บทที่ 3
อุปกรณ์และเครื่องมือเครื่องใช้ในการวัดรังสี

3.1 ตู้เลี้ยงปลาพร้อมทั้งท่อและหัวพ่นน้ำ

ตู้เลี้ยงปลาที่ใช้เป็นตู้กระจก (Aquarium) พร้อมทั้งฝาปิดเพื่อป้องกันมิให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำที่ใช้เลี้ยงปลาเป็นน้ำบาดาลที่ทิ้งไว้ค้างคืน ต้องมีท่ออากาศและหัวพ่นน้ำตลอดเวลาเพื่อช่วยให้อากาศถ่ายเทได้ดี ทุกอย่างจักให้เหมือนธรรมชาติมากที่สุด อาหารของปลากะดี่คือรำข้าวละเอียด ให้อาหารวันละ 2 มื้อ เช้าเย็น

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

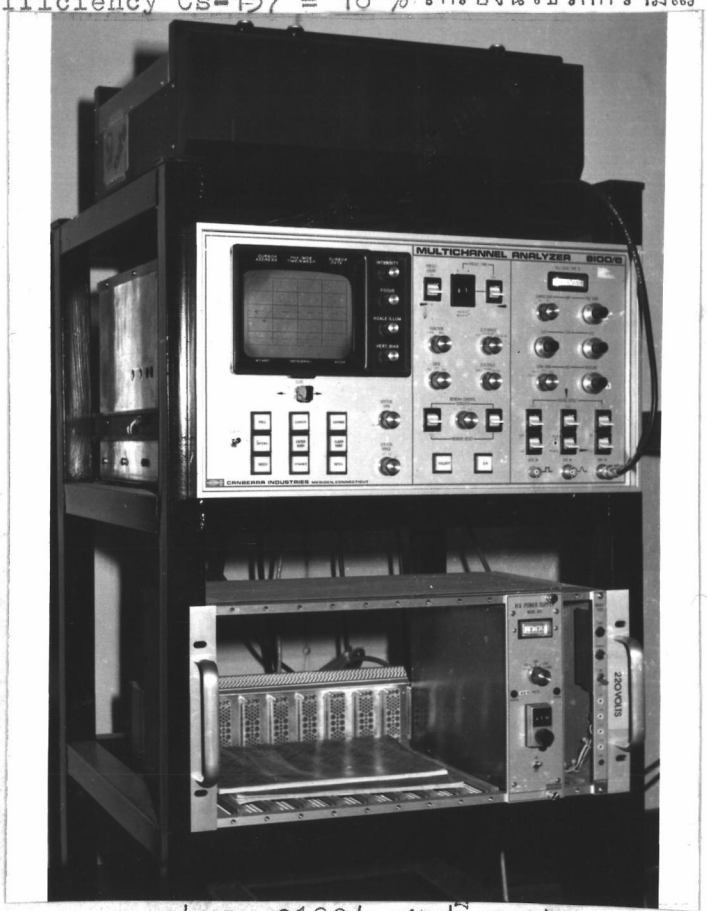
รูปตู้เลี้ยงปลา (รูปที่ 3-1)

3.2 ตู้เลี้ยงกุ้งฝอย ใช้ตู้ขนาดเล็กกว่าที่ใช้เลี้ยงปลา น้ำที่เอามาเลี้ยงเป็นน้ำคลอง เนื่องจากกุ้งฝอยอยู่ในคลองที่น้ำไม่เชี่ยว เราต้องทำให้สิ่งแวดล้อมเหมือนธรรมชาติมากที่สุด นอกจากนี้เราใส่จอก แหน ซึ่งรากของพืชเหล่านี้ จะมีสัตว์และพืชเล็ก ๆ ซึ่งเป็นอาหารของกุ้งได้ดี และมีท่ออากาศและหัวพ่นน้ำอยู่ตลอดเวลา

3.3 ตู้เลี้ยงผักบุ้ง ทำการทดลองเลี้ยงผักบุ้งที่อยู่ในน้ำ เราเลี้ยงในตู้กระจก และใส่ดินลงไปเล็กน้อยเพราะในดินจะมีปุ๋ยซึ่งเป็นอาหารของผักบุ้งได้

