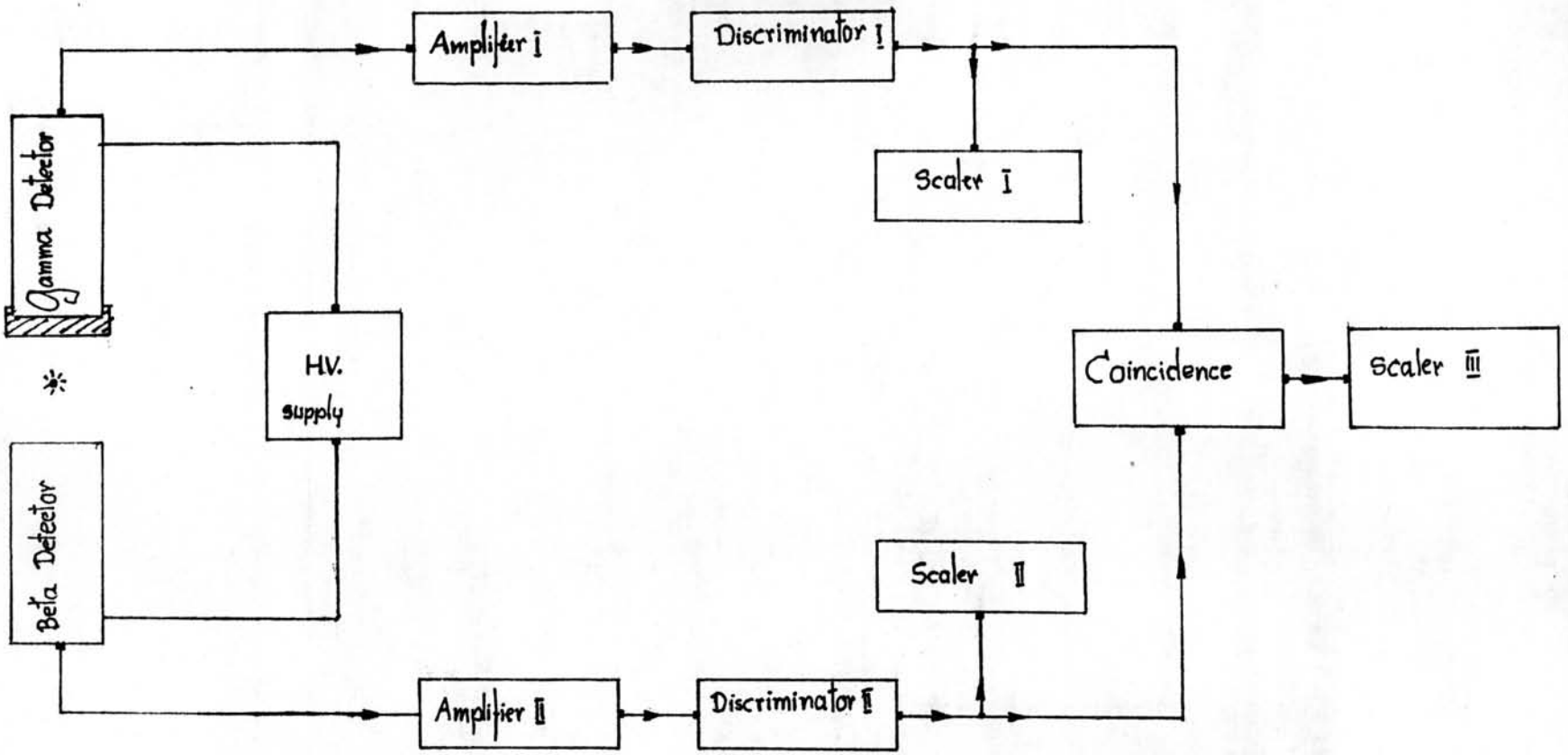
บทที่ 3
การทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 อุปกรณ์และการจัดอุปกรณ์การทดลอง

การทดลองใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ต่าง ๆ มาประกอบเป็นระบบนับแบบเบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ ดังรูปที่ 3.1

1. GM Counter 2 เครื่อง
2. ORTEC 401A/402B Bin and Power Supply 1 เครื่อง
3. ORTEC 456 High Voltage Power Supply 1 เครื่อง
4. ORTEC 485 Amplifier 1 เครื่อง
5. ORTEC 451 Spectroscopy Amplifier 1 เครื่อง
6. ORTEC 431 TIMER-SCALER 2 เครื่อง
7. ORTEC 775 Counter 1 เครื่อง
8. ORTEC 421 Integral Discriminator 2 เครื่อง
9. ORTEC 418A Universal Coincidence 1 เครื่อง
10. OAEP 8112 Timer 1 เครื่อง
11. Tektronix Type 547 Oscilloscope 1 เครื่อง
12. Canberra 4010 Multichannel Analyzer with NaI (Tl) 5" x 5"
13. Absorber Nuclear-Chicago Model C-101 1 ชุด



