บทที่ 5

ประสิทธิภาพหัววัดโซเดียมไอโอไดด์

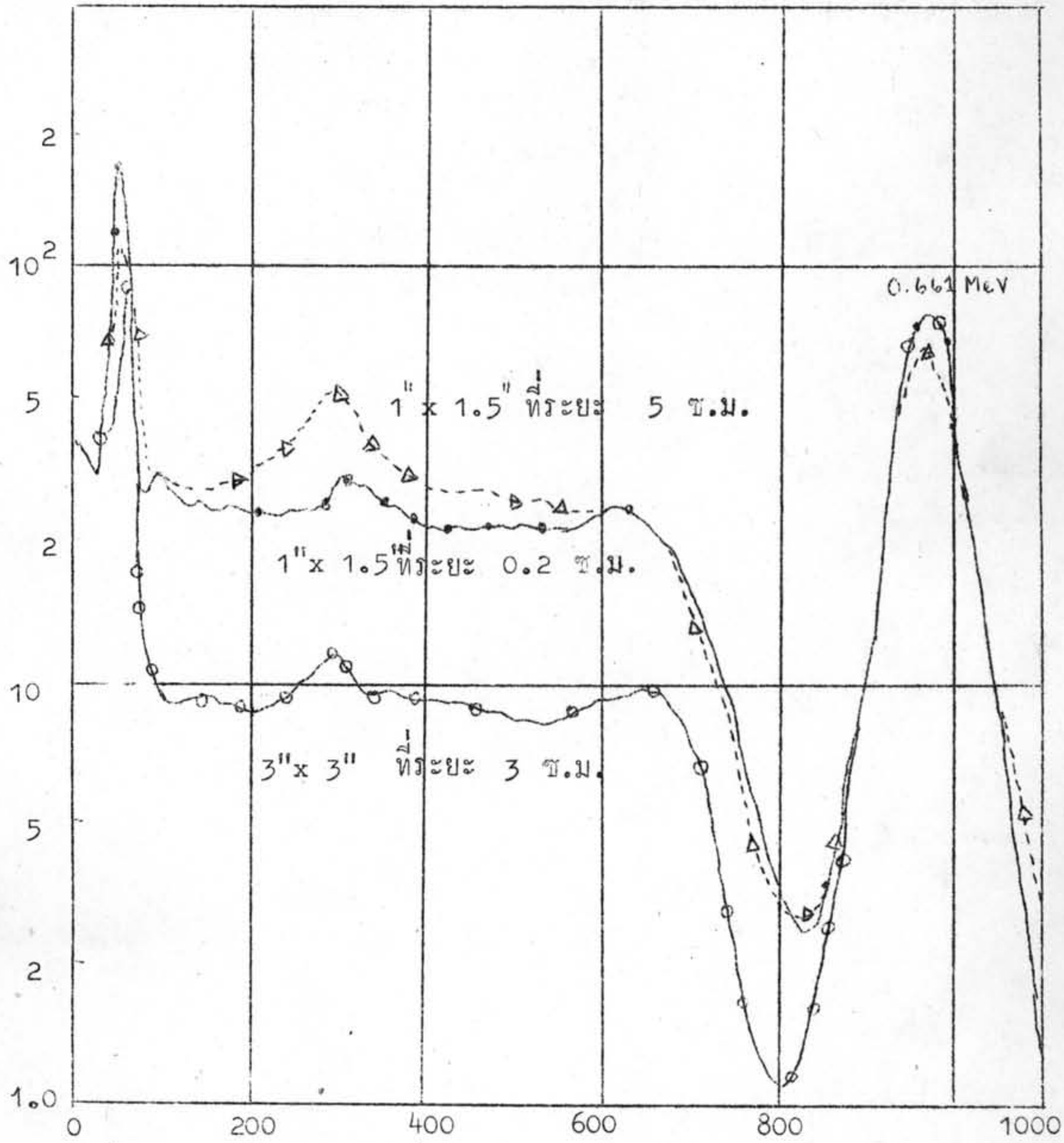
5.1 ขนาดผลึกโซเดียมไอโอไดด์

เนื่องจากหัววัดที่นิยมใช้กันมีขนาดต่าง ๆ แต่ละขนาดจะให้ประสิทธิภาพต่างกัน หัววัดที่มีขนาดใหญ่จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าหัววัดขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะหัววัดที่มีขนาดใหญ่ทำให้รังสีแกมมาถ่ายทอดพลังงานได้หมด เช่น ปฏิกิริยาแบบคอมพ์ตันมีโฟตอนเหลืออยู่ ถ้าโฟตอนนี้ไม่หลุดพ้นจากผลึกก็จะไปชนกับอิเลคตรอนตัวอื่น จนกว่าพลังงานของโฟตอนที่มีอยู่ให้แก่อิเลคตรอนจนหมด ส่วนปฏิกิริยาแบบโฟโตอิเลคตริกนั้นไม่มีปัญหาเพราะเมื่อโฟตอนชนกับอิเลคตรอน จะให้พลังงานทั้งหมด สำหรับปฏิกิริยาแบบอิเลคตรอนคู่มีอิเลคตรอนและโปซิตรอนออกมา แต่โปซิตรอนจะไม่คงสภาพเดิมเมื่อได้รับอิทธิพลจากสนามอิเลคตรอนก็จะรวมกับอิเลคตรอนเรียกว่า เกิดการประลัย (Annihilation) ระหว่างอนุภาคทั้งสองเกิดโฟตอน 2 ตัว มีพลังงาน 0.51ล้านอิเลคตรอนโวลต์ เมื่อโฟตอนนี้ไม่หลุดไปจากผลึกย่อมมีโอกาสเกิดโฟโตอิเลคตริกและปฏิกิริยาแบบคอมพ์ตันได้ใหม่

ดังนั้นผลึกใหญ่ทำให้การสูญเสียพลังงานน้อยลงกว่าผลึกที่มีขนาดเล็ก หัววัดที่ใช้ทำการทดลองครั้งนี้มีขนาด 3"×3" (เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว หนา 3 นิ้ว)แต่ละขนาดย่อมมีผลต่อประสิทธิภาพและสเปกตรัมต่าง ๆ กัน เช่น ที่ระยะ 10 เซนติเมตร ตรงกับพลังงาน 0.661 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ มีประสิทธิภาพทั้งหมด (Total efficiency) 0.02 จากหัววัดขนาด 3" × 3" และมีประสิทธิภาพทั้งหมด 0.0042 จากหัววัดขนาด $1\frac{1}{2}$" × 1"

---

