บทที่ 2

รังสีและเครื่องมือวัดรังสี

2.1 ต้นกำเนิดรังสี และอันตรกริยา (interaction) ของรังสีกับสสาร

รังสี หมายถึง พลังงานที่แผ่กระจายออกไปในตัวกลางใด ๆ ในรูปของอนุภาค หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะรังสีที่สามารถทำให้เกิดการแตกตัวของอะตอมของวัตถุ เมื่อมันวิ่งผ่านทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งได้แก่ รังสีอัลฟ่า รังสีเบต้า รังสีแกมม่า รังสีเอกซ์ และนิวตรอน

2.1.1 รังสีอัลฟ่า (Alpha Rays) รังสีอัลฟ่า คือกระแสอนุภาคอัลฟ่า (อนุภาคอัลฟ่าประกอบด้วย โปรตรอน และนิวตรอน อย่างละ 2 อนุภาค มีประจุ + 2) ที่พุ่งออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีบางชนิด ซึ่งมีพลังงานอยู่ในช่วง 4 – 9 เมกกะอิเลคตรอนโวลท์ (MeV) มีความเร็วประมาณ 2 x 10^8 ซม./วินาที จึงมีคุณสมบัติในการก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่น หรือเอกซ์ไซเทชั่น (ionization or excitation) ต่อระยะทางได้สูง แต่มีอำนาจการทะลุทะลวงผ่านวัตถุได้น้อย เนื่องจากเสียพลังงานมากในการชนแต่ละครั้ง อำนาจการทะลุทะลวงนี้จะมากขึ้นตามค่าของพลังงาน และในแต่ละค่าของพลังงาน จะลดลงเมื่อวัตถุที่ชนมีเลขอะตอมของธาตุ (atomic number) สูงขึ้น เช่น รังสีอัลฟ่าที่มีพลังงาน 5 MeV จะถูกกั้นหมดด้วยอากาศในระยะ 3.5 ซม. ในน้ำเพียง 0.003 ซม. เท่านั้น ดังนั้นกระดาษแผ่นบาง ๆ ก็สามารถกั้นรังสีอัลฟ่าได้

รังสีอัลฟ่า ส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสของธาตุหนัก ๆ ที่มีเลขอะตอมสูงกว่า 82 เช่น โพโลเนียม–210 เรเดียม–226 พลูโตเนียม–239 และ อะเมอริเซียม–241 เป็นต้น

2.1.2 รังสีเบต้า (Beta Rays) รังสีเบต้า คือ กระแสอนุภาคเบต้า (อิเลคตรอนหรือ โปสิตรอน) ที่พุ่งออกจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีบางชนิด ซึ่งมีค่าพลังงานตั้งแต่ศูนย์จน

ถึงค่าสูงสุดของการสลายตัวของแต่ละนิวเคลียส และค่าพลังงานสูงสุดจะอยู่ในช่วง 0.018 – 4.810 MeV เนื่องจากรังสีเบต้ามีมวลน้อยจึงวิ่งได้เร็วถึง 90–98 % ของความเร็วแสง ดังนั้นอำนาจการทะลุทะลวงในวัตถุจึงสูงกว่ารังสีอัลฟ่ามาก และอำนาจการทะลุทะลวงจะขึ้นกับค่าของพลังงานและเลขอะตอมของวัตถุที่ชนเช่นเดียวกับรังสีอัลฟ่า เช่น รังสีเบต้าที่มีพลังงาน 0.5 MeV จะถูกกั้นหมดในอากาศระยะ 175 ซม. ในน้ำ 1.8 ซม. และแผ่นอลูมิเนียมหนาเพียง 0.1 ซม. ก็กั้นได้หมด

อันตรกริยาของรังสีเบต้ากับสสาร นอกจากจะก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่นหรือเอกซ์ไซเทชั่นเหมือนรังสีอัลฟ่าแล้ว ในบางครั้งทำให้เกิดรังสีเอกซ์ได้ ที่เรียกว่า เบรมสตราลุง (bremsstralung) เนื่องจากอนุภาคเบต้าที่มีพลังงานสูงวิ่งผ่านอะตอมของวัตถุ เข้าใกล้นิวเคลียส จะเกิดแรงดูดซึ่งกันและกัน (เพราะมีประจุต่างกัน) แต่อนุภาคเบต้าวิ่งเร็วมาก จึงเพียงแต่วิ่งข้อมนิวเคลียสแล้วเลยไป การเปลี่ยนทิศทางนี้ทำให้สูญเสียพลังงานไปส่วนหนึ่ง ซึ่งจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนอนุภาคที่เป็นโปสิตรอน จะเกิดอันตรกริยากับอีเลคตรอนอื่น ๆ (annihilation) ได้รังสีแกมม่าที่มีพลังงาน 0.511 MeV 2 ตัว เกิดในทิศตรงกันข้าม ดังนั้นการป้องกันรังสีเบต้าที่มีพลังงานสูง ๆ จะต้องคำนึงถึงรังสีแกมม่าด้วย จึงต้องใช้วัตถุที่ประกอบด้วยธาตุหนัก เช่น เหล็ก ทองเหลือง หรือ ตะกั่ว

สารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเบต้า ที่ใช้มากคือ สตรอนเทียม–90, ทัลเลียม–204, คริพตอน–85 และ โพรมีเทียม–147

