บทที่ 3

การทดลอง

การทดลองนี้ ใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ ของบริษัท ไบครอน (Bicron) ขนาด 5" x 5" มีตะกั่วหนา 2" เป็นเครื่องกำบังซึ่งทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง x ยาว x สูง = 28" x 28" x 40" ตามลำดับ ด้านล่างมีตะกั่วหนา 2" รองรับ และด้านบนก็เป็นตะกั่วหนา 2" เช่นกัน แต่ทำเป็นบานเลื่อน เพื่อเปิดให้วางสารกัมมันตรังสีลงบนหัววัดได้ หัววัดนี้ต่อกับเครื่องมัลติแชนเนล 1024 ช่อง ของบริษัท แคนเบอร์รา ซึ่งสามารถจะอ่านค่าจำนวนนับในระหว่างช่องที่ต้องการได้ โดยเลื่อนเครื่องชี้ (cursor) ตามช่องที่ต้องการ และมีที่ตั้งสารกัมมันตรังสี ซึ่งสามารถเลื่อนระยะทางให้ห่างจากหัววัดตามที่ต้องการได้

การทดลองแบ่งออกเป็นหัววัดตามลำดับดังนี้

3.1 การคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งหมดของหัววัด จากสูตร

จากสมการ (2.6.3) และรูป (2.5)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \tfrac{1}{2}\left\{ \int_0^{\theta_1} \left[1-e^{-\frac{\tau t}{\cos\theta}}\right] \sin\theta \, d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[1-e^{-\tau\left(\frac{\ell}{\sin\theta}-\frac{h}{\cos\theta}\right)}\right] \sin\theta \, d\theta \right\}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{\ell}{h+t}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\frac{\ell}{h}$$

ค่า τ นั้น หาได้จากรูป (2.3)

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งหมดของหัววัดจากสูตร โดยใช้ซีเซียม-137#50 วางที่ระยะทาง 10 ซม. จากหัววัด

ซีเซียม-137 มีพลังงานแกมม่า = 0.662 Mev

$\therefore \mu$ จากรูป (2.3) มีค่า = 0.27 ซม.$^{-1}$

r = 6.35 ซม.

h = 10.0 ซม.

t = 12.7 ซม.

$$\therefore \theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{6.35}{10+12.7}\right)$$

$$= 15.63^\circ$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{6.35}{10}\right)$$

$$= 32.40^\circ$$

ในการคำนวณแบ่ง θ ออกเป็น 1 องศา ($d\theta$) แล้วคำนวณหาค่าประสิทธิภาพตามสมการ (2.6.3) จะได้เป็นค่า $y_0, y_1, \ldots\ldots y_n$ ตามลำดับ ในการคำนวณหาประสิทธิภาพรวมทั้งหมด $d\theta = 1^\circ$ นั้น จะต้องทำเป็นค่าเรเดียน ดังนั้น $1^\circ = 0.01746$ เรเดียน

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งหมด} = \left(\tfrac{1}{2}(y_0+y_1)+\tfrac{1}{2}(y_1+y_2)+\tfrac{1}{2}(y_2+y_3)\ldots\ldots+\tfrac{1}{2}(y_{n-1}+y_n)\right)0.01746$$

$$= \left(\tfrac{1}{2}(y_0)+(y_1+y_2+\ldots\ldots+y_{n-1})+\tfrac{1}{2}(y_n)\right)0.01746$$

ผลการหาประสิทธิภาพแบบคำนวณนี้ แสดงในตารางที่ 3.1, 3.2, และ 3.3

3.2 การหาค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของหัววัดจากการทดลอง

สารกัมมันตรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง มี 3 ตัวคือ
ซีเซียม-137#50 จาก IAEA แมงกานีส-54 จากอเมอร์แชม(AmSh)
และโคบอลต์-60#50 จาก IAEA เช่นกัน

สูตรที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดมีดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{จำนวนนับสุทธิทั้งหมดใน 1 หน่วยเวลา}}{\text{อัตราการแผ่รังสีใน 1 หน่วยเวลา}}$$