3.4 เครื่องวัดรังสี เครื่องวัดรังสีมี 2 เครื่อง ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

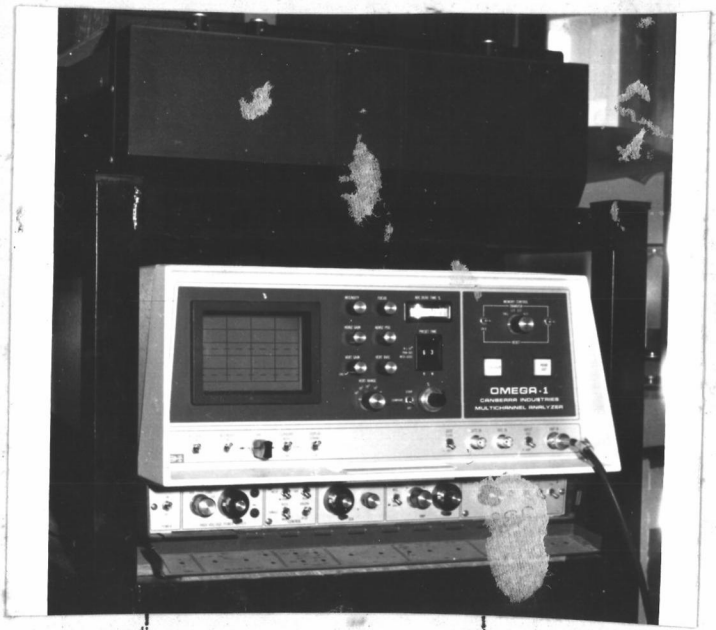
2.4.1 Multichannel analyzer 8100/e มี 4096 ช่อง ต่อเข้ากับหัววัด NaI (Tl) ขนาด 3" x 3" ซึ่งเป็นแบบตัน วัดที่ Gain 150 มี peak efficiency Cs-137 = 18 % เครื่องนี้ใช้วัดความแรงรังสีของปลากะดี่



รูป MCA 8100/e (รูปที่ 3-2)

รูปหัววัดรังสีพร้อมปลาซึ่งกำลังวัดรังสี รูปที่ 3-3

3.4.2 OMEGA-1 ซึ่งเป็น MCA มี 2048 ช่อง ต่อเข้ากับ NaI (Tl) detector ขนาด 3" x 3" ซึ่งเป็นแบบหลุมและต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์ ใช้วัดผักบุ้งและกุ้งฝอย วัดที่ gain 150 และมี Peak efficiency. Cs-137 = 87 % ดังรูป



รูปเครื่อง MCA GMEGA-1 รูปที่ (3-4)

รูปท่อวัดรังสี NaI (Tl) แบบหลุม รูปที่ (3-5)

3.4.3 หัววัดรังสีแบบ Scintillation NaI (Tl)

หัววัดรังสีแบบนี้ทำงานโดยอาศัยหลักการไอออนไนเซชั่น และ เอ็กซิเตชั่นของรังสีเมื่อผ่านวัตถุ จากนั้นเมื่อวัตถุกลับเข้าสภาวะปกติจะปล่อยแสงออกมา แสงที่ออกมานี้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และมีการขยายสัญญาณที่ได้ให้มีขนาดโตขึ้นก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังวงจรอิเลคทรอนิคส์เพื่อบันทึก การเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และการขยายสัญญาณจะเกิดขึ้นในส่วนของหัววัดรังสีที่เรียกว่า photomultiplier tube ในการเลือกหัว detector ใช้ NaI (Tl) ซึ่งเป็น Inorganic Crystal scintillation ชนิดหนึ่ง ในวงเล็บคือธาตุอีกตัวหนึ่งในปริมาณน้อยมาก ผสมอยู่ด้วย เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เกิดแสง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นขณะที่รังสีผ่านเข้าไปคือเกิด ionization และแล้วกลับเข้าสู่สภาวะปกติที่ใช้กันมากคือ NaI (Tl) หัววัดรังสีแบบนี้เหมาะใช้วัดรังสีแกมม่า เพราะรังสีแกมม่าสามารถผ่านเข้าไปในผลึกได้ดี