2.1.3 รังสีเอกซ์ (X-Rays) รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการคายพลังงานส่วนที่เกินออก เมื่ออีเลคตรอนวิ่งจากวงโคจร (shell) หนึ่งเข้าสู่วงโคจรที่มีพลังงานต่ำกว่า ซึ่งขาดอีเลคตรอนไป รังสีเอกซ์ที่เกิดจากสารกัมมันตรังสีจะมีค่าพลังงานในช่วง 0.0026 – 0.073 MeV ส่วนใหญ่สารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีเอกซ์มักจะมีรังสีแกมม่าที่มีพลังงานสูงรวมอยู่ด้วย ที่ให้เฉพาะรังสีเอกซ์มีน้อย เช่น อาร์กอน–37, ไอร์ออน–55, เจอร์มาเนียม–71 และซีเซียม–131 เป็นต้น แต่สารกัมมันตรังสีเหล่านี้มีครึ่งชีวิตสั้น ยกเว้น ไอร์ออน–55 ดังนั้น

มนุษย์จึงได้ผลิตอุปกรณ์เพื่อให้ได้รังสีเอกซ์เพียงอย่างเดียว และมีพลังงานในช่วงต่ำ ๆ ใช้แทนรังสีแกมม่า สิ่งประดิษฐ์นั้นมี 2 อย่าง คือ

2.1.3.1 หลอดรังสีเอกซ์ (X-Rays Tube) รังสีเอกซ์เกิดจากการยิงอีเลคตรอนที่ถูกเร่งด้วยความต่างศักดิ์ของสนามไฟฟ้าในหลอดสูญญากาศ วิ่งไปชนอีเลคตรอนของอะตอมของธาตุหนักที่เป็นเป้า (เช่น ทองแดง, ทังสะเตน) ทำให้อีเลคตรอนนั้นหลุดออกจากวงโคจร และเกิดรังสีเอกซ์ขึ้น ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น พลังงานของรังสีเอกซ์จะมีค่ามากตามค่าของความต่างศักดิ์ของสนามไฟฟ้า และค่าสูงสุดจะขึ้นกับชนิดของอะตอมที่เป็นเป้า และสามารถควบคุมความเข้มของปริมาณรังสีได้

2.1.3.2 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-Rays Source)[2] รังสีเอกซ์เกิดจากการยิงด้วยรังสีเบต้าจากสารกัมมันตรังสี เช่น สตรอนเทียม–90 ไปยังแผ่นโลหะบาง ๆ เช่น อลูมิเนียม ตะกั่ว รังสีเบต้าจะเกิดอันตรกริยากับอีเลคตรอนในโลหะ และเกิดผลเช่นเดียวกับหลอดรังสีเอกซ์ แต่รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถเปิดปิด หรือควบคุมปริมาณของรังสีได้ มีข้อดี คือ มีขนาดเล็ก ใช้งานได้สะดวก ไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า และระบบระบายความร้อน ไม่มีข้อจำกัดในการใช้งานเหมือนหลอดรังสีเอกซ์

อันตรกริยาของรังสีเอกซ์ กับสสาร เกิดเช่นเดียวกับรังสีแกมม่า ซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.1.4 รังสีแกมม่า (Gamma Rays) รังสีแกมม่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากนิวเคลียส ซึ่งอยู่ในสภาวะเอกซ์ไซเทด สเตท (excited state) และคายพลังงานส่วนที่เกินนั้นออกมาเป็นรังสีแกมม่า มีพลังงานตั้งแต่ 0.002 – 2.76 MeV นิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะดังกล่าว จะเกิดได้หลังจากการแผ่รังสีอัลฟ่า หรือ เบต้า หรือถูกยิงด้วยอนุภาคนิวตรอนแล้ว

เนื่องจากรังสีเอกซ์ และรังสีแกมม่า ไม่ใช่อนุภาคที่มีประจุ จึงทำให้เกิดไอออนไนเซชั่นได้น้อย อันตรกริยากับสสารที่สำคัญมี 3 แบบ คือ

2.1.4.1 โฟโตอีเลคตริก เอฟเฟคท์ (Photoelectric Effect) เป็นอันตรกริยาที่รังสีแกมม่าวิ่งชนอีเลคตรอนที่โคจรล้อมรอบนิวเคลียส โดยเฉพาะใน เค–เชลล์

(K - shell) แล้วถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้อีเลคตรอนนั้น ทำให้อีเลคตรอนหลุดออกจากวงโคจร เกิดไอออนไนเซชั่น และเกิดรังสีเอกซ์ เนื่องจากการแทนของอีเลคตรอนในวงโคจรรอบนอก อีเลคตรอนที่หลุดออกมานี้เรียก โฟโตอีเลคตรอน ซึ่งสามารถก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่น หรือเอกซ์ไซเทชั่นต่อได้อีก

อันตรกริยานี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าค่าของพลังงานของรังสีแกมม่าน้อยกว่าค่าพลังงานที่ใช้ยึดกันของอีเลคตรอนในวงโคจรนั้น ๆ และโอกาสที่จะเกิดนั้นได้สมมุติให้อะตอมเสมือนหนึ่งว่า เป็นเป้าที่มีพื้นที่ภาคตัดขวาง (cross section, 6) ขนาดต่างกัน ซึ่งจะโตหรือเล็กขึ้นกับพลังงานของรังสีแกมม่า และเลขอะตอมของธาตุที่รังสีผ่าน ($6_p \propto Z^4/E^3$) สำหรับอันตรกริยานี้จะมีโอกาสเกิดมากในธาตุหนัก และรังสีแกมม่าที่มีพลังงานต่ำ ๆ