จำนวนนับสุทธิทั้งหมดนั้น เริ่มจากช่องที่ 0 จนถึงช่องที่จุดต่ำสุดของสเปคตรัมของสารกัมมันตรังสีนั้น ๆ ลบด้วย ค่าแบคกราวนด์ ซึ่งมีจำนวนช่องเท่ากัน ในการวัดแต่ละสารนี้ มีการเปลี่ยนแปลงค่าเกนของเครื่องวัด(Gain) เพื่อให้ได้สเปคตรัมอยู่ระหว่างแชนเนลที่พอเหมาะ

ส่วนอัตราการแผ่รังสีนั้น ประกอบไปด้วย

3.2.1 ค่าอัตราการแผ่รังสีที่กำหนดให้โดยถือเป็นค่ามาตรฐานจากแหล่งที่มาของสารนั้น ๆ มีหน่วยเป็น ดิสซินทีเกรชั่น ต่อนาที (dpm) (ถ้าให้จำนวนนับมีหน่วยเวลาเป็น 1 นาที)

ตามปกติแล้ว สารมาตรฐานรังสีจะกำหนดค่าไว้เป็นไมโครคูรี
จาก 1 ไมโครคูรี $= 2.22 \times 10^6$ dpm.

3.2.2 ระยะเวลาของการสลายตัว

จากสูตร $A_t \quad A_o e^{-\lambda t}$

เมื่อ A_t = อัตราการแผ่รังสีในขณะทำการทดลอง

A_o = อัตราการแผ่รังสี ณ ระยะเวลาที่กำหนดค่าไว้เดิม

λ = อัตราการสลายตัว มีหน่วยเป็น (เวลา)$^{-1}$

$$= \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

$T_{1/2}$ = ชีวิตครึ่งของสารกัมมันตรังสีนั้น ๆ

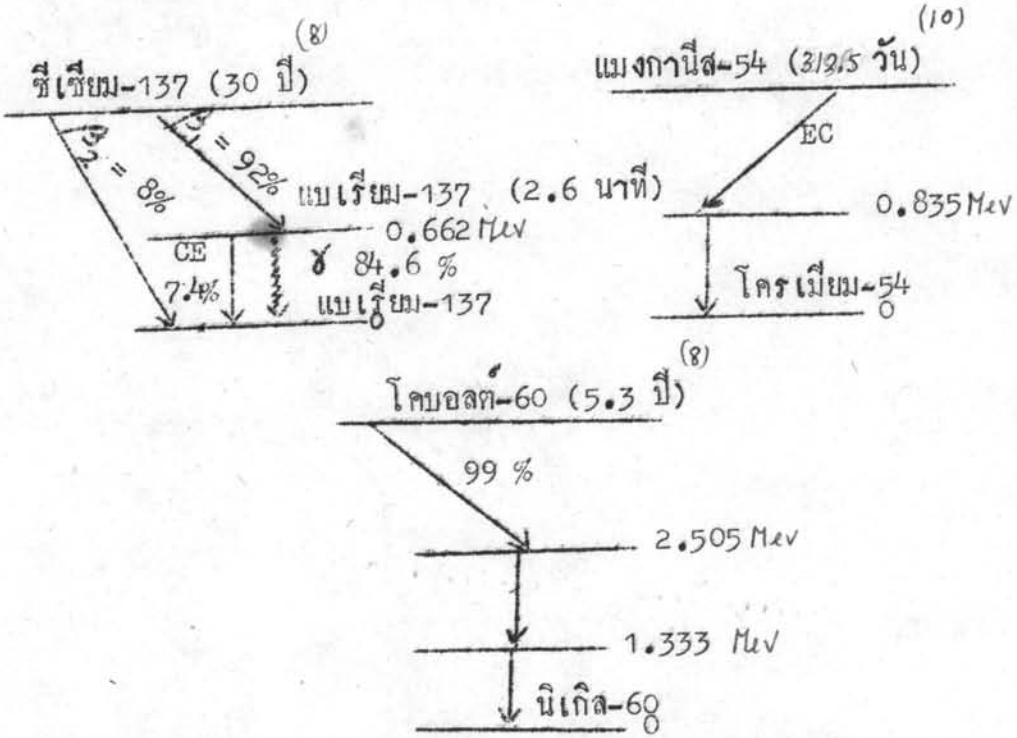
= 30 ปี, 312.5 วัน และ 5.3 ปี สำหรับ ซีเซียม-137 แมงกานีส-54 และโคบอลต์-60 ตามลำดับ