รูปที่ 3.1 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองระบบการวัดโคอินซิเดนซ์

3.2 ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการทดลอง (The Isotope Source Used in the Experiment)

ในการทดลองวัดความแรงสัมบูรณ์ของสารกัมมันตรังสีโดยวิธี เบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในการศึกษา เทคนิค การวัดแบบ เบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ มี 2 ชนิด คือ

3.2.1 ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (Standard source)

ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้มี โคบอลท์-60 (Cobalt-60) มีความแรงรังสีขนาดต่าง ๆ กันดังนี้

3.2.1.1 IAEA Standard Co-60 Source ความแรงรังสี 1.113 ไมโครคูรี (μCi) เมื่อ (1/1/1966)

3.2.1.2 IAEA Standard Co-60 Source ความแรงรังสี 10.9 ไมโครคูรี เมื่อ (1/1/1968)

3.2.1.3 The Radiochemical Centre, Amersham Standard Co-60 ความแรงรังสี 11.46 ไมโครคูรี เมื่อ (1/10/1974)

3.2.1.4 IAEA Standard Cs-137 Source ความแรงรังสี 10.64 ไมโครคูรี เมื่อ (1/1/1968)

3.2.1.5 The Radiochemical Centre, Amersham standard Pb-210 source ความแรงรังสี 4×10^4 dpm

3.2.2 ต้นกำเนิดรังสีเตรียมจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

3.2.2.1 ต้นกำเนิดรังสี ทอง-198 เตรียมขึ้นโดยนำแผ่นโลหะทองบริสุทธิ์ ขนาดความหนา ประมาณ 5 มิลลิกรัม ต่อ ตร.ซม. ตัดเป็นแผ่นเล็ก ๆ มีพื้นที่ประมาณ 0.1 ตร.ซม. แล้วนำไปอาบรังสีนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ปปว 1/1 ที่ตำแหน่งท่อลม (Pneumatic) ปฏิกริยานิวเคลียร์เป็นไปดังสมการ

$$\text{Au-197} + n_{th} \longrightarrow \text{Au-198} + \text{gamma-ray}$$

ทอง-198 ที่ได้นี้อาจแรงเกินไป ต้องทิ้งให้สลายตัว แล้วนำทอง-198 นี้มาวัดหาความแรงสัมบูรณ์โดยวิธี เบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์

3.2.2.2 ต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 มีลักษณะเป็นของเหลว นำมาหยดลงบนแผ่นกระดาษขนาด 0.1 ตร.ซม. ทิ้งไว้จนแห้ง แล้วจึงใช้เป็นต้นกำเนิดรังสี สำหรับวัดความแรงสัมบูรณ์ ต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 นี้ ได้นำมาจากกองผลิตไอโซโทป ซึ่งผลิตขึ้นเอง จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู ปปว 1/1

3.3 การทดลองหาค่า รีโซลวิง ไทม์ โดยวิธีต้นกำเนิดรังสีสองตัว

1. ใช้ต้นกำเนิดรังสี ซีเซียม-137 สำหรับหัววัดแกมมา และใช้ต้นกำเนิดรังสี ตะกั่ว-210 สำหรับหัววัดเบต้า

2. เปลี่ยนระยะห่างของต้นกำเนิดรังสี กับหัววัด ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ

3. จดบันทึกอัตราการนับรังสีเบต้า (N_β) แกมมา (N_γ) และอัตราการนับโคอินซิเดนซ์ (N_c) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