2.1.4.2 คอมพ์ตัส เอฟเฟคท์ (Compton Effect) เป็นอันตรกริยาที่รังสีแกมม่าวิ่งชนอีเลคตรอนในวงโคจรนอก ๆ ของอะตอม แล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอีเลคตรอน ๆ ก็จะหลุดออกจากวงโคจร เกิดไอออนไนเซชั่น และอีเลคตรอนนั้นก็ไปก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่นหรือ เอกซ์ไซเทชั่นได้อีก ส่วนรังสีแกมม่าจะมีพลังงานลดลงจะมากหรือน้อยขึ้นกับมุมที่รังสีแกมม่าเปลี่ยนไป และโอกาสจะเกิดอันตรกริยานี้มีมาก เมื่อรังสีแกมม่ามีค่าพลังงานอยู่ในช่วงกลาง ๆ ($6_c \propto Z/E$) เช่น ในตะกั่ว จะเกิดเมื่อรังสีแกมม่ามีพลังงานตั้งแต่ 0.5 – 5 MeV

2.1.4.3 แพร์ โพรดัคชั่น (Pair Production) อันตรกริยานี้จะเกิดเมื่อรังสีแกมม่ามีพลังงานสูงกว่า 1.02 Mev วิ่งผ่านเข้าไปในสนามไฟฟ้าของนิวเคลียสแล้วหายไป กลายเป็นอนุภาคอีเลคตรอน กับอนุภาคโพสิตรอน 1 คู่ และอนุภาคทั้งสองจะไปก่อให้เกิดอันตรกริยาต่อไปอีก ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โอกาสที่จะเกิดจะมากตามเลขอะตอมของธาตุที่เข้าทำอันตรกริยา ($6_{pp} \propto Z^2(E - 1.02)$)

อันตรกริยาทั้ง 3 แบบ จะเกิดขึ้นกับอะตอมใดอะตอมหนึ่งก็ได้ และโอกาสที่จะเกิดขึ้นรวมกันขึ้นกับพื้นที่ภาคตัดขวางของอะตอมทั้งหมดในหนึ่งหน่วย พื้นที่ที่รังสีตกกระทบ ($=N6x$) และขึ้นกับปริมาณรังสีที่ตกกระทบด้วย (I_o) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$I = I_o \exp(-N6x)$ หรือ $I = I_o \exp(-\mu x)$...(2.1)

เมื่อ I : ปริมาณรังสีที่เหลือจากการเกิดอันตรกริยา

N : จำนวนอะตอมในหนึ่งหน่วยลูกบาศก์

x : ความหนาของวัตถุที่รังสีผ่าน

6 : พื้นที่ภาคตัดขวางรวมทั้ง 3 แบบ ในหน่วยบาร์น (barn)

(1 barn = 10^{-24} cm^2)

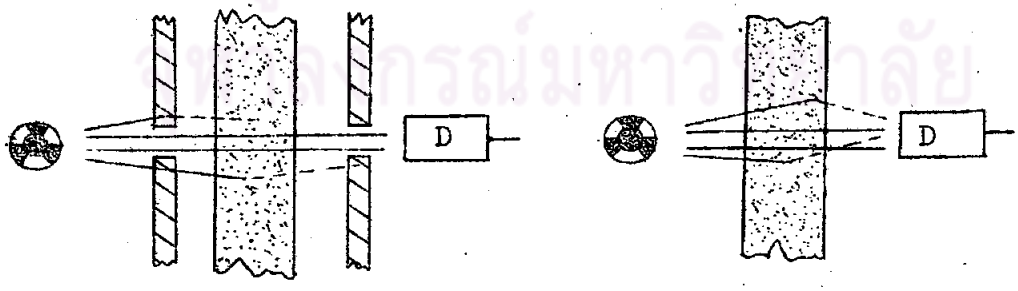
$\mu = N6$: สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (linear attenuation coefficiency)

ค่าของ μ หาได้จากตาราง ซึ่งจะบอกเป็น μ/ρ กับพลังงานของรังสีแกมมา ซึ่ง ρ เป็นความหนาแน่นของสาร

ดังนั้น μ จะขึ้นกับความหนาแน่นของวัตถุ และพลังงานของรังสี

สมการ 2.1 ใช้ได้เฉพาะค่าของพลังงานเพียงค่าเดียว และลำของรังสีเป็นลำแคบ (narrow beam) ถ้าเป็นลำกว้าง (broad beam) จะมีรังสีที่สะท้อนมาจากที่อื่นรวมอยู่ด้วย ทำให้ปริมาณรังสีสูงกว่าปกติ ดังรูปที่ 2.1 จึงต้องแก้ด้วยค่า บิลด์ อัพ แฟคเตอร์ (build up factor, B.) ฉะนั้นสมการทั่ว ๆ ไปจึงใช้

$I = B I_o \exp(-\mu x)$ .....(2.2)



narrow beam broad beam

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะลำของรังสี แบบลำแคบกับแบบลำกว้าง