t = เวลาของการสลายตัวจากเวลาที่กำหนดเริ่มจนถึงขณะเวลาทำการทดลอง มีหน่วยเดียวกับ $T_{1/2}$

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

3.2.3 แบบการสลายตัว (Decay Scheme)

(8)



รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการสลายตัวของซีเซียม-137 แมงกานีส-54 และโคบอลต์-60

f = 0.846, 1 และ 2 สำหรับซีเซียม-137, แมงกานีส-54 และ-โคบอลต์-60 ตามลำดับ

$$\therefore \text{อัตราการแผ่รังสี} = \text{dpm} \times e^{-\lambda t} \times f$$

$$\therefore \text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{จำนวนนับสุทธิทั้งหมดต่อนาที}}{\text{dpm} \times e^{-\lambda t} \times f}$$

ค่าประสิทธิภาพจากการทดลองนี้ แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.3

3.3 <u>การหาอัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอด กับทั้งหมดของพลังงานแกมม่าต่าง ๆ</u>

ในการวัดจำนวนนับของสารกัมมันตรังสีนั้น จะมีค่าจำนวนนับใต้ยอด (สเปคตรัม) และจำนวนนับทั้งหมด

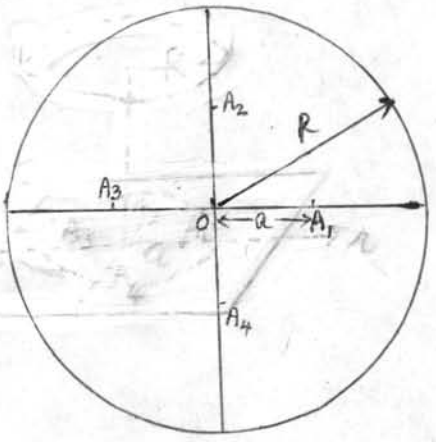
อัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมดนั้น คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนนับทั้งสองแบบดังกล่าวข้างต้น

ตารางที่ 3.4 แสดงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมดของสารกัมมันตรังสีซีเซียม-137#50 แมงกานีส-54 (AmSh) และทอง-198 (ซึ่งได้จากการนำทอง-197 ขนาด 1 ตร.ซม. หนัก 49.24 มิลลิกรัม ต่อตร.ซม. ไปทำปฏิกิริยากับนิวตรอน ให้พลังงานแกมม่า(0.412 Mev) ณ ระยะทางห่างจากหัววัด 10, 5, 3, 2, 1.5 และ 1.0 ซม. ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 แสดงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมดของสารกัมมันตรังสีซีเซียม-137#50 แมงกานีส-54 (AmSh) และโคบอลต์-60#50 ตามแนวราบ ตีคกับหัววัดที่จุดศูนย์กลาง และห่างจากจุดศูนย์กลาง 1, 2, 3, 4 และ 4.75 ซม. ตามลำดับ

3.4 การหาค่าประสิทธิภาพของหัววัด สำหรับแผ่นกระดาษกรองแผ่นกลม

จำนวนนับสุทธิในหัวข้อนี้ เป็นจำนวนนับสุทธิภายใต้ยอดของสารกัมมันตรังสีซีเซียม-137#50 โคบอลต์-60#50 และแมงกานีส-54 (AmSh)