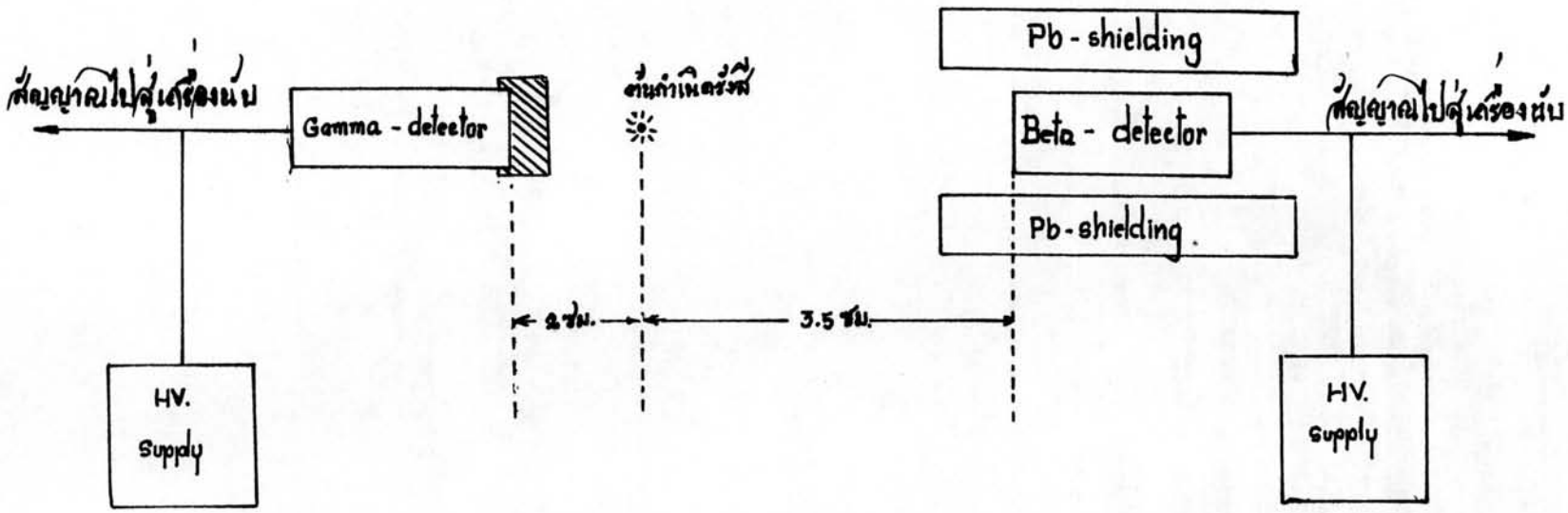
4. นำค่า $N_\beta . N_\gamma$ และ N_c มาเขียนกราฟโดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least-square method) ช่วยกำหนดเส้นกราฟ

5. ความชัน (Slope) ของกราฟเส้นตรง $= 2\tau$

τ = รีโซลวิง ไทม์ ของวงจรโคอินซิเดนซ์

3.4 การจัดหัววัดรังสี และการวัดความแรงสัมบูรณ์ต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 และทอง-198

การทดลองได้จัดตั้งหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 3.2 หัววัดรังสีแกมมาใช้พลาสติคหนา 1.0 ซม. เป็นเครื่องกั้นรังสีเบต้าจากต้นกำเนิดที่หน้าต่างของหัววัด ระยะจากต้นกำเนิดถึงหัววัดรังสีแกมมา และเบต้า มีค่า 1 ซม. และ 3.5 ซม.



รูปที่ 3.2 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดลองวัดตามแขนบีบบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน - 131 และ ทอง - 198

ตามลำดับ สำหรับต้นกำเนิดรังสี ไอโอดีน-131 และทอง-198

เนื่องจากหัววัดรังสีเบต้า มีแบคกราวนด์ (Background) สูงกว่าหัววัดรังสีแกมมาจึงได้จัดหัววัดรังสีเบต้าไว้ในตะกั่วกำบังรังสี เพื่อให้แบคกราวนด์ของหัววัดรังสีเบต้าอยู่ในระดับเดียวกับของหัววัดรังสีแกมมา

การนับต้นกำเนิดรังสีแต่ละตัวใช้เวลา 1 ชั่วโมง แบคกราวนด์ของแต่ละช่อง (Channel) ใช้เวลานับครั้งละ 1 ชั่วโมง หลายครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5 การหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีเบต้าที่ไวต่อรังสีแกมมา $(E_{\beta})_{\gamma}$

1. วางต้นกำเนิดรังสีไว้หน้าหัววัด ดังรูปที่ 3.2

2. นำแผ่นดูดกลืนรังสี (Absorber) ที่มีความหนาขนาดต่าง ๆ วางกั้นระหว่างหัววัดเบต้ากับต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 3.2 โดยใช้กระดาษที่มีความหนาประมาณ 0.937 มิลลิกรัม ต่อ ตารางเซนติเมตร กั้นหน้าหัววัดรังสีเบต้า และเพิ่มขึ้นทีละแผ่น ๆ