ค่า B หาได้จากกราฟ หรือตาราง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ กับพลังงานของรังสีแกมมา และค่าของ μx

สารกัมมันตรังสีที่ให้รังสีแกมมาที่ใช้กันมากคือ โคบอลท์–60, ซีเซียม–137, โซเดียม–22, โกลด์–198 เป็นต้น

2.1.5 นิวตรอน (Neutron) นิวตรอนเป็นอนุภาคที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส เมื่อเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (fission) หรือถูกยิงด้วยรังสีอัลฟ่าในธาตุบางชนิด เช่น เบอริลเลียม อนุภาคนิวตรอนนี้ไม่คงตัว จะสลายตัวให้โปรตอน, เนกาตรอน และนิวตริโน (ครึ่งชีวิตประมาณ 12 นาที) และมีพลังงานตั้งแต่ 0 – 20 MeV (นิวตรอนที่มีพลังงาน 0.025 eV เรียกเทอรมัลนิวตรอน, ในช่วง 0.5 eV – 10 keV เรียก รีโซแนนซ์นิวตรอน, และในช่วง 10 keV – 20 MeV เรียก นิวตรอนเร็ว)

อนุภาคนิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้า จึงไม่เกิดอันตรกริยากับอีเลคตรอน แต่จะเกิดโดยตรงกับนิวเคลียสของอะตอม เกิดอันตรกริยาได้ 3 แบบ คือ

2.1.5.1 อิแลสติค สแคตเทอริง (Elastic Scattering) อนุภาคนิวตรอนชนกับนิวเคลียสของธาตุเบา ๆ เช่น ไฮโดรเจน เบอริลเลียมและโบรอน เป็นต้น แล้วตัวเองกระดอนไปโดยไม่ทำให้นิวเคลียสนั้นเปลี่ยนแปลงสภาวะ อันตรกริยานี้ อนุภาคนิวตรอนจะเสียพลังงานมาก ถ้าชนกับอะตอมของไฮโดรเจน จะเสียพลังงานครึ่งหนึ่งต่อการชนหนึ่งครั้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับนิวตรอนเร็ว

2.1.5.2 อินอิแลสติค สแคตเทอริง (Inelastic Scattering) อนุภาคนิวตรอนชนกับนิวเคลียส แล้วพลังงานส่วนหนึ่งจะสูญเสียไป ทำให้นิวเคลียสเปลี่ยนสภาวะเป็นเอกซ์ไซเทด สเตท และคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีแกมมา เช่น นิวตรอนเกิดอันตรกริยากับคาร์บอน

2.1.5.3 ปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reactions) อนุภาคนิวตรอนเกิดอันตรกริยา และรวมตัวกับนิวเคลียส ทำให้นิวเคลียสเกิดเอกซ์ไซเทชั่น และคายพลังงานส่วนที่เกินออกมาในรูปของอนุภาค หรือ โฟตอน อันตรกริยานี้ส่วนใหญ่จะเกิดกับเทอร์มัลนิวตรอนที่เรียกแอคติเวชั่น (activation) เช่น นิวตรอนเกิดอันตรกริยากับโบรอน-10 จะได้อนุภาคอัลฟ่า, กับลิเธียม-6 ได้อนุภาคอัลฟ่าเช่นกัน และกับแคดเมียมได้รังสีแกมม่า เป็นต้น

การป้องกันนิวตรอนจะใช้ธาตุหนักเหมือนรังสีแกมม่าไม่ได้ เพราะไม่เกิดอันตรกริยาใด ๆ จะต้องใช้น้ำ, พาราฟิน หรือ บอเร็ท-พาราฟิน (borated paraffin) ลดพลังงานของนิวตรอนจนเป็นเทอร์มัลนิวตรอนก่อน และจับด้วยแคดเมียม แต่จะเกิดรังสีแกมม่าขึ้นอีก จึงต้องใช้ตะกั่วหุ้มอีกชั้นหนึ่ง

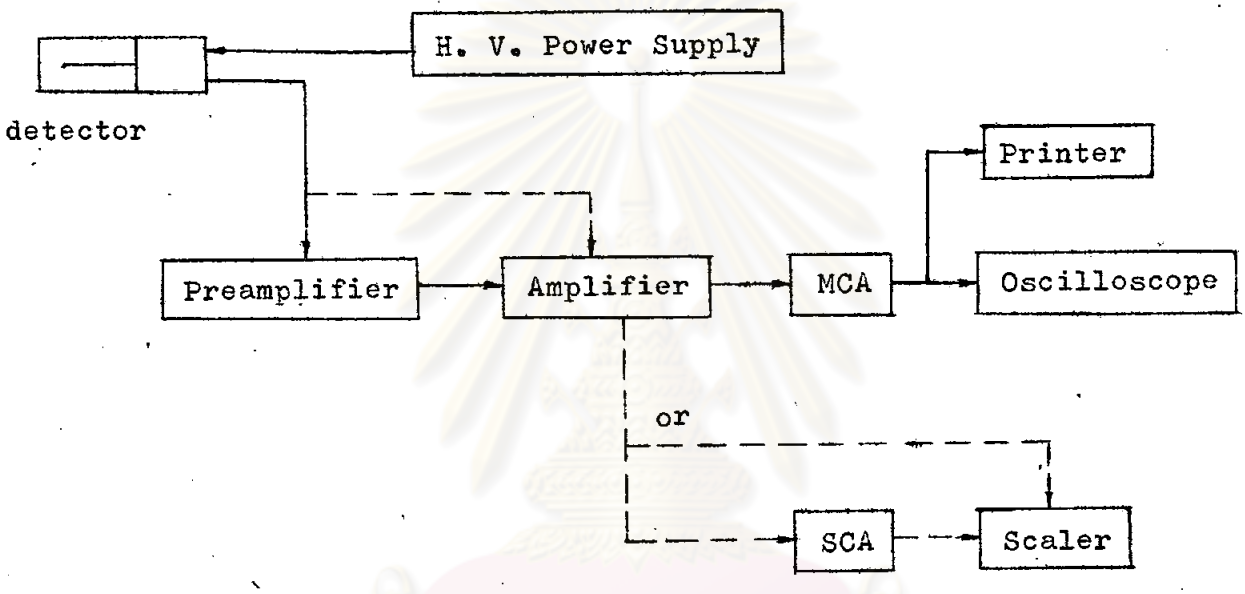
สารกัมมันตรังสีที่ให้นิวตรอน คือ คริพตอน-87, ซีนอน-137 และ คาลิฟอร์เนียม-252 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ เบอรีลเลียม + อะเมอริเซียม-241, เบอรีลเลียม + พลูโตเนียม-239 (ความแรงขนาด 50 mCi จะบรรจุในหลอดเหล็กไร้สนิม 15 มม.Ø x 37.5 มม.)

2.2 หัววัดรังสี (Detectors) หัววัดรังสีเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และส่งสัญญาณเข้าเครื่องบันทึกที่เหมาะสมต่อไป หัววัดแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดกาซ ชนิดเรืองแสง และชนิดกึ่งตัวนำ

2.2.1 หัววัดชนิดกาซ (Gaseous Detectors) หัววัดประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าซึ่งมีความต่างศักดาไฟฟ้า 2 ขั้ว ส่วนใหญ่จะทำขั้วลบ หรือแคโทด (cathode) เป็นรูปทรงกระบอก ทำด้วยสเตนเลส สตีล, นิคเกิล หรือโลหะอื่น ๆ ที่มี work-function สูง และขั้วบวก หรืออะโนด (anode) เป็นแกนกลาง ทำด้วยทังสะเตน ภายในบรรจุกาซ ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เช่น ไฮโดรเจน, อาร์กอน ขณะใช้งานต้องให้ความต่างศักดิ์ที่อิเลคโทรด ซึ่งมีค่าต่าง ๆ กัน ขึ้นกับขนาดของหัววัด และชนิดของการใช้งาน

หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

เมื่อรังสีเข้ามาจะเกิดอันตรกริยากับอะตอมของกาซ ได้อิออนบวก และลบ ด้วยความดันของกาซ และความต่างศักย์ที่เหมาะสม อิออนจะไม่รวมตัวกันอีก แต่จะวิ่งไปสู่แคโทด และอะโนดตามลำดับ เกิดกระแสไหลในวงจร ซึ่งเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องนับ อุปกรณ์ที่ใช้กับหัววัดชนิดกาซโดยทั่วไป จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามแผนภูมิในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงอุปกรณ์ และวงจรของหัววัดชนิดกาซ

หัววัดชนิดนี้เหมาะสำหรับวัดอนุภาคอัลฟ่าและเบต้า เพราะก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่นได้มาก ถ้าจะใช้วัดรังสีอื่น ๆ จะต้องดัดแปลงเล็กน้อย เช่น วัดรังสีเอกซ์หรือแกมม่า ต้องทำหลอดวัดด้วยธาตุหนัก ๆ เช่นเหล็ก-โครเมี่ยม เพื่อให้เกิดโฟโตอีเลคตริก เอฟเฟคท์ ถ้าวัดเทอร์มัลนิวตรอนต้องฉาบผิวภายในด้วยยูเรเนียม หรือโบรอน หรือใช้กาซโบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF_3) เพื่อให้เกิดอันตรกริยากับนิวตรอนได้อนุภาคอัลฟ่า และวัดนิวตรอนเร็วต้องฉาบด้วยพลาสติก หรือ พาราฟิน เพื่อให้โปรตอน (ไฮโดรเจน) เกิดเอกซ์ไซเทชั่น ซึ่งผลทั้งหมดจะไปก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่น กับกาซภายในหลอดต่อไป

หัววัดชนิดก๊าซ แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบ คือ ใช้ความต่างศักดิ์ในช่วงไอออนไนเซชั่น พรอพพอร์ชั่นนัล และไกเกอร์

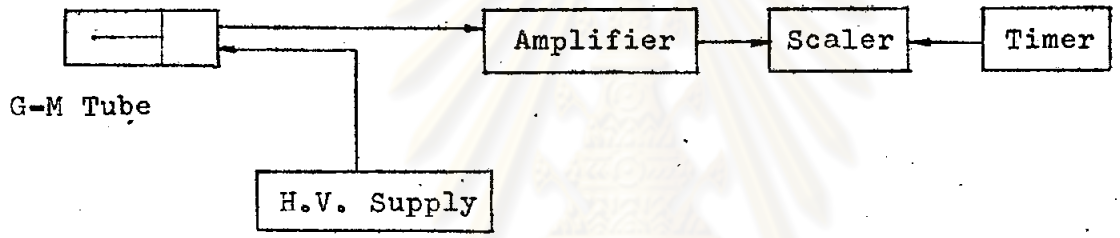
2.2.1.1 ไอออนไนเซชั่น แชมเบอร์ (Ionization Chamber) หัววัดใช้ความต่างศักดิ์ของอีเลคโทรดต่ำที่สุด ที่จะไม่ให้เกิดการรวมตัวของอิออน (ช่วง 50 – 150 โวลท์) ซึ่งเป็นช่วงที่จำนวนอิออน หรือกระแสไม่เปลี่ยนแปลงตามความต่างศักดิ์ จำนวนอิออนที่เกิดขึ้นจะเท่ากับการไอออนไนเซชั่นของรังสีเท่านั้น ทำให้อิออนวิ่งเข้าอีเลคโทรดได้หมดทันทีหลังการแตกตัว หัววัดแบบนี้จึงวัดได้ไม่จำกัดปริมาณของรังสี เหมาะสำหรับวัดรังสีอัลฟ่า และมวลที่แตกจากปฏิกิริยา (fission fragment) หรือใช้เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคล เช่น pocket dosimeter และวัดในบริเวณที่มีรังสีสูง ๆ ได้ เช่น วัดนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

2.2.1.2 หัววัดพรอพพอร์ชั่นนัล (Proportional Detector) หัววัดใช้ความต่างศักดิ์สูงกว่าช่วงของไอออนไนเซชั่น ซึ่งกระแสที่เกิดจากไอออนจะเพิ่มตามความต่างศักดิ์ของอีเลคโทรด ดังนั้นการใช้หัววัดแบบนี้ต้องควบคุมไฮโวทล์เตจให้คงที่ เมื่อรังสีเข้าหัววัดจะเกิดอิออนขึ้น อิออนเหล่านี้จะไปก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่นต่อไปอีก เพราะความต่างศักดิ์สูง อิออนจึงวิ่งเร็ว อิออน 1 คู่ อาจเพิ่มได้ถึง 10^4 คู่ การเพิ่มแบบนี้เรียกว่า มัลติพลิเคชั่น (gas-multiplication) จำนวนอิออนที่เกิดขึ้นจากไอออนไนเซชั่นจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี จึงทำให้หัววัดสามารถวัดแยกพลังงานได้ อุปกรณ์ที่ใช้วัดรังสีแบบแยกพลังงาน คือ ซิงเกิล แชนเนิล หรือ มัลติ แชนเนิล (single channel analyzer, SCA or multichannel analyzer, MCA)

ในขณะที่เกิดการมัลติพลิเคชั่นนี้ อิออนจำนวนมากกำลังวิ่งเข้าสู่อีเลคโทรด ทำให้สนามไฟฟ้าลดลง รังสีที่เข้ามาในช่วงเวลานี้จะไม่สามารถก่อให้เกิดไอออนไนเซชั่นได้เลย ซึ่งเรียกว่า รีสอลวิง ทาม (resolving time) และจะกลับสู่สภาพปกติเมื่อกลุ่มอีเลคตรอนเข้าอะโนดหมด หัววัดจึงมีขีดจำกัดในการวัดได้ประมาณ 200,000 ตัวต่อนาที ใช้วัดรังสีที่มีพลังงานต่ำ ๆ

ได้ดี (ช่วง 250 eV – 100 keV) ส่วนใหญ่ใช้วัดรังสีอัลฟา, รังสีเอกซ์ และนิวตรอน

2.2.1.3 หัววัดไกเกอร์ (Geiger Detector) หัววัดใช้ความต่างศักย์สูงขึ้นอีก เป็นช่วงที่จำนวนอิออนไม่เปลี่ยนแปลงตามความต่างศักย์ของอีเลคโทรด ช่วงนี้กาซมัลติพลิเคชันสูงมาก แม้แต่อิออนตัวเดียวก็ทำให้เกิดกระแสไหลในหัววัดได้ จึงไม่สามารถแยกพลังงานของรังสีได้ และให้สัญญาณไฟฟ้าสูง จึงไม่ต้องใช้พลีแอมป์ในการวัด อุปกรณ์จึงเปลี่ยนไป จากรูปที่ 2.2

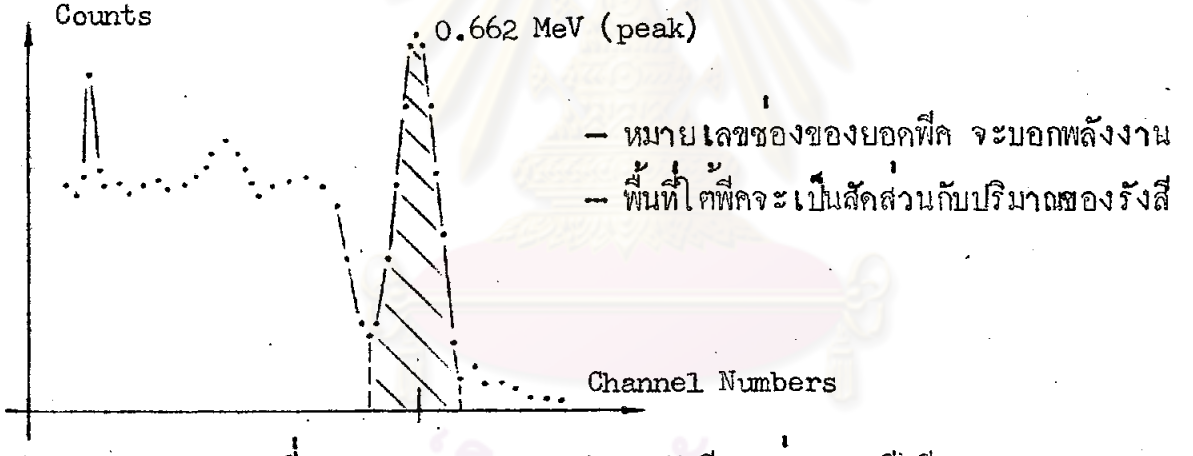


รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์และวงจรของหัววัดไกเกอร์

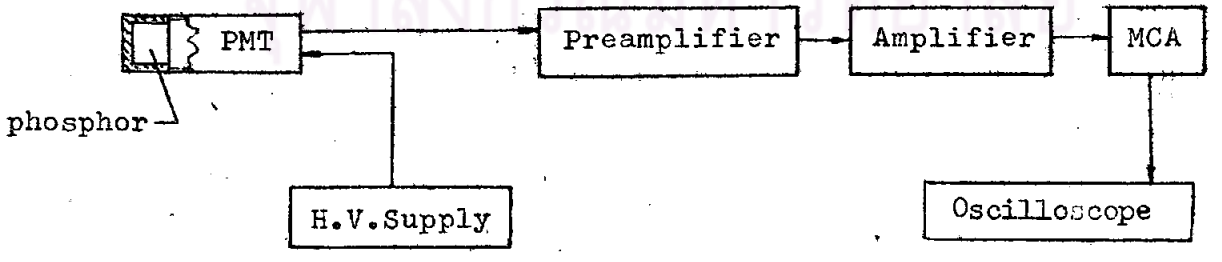
ในหัววัดไกเกอร์ อิออน 1 คู่ จะเพิ่มเป็น 10^8 คู่ ก่อนที่จะเข้าขั้ว และจะกลับสู่สภาพปกติเมื่ออิออนบวกเข้าแคโทดหมด อิออนบวกวิ่งช้า จึงทำให้รีสอลวิง ทาม สูงกว่าชนิดอื่น ขีดจำกัดในการวัดประมาณ 20,000 ตัว ต่อนาที หัววัดนี้ใช้กันแพร่หลายที่สุด สามารถวัดได้ทั้งรังสีอัลฟา, รังสีเบต้า และรังสีแกมม่า และอุปกรณ์การวัดเป็นแบบง่าย ๆ ราคาถูกกว่าชนิดอื่น ๆ

2.2.2 หัววัดชนิดเรืองแสง (Scintillation Detector) ส่วนประกอบของหัววัดคือ ฟอสฟอร์ (phosphor) ในรูปของแข็งหรือของเหลวที่โปร่งแสง และโฟโตมัลติฟลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT)

รังสีจะเกิดอันตรกริยากับฟอสฟอร์ แล้วเกิดแสงแวบขึ้น (scintillate) ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของอีเลคตรอนที่ถูกเอกซ์ไซเทชั่น ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่ในช่วงแสงสีเขียว–น้ำเงิน และแสง หรือโฟตอน จะไปเกิดอันตรกริยาต่อกับโฟโตแคโทดในโฟโตมัลติพลายเออร์ เกิดโฟโตอีเลคตรอนหลุดออกมา 1 ตัว ต่อโฟตอน ซึ่งอีเลคตรอนนี้จะถูกเร่งในสนามไฟฟ้า 10 ครั้ง อีเลคตรอนจะเพิ่มเป็น 10^6 ตัว ก่อนเข้าอะโนด อีเลคตรอนที่เกิดขึ้นครั้งแรกจะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสี หัววัดนี้จึงแยกพลังงานของรังสีได้ สำหรับมัลติแชนเนิล อะนาไลเซอร์ จะเป็นอุปกรณ์ที่รวบรวมสัญญาณที่มีขนาดเท่ากันไว้ในช่วงเดียวกัน หมายเลขช่อง (channel number) จะเป็นสัดส่วนกับค่าของพลังงานของรังสี ถ้าดูด้วยจอภาพ จะเห็นเป็นสเปคตรัมซึ่งมีพีค (peak) เป็นตัวบอก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงสเปคตรัมของรังสีแกมม่าจาก ซีเซียม–137



รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์และวงจรของหัววัดเรืองแสง

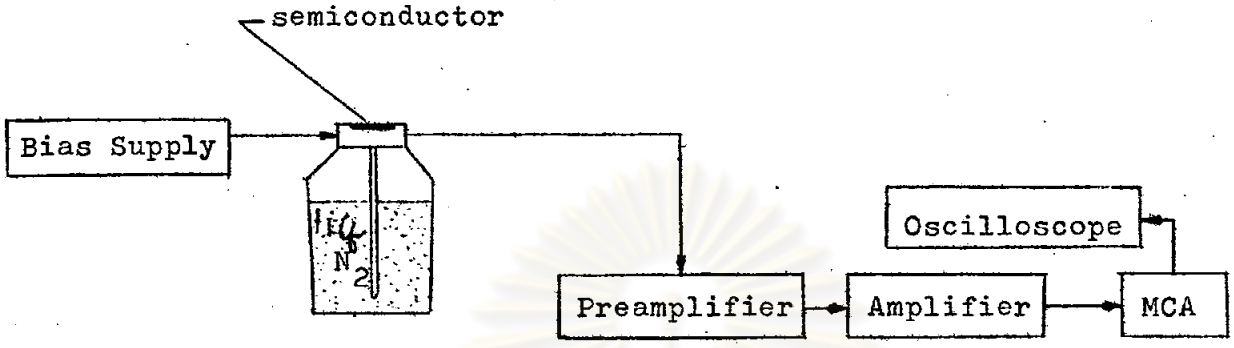
หัววัดชนิดเรืองแสง แบ่งตามลักษณะของฟอสฟอร์ได้ 3 แบบ คือ

2.2.2.1 Crystal Scintillators ใช้สำหรับวัดรังสี ที่มีพลังงานสูงได้ดี เพราะฟอสฟอร์มีความหนาแน่นมาก ชนิดของฟอสฟอร์ขึ้นกับชนิดของรังสีที่จะวัด เช่น รังสีอัลฟ่าใช้ ZnS(Ag), รังสีเบต้าใช้ anthracene หรือ plastic, รังสีแกมม่าใช้ NaI (T1), นิวตรอนใช้ LiI (Eu) เป็นต้น

2.2.2.2 Liquid Scintillators ใช้สำหรับวัดรังสีเบต้าที่มีพลังงานต่ำ ๆ และมีปริมาณน้อย โดยละลายสารในน้ำยาที่เหมาะสม เช่น toluene, xylene และฟอสฟอร์ที่ใช้เป็นของเหลวเรียกว่า PPO ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีให้เป็นคลื่นแสงสีม่วง และ POPOP ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงสีม่วงให้เป็นคลื่นแสงที่ไวต่อโฟโตอีเลคโทรด เนื่องจากปริมาณรังสีต่ำ จึงต้องลดสัญญาณรบกวน (noise) โดยใช้โฟโตมัลติพลายเออร์ 2 ชุด และอยู่ในเครื่องทำความเย็นที่ - 8°C

2.2.2.3 Gaseous Scintillators ใช้สำหรับวัดสารกัมมันตรังสีที่อยู่ในสภาพของกาซ ฟอสฟอร์ที่ใช้คือ ซีนอน หรือ คริพตอน และเปลี่ยนคลื่นแสงให้พอเหมาะด้วย tetraphenylbutadiene หรือ quaterphenyl

2.2.3 หัววัดกึ่งตัวนำ (Semiconductors) หัววัดประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด p-type และ n-type ซึ่งถูกรีเวอส ไบเอส (reverse bias) เมื่อรังสีเข้ามาจะเกิดอันตรกริยากับสารกึ่งตัวนำ เกิดอีเลคตรอน–โฮล แพร์ (electron - hole pair) ขึ้น และวิ่งไปยังขั้วเช่นเดียวกับหัววัดชนิดกาซ แต่พลังงานที่ทำให้เกิดไอออนไนเซชั่นเพียง 3.6 eV (ในกาซ 36 eV) และอีเลคตรอน–โฮล เคลื่อนที่ได้เร็วในสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้หัววัดมีความสามารถในการแยกพลังงานของรังสีได้ดีกว่าชนิดอื่น ๆ กล่าวคือ พลังงานสองค่าที่ใกล้เคียงกัน หัววัดชนิดกึ่งตัวนำนี้สามารถเห็นเป็น 2 พีค อย่างชัดเจน



รูปที่ 2.6 แสดงอุปกรณ์และวงจรของหัววัดกึ่งตัวนำ

หัววัดชนิดกึ่งตัวนำ แบ่งได้ 3 แบบ คือ

2.2.3.1 Surface Barrier ใช้วัดรังสีพวกอนุภาค (อัลฟา, เบต้า) ที่มีพลังงานต่ำ ประกอบด้วย n-type Silicon แผ่นบางหุ้มด้วยฉนวน และที่ผิวด้านหนึ่งของฉนวนฉาบด้วยออกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น p-type แล้วฉาบด้วยทองบาง ๆ อีกชั้นหนึ่ง หัววัดนี้อยู่ในสูญญากาศจะให้ประสิทธิภาพสูง

005760

2.2.3.2 Diffused Junction ประกอบด้วย p-type Silicon ที่ผิวด้านหนึ่งใส่ (diffusion) สารที่ทำให้เกิด ฟรี อีเลคตรอน เช่น ฟอสฟอรัส

2.2.3.3 Lithium Drifted ใช้วัดรังสีที่มีพลังงานสูงและโฟตอน โดยใส่ลิเธียมในซิลิกอน หรือในเจอร์มาเนียม หัววัด Si (Li) จะวัดรังสีเอกซ์หรือแกมมาได้ดีในช่วง 0 – 60 keV และหัววัด Ge (Li) วัดได้ดีในช่วง 60 – 100 keV สารกึ่งตัวนำเหล่านี้จะต้องหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลวตลอดเวลา เพื่อรักษาให้ลิเธียมคงอยู่ในสภาพเดิม จึงทำให้หัววัดชนิดนี้มีราคาสูงมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17959093