รูป 3.2 แสดงภาพการทดลองหาประสิทธิภาพของหัววัดตามแนวราบ

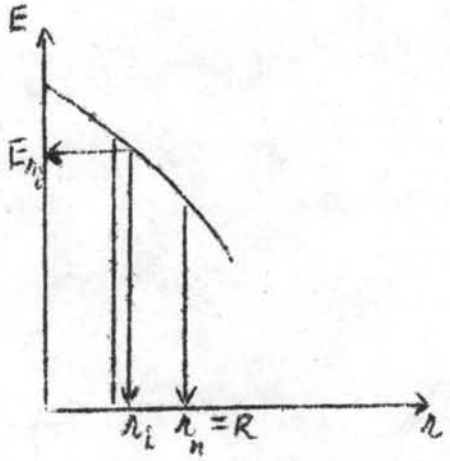
จากรูป 3.2 นำซีเซียม-137 มาวางไว้ที่จุดศูนย์กลาง (O) ของหัววัด หาจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยต่อนาที ต่อมาเลื่อนซีเซียม-137 นี้ไปไว้ ณ จุด A_1, A_2, A_3 และ A_4 ซึ่งอยู่ห่างจากจุด O เป็นระยะทาง a ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เป็น 1 ซม. หาจำนวนนับสุทธิเฉลี่ยที่จุด A นี้อีก และทำเช่นนี้อีก ณ จุดห่างออกไปอีก 1 ซม. ต่อ ๆ ไป จนจุดสุดท้ายซึ่งอยู่ห่างจากจุด O เป็นระยะทาง 4.75 ซม.

$$\text{ประสิทธิภาพที่จุดยอด} = \frac{\text{จำนวนนับสุทธิภายใต้ยอดใน 1 นาที (cpm)}}{\text{อัตราการสลายตัวใน 1 นาที (dpm)}}$$

อัตราการสลายตัวนี้ หาได้จากค่าที่กำหนดจากสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน โดยใช้สูตร 1 ไมโครไมโครคูรี่ = 2.22 dpm

การทดลองนี้ จะได้ค่าประสิทธิภาพที่จุดยอด 5 ค่า ที่ระยะจุดศูนย์กลาง (0), 1, 2, 3, 4 และ 4.75 ซม. ตามลำดับ มีค่า 0.1813, 0.1790, 0.1732, 0.1629, 0.1481 และ 0.1328 ตามลำดับ

เขียนกราฟแสดงค่าประสิทธิภาพที่จุดยอด (E) และระยะทางจากจุดศูนย์กลาง (r) จะได้เส้นโค้ง ดังรูป 3.3



รูป 3.3 แสดงค่าประสิทธิภาพกับระยะทาง

$$\text{ประสิทธิภาพเฉลี่ย} \langle E \rangle = \frac{\int_0^R E_r \cdot 2\pi r \cdot dr}{\pi R^2}$$

เมื่อ R เป็นรัศมีของกระดาษกรอง = 4.75 ซม

หา $\langle E \rangle$ โดยแบ่งพื้นที่ใต้เส้นโค้งออกเป็นช่องเล็ก ๆ กว้าง Δr (ในที่นี้เป็น 0.25 ซม.) เท่ากัน แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพเฉลี่ย $\langle E \rangle$

จาก $$\langle E \rangle = \frac{\sum_{i}^{n} E_i \, 2\pi r_i \Delta r}{\pi R^2}$$

ได้ค่า <E> = 0.1942 จากสารกัมมันตรังสีซีเซียม

ทำนองเดียวกัน ได้ค่า <E> จากโคบอลต์-60#50 และแมงกานีส-54 (AmSh) มีค่า = 0.1081 และ 0.1734 ตามลำดับ

3.5 <u>การหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดในขวดพลาสติกขนาด 1 ลิตร และครึ่งลิตร ที่มีน้ำบรรจุอยู่เต็ม</u>

สารกัมมันตรังสีที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดในข้อนี้ มีซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 ที่เป็นของเหลว โดยเตรียมซีเซียม-137 จำนวน 10 แลมป์ดาบนแผ่นกระดาษแก้ว และโคบอลต์-60 1 ลูกบาศก์ ซม. (เพื่อให้มีความแรงที่พอเหมาะ) ในขวดพลาสติก ขนาด 1 ลูกบาศก์ ซม. นำมาวัด ณ ระยะทาง 10 ซม.จากหัววัด (เพื่อถือว่าเป็นสารรังสีที่เป็นจุด)

คำนวณหาอัตราการแผ่รังสีจากสูตร

$$\text{อัตราการแผ่รังสี (dpm)} = \frac{\text{จำนวนนับสุทธิทั้งหมด (cpm)}}{\text{ประสิทธิภาพ} \times f}$$

ค่าประสิทธิภาพที่นำมาจากเอกสารอ้างอิง (ดังแสดงในตาราง 3.1) ของซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 ตามลำดับ

f คือจำนวนโฟตอนต่อนิวเคลียสการสลายตัว

นำสารกัมมันตรังสีชนิดเดียวกัน และบริมาตรเท่ากัน (10 แลมป์ดา สำหรับซีเซียม-137 และ 1 ลบ.ซม. สำหรับโคบอลต์-60)ใส่ลงไปในขวด 1 ลิตร และครึ่งลิตร (ซึ่งมีน้ำบรรจุอยู่เต็มขวด) วางบนหัวเครื่องวัด

วัดหาจำนวนนับสุทธิของซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 ในขวดสองชนิดนั้น

หาประสิทธิภาพของหัววัดได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{จำนวนนับสุทธิทั้งหมดในขวด (cpm)}}{\text{อัตราการแผ่รังสี (dpm)}}$$

อัตราการแผ่รังสี (dpm) จากการคำนวณ และวัดดังกล่าวข้างบน มีค่า 2.37×10^6 dpm และ 0.32×10^6 สำหรับซีเซียม-137 และโคบอลต์-60 ตามลำดับ

ได้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดจากซีเซียม-137 ในขวด 1 ลิตร

= 0.0675

ได้ค่าประสิทธิภาพของหัววัดจากซีเซียม-137 ในขวด $\frac{1}{2}$ ลิตร

= 0.07835

ค่าประสิทธิภาพของหัววัดจากโคบอลต์-60 ในขวด 1 ลิตร

= 0.06635

ค่าประสิทธิภาพของหัววัดจากโคบอลต์-60 ในขวด $\frac{1}{2}$ ลิตร

= 0.0750

3.6 การหาค่าฟลักซ์ของนิวตรอนช้าที่ระบบท่อลมของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

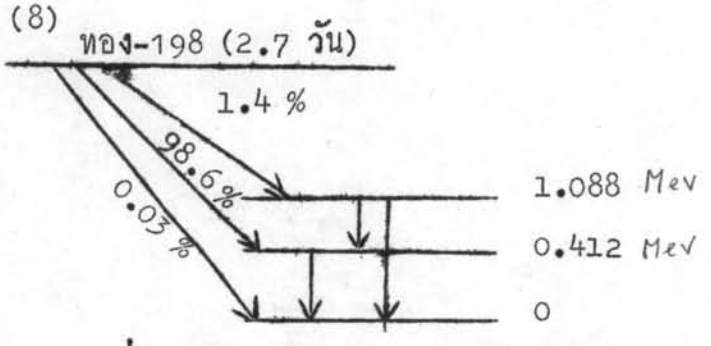
3.6.1 การหาฟลักซ์ของนิวตรอนช้าโดยแผ่นทอง

ขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบทริกา มาร์ค III เดินเครื่องด้วยกำลัง 1.5 เมกาวัตต์ แท่งเชื้อเพลิงอยู่ ณ ตำแหน่งเทอร์มัลคอลัมน์ (อยู่ใกล้ระบบท่อลมมากที่สุด) นำแผ่นทองขนาด 1 ตร.ซม. หนัก 49.24 มิลลิกรัม หุ้มกระดาษไปปะติดกับฝาของขวดพลาสติกที่ใช้สำหรับระบบท่อลม (pneumatic unit) และนำทองอีกแผ่นหนึ่งมีลักษณะเดียวกันหนัก