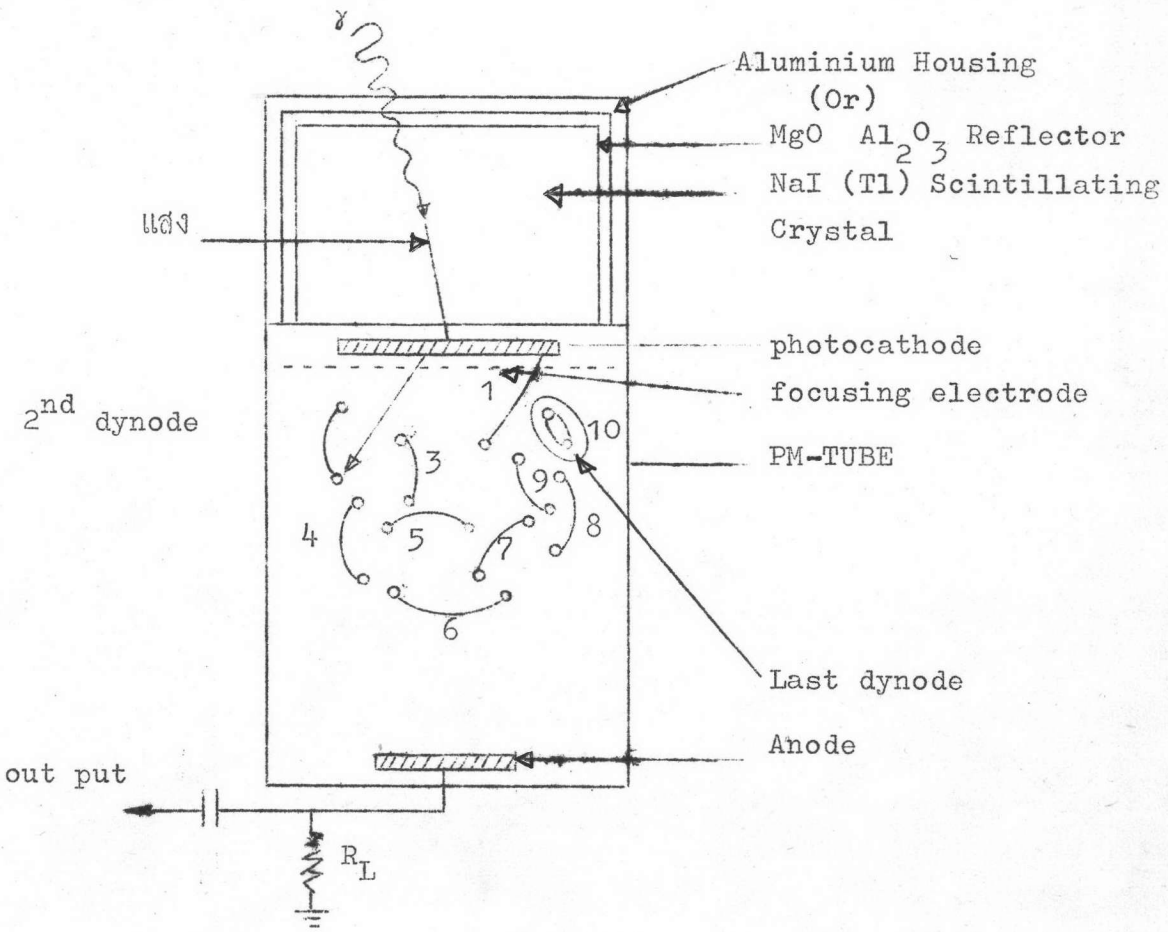
(11)

3.4.4 Photo multiplier tube

เป็นหลอดที่ให้กระแสของอิเลคตรอนจากขั้วลบ (cathode) แล้วขยายจำนวนด้วย dynode หลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงเข้าสู่ขั้วบวก (anode) เหมาะสำหรับวัดแสง (photon) ที่พลังงานระดับต่ำ ๆ ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ 3 อย่าง คือ

1. Photocathode สำหรับรับแสงแล้วปลดปล่อยอิเลคตรอนออกมาเรียก photoelectrons
2. Dynode สำหรับขยายจำนวน e^- จาก photocathode
3. Anode เป็นตัวรวบรวมสัญญาณของกระแสอิเลคตรอน