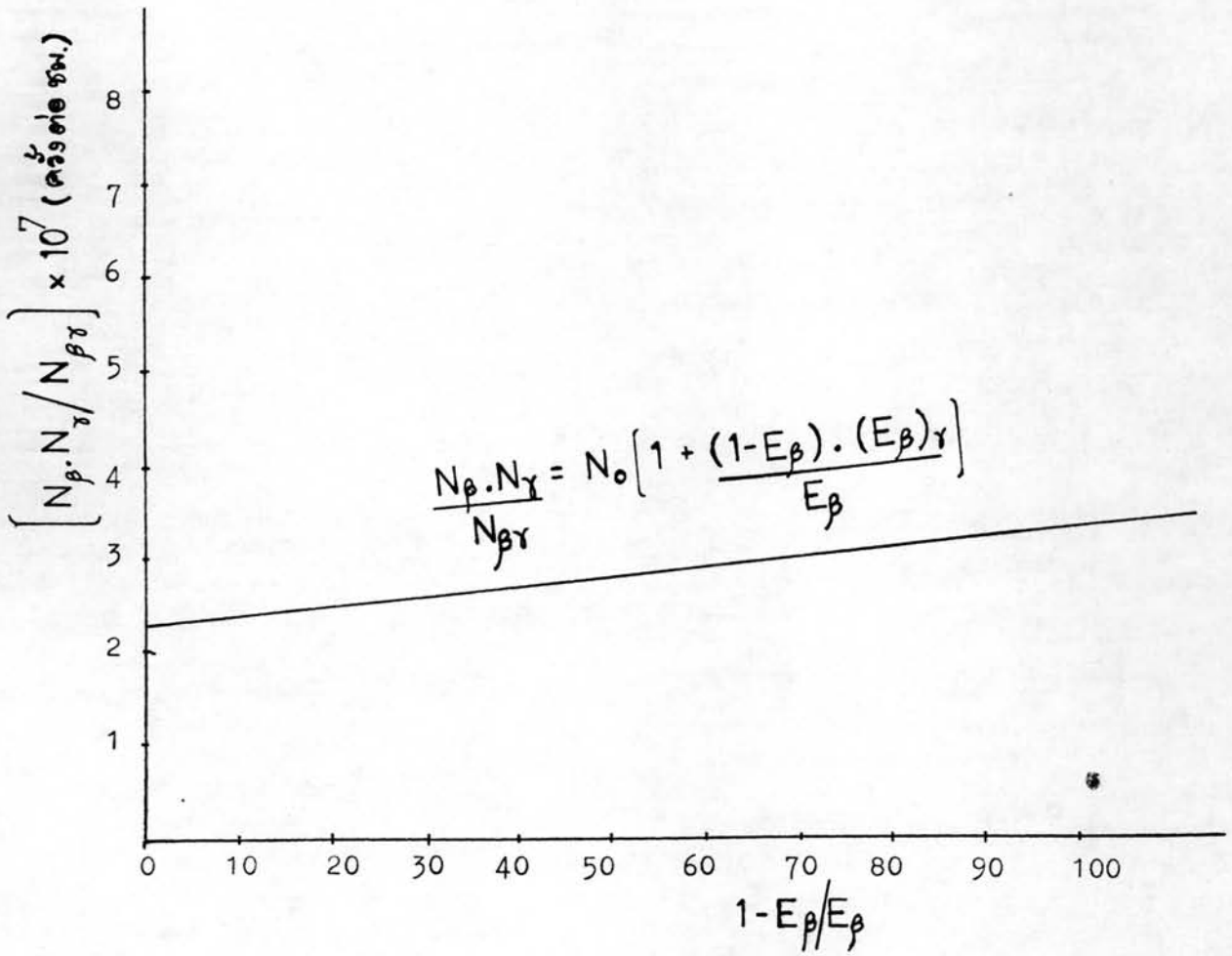
3. บันทึกอัตราการนับรังสีเบต้า แกมมา และ โคอินซิเดนซ์ (โดยเปลี่ยนค่าความหนาของแผ่นดูดกลืนทีละแผ่น จนกระทั่งอัตราการนับรังสีของเครื่องนับเบต้าเกือบไม่เปลี่ยนแปลง) นำค่า N_{β} N_{γ} และ N_c นี้มาหักลบแบคกราวนด์และ ชานซ์-โคอินซิเดนซ์ แล้วนำค่า $\frac{N_{\beta} \cdot N_{\gamma}}{N_{\beta\gamma}}$ และ $(1-E_{\beta})/E_{\beta}$ มาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรง โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ช่วยในการเขียนเส้นกราฟ ดังรูปที่ 3.3 จากกราฟ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $N_{\beta} \cdot N_{\gamma}/N_{\beta\gamma}$ และ $(1-E_{\beta})/E_{\beta}$ โดยที่

$$E_{\beta} = \frac{N_{\beta\gamma}}{N_{\gamma}}$$

$N_o(E_{\beta})_{\gamma}$ = ความชันของเส้นกราฟ

N_o = จุดตัดบนแกน $N_{\beta} \cdot N_{\gamma}/N_{\beta\gamma}$

เมื่อได้ความสัมพันธ์ ของความชันและจุดตัด เราสามารถคำนวณหาค่า $(E_{\beta})_{\gamma}$ ได้ แล้วนำค่า $(E_{\beta})_{\gamma}$ นี้เป็นค่าสำหรับแก้ความผิดพลาดเนื่องมาจากรังสีแกมมาไปรบกวน



รูปที่ 3.3 แสดงวิธีหาค่า $\left[E_\beta\right]_\gamma$ โดยกราฟเส้นตรง (4)

หัววัดรังสีเบต้า ดังสมการที่ 2.5 จะได้ค่า N_o ซึ่งเป็นความแรงสัมบูรณ์ของสาร-กัมมันตรังสีที่แท้จริง

3.6 การคำนวณหาความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 และทอง-198