49.38 มิลลิกรัม หุ้มด้วยแผ่นแคดเมียมบรรจุในพลาสติกอีกในหนึ่งที่ตำแหน่งเดียวกัน ยิงพลาสติกทั้งสองอันนี้ด้วยเวลา 10 วินาที ณ เวลา 14.13 น. และ 14.14 น. ตามลำดับ เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ.2520 และเก็บไว้จนวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ.2520 จึงทำการวัด (เพื่อให้สิ่งปะปนที่อาจมีอยู่สลายตัวไป)

โดยการตั้งเครื่องวัดที่เกน 100 เกนละเอียดที่ 1,000 ได้จำนวนนับสุทธิทั้งหมดของแผ่นทองเปล่า และที่ถูกหุ้มด้วยแคดเมียม = 925,021 ครั้ง และ 81942 ครั้ง ต่อนาทีตามลำดับ

จากแผ่นภาพของการสลายตัวของทอง-198 จะหาอัตราการแผ่รังสีของแผ่นทอง-198 ได้เช่นเดียวกับตอน (3.22) โดยมีค่าประสิทธิภาพจากเอกสารอ้างอิงที่พลังงานแกมม่า 0.412 Mev = 0.059



รูปที่ 3.4 แผนภาพการสลายตัวของทอง-198

และชีวิตครึ่งของทอง-198 = 2.7 วัน เวลาหลังจากการอาบรังสีจนถึงเวลานับ = 3.8054 วัน

$$CdR = 11.289$$

$$CdR_0 = 4.59$$

∴ อัตราการนับต่อวินาที เนื่องจากเทอร์มัลนิวตรอน = 37312

อัตราการแผ่รังสีต่อวินาที (dps) = 632406

$$(dps)_{sat} = 2.13 \times 10^{10}$$

จาก $(dps)_{sat} = N\sigma\phi FG_{th}$

$N = 1.505 \times 10^{20}$ อะตอม

$$\sigma = 98.8 \times 10^{-24} \text{ ซม.}^2$$

$$F = 100\ \%$$

$$G_{th} = 0.96$$

$$\therefore \quad \phi = 1.49 \times 10^{12} \quad \frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ตร.ซม.-วินาที}}$$

3.6.2 <u>การหาเทอร์มัลฟลักซ์โดยใช้โซเดียม</u> (โซเดียมคาร์บอเนต)

โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตหนัก 10.33 และ 10.74 มิลลิกรัม ใส่ในขวดโพลีเอทีลีน ขนาด 1 ลบ.ซม. นำไปอาบรังสี ที่ ระบบท่อลม เช่นเดียวกับการหาเทอร์มัลฟลักซ์โดยแผ่นทองเป็นเวลา 1 นาที ณ วันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2521 นำมาวัดที่หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ระยะทาง 10 ซม.

หลังจากอาบรังสีแล้วเป็นเวลา 23.50 ชั่วโมง

การคำนวณ สำหรับโซเดียมคาร์บอเนต หนัก 10.33 มิลลิกรัม

ได้ C_o = 344160 cpm

E_x = 0.044

E_y = 0.039

$\therefore$ X = 182,466 cpm

Y = 161714 cpm

dpm = 4.15×10^6

$(dpm)_{sat}$ = 5.3800×10^4

σ = 0.525×10^{-24} (ซม.)^2

N = 1.173×10^{20} อะตอม

F = 100 %

ได้ค่าเทอร์มัลฟลักซ์ (ϕ) = 1.46×10^{12} นิวตรอน/ตร.ซม.-วินาที ทำนองเดียวกัน สำหรับโซเดียมคาร์บอนเนต 10.74 มิลลิกรัม ได้ค่าเทอร์มัลฟลักซ์ = 1.52×10^{12} นิวตรอน/ตร.ซม.-วินาที

<u>หมายเหตุ</u>:- สำหรับหัวข้อ 3.61 และ 3.62 ได้ทำซ้ำอีกในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2521 ขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเดินเครื่องที่ 2 เมกาวัตต์ เชื้อเพลิงห่างออกไปจากตำแหน่งเทอร์มัลคอลัมน์ประมาณ 1 เมตร

ได้ค่าเทอร์มัลฟลักซ์จากแผ่นทอง = 6.6×10^{10} $\frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ตร.ซม.-วินาที}}$

ได้ค่าเทอร์มัลฟลักซ์จากโซเดียมคาร์บอเนต 5.9×10^{10} และ 5.66×10^{10} $\frac{\text{นิวตรอน}}{\text{ตร.ซม.-วินาที}}$

ตารางที่ 3.1

ค่าประสิทธิภาพจากการคำนวณ จากเอกสารอ้างอิง และจากการทดลองที่ระยะ 10 ซม.