หลอด Photomultiplier (PM-tube)



NaI (Tl) Scintillation Crystal with PM-TUBE รูปที่ (3-6)

1) Photocathode

มักใช้โลหะผสม $SbCs_3$ ซึ่งมีคุณสมบัติไวต่อแสงสูงซึ่งขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงและเหมาะสำหรับสเปคตรัมของแสงที่มาจาก scintillator ทั่ว ๆ ไป

noise สัญญาณรบกวนมาจาก (thermionic emission current) กระแสซึ่งเกิดจากการเพิ่มของอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่นหลอดที่ใช้โลหะผสมแอนติโมนีกับซีเซียมจะมี noise = 5,000 thermionic อิเลคตรอน/วินาที/ตาราง ซ.ม. ที่อุณหภูมิห้อง

2) การเพิ่มจำนวนอิเลคตรอนใน dynode และการรวบรวม e^- ใน anode

dynode มักใช้โลหะผสม Ag-Mg เพราะใช้ได้กับอุณหภูมิสูงและสูญญากาศสูง อัตราส่วนอิเลคตรอนจาก dynode ตัวหลังต่ออิเลคตรอนจาก dynode ตัวก่อนเรียก (δ) Secondary/emission ratio จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพราะค่าศักดาไฟฟ้าของ dynode เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

การเพิ่มจำนวนของ e^- เมื่อใช้ dynode n ตัว คือ $M = \delta_1 b_2 \ldots\ldots b_n$ .....(7-6) และการเลือกใช้ศักดาไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าของ dynode ตามความเหมาะสมของ

ก) อัตราส่วน secondary/emission ratio

ข) ประสิทธิภาพในการรวบรวม e^- ของ anode

ค) ความคงที่ของขนาดสัญญาณที่ออกมา

ระบบของ dynode เป็นแบบ optical คือ การดึงเอา e^- ออกจาก dynode หนึ่งไปยังอีก dynode หนึ่ง โดยไม่มีการสูญเสีย e^- เลย และแต่ละ dynode จะมี mesh screen เพื่อช่วยในการรวบรวม secondary e^- ที่ออกมา

e^- ที่ออกมานั้นจะถูกโฟกัสโดยแรงไฟฟ้าสถิตแบบวงกลม จาก dynode ที่มีเส้นแรงไฟฟ้าเป็นตัวนำ e^- วิ่งไปจนถึง dynode ตัวถัดไป จนถึง dynode

ตัวสุดท้ายที่อยู่ใกล้กับ anode (ขั้วบวก) มีฉนวนไมก้า (mica shield) เป็นตัวกั้นระหว่าง photo cathode กับ anode เพื่อป้องกันไอออนส์บวกและย้อนกลับมาจาก anode สู่ cathode ซึ่งปฏิกริยานี้เรียกว่า Afterpulsing วิธีป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกริยานี้คือใช้โลหะผสมเงิน แมกนีเซียมเป็น dynode

ประสิทธิภาพในการรวบรวม e^- ของ dynode จะดีที่สุดเมื่อมีการจัดเรียง dynode เป็นแบบวงกลม (circular type) หรือแบบกล่อง (box type) ซึ่งจะให้ศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด แก่ dynode และจะได้ความคงที่ของการรวบรวม e^- สูงสุดตลอดผิวหน้าของ photocathode

การแยก Pulse Height Resolution ใน PM. TUBE

เมื่อแสงจากหัววัดแบบ scintillator ตกกระจาย photocathode จะก่อให้เกิด e^- หลุดออกมา และสุดท้ายเป็นสัญญาณออกมาจาก anode อาจมีค่าไม่คงที่และเป็นแบบการกระจัดกระจาย (distribution) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนระหว่าง Secondary emission ratio การวัดความมีขนาดเดียวกัน (Uniternity) ของสัญญาณที่ออกมาเรียกว่า Resolution (R) ดังสมการ

$$R = \frac{(\bar{q})^2}{\bar{q}^2 - (\bar{q})^2} = \frac{(\bar{q})^2}{2} \qquad (8)$$