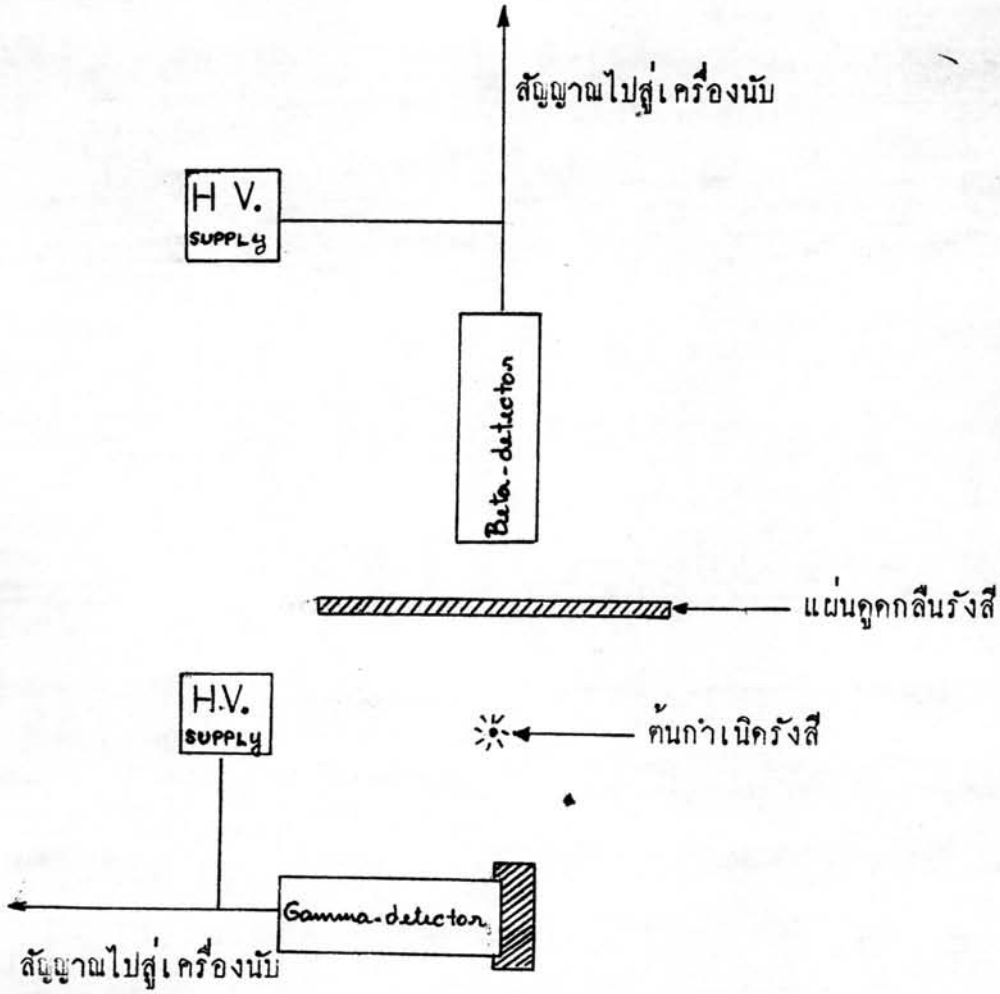
การคำนวณหาความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสี ด้วยวิธีเบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ และทำการเปรียบเทียบกับวิธีที่คำนวณจากแกมมาสเปคโตรเมตรี ซึ่งใช้หัววัด NaI (Tl) ขนาด 5" x 5" ซึ่งทราบประสิทธิภาพโดยการวัดรังสีของต้น-กำเนิดรังสีมาตรฐานจาก IAEA ความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีที่กระทำโดยวิธีเบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ คำนวณได้จากสมการ $N_o = \frac{N_\beta N_\gamma}{N_{\beta\gamma}}$ โดยแก้ความผิด-พลาดของจำนวนนับ โคอินซิเดนซ์ และการนับของรังสีแกมมาในเครื่องเบต้า ทำให้สมการที่ใช้ในการคำนวณเป็นดังสมการ

$$N_o = \frac{N_\beta N_\gamma}{(N_c' - 2\tau N_\beta N_\gamma - b_c) \cdot \left[1 + \frac{(1-E_\beta)}{E_\beta} \cdot (E_\beta)_\gamma\right]} \qquad (3.1)$$

N_o = ความแรงสัมบูรณ์ที่แท้จริงของต้นกำเนิดรังสีโดยวิธีเบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์

3.7 การจัดอุปกรณ์การทดลองวัดความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีโคบอลท์-60