[1]William J. Price, Nuclear Radiation Detection (New York : McGraw-Hill Book Company, Inc., 1958), P. 189.



รูปที่ 5.1 แสดงสเปรคตรัมที่มีผลเนื่องจากขนาดของหัววัดของซีเซียม -137[2]

---

[2]Ibid., P. 190

5.2 พลังงานรังสีแกมมาและระยะทางการวัด

นอกจากประสิทธิภาพหัววัดขึ้นอยู่กับขนาดผลึกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะทางและพลังงานรังสีที่ตกกระทบ เช่น ที่ขนาดหัววัด 3"x 3" เท่ากัน แต่นำมาวัดที่ระยะทางต่างกัน คือที่ระยะ 10 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ให้ประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงาน 0.661 ล้านอิเลคตรอนโวลต์มีค่าเท่ากับ 0.02 และ 0.1 ตามลำดับ[3]

5.3 สูตรในการคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งหมดโดยคิดว่าแหล่งกำเนิดมีขนาดเป็นจุด[4]

เนื่องจากความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนเอาไว้ในตัวขวางกั้น เป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสงที่ตกกระทบ และระยะทางที่แสงเดินทางในตัวขวางกั้น เขียนสมการเป็น

$$I(x) = I(o) \exp(-\tau x)$$

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$I(x)$ = ความเข้มของแสงหลังจากเดินทางภายในเนื้อผลึกเป็นระยะ x เซนติเมตร

004989

$I(o)$ = ความเข้มของแสงที่ตกกระทบผลึกโดยคิดระยะทาง $x = 0$ เซนติเมตร

τ = สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนเนื่องจากตัวผลึกที่ขวางกั้น มีหน่วย (เซนติเมตร)$^{-1}$ แต่สารกัมมันตรังสีจะให้รังสีออกมารอบทิศ ( ) ฉะนั้น จะมีรังสีเพียงบางส่วนที่ตกกระทบผลึกโดยคิดว่าผิวหน้าผลึกทำมุมกับสารกัมมันตรังสีเป็นมุมเล็ก ๆ ($d\Omega$) ดังนั้น