โดย $\bar{q}$ = ความกว้างเฉลี่ยของสัญญาณ

$\bar{q}^2$ ความกว้างกำลังสองเฉลี่ยของสัญญาณ

และส่วนกลับของ Resolution เป็นดังนี้

$$\frac{1}{R} = \frac{\Delta^2}{n_e^2 M^2} = \frac{\delta_e^2}{n_e^2} = \frac{\delta_e^2}{n_e^2} + \frac{\delta_1^2}{n_e m_1^2} + \frac{\delta^2}{n_e m_1 m(m-1)} \qquad (9)$$

n_e = จำนวน e^- เฉลี่ยที่วิ่งมาถึง dynode ตัวแรก

m_1 = multiplication factor เฉลี่ยของ dynode ตัวแรก

m = multiplication factor ของแต่ละ dynode ที่ถัดจากตัวแรก

$M = m_1 m^{n-1}$ multiplication รวมทั้ง n stages

δ_e^2 = mean square deviation ของ n_c

δ_1^2 = mean square deviation ของ m_1

δ^2 = mean square deviation ของ m

จากสมการ (9) เทอมแรกซึ่งเป็นไปตามปรากฏการณ์ของการหลุดของ e^- เนื่องจากการขับของโฟตอน (photoelectric emission) ซึ่งมีค่าการกระจัดกระจายตาม Poisson ซึ่งในกรณี $\delta_e^2 = n_e$

เทอมที่สองและเทอมที่สามเป็นผลเนื่องมาจาก dynode ตัวแรกและตัวสุดท้ายตามลำดับ ซึ่งปรากฏการณ์ของ secondary-emission ไม่เป็นไปตาม Poisson's distribution

จากสมการที่ (9) พบว่าการเพิ่มค่า Resolution จะมีเมื่อเพิ่มจำนวนของ e^- ที่วิ่งมาสู่ dynode ตัวแรก ซึ่งอาจทำได้โดยการทำให้มีแสงสว่างมากที่สุดที่วิ่งมาสู่ photocathode

นอกจากนี้ Resolution ของ PM-Tube อาจทำให้สูงขึ้นโดยเพิ่มค่า multiplication per dynode และหลอด PM-tube ที่ค่าโวลต์เตจ รวมสูงสุดจำกัดค่าหนึ่งซึ่งเป็นตัวจำกัดค่าของ multiplication factor

dynode ตัวแรกอาจใช้ศักดาไฟฟ้า (Voltage) สูงกว่าโวลต์เตจเฉลี่ยมาก ๆ ซึ่งเมื่อต้องการค่า Resolution สูงสุดมักให้โวลต์เตจแก่ dynode ตัวแรกประมาณ 5 เท่าของโวลต์เตจเฉลี่ย

Time Resolution ใน PM Tubes

Time Resolution คือเวลาที่ใช้ในการส่งผ่าน e^- ไปตามหลอด PM ซึ่งเวลาดังกล่าวนี้มีค่าผกผันกับรากที่สองของโวลต์เตจ

$\tau \propto \frac{1}{V}$ มีค่าประมาณ $3\text{-}6 \times 10^{-8}$ วินาที และพบว่าเวลาดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเชิงสถิติอันเนื่องมาจากระยะทาง (path length) วิ่งของอิเลคตรอน ดังนั้นค่า Root mean square deviation

(RMS) ของเวลาดังกล่าว มีค่าประมาณ 0.5×10^{-9} วินาที

หลอด Photomultiplier โดยทั่วไป

ปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงค่า Resolution แก่ pulse height โดยการปรับปรุงการรวบรวมแสง (Light collection)

ความคงที่ของ e^- จาก photocathode (uniformity)

ประสิทธิภาพในการทำให้ e^- หลุดออกมาจาก photocathode (efficiency) และประสิทธิภาพในการรวบรวม photoelectron ของ dynode สู่ anode

3.4.5 ส่วนของ Multichannel Analyzer เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณซึ่งสามารถเก็บข้อมูลของสัญญาณได้ ในการทดลองเครื่องนี้ ใช้ Multichannel Analyzer 2 ชุด คือใช้ 2048 ซึ่งเป็น Multichannel Analyzer Model 4100 (OMEGA-1) และ Multichannel Analyzer Model 8100 e