ในการทดลองเพื่อวัดความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีโคบอลท์-60 แตก-ต่างไปจากการวัดความแรงสัมบูรณ์ของไอโอดีน-131 และทอง-198 โดยการใช้วิธีหาค่าอัตราการนับที่แท้จริงของรังสีเบต้าในเครื่องนับเบต้า โดยวิธีใช้แผ่นดูดกลืนรังสีกั้นระหว่างต้นกำเนิดรังสี และหัววัดรังสีเบต้า จัดอุปกรณ์ดังรูป 3.4 ในการทดลองใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาลูมิเนียมและตะกั่ว (Nuclear chicago Model C-101) ขนาดความหนาตั้งแต่ 1.6 มิลลิกรัม ต่อ ตร.ซม. ถึง 7213 มิลลิกรัม ต่อ ตร.ซม. โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน โคบอลท์-60 3 ขนาด คือ 0.17 μCi 2.24 μCi และ 8.90 μCi ตามลำดับ การจัดระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีโคบอลท์-60 ถึงหัววัดสำหรับวัด



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดอุปกรณ์ทดลองหาค่า $\frac{N_\beta}{N_\gamma}$ และวัดความแรงสัมบูรณ์ต้นกำเนิดรังสี โคบอลท์-60

รังสีเบต้าและแกมมา จึงเปลี่ยนไป 3 แบบ เพื่อให้อัตราการนับของเครื่องนับทั้งสองไม่เกิน 5000 ครั้งต่อนาที การจัดระยะดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการจัดระยะห่างระหว่างหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี

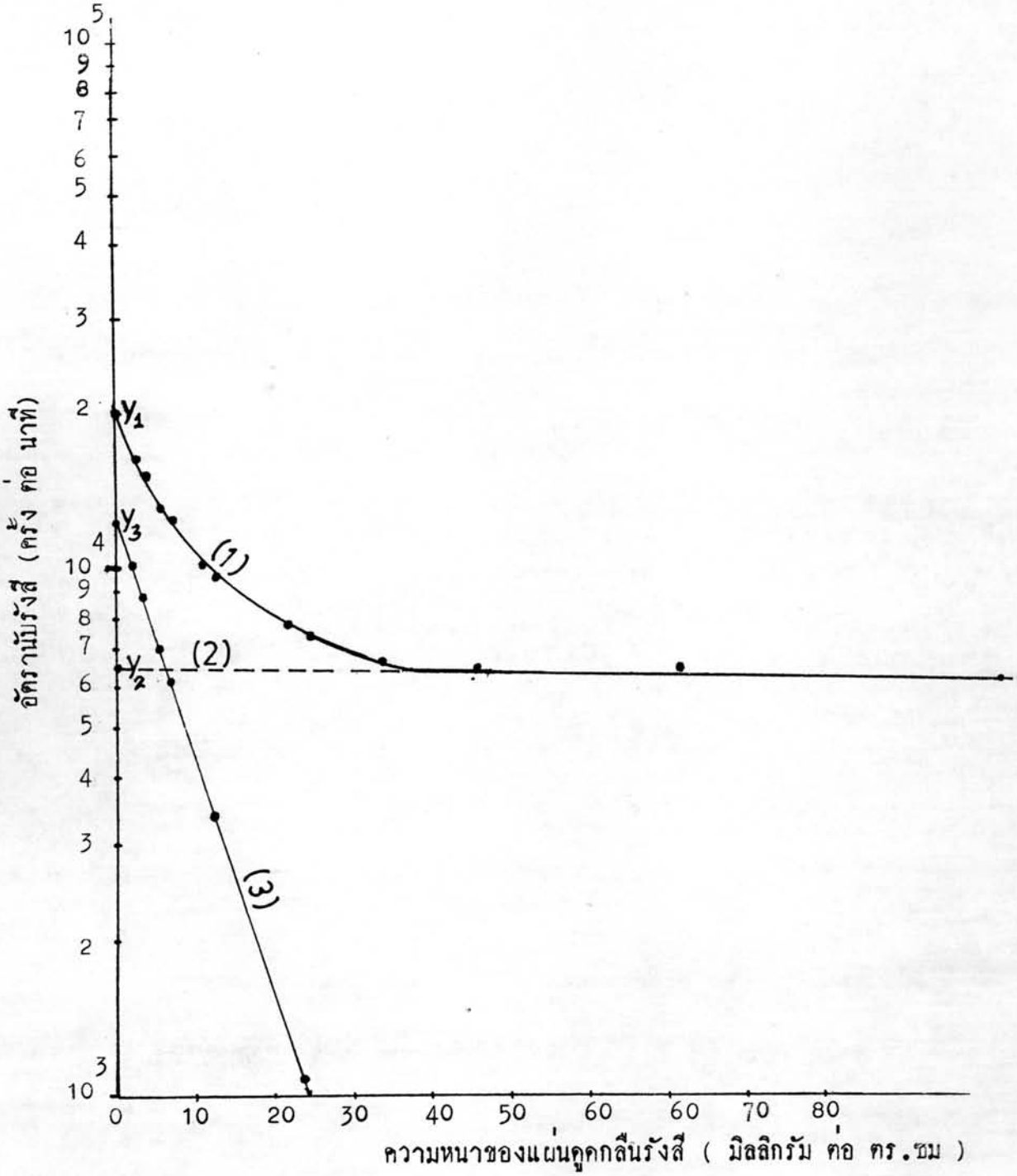
ความแรงต้นกำเนิดรังสี โคบอลท์-60 (μCi)	ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงหัววัดรังสีแกมมา (ซม.)	ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงหัววัดรังสีเบต้า (ซม.)
0.17	1	5
2.24	4	7
8.90	7	10

3.8 การวัดความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสี โคบอลท์-60

เมื่อรังสีซึ่งมีทั้งเบต้า และแกมมาผ่านแผ่นดูดกลืนรังสี รังสีเบต้าจะถูกดูดกลืนไว้ได้ดีกว่ารังสีแกมมา และเราจะได้กราฟแสดงการลดลงของรังสี เมื่อเครื่องวัดรังสีเป็นแบบ ไกเกอร์ ดังรูปที่ 3.5

ตามรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าสามารถตรวจหาความเข้มของรังสีแกมมาแท้ได้จากการต่อส่วนท้ายของกราฟ (1) ซึ่งแผ่นดูดกลืนมีความหนามาก ๆ และกราฟเป็นเส้นตรงไปตัดแกนตั้ง ที่มีความหนาเป็นศูนย์ ความเข้มของรังสีเบต้าแท้ ๆ ก็อาจหาได้จากการลบความเข้มของกราฟเส้นที่ (1) ด้วยกราฟเส้นที่ (2) ที่ความหนาของแผ่นดูดกลืนเดียวกัน แล้วนำผลต่างมาเขียนกราฟใหม่ จะได้กราฟแสดงความเข้มของรังสีเบต้าที่แท้จริง ดังกราฟเส้นที่ (3)

ความเข้มของรังสีเบต้าที่แท้จริง นำไปคำนวณหาความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดจากความสัมพันธ์ที่ว่า



รูปที่ 3.5 แสดงการลดลงของความเข้มซึ่งประกอบด้วยรังสีเบต้าและแกมมาเมื่อผ่านแผ่นดูดกลืนรังสีขนาดความหนาต่าง ๆ

$$N_o = \frac{N_\beta \cdot N_\gamma}{N_{\beta\gamma}}$$

สำหรับการจัดตั้งเครื่องมือในลักษณะที่คงที่ใด ๆ เมื่อต้นกำเนิดเป็นสารกัมมันตรังสีชนิดเดียวกัน การหาความเข้มของรังสีเบต้าหรือแกมมาในเครื่องวัดรังสีเบต้าไม่จำเป็นต้องคิดจากกราฟแสดงการลดของรังสีเมื่อผ่านแผ่นดูดกั้นรังสีทุกครั้งไป เพราะอาจคำนวณหาได้จากอัตรานับเมื่อไม่มีแผ่นดูดกั้นได้เลย จากความสัมพันธ์ ของ y_1 y_2 และ y_3 จากรูปที่ 3.5

$$y_1 = N_\beta + N_\gamma + N_{bg}$$

$$y_2 = N_\gamma + N_{bg}$$

$$N_\beta = y_1 - y_2$$

$$N_\gamma = y_2 - N_{bg}$$

N_{bg} วัดได้จากการทดลอง

ดังนั้นสำหรับต้นกำเนิดรังสีชนิดใดชนิดหนึ่งค่า $\frac{N_\beta}{N_\gamma}$ จะมีค่าคงที่

$$\frac{N_\beta}{N_\gamma} = k \quad (k = \text{ค่าคงที่})$$

เนื่องจากการวัดความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสีด้วยเครื่องวัดรังสีแบบไกเกอร์ได้ผลดีในขนาดอัตรานับที่ไม่สูงนัก ในทางปฏิบัติมักไม่ให้เกิน 5000 ครั้ง ต่อนาที โดยการจัดตั้งเครื่องวัดแกมมาและเบต้าให้เหมาะสมน่าจะวัดความแรงสัมบูรณ์ได้สูงกว่าค่าตามเอกสารก่อน ๆ Allen[10]

การวัดความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสี โคบอลท์-60 โดยวิธีนี้ จะสามารถวัดความแรงของต้นกำเนิดรังสีได้แรงยิ่งขึ้น จากผลการทดลองได้วัดความแรงสัมบูรณ์ต้นกำเนิดรังสี โคบอลท์-60 ตั้งแต่ 0.17 μCi 2.24 μCi และ 8.90 μCi ได้ผลถูกต้องดี ซึ่งจะเห็นว่าตามวิธีการวัดความแรงสัมบูรณ์ต้นกำเนิดรังสีของ Allen[10]

