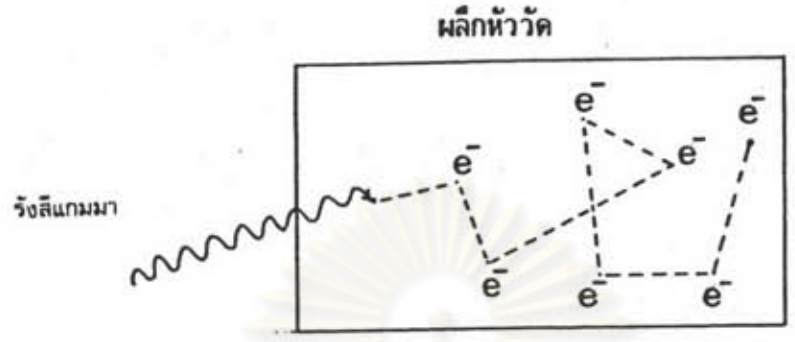
2.4 ทฤษฎีการเกิดโฟตอนภายในหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม)

เมื่อโฟตอนของรังสีแกมมาเข้าชนผลึกหัววัด ทำให้เกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 แบบดังกล่าวข้างต้น อันตรกิริยาเหล่านี้จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดซินทิลเลชันในผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม)

ขณะที่อิเล็กตรอนทุติยภูมิเคลื่อนที่ไปในผลึกและสูญเสียพลังงานให้แก่อะตอมของผลึกตลอดแนวทางที่ผ่านไป ทำให้อะตอมของผลึกหัววัดถูกกระตุ้น



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิขึ้น เมื่อรังสีแกมมาเข้าสู่ผลึกหัววัด

เมื่ออะตอมที่ถูกชนกลับคืนสู่สภาวะปกติก็จะปล่อยพลังงานออกมาเป็นโฟตอนของแสงที่มองเห็นด้วยตา และอัลตราไวโอเลต(ultraviolet)เป็นจำนวนมาก เรียกโฟตอนเหล่านี้ว่า ลูมิเนสเซนซ์ควอนตา (luminescence quanta) ซึ่งโฟตอนทุติยภูมิ จะกระจายไปทั่วทุกทิศทางในผลึกและจะสะท้อนไปมา ด้วยผิวสะท้อนแสงแมกนีเซียมออกไซด์ที่ฉาบภาชนะอลูมิเนียมไว้ ถ้าผลึกหัววัดไม่ดูดกลืนโฟตอนทุติยภูมิ โฟตอนจะสะท้อนครั้งสุดท้ายเข้าสู่ผิวของโฟโตแคโทดภายในหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ต่อไป ดังรูปที่ 2.1