สารรังสีมาตรฐาน	ประสิทธิภาพจากการคำนวณ	ประสิทธิภาพจากเอกสารอ้างอิง[9]	ประสิทธิภาพจากการทดลอง
ซีเซียม-137#50	0.0528	0.0530	0.0531
โคบอลต์-60#50	0.0463	0.0450	0.0424
แมงกานีส-54 (AmSh)	0.0507	0.0505	0.0556

ตารางที่ 3.2

ค่าประสิทธิภาพของพลังงานต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณ และจากเอกสารอ้างอิงที่ระยะทาง 10 ซม. และ 1 ซม.

พลังงาน (Mev)	ประสิทธิภาพที่ระยะ 10 ซม.		ประสิทธิภาพที่ระยะ 1 ซม.	
	จากการคำนวณ	จากเอกสารอ้างอิง[9]	จากการคำนวณ	จากเอกสารอ้างอิง[9]
2.040	0.0415	0.0415	0.2463	0.2463
1.100	0.0473	0.0473	0.2832	0.2838
0.566	0.0546	0.0546	0.3312	0.3312
0.332	0.0619	0.0620	0.3749	0.3750
0.212	0.0684	0.0689	0.4046	0.4048
0.129	0.0743	0.0746	0.4167	0.4178

ตารางที่ 3.3

ค่าประสิทธิภาพจากซีเซียม-137 และแมงกานีส-54 จากการคำนวณและจากเอกสารอ้างอิง ณ ระยะทางต่าง ๆ กัน

ระยะทาง (ซม.)	ประสิทธิภาพจากสารรังสีมาตรฐานซีเซียม-137#50		ประสิทธิภาพจากสารรังสีมาตรฐาน แมงกานีส-54 (AmSh)	
	จากการคำนวณ	จากการทดลอง	จากการคำนวณ	จากการทดลอง
10	0.0528	0.0531	0.0507	0.0482
7	0.0848	0.0858	0.0812	0.0751
5	0.1237	0.1224	0.1182	0.1031
3	0.1918	0.1823	0.1831	0.1574
2	0.2452	0.2347	0.2341	0.2008
1.5	0.2804	0.2582	0.2668	0.2225
1.0	0.3199	0.2864	0.3034	0.2463

ตารางที่ 3.4

แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมด (Peak-to-Total Ratio) ณ ระยะทางต่าง ๆ กัน

ระยะทาง (ซม)	อัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมด		
	ซีเซียม-137#50	แมงกานีส-54(AmSh)	ทอง-197
10	0.563	0.541	0.679
7	0.572	0.550	0.680
5	0.576	0.551	0.682
3	0.579	0.552	0.695
2	0.582	0.553	0.702
1.5	0.586	0.553	0.706
1.0	0.608	0.554	0.711

ตารางที่ 3.5

แสดงค่าอัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมด (Peak-to-Total Ratio) ตามแนวราบห่างจากจุดศูนย์กลาง

ระยะทาง	อัตราส่วนระหว่างค่านับใต้ยอดกับทั้งหมด		
	ซีเซียม-137#50	แมงกานีส-54(AmSh)	โคบอลต์-60#50
จุดศูนย์กลาง	0.605	0.566	0.502
ห่างจากจุดศูนย์กลาง 1 ซม.	0.603	0.564	0.501
" 2 "	0.598	0.558	0.497
" 3 "	0.558	0.551	0.492
" 4 "	0.572	0.539	0.480
" 4.75 "	0.564	0.530	0.471