จะวัดความแรงของต้นกำเนิดรังสีได้ถูกต้อง ± 1% ต้นกำเนิดรังสีแรงไม่เกิน 1 μCi ซึ่งทำให้มีขีดจำกัดที่แคบกว่า

3.9 การวัดความแรงสัมบูรณ์โดย NaI (Tl) 5" x 5"

เมื่อนำค่าความแรงสัมบูรณ์ซึ่งวัดได้โดยวิธีเบต้า-แกมมา โคอินซิเดนซ์ มาเปรียบเทียบกับความแรงสัมบูรณ์ ซึ่งหามาโดยวิธีเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน การจัดอุปกรณ์ การทดลองดังรูปที่ 3.6

1. นำต้นกำเนิดรังสีวางดังรูปที่ 3.6 จัดระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัด NaI (Tl) ห่าง 5 ซม. ทุกครั้งที่ทำการวัด

2. จดบันทึกผลบวกจำนวนนับสุทธิใต้พีคต่อนาที (Net counts of photopeak) ของต้นกำเนิดรังสี แต่ละค่าพลังงาน สำหรับไอโอดีน-131 ที่พลังงาน 0.364 MeV (82.4%) สำหรับทอง-198 ที่พลังงาน 0.411 MeV (95.53%)

3. นำค่าผลบวกจำนวนนับสุทธิใต้พีคต่อนาที และค่าประสิทธิภาพของหัววัด NaI (Tl) และค่าอัตราส่วนการสลายตัวของโฟโตพีค มาคำนวณความแรงสัมบูรณ์ดังสมการ

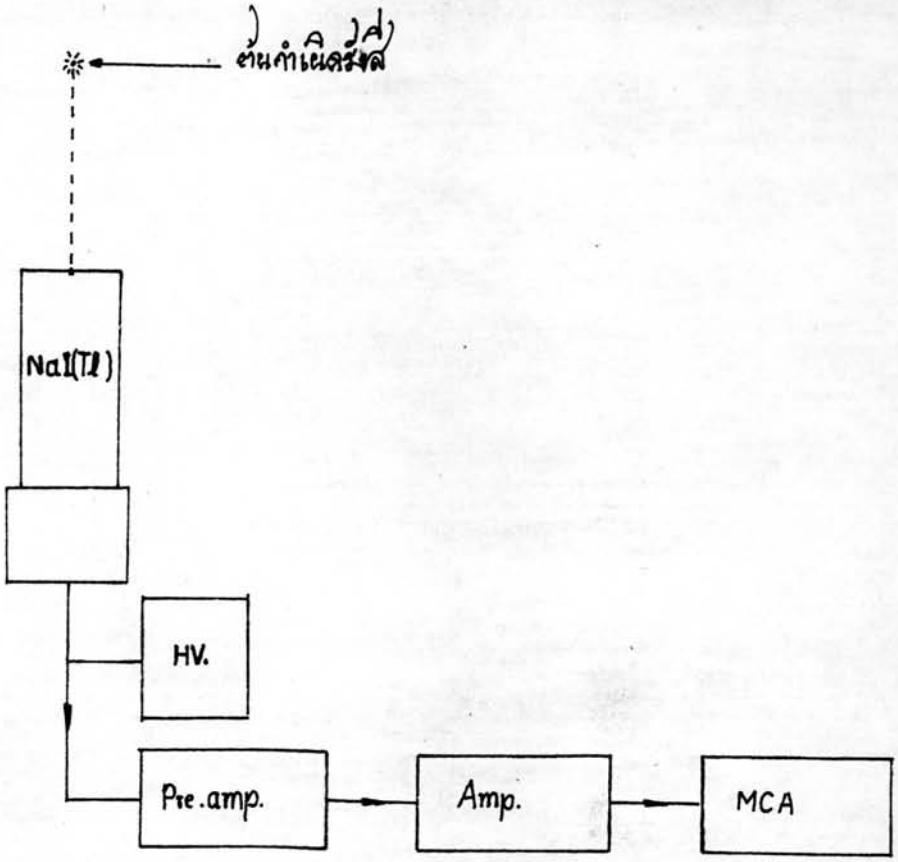
$$\text{Efficiency} = \frac{\text{cpm}}{\text{dpm. f}} \times 100\ \%$$

f = อัตราส่วนการสลายตัวของรังสีแกมมา

dpm = ความแรงสัมบูรณ์ของต้นกำเนิดรังสี

cpm = ผลบวกจำนวนนับสุทธิใต้พีค

ประสิทธิภาพของหัววัด NaI (Tl) 5" x 5" สำหรับต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-131 ที่พลังงาน 0.364 MeV มีค่าประมาณ 8.15 % ที่ระยะ 5 ซม. และสำหรับทอง-198 ที่พลังงาน 0.411 MeV มีค่าประมาณ 7.9 % ที่ระยะ 5 ซม. เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์การวัดความแรงสัมบูรณ์ด้วย NaI(Tl) ขนาด 5″x 5″