---

[3] Ibid., P. 189

[4] N.H Lazar, R.C.Davis, and P.R. Bell, "Peak Efficiency of NaI" Nucleonics. Vol. 14 No. 34.

i 17440890

I = ความเข้มของรังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสีต่อหน่วยมุมตัน

$Id\Omega$ = จำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบผลึกใน $d\Omega$ (solid angle)

$Id\Omega\ (1-\exp(-\tau x))$ = จำนวนรังสีแกมมาที่ถูกวัดโดยผลึก

Ω_0 = มุมโอเมกาที่ผิวหน้าผลึกทำกับสารกัมมันตรังสีขนาดเป็นจุดคิดจากแนวแกนกลางผลึก

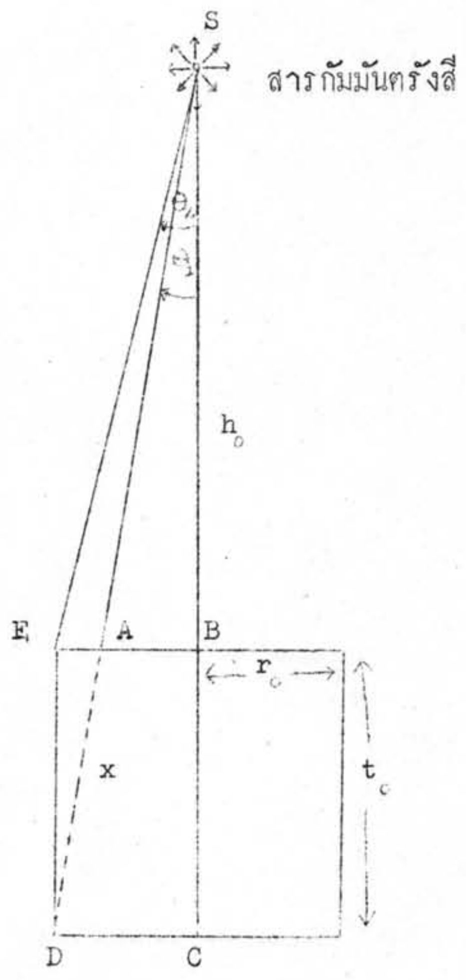
ประสิทธิภาพทั้งหมดคือ อัตราส่วนจำนวนรังสีแกมมาที่ถูกวัดโดยผลึกกับจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบกับผลึก ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งหมด} = \frac{\int_{\Omega_0}(1 - \exp(-\tau x))d\Omega}{\Omega_0} \quad \ldots(5.3.1)$$

จากสมการ (5.3.1) เมื่อคิดว่าแหล่งกำเนิดรังสีวางอยู่ไกลเป็นระยะทางอินฟินิท ฉะนั้นระยะทาง x ทั้งหมดจะเท่ากับความหนาของผลึก โดยคิดว่าแหล่งกำเนิดรังสีส่งมาที่ผลึกเป็นลำขนาน ถ้าแหล่งกำเนิดรังสีวางใกล้หรือติดกับผลึกระยะทาง x ส่วนมากจะมีค่ามากกว่าความหนาของผลึก ดังนั้นมันจะดูดกลืนได้มาก ทำให้ประสิทธิภาพทั้งหมดของผลึกดีขึ้น

5.4 คำนวณหาสูตรประสิทธิภาพทั้งหมดของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์รูปทรงกระบอก ขนาด 3"x 3"

นำสารกัมมันตรังสีที่มีขนาดเล็กเป็นจุดวางอยู่ในตำแหน่งแนวแกนกลางของหัววัดรูปทรงกระบอกโซเดียมไอโอไดด์ในระยะที่ต้องการดังรูป (5.2)



รูป 5-2 แสดงการกำหนดระยะต่าง ๆ ที่นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพทั้งหมด

โดยที่ t_o = ความหนาของหัววัดมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

r_o = ระยะรัศมีหัววัดที่เป็นรูปทรงกระบอกมีหน่วยเป็น เซนติเมตร

h_o = ระยะที่วางสารกัมมันตรังสีห่างจากหัววัดในแนวแกนกลางผลึก

ใช้สมการ (5.3.1) โดยมี

Ω_o = solid angle เนื่องจากมุม θ_2 = $\widehat{ESB}$

จากรูป 5.2 ได้ว่าระยะทาง x อาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนจะสัมพันธ์กับมุม θ ดังนี้

ในช่วง $0^\circ \rightarrow \theta_1^\circ$

$$x_1 = DS - AS$$

$$= \left(\frac{h_o}{\cos\theta} + \frac{t_o}{\cos\theta}\right) - \frac{h_o}{\cos\theta}$$

$$= \frac{t_o}{\cos\theta}$$

ในช่วง $\theta_1^\circ \rightarrow \theta_2^\circ$

$$x_2 = DS - AS$$

$$= \frac{r_o}{\sin\theta} - \frac{h_o}{\cos\theta}$$

และ $\theta_1 = \tan^{-1} \dfrac{r_o}{h_o + t_o}$

$\theta_2 = \tan^{-1} \dfrac{r_o}{h_o}$

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งหมด}^{5} = \frac{1}{2}\left\{ \int_{0}^{\theta_1^\circ} \left[1-\exp(-\tau t_o/\cos\theta)\right]\sin\theta \, d\theta + \int_{\theta_1^\circ}^{\theta_2^\circ} \left[1-\exp(-\tau(r_o/\sin\theta - h_o/\cos\theta))\right] \sin\theta \, d\theta \right\} \quad \ldots\ldots(5.41)$$

---

[5] R.L. Heath, Scintillation Spectrometry, GammaRay Spectrum Catalog. IDO-16408 (Phillip Petroleum Company Atomic Energy Division, Idaho Operation Office U.S. AEC., 1964), p. 21.

5.5 <u>คำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งหมดของหัววัด NaI ขนาด 3"x3" ที่ใช้วัดรังสีแกมมาพลังงาน 0.661 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ที่ระยะทางต่าง ๆ กัน</u>

จากสมการ (5.4.1) แทนค่า $r = 3.81$ ซม. และ $t_o = 7.62$ ซม. จากรูป 2-4 ได้ว่า $\mathcal{T}(0.661) = 0.27$ (ซม.)$^{-1}$ โดย h_o เป็นระยะทางต่าง ๆกัน โดย θ_1 และ θ_2 ย่อมเปลี่ยนไปตามระยะทางที่วางสารกัมมันตรังสี

5.5.1 ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่ระยะ 10 เซนติเมตร

$h_o = 10$ ซม. $\theta_1 = 12.9^\circ$ $\theta_2 = 20.85^\circ$ โดยวิธีการหาพื้นที่โดยประมาณ หาประสิทธิภาพทั้งหมด = 0.0210

5.5.2 ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่ระยะ 7 เซนติเมตร

$h_o = 7$ ซม. $\theta_1 = 14.6^\circ$ $\theta_2 = 28.56^\circ$ โดยวิธีการเช่นเดียวกับ(5.5.1) หาประสิทธิภาพทั้งหมด = 0.0344

5.5.3 ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่ระยะ 5 เซนติเมตร

$h_o = 5$ ซม. $\theta_1 = 16.8^\circ$ $\theta_2 = 37.3^\circ$ ทำนองเดียวกับ (5.5.1) หาประสิทธิภาพทั้งหมด = 0.0562

5.5.4 ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่ระยะ 0.5เซนติเมตร

$h_o = 0.5$ ซม. $\theta_1 = 25.14^\circ$ $\theta_2 = 82.52^\circ$ ทำนองเดียวกับ (5.5.1) หาประสิทธิภาพทั้งหมด = 0.272

5.6 <u>คำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งหมดจากหัววัด NaI ขนาด 3"x3" ที่ใช้วัด Na-22 ที่ระยะ 10 เซนติเมตร</u>

เนื่องจากโซเดียม -22 ปล่อยรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.511 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ และ 1.274 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่วัดที่ระยะ 10 เซนติเมตร จึงมีค่าสองค่า

5.6.1 คำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงาน 0.511 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ ทำนองเดียวกับ (5.5.1) เพียงแต่เปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนจากรูป 2-4 $\mathcal{T}$(0.511) = 0.32 (ซม.)$^{-1}$ ได้ประสิทธิภาพทั้งหมด= 0.0217

5.6.2 คำนวณค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงาน 1.274 ล้านอิเลคตรอนโวลต์โดยวิธีการเหมือนกับ (5.6.1) แต่ใช้ค่าจากรูป 2-4 $\mathcal{T}$(1.274) = 0.185 (ซม.)$^{-1}$ ได้ประสิทธิภาพทั้งหมด = 0.0160

5.7 <u>ค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงานและระยะทางต่าง ๆ ที่ได้จากตารางในหนังสือโดย F.L.Heath, Scintillation Spectrometry, Gamma Ray Spectrum Catalog IDO-16408</u>

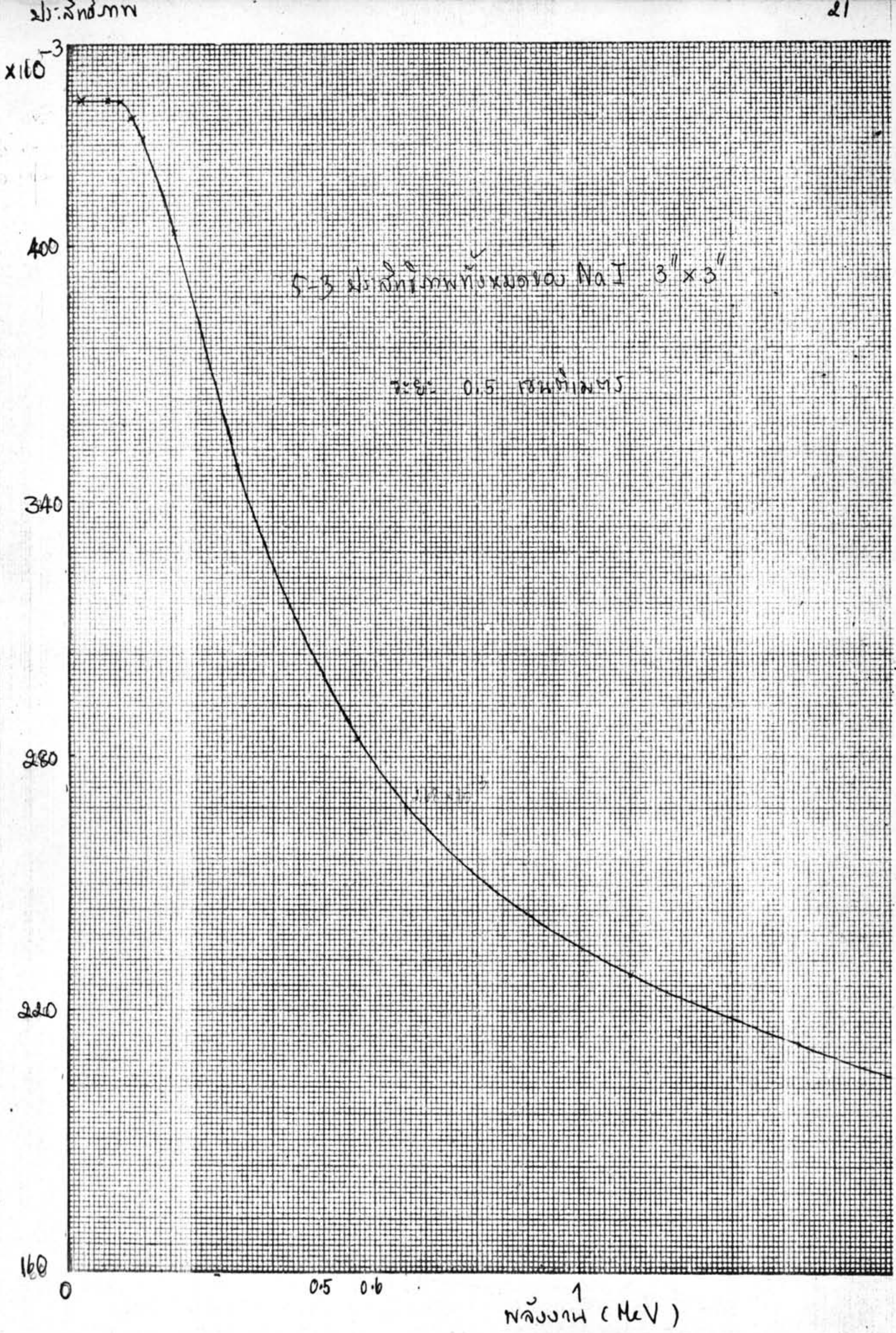
ตารางที่ 5.1

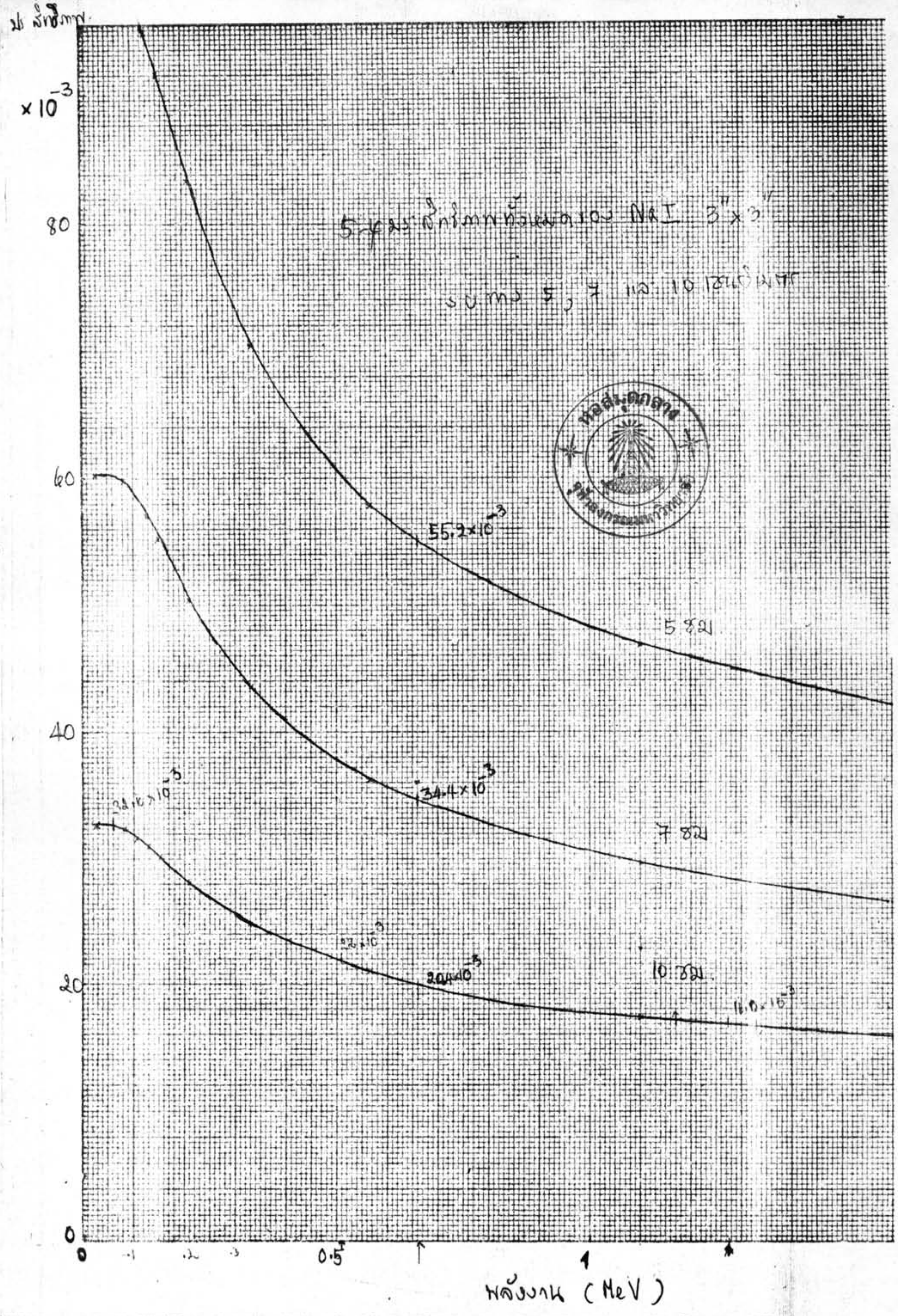
แสดงค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงานและระยะทางต่าง ๆ

พลังงานรังสีแกมมา (ล้านอิเลคตรอนโวลต์)	ระยะทาง 0.5(ซม.)	ระยะทาง 5(ซม.)	ระยะทาง 7 (ซม.)	ระยะทาง 10(ซม.)
0.332	0.3477	0.0704	0.0436	0.0248
0.566	0.2844	0.0578	0.0363	0.0210
1.10	0.2284	0.0468	0.0297	0.0174
2.04	0.1898	0.0392	0.0250	0.0147

นำค่าพลังงานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้กับค่าประสิทธิภาพทั้งหมดมาเขียนเป็นกราฟ โดยให้แกน X แทนพลังงานในหน่วย ล้านอิเลคตรอนโวลต์ โดย 1 ช่องเล็ก = 0.01 ล้านอิเลคตรอนโวลต์

สำหรับแกน Y แทนประสิทธิภาพทั้งหมด โดย


ประสิทธิภาพ
x10^-3
400
340
280
220
160
0
0.5
0.6
1
พลังงาน (MeV)
5-3 ประสิทธิภาพทั้งหมดของ NaI 3"×3"
ระยะ 0.5 เซนติเมตร


NaI 3"x3"
5, 7 และ 10
× 10^-3
80
60
40
20
0
55.2×10^-3
34.4×10^-3
5 ซม
7 ซม
10 ซม
0.5
1
พลังงาน (MeV)

1 ช่องเล็ก = 0.4×10^{-3} สำหรับระยะทาง 5, 7 และ 10 เซนติเมตร

และ 1 ช่องเล็ก = 1.2×10^{-3} สำหรับระยะทาง 0.5 เซนติเมตร

ดังนั้นเมื่อต้องการทราบค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่พลังงานใด ๆ และระยะทางอันหนึ่งก็สามารถอ่านได้จากกราฟ

5.8 <u>เปรียบเทียบประสิทธิภาพทั้งหมดที่ได้จากตารางกับที่คำนวณเอง</u>

ตารางที่ 5.2

แสดงค่าประสิทธิภาพทั้งหมดที่ได้จากตารางและผลที่ได้จากการคำนวณ

ระยะทาง ซม.	พลังงาน (MeV)	ประสิทธิภาพทั้งหมด	
		ได้จากการคำนวณ	ได้จากตาราง
10	0.511	0.0217	0.0220
	0.661	0.0210	0.0204
	1.274	0.0160	0.0160
7	0.661	0.0344	0.0344
5	0.661	0.0562	0.0552
0.5	0.661	0.272	0.268

ค่าที่ได้จากการคำนวณประสิทธิภาพทั้งหมดโดยตรง กับค่าที่ได้จากตารางแตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า

5.8.1 ค่าที่ได้จากตารางไม่ใช่ได้มาโดยตรง ต้องเขียนกราฟระหว่างประสิทธิภาพทั้งหมดกับพลังงานรับสีแกมมาซึ่งบ่งเฉพาะค่าบางค่าเท่านั้น

5.8.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีการหาพื้นที่โดยประมาณ ทำให้ค่าที่ได้ไม่ละเอียด

5.9 ประสิทธิภาพเฉพาะยอด (peak efficiency)

ที่บรรยายตอนแรกเป็นประสิทธิภาพทั้งหมด แต่เนื่องจากการหาประสิทธิภาพทั้งหมดไม่นิยมใช้ แต่นิยมใช้ค่าประสิทธิภาพเฉพาะยอด เพราะค่าที่ได้ในการเกิดยอดแต่ละครั้งจะแน่นอนกว่าที่จะหารวมทั้งหมด เครื่องมือที่ใช้วัดสำหรับการทดลองในครั้งนี้ไม่สามารถหาอัตราการนับทั้งหมดได้อย่างเที่ยงตรง

นิยาม

$$\text{ประสิทธิภาพทั้งหมด} = \frac{\text{อัตราการนับทั้งหมดที่ได้จากเครื่องวัด}}{\text{อัตราที่แหล่งกำเนิดส่งออกมา}} \quad \ldots\ldots(5.9.1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพเฉพาะยอด} = \frac{\text{อัตราการนับที่เกิดเฉพาะยอด}}{\text{อัตราที่แหล่งกำเนิดส่งออกมา}} \quad \ldots\ldots(5.9.2)$$

$$\frac{(5.9.2)\ \text{ประสิทธิภาพเฉพาะยอด}}{(5.9.1)\ \text{ประสิทธิภาพทั้งหมด}} = \frac{\text{อัตราการนับที่เกิดเฉพาะยอด}}{\text{อัตราการนับทั้งหมดที่ได้จากเครื่องวัด}}$$

$$= \frac{\text{พื้นที่ใต้ยอด}}{\text{พื้นที่ทั้งหมด}}$$

$$= P \text{ (peak to total ratio)}$$

ดังนั้นถ้าทราบค่า p ก็สามารถหาค่าประสิทธิภาพเฉพาะยอดหรือประสิทธิภาพทั้งหมด เมื่อทราบค่าใดค่าหนึ่ง ค่า p นี้ถ้าเป็นสารชนิดเดียวกันจะให้ค่าคงที่ในแต่ละพลังงาน เช่น หัววัดโซเดียมไอโอไดด์ ขนาด 3" x 3" มีค่า p ที่นำมาใช้ในการคำนวณ[6] มี

---

[6] *Ibid.* Appendix 3.

ซีเซียม -137 พลังงาน 0.661 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ η = 0.536

ซีเดียม -22 พลังงาน 0.511 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ η = 0.64

และที่พลังงาน 1.274 ล้านอิเลคตรอนโวลต์ η = 0.365

5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพทั้งหมด และประสิทธิภาพเฉพาะยอดที่พลังงานและระยะทางต่าง ๆ กัน

จากข้อความ (5.5) ถึง (5.9) สามารถเขียนค่าประสิทธิภาพทั้งหมด และประสิทธิภาพเฉพาะยอดของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ขนาด 3"x 3"

ตารางที่ 5.3

แสดงประสิทธิภาพทั้งหมดและประสิทธิภาพเฉพาะยอดที่พลังงานและระยะทางต่างๆ ที่ได้จากตาราง

พลังงาน (ล้านอิเลคตรอนโวลต์)		ระยะทาง (ซ.ม.)	ประสิทธิภาพทั้งหมด[7]	ประสิทธิภาพเฉพาะยอด
0.511	Na-22	10	0.0220	0.0141
0.661	Cs-137	10	0.0204	0.0109
		9	0.0240	0.0128
		7	0.0344	0.0184
		5	0.0552	0.0295
		0.5	0.268	0.142
1.274	Na-22	10	0.0160	0.00584

[7] Ibid., Appendix 2

5.11 <u>การคำนวณหาความแรงของสารกัมมันตรังสี</u>

จากสมการ (5.9.2)

$$\text{ความแรงของสารกัมมันตรังสี} = \frac{\text{อัตราการนับที่เกิดเฉพาะยอด}}{\text{ประสิทธิภาพเฉพาะยอด}}$$

เนื่องจากเครื่องวัดนับเฉพาะรังสีแกมมาเท่านั้น ซึ่งจริง ๆ แล้ว สารกัมมันตรังสีจะปล่อยอนุภาคชนิดอื่นออกมาด้วย ดังนั้น การคำนวณหาความแรงของสารกัมมันตรังสีจะต้องคิดว่าสารกัมมันตรังสี ปล่อยรังสีแกมมาออกมาเป็นกี่ตัวต่ออัตราการสลายตัวหนึ่งครั้ง

ดังนั้น เมื่อนับจำนวนแกมมาจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี K ตัว ต่อการสลายตัว 1 ครั้ง หรือเขียนได้ว่า

$$1\ \gamma pm = \frac{1}{K}\ dpm$$

แต่นิยมบอกความแรงในหน่วยไมโครคูรีโดย

$$1\ \text{ไมโครคูรี} = 22.2 \times 10^{5}\ dpm$$

$$1\ \gamma pm = \frac{1}{22.2 \times 10^{5} \times K}\ \text{ไมโครคูรี}$$

$$\text{ความแรงสารกัมมันตรังสี (ไมโครคูรี)} = \frac{\text{อัตราการนับต่อนาที}}{22.2 \times 10^{5} \times K \times \text{ประสิทธิภาพเฉพาะยอด}}$$