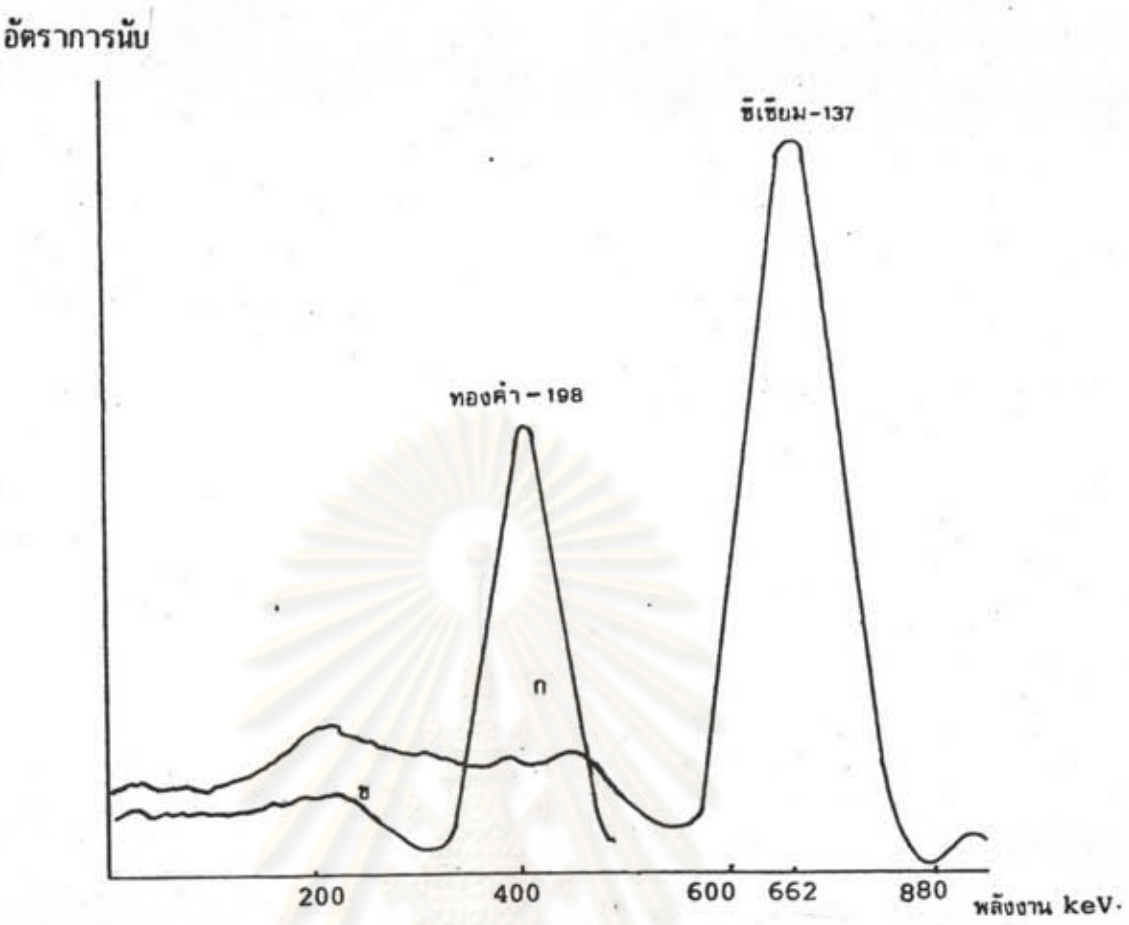
2.5 หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube)

เป็นหลอดสูญญากาศประกอบด้วยโฟโตแคโทด ซึ่งเป็นแผ่นโลหะผสมของซีเซียมกับแอนติโมนี มีไดโนดจำนวน 10-12 ตัว ต่ออนุกรมกัน แต่ละตัวมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกสูงขึ้นด้วยอัตราคงที่ เช่น 100 โวลท์ต่อหนึ่งไดโนด เป็นต้น และมีแอโนดหนึ่งแผ่น ดังรูปที่ 2.1

เมื่อแสงจากผลึกซินทิลเลชันชนโฟโตแคโทดจะเกิดโฟโตอิเล็กตรอนพลังงานต่ำหลุดออกมาจากผิว โฟโตอิเล็กตรอนแต่ละอนุภาคที่เกิดขึ้นจะโฟกัสไปสู่ไดโนดตัวแรกซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าแคโทด (cathode) อิเล็กตรอนจากแคโทดชนไดโนดทำให้ไดโนด(dynode) ปล่อย

อิเล็กตรอนทุติยภูมิออกมาหลายอนุภาค มีจำนวนแตกต่างกัน ขึ้นกับความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างไดโนดและแคโทด อิเล็กตรอนแต่ละอนุภาคเคลื่อนที่เข้าชนไดโนดตัวที่สอง ด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างไดโนดทั้งสองซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาเป็นทวีคูณ ขบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนครบทุกไดโนด อิเล็กตรอนจากไดโนดสุดท้ายจะเคลื่อนที่สู่แอโนด และทุกตัวถูกจับไว้ เกิดเป็นสัญญาณของกระแสไฟฟ้าออกจากแอโนดสู่วงจรขยายสัญญาณ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณนับต่อไป ถ้าการเพิ่มของอิเล็กตรอนจากแต่ละไดโนดด้วยแฟคเตอร์ 4 ดังนั้นไดโนด 12 ตัว จะให้อิเล็กตรอนทุติยภูมิ 4^{12} อนุภาคต่ออิเล็กตรอนที่เข้าชนไดโนดตัวแรก สัดส่วนการเพิ่มจำนวนของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับความเสถียร(stable) ของกำลังขยายของศักย์ไฟฟ้าของไดโนดแต่ละคู่ที่อยู่ใกล้กันและต้องมีค่าเท่ากัน กำลังขยายจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่ใส่ให้แก่แต่ละไดโนดเปลี่ยน ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์จะต้องเสถียรที่สุด ถ้าหัววัดทำงานถูกต้องสมบูรณ์พลังงานที่วัดได้ต้องไม่มีการเพี้ยน (distortion) และโฟโตพีคจะต้องแคบมากๆ ที่พลังงานค่านี้ สัญญาณขนาดแตกต่างกันจะทำให้โฟโตพีคมีความกว้างมากขึ้น

ความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ทำให้เกิดสัญญาณที่มีค่าพลังงานต่ำกว่าโฟโตพีคขึ้นระหว่างศูนย์ถึงค่าพลังงานใกล้เคียงกับโฟโตพีคดังรูปที่ 2.5 นอกจากนี้อาจมีสัญญาณพลังงานต่ำเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น ๆ คือ โฟตอนที่มีอันตรกิริยาแบบคอมพ์ตันกับผลึกหัววัดจะทำให้โฟตอนตัวเดิมมีพลังงานลดลงกระเจิงหนีออกจากผลึกหัววัด และอิเล็กตรอนที่หลุดจากอะตอมผลึกหัววัด (recoiled electron) ผลึกจะดูดกลืนพลังงานของอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นแสงสว่างตลอดแนวทางที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ แสงสว่างนี้ทำให้เกิดสัญญาณพลังงานต่ำมีค่าต่าง ๆ กัน ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานสูง คอมพ์ตันอิเล็กตรอนและโฟตอนที่กระเจิง (scatter) ออกจากผลึกจะมีพลังงานสูงด้วย ดังนั้นรังสีแกมมาพลังงานสูงมีโอกาสหลุดหนีออกจากผลึกนับวัดได้มากกว่ารังสีแกมมาพลังงานต่ำ ทำให้จำนวนอันตรกิริยาแบบคอมพ์ตันของรังสีแกมมาพลังงานสูงเกิดขึ้นมากกว่าพลังงานต่ำ เช่น รังสีแกมมาจากนิวไคลด์ของซีเซียม137 พลังงาน 0.662 MeV. มีจำนวนอันตรกิริยาแบบคอมพ์ตันมากกว่ารังสีแกมมาจากนิวไคลด์ของทองคำ198 พลังงาน 0.412 MeV. ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรังสีแกมมาจากซีเซียม 137 พลังงาน 0.662 MeV. จะให้จำนวนอันตรกิริยาแบบคอมพ์ตัน (ก) ได้มากกว่ารังสีแกมมาจากทองคำ 198 พลังงาน 0.412 MeV.(ข) เมื่อชนผลึกโซเดียมไอโอไดด์อันเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 วงจรขยายสัญญาณ (preamplifier and amplifier)

วงจรขยายสัญญาณประกอบด้วยปรีแอมปลิไฟเออร์ แอมปลิไฟเออร์ และวงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณมีหน้าที่ดังนี้

2.6.1 ปรีแอมปลิไฟเออร์ (preamplifier)

เป็นวงจรที่ต่อระหว่างหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ และวงจรแอมปลิไฟเออร์ มีหน้าที่หลัก 3 ประการคือ

2.6.1.1 ขยายสัญญาณ

2.6.1.2 ให้ความต้านทานของหัวนับวัดและแอมปลิไฟเออร์เท่ากัน (impedance matching)

2.6.1.3 จัดลักษณะของสัญญาณให้พอเหมาะกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอื่น ๆ

2.6.2 แอมปลิไฟเออร์ (amplifier)

เครื่องขยายสัญญาณในเครื่องมือนิวเคลียร์มีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการคือ

2.6.2.1 เพื่อขยายสัญญาณขนาดเล็กจากปรีแอมปลิไฟเออร์ซึ่งมีแอมพลิจูด (amplitude)มีขนาดเล็กเป็นมิลลิโวลท์(mV.) ให้พอเหมาะกับเครื่องวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณซึ่งมีระดับขนาดเป็นโวลท์(V.)

2.6.2.2 เพื่อเปลี่ยนรูปร่างของสัญญาณให้แคบลง เพื่อป้องกันการซ้อนกันของสัญญาณ (pulse pileup) และตัดสัญญาณรบกวนออก[5]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย