

ผนวก ก

การหาค่าต่างๆของระบบเครื่องวัดรังสีแกมมา

แบบ (HP-Ge) Spectrometer

ผ.ก.1 การสอบเทียบพลังงานของเครื่องวัดรังสีแกมมาแบบ (HP-Ge) Spectrometer

นำสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (gamma Source) อันได้แก่ ^{22}Na ^{60}Co ^{137}Cs และ ^{133}Ba มาตรวจวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมา (E_γ) กับ photopeak position (channel) โดยที่ photopeak position (channel) ต่างๆที่พบในสเปกตรัมของรังสีแกมมาจะถูกนำมาสอบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์กับพลังงานของรังสีแกมมา ที่สอดคล้องกับ photopeak position (channel) นั้นๆ ด้วย polynomial equation อันดับสอง

$$E_\gamma(\text{keV}) = a + bx\text{Ch} + cx\text{Ch}^2 \quad \text{----- (ผ.ก.1)}$$

เมื่อ E_γ เป็นพลังงานของรังสีแกมมา ที่สอดคล้องกับ photopeak position (channel) ใดๆ ในสเปกตรัมรังสีแกมมา a b และ c เป็นพารามิเตอร์ของการสอบเทียบหาความสัมพันธ์ดังกล่าวซึ่งคำนวณค่าได้โดยอัตโนมัติจากโปรแกรม Aptec สำเร็จรูป และผลที่ได้จากการทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.1 โดยที่บรรดาพารามิเตอร์ต่างๆในสมการที่ ผ.ก.1 มีค่าดังนี้

$$a = 24.68730$$

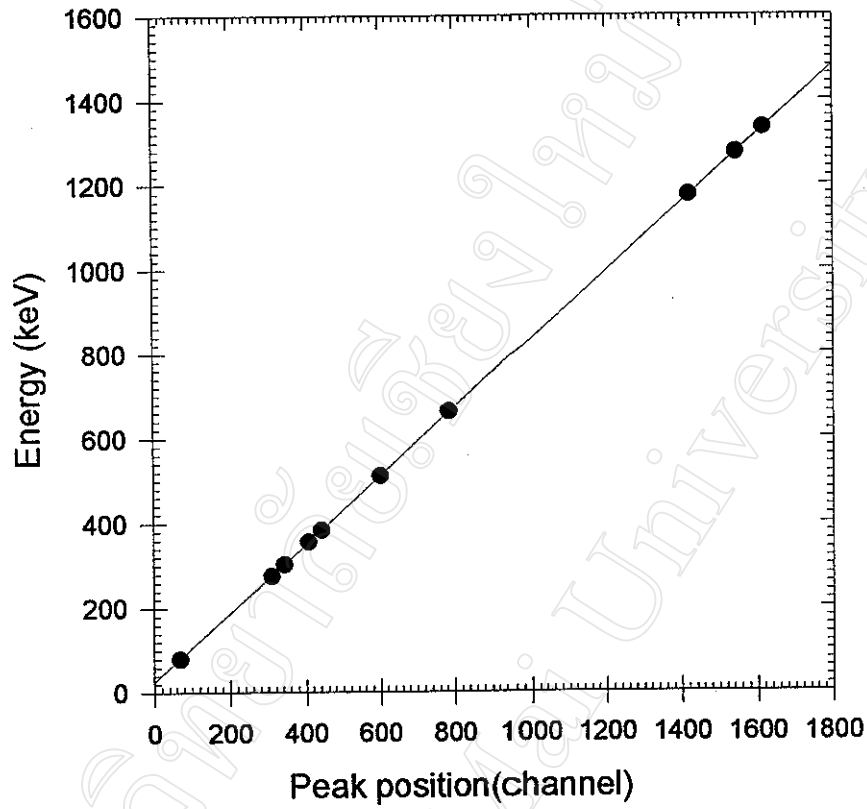
$$b = 0.81099$$

$$c = -1.64590 \times 10^{-6}$$

เมื่อนำข้อมูลจากตาราง ผ.ก.1 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมา กับ photo peak position (channel) จะได้เส้นกราฟดังในรูปที่ ผ.ก.1

ตารางที่ ผ.ก.1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E_γ) กับ
photopeak position (channel)

Radionuclide	Energy E_γ (keV)	peakposition (channel)
^{22}Na	511.006	600.56
	1274.540	1545.99
^{60}Co	1173.238	1420.55
	1332.501	1617.69
^{137}Cs	661.645	786.95
^{133}Ba	79.621	68.20
	276.397	310.18
	302.851	342.92
	356.005	408.78
	383.851	443.13



รูปที่ ผ.ก.1 เส้นกราฟการสอบเทียบพลังงานของระบบเครื่องวัดรังสี แบบ (HP-Ge)

Spectrometer และมี Energy resolution เท่ากับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ที่

พลังงาน 1332.45 keV รังสีแกมมาของ ^{60}Co

ผ.ก.2 การหาประสิทธิภาพ(Photopeak Efficiency; ϵ) ของระบบหัววัด

การหาประสิทธิภาพ (photopeak efficiency; ϵ) ของหัววัดรังสีแกมมาแบบ (HPGe)spectrometer ได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

ผ.ก.2.1 เลือกหาสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (gamma Source) ที่ทราบค่าต่างๆ ดังเช่นพลังงานกัมมันตภาพรังสี (activity) ครึ่งชีวิต(half-life) การสลายตัวและ วันเดือนปี ที่ผลิตอย่างละเอียด ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้สารกัมมันตรังสีมาตรฐานของ Isotope Product Laboratories ได้มาจาก Burbang, California ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีรายละเอียดดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.2

ตารางที่ ผ.ก.2 แสดงข้อมูลของสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (gamma Source) ที่นำมาวัดเมื่อครั้งที่ 9-11-1998

Radionuclide	Half-life	A_0 (dis/sec)	t_d (days)	Energy (keV)	Date of product
^{137}Cs	11009	35.74×10^3	3878	661.645	4-1-1988
^{60}Co	1925.20	39.40×10^3	3878	1173.238 1332.501	4-1-1988
^{22}Na	950.34	39.89×10^3	3756	511.006 1274.540	8-1-1988
^{241}Am	1.580×10^5	41.22×10^3	3878	59.537	4-1-1988
^{133}Ba	3848	33.26×10^3	3878	53.155 79.621 80.997 276.397 302.851 356.005 383.851	4-1-1988

ผ.ก.2.2 นำสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (gamma Source) วางลงบนหัววัด ของหัววัดแบบ (HP-Ge) วัดสารกัมมันตรังสีมาตรฐานแต่ละอันใช้เวลา $t_c = 13.33$ นาที ผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.3

ผ.ก.2.3 คำนวณหาประสิทธิภาพ (ϵ)ของหัววัด ตามสมการที่ ผ.ก.2 ต่อไปนี้

$$\epsilon(\%) = \frac{\text{CPS}}{f \cdot A_x} \times 100 \quad \text{----- (ผ.ก.2)}$$

โดยที่

$$A_x = A_0 e^{-\lambda t_d} \quad \text{----- (ผ.ก.3)}$$

เมื่อ $\epsilon(\%)$ คือ photopeak efficiency ของหัววัด

CPS คือ counts per second ของ photopeak area

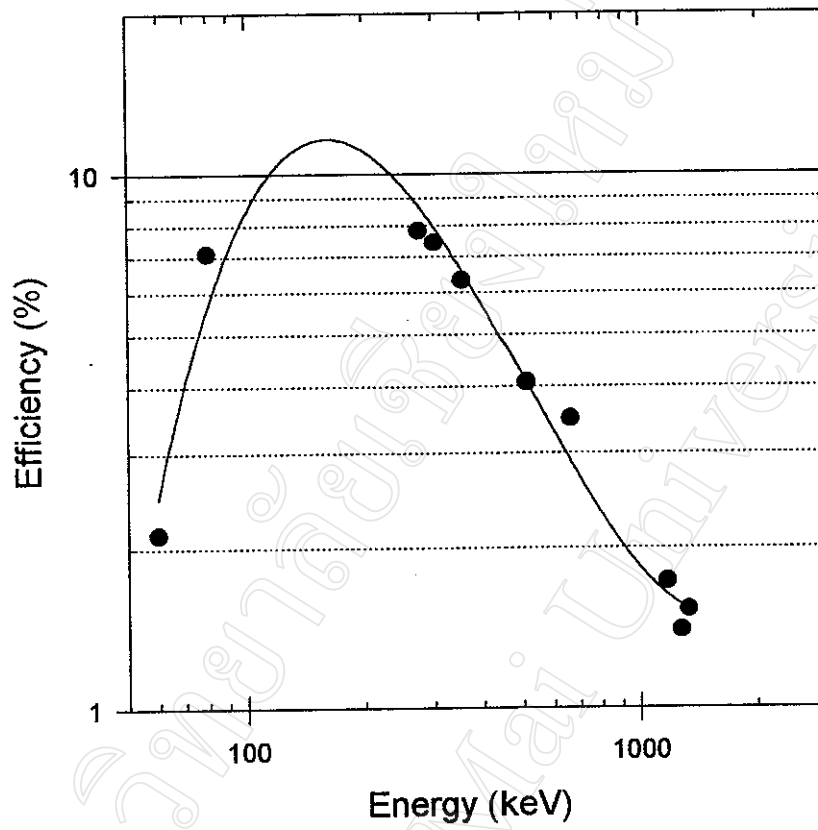
A_x คือกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน ณ วันที่ทำการทดลอง (dis/sec)

f คือ gamma fraction

ตารางที่ ผ.ก.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E_γ) กับประสิทธิภาพ (ϵ)ของ
หัววัดแบบ (HP-Ge)spectrometer ที่ระบะติดกับหัววัด

Radionuclide	Energy (keV)	Gamma fraction (%)	Peak area (cps)	A_x (dis/sec)	Efficiency ϵ (%)
^{137}Cs	661.645	84.60	723.645	28.21×10^3	3.48
^{60}Co	1173.238	99.87	152.512	9.75×10^3	1.73
	1332.501	99.98	134.990		1.53
^{22}Na	511.006	180	177.756	2.58×10^3	4.07
	1274.540	99.94	34.308		1.40
^{241}Am	59.537	36	298.968	40.52×10^3	2.12
^{133}Ba	79.621	34	364.259	16.54×10^3	7.10
	276.397	7.10	81.208		7.83
	302.851	18.33	199.312		7.45
	356.005	62.30	571.591		6.33

ผ.ก.2.4 นำข้อมูลในตารางที่ ผ.ก.3 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ (ϵ) ของหัว
วัด กับพลังงาน (E_γ) ของรังสีแกมมา ได้เส้นกราฟดังรูปที่ ผ.ก.2



รูปที่ ผ.ก.2 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง photopeak efficiency กับพลังงาน(E_γ)
ของหัววัดแบบ (HP-Ge)spectrometer ที่ระยัดติดกับหัววัด

ผ.ก.3 การหาขอบเขต (Detection Limit) การตรวจวัดเหล็กและโครเมียมโดยวิธีแบบ FNAA

การวิเคราะห์ปริมาณของธาตุเหล็กและโครเมียมในทับทิม และไพไลน ตามกรรมวิธีแบบ FNAA อาจจะพบกับความยุ่งยาก เพราะจะไม่ตรวจพบปฏิกิริยาระหว่างรังสีนิวตรอนกับธาตุเหล็กและโครเมียมที่เจือปนอยู่ในทับทิม และไพไลน ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณของธาตุเจือปนเหล่านี้มีน้อยเกินขีดความสามารถที่ระบบของเครื่องวัดจะตรวจวัดได้ ดังนั้นเราจะต้องรู้ detection limit ของหัววัดก่อน ว่าสามารถวัดธาตุเหล่านี้ได้ในปริมาณน้อยที่สุดในปริมาณเท่าไร วิธีการหา detection limit ของระบบเครื่องวัดสำหรับการทดลองครั้งนี้มีดังต่อไปนี้

ผ.ก.3.1 การหาขอบเขตการตรวจวัดเหล็กโดยวิธี FNAA

ใช้ Fe_2O_3 มีลักษณะเป็นผง บรรจุลงในถุงพลาสติกในปริมาณตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.5 แล้ว นำไปอบรังสีนิวตรอนพลังงาน 14 MeV ภายในเวลา 15 นาทีเอาโดยมีแผ่นอลูมิเนียมที่รู้ค่ามวลเป็นฟลักซ์มอนิเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหา ความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอน จากนั้นนำชิ้นมาตรวจวัดปริมาณรังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นระหว่างธาตุเหล็กกับรังสีนิวตรอนในแต่ละสารตัวอย่าง โดย วัด สารตัวอย่างละหนึ่งครั้ง ใช้เวลาวัด $t_c = 30$ นาที จากนั้นวัด ฟลักซ์มอนิเตอร์หนึ่งครั้ง ใช้เวลาวัดนาน $t_c = 30$ นาที โดยเริ่มวัดหลังหยุดอบเป็นเวลานาน $t_d = 41.5$ นาที 4 นำผลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหา จำนวนนับ (C_0) ณ เวลาสิ้นสุดการอบพอดี ($t_d=0$) ตามสมการ ที่ ผ.ข.2 และคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอนที่เกี่ยวข้องในแต่ละ สารตัวอย่าง โดยใช้สมการที่ ผ.ข.4 ผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.4 และ ตารางที่ ผ.ก.5 ตามลำดับ นำข้อมูลในตารางที่ ผ.ก.5 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับค่า C_0/Flux จะได้เส้นแสดงดังรูปที่ผ.ก.3

ตารางที่ ผ.ก.4 แสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอนสำหรับ Fe_2O_3

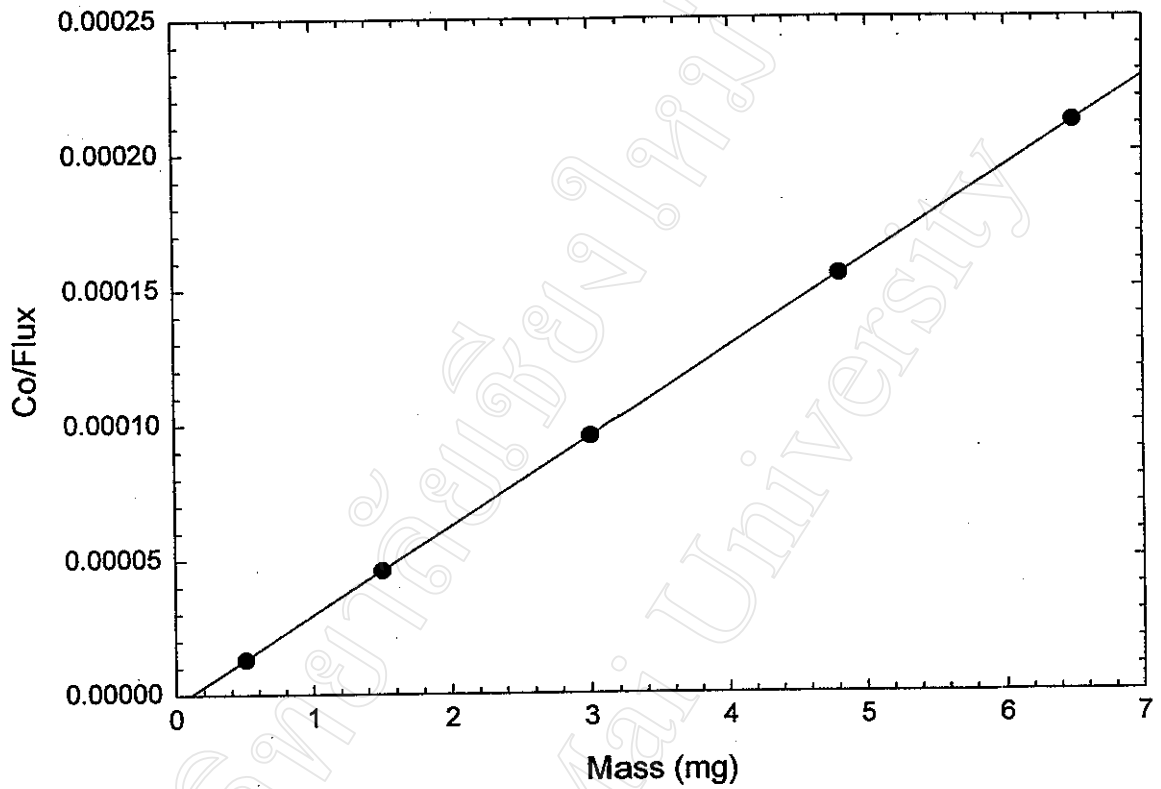
Samples	$m_{\text{Alf}}^{[i]}$ (g)	Counts	t_d (sec)	t_c (sec)	ϕ $(n/cm^2\text{-sec})$
1	1.3166	109391	2520	1800	1.111×10^8
2	1.3102	118705	2460	1800	1.126×10^8
3	1.3137	112404	2460	1800	1.064×10^8
4	1.3574	163955	2460	1800	1.469×10^8
5	1.3246	110044	2460	1800	1.033×10^8

ตารางที่ ผ.ก.5 แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง มวลของ Fe_2O_3 กับค่า C_0/Flux

Samples	$m_{\text{spl}}^{[ii]}$ (mg)	Counts	t_d (sec)	t_c (sec)	C_0/ϕ	Fit Data C_0/ϕ
1	0.5	173.98	600	1800	1.3×10^{-5}	1.312×10^{-5}
2	1.5	623.93	600	1800	4.6×10^{-5}	4.612×10^{-5}
3	3.0	1230.41	600	1800	9.6×10^{-5}	9.562×10^{-5}
4	4.8	2742.78	600	1800	15.5×10^{-5}	15.502×10^{-5}
5	6.5	2625.55	600	1800	21.1×10^{-5}	21.112×10^{-5}

^[i] มวลของแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้เป็นฟลักซ์มอนิเตอร์

^[ii] มวลของสารตัวอย่าง



รูปที่ ผ.ก.3 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง มวลของ Fe_2O_3 กับค่า C_o/flux
 โดยมีค่าความชันเท่ากับ 3.300×10^{-5} ตัดกับแกน C_o/Flux ที่จุด -3.383×10^{-6}
 และตัดกับแกนมวล ที่จุด 0.1024 มิลลิกรัม

สรุปได้ว่าระบบวิเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีขีดความสามารถในการวัด (Detection Limit)
 ปริมาณของเหล็กเท่ากับ 0.1024 มิลลิกรัม

ผ.ก.3.2 การหาขอบเขตการตรวจวัดโครเมียมโดยวิธี FNAA

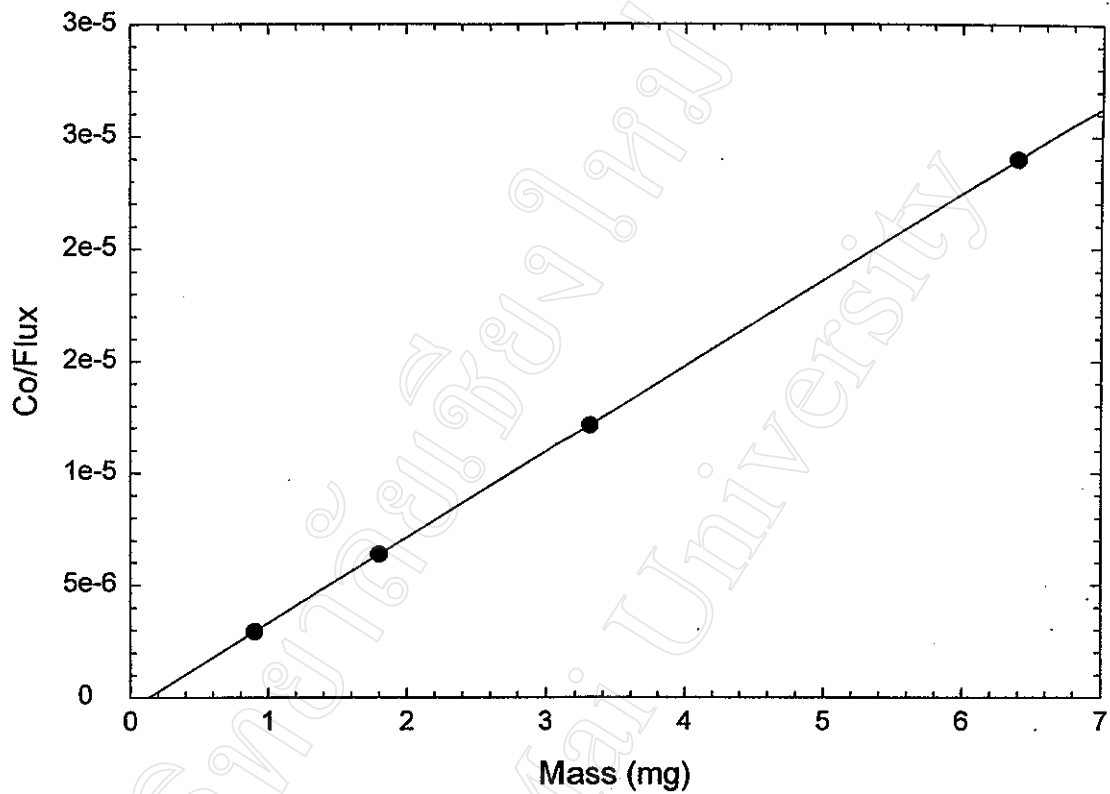
ในการทำงานเดียวกันสำหรับการหาขอบเขตการตรวจวัดโครเมียม ใช้ Cr_2O_3 โดยบรรจุลงในถุงพลาสติกปริมาณต่างๆดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ก.6 แล้ว นำไปอาบรังสีนิวตรอน พลังงาน 14 MeV ภายในเวลา 5 นาที โดยมีแผ่นอลูมิเนียมที่รู้ค่ามวลเป็นฟลักซ์มอนิเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหา ความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอน จากนั้นนำขึ้นมาตรวจวัดปริมาณรังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นระหว่างธาตุโครเมียมกับรังสีนิวตรอนในแต่ละสารตัวอย่างโดยวัดสารตัวอย่างละหนึ่งครั้ง ใช้เวลาวัด $t_c = 3.33$ นาที จากนั้นวัดฟลักซ์มอนิเตอร์หนึ่งครั้ง ใช้เวลาวัดนาน $t_c = 30$ นาที โดยเริ่มวัดหลังหยุดอาบเป็นเวลาาน $t_d = 6.3$ นาที นำผลที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหา จำนวนนับ (C_{0i}) ณ เวลาสิ้นสุดการอาบพอดี ($t_d=0$) ตามสมการ ที่ ผ.ข.2 และคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอนที่เกี่ยวข้องในแต่ละ สารตัวอย่าง โดยใช้สมการที่ ผ.ข.4 ผลที่ได้จากการคำนวณค่าต่างๆได้แสดงไว้ ในตารางที่ ผ.ก.6 และ ตารางที่ ผ.ก.7 ตามลำดับ นำข้อมูลในตารางที่ ผ.ก.7 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับค่า C_0/Flux จะได้เส้นแสดงดังรูปที่ ผ.ก.4

ตารางที่ ผ.ก.6 แสดงค่าความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอนสำหรับ Cr_2O_3

Samples	$m_{\text{Alf}}^{(i)}$ (g)	Counts	t_d (sec)	t_c (sec)	ϕ $(\text{n/cm}^2 \text{ sec})$
1	1.3327	113165	369.16	1800	7.438×10^7
2	1.3251	179977	375.88	1800	1.199×10^8
3	1.3115	213847	397.73	1800	1.479×10^8
4	1.3615	193711	368.99	1800	1.246×10^8

ตารางที่ ผ.ก.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มวลของ Cr_2O_3 กับ ค่า C_0/Flux

Samples	$m_{\text{spl}}^{(ii)}$ (mg)	Counts	t_d (sec)	t_c (sec)	C_0/ϕ	Fit Data C_0/ϕ
1	0.9	52	121.16	200	0.221×10^{-5}	0.294×10^{-5}
2	1.8	257	109.88	200	0.65×10^{-5}	0.639×10^{-5}
3	3.3	562	151.73	200	1.319×10^{-5}	1.213×10^{-5}
4	6.4	924	121.99	200	2.350×10^{-5}	2.399×10^{-5}



รูปที่ ผ.ก.4 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง มวลของ Cr_2O_3 กับค่า C_0/flux

โดยมีค่าความชันเท่ากับ 3.827×10^{-6} ตัดกับแกน C_0/Flux ที่จุด -5.0257×10^{-7}

และตัดกับแกนมวล ที่จุด 0.131 มิลลิกรัม

สรุปได้ว่าระบบวิเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีขีดความสามารถในการวัด (Detection Limit)

ปริมาณของเหล็กเท่ากับ 0.131 มิลลิกรัม

ผนวก ข

การคำนวณหาฟลักซ์ของนิวตรอนและปริมาณของ ธาตุเหล็กและโครเมียมในแท่งทิม และโพลิน

ผ.ข.1 การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ Photopeak area

การคำนวณหาปริมาณของธาตุต่างๆตามกรรมวิธีแบบ FNAA ค่าของ photopeak area จะเป็นค่าเฉลี่ยของ photopeak area ในหน่วยจำนวนนับ ณ เวลาสิ้นสุดการอบรังสีนิวตรอน($t_d=0$) ของรังสีแกมมา ที่พลังงานต่างๆ ตามกฎการสลายตัวของ สารกัมมันตรังสี กล่าวคือ

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{oi} \quad \text{----- (ผ.ข.1)}$$

เมื่อ

$$C_{oi} = \frac{C_i e^{\lambda t_d}}{1 - e^{-\lambda t_c}} \quad \text{----- (ผ.ข.2)}$$

โดยที่ C_{oi} แทน photopeak area ในหน่วยจำนวนนับ ณ เวลาสิ้นสุดการอบ
รังสีนิวตรอน ($t_d = 0$)

C_i แทน photopeak area ที่เวลา t_d ใดๆ ของรังสีแกมมาซึ่งมีค่าคงที่
ของการสลายตัว λ

n แทนจำนวนครั้งในการตรวจวัดรังสีแกมมาในแต่ละพลังงาน

สำหรับ ΔC_0 ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation) ของ C_0 คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\Delta C_0 = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{oi} - C_0)^2} \quad \text{----- (ผ.ข.3)}$$

ผลที่ได้จากการคำนวณค่า C_0 และ ΔC_0 ของแท่งทิมและโพลินได้แสดงไว้ในตารางที่ ผ.ข.1 และตารางที่ ผ.ข.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ผ.ข.1 แสดงค่า photopeak area ของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1433 keV

ณ เวลาหยุดอาบรังสีนิวตรอน ($t_d=0$) สำหรับทับทิม

ทับทิม เบอร์	t_d (min)	$C_i \pm \Delta C_i$ (counts)	C_{oi} (counts)	$C_o \pm \Delta C_o$ (counts)
RAS 001	1.67	152 ± 40.3	343.17	332.3 ± 34.3
	5.37	66 ± 24.1	295.23	
	8.99	29 ± 19.5	253.25	
	12.54	26 ± 17.3	437.56	

ซึ่งคำนวณได้จากค่า photopeak area ที่เวลา t_d โดยเมื่อ $t_d = 5$ นาที และ $t_c = 3.33$ นาที

โดยมี

$$T_{1/2} = 225 \text{ วินาที} \quad \text{และ} \quad \lambda = \frac{0.693}{225 \text{ sec}} = 3.080 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$$

ตารางที่ ผ.ข.2 แสดงค่า photopeak area ของรังสีแกมมาที่ พลังงาน 846 keV

ณ เวลาหยุดอาบรังสีนิวตรอน ($t_d = 0$) สำหรับไฟลีน

ไฟลีน เบอร์	t_d (min)	$C_i \pm \Delta C_i$ (counts)	C_{oi} (counts)	$C_o \pm \Delta C_o$ (counts)
SAS 001	248.4	377 ± 91.8	17651.18	17619.88 ± 641.97
	279.0	295 ± 90.6	15841.12	
	310.0	292 ± 100.4	18032.05	
	402.0	215 ± 86.5	20030.62	
	463.2	135 ± 73.7	16544.45	
SAS 002	351.0	450 ± 115.7	33361.82	35613.3 ± 2909.8
	382.8	443 ± 144.5	37871.00	
	414.0	289 ± 139.7	28411.84	
	538.8	178 ± 240.2	30606.64	
	570.0	149 ± 91.9	29463.24	
	632.4	205 ± 95.8	53609.92	
	694.8	104 ± 50.8	35968.45	

ซึ่งคำนวณได้จากค่า photopeak area ที่เวลา t_d ใดๆ เมื่อ $t_a = 15$ นาที และ $t_c = 30$ นาที โดยมี

$$T_{1/2} = 9282.6 \text{ วินาที} \quad \text{และ} \quad \lambda = \frac{0.693}{9282.6 \text{ sec}} = 7.466 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$$

ผ.ข.2 การคำนวณหาความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอน

จากสมการที่ (2.21) จะได้ว่า

$$\phi = \frac{MC\lambda}{m\epsilon Bf\sigma N_A (1-e^{-\lambda_s})e^{-\lambda_d} (1-e^{-\lambda_c})} \quad \text{----- (ผ.ข.4)}$$

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\Delta\phi$ คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2} \quad \text{----- (ผ.ข.5)}$$

แต่เนื่องจากว่า $\Delta m \approx 0$ ดังนั้น สมการที่ (ผ.ข.5) จึงเหลือเพียงสองเทอมคือ

$$\frac{\Delta\phi}{\phi} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2} \quad \text{----- (ผ.ข.6)}$$

จากนั้นก็คำนวณค่าของฟลักซ์ของนิวตรอนโดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ ณ พลังงาน 1.37 MeV

สำหรับ ความหนาแน่นฟลักซ์ของนิวตรอนของแท็บทิมเบอร์(RAS001) ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คำนวณได้ดังนี้

$$m_{\text{Alf}}^{(i)} = 0.25044 \text{ กรัม}$$

$$M_{\text{Al}}^{(ii)} = 26.981538 \text{ กรัม}$$

$$C = (4256 \pm 139.2) \text{ counts}$$

$$B = 100\%$$

$$f = 100\%$$

$$\sigma = (122.51 \pm 0.89) \text{ mb} = (122.51 \pm 0.89) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$T_{1/2} = 53852.4 \text{ วินาที}$$

⁽ⁱ⁾ มวลของฟลักซ์มอนิเตอร์

⁽ⁱⁱ⁾ atomic mass ของอลูมิเนียม

$$\lambda = 1.287 \times 10^{-5} / \text{วินาที}$$

$$\varepsilon = 1.5\%$$

$$t_a = 300 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_a} = 3.854 \times 10^{-3}$$

$$t_d = 53754 \text{ วินาที} ; e^{-\lambda t_d} = 0.501$$

$$t_c = 1800 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_c} = 22.900 \times 10^{-3}$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนค่าต่างๆเหล่านี้ลงในสมการที่ (ผ.ข.4) และ (ผ.ข.6) จะได้ว่า

$$\phi = \frac{26.981538 \times 4256 \times 1.287 \times 10^{-5}}{25.044 \times 10^{-2} \times 1.5 \times 10^{-2} \times 122.51 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 3.854 \times 10^{-3} \times 0.501 \times 22.900 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.21 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{และ } \Delta\phi = \sqrt{\left(\frac{0.89}{122.51}\right)^2 + \left(\frac{139.2}{4256}\right)^2} \times 1.21 \times 10^8$$

$$= 0.04 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \phi \pm \Delta\phi$$

$$= (1.21 \pm 0.04) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

สำหรับความหนาแน่นฟลักซ์นิวตรอนของโพลินเบอร์(SAS001) ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
คำนวณได้ดังนี้

$$m_{\text{Alf}} = 0.34448 \text{ กรัม}$$

$$M_{\text{Al}} = 26.981538 \text{ กรัม}$$

$$C = (71049 \pm 561.3) \text{ counts}$$

$$B = 100\%$$

$$f = 100\%$$

$$\sigma = (122.51 \pm 0.89) \text{ mb} = (122.51 \pm 0.89) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$T_{1/2} = 53852.4 \text{ วินาที}$$

$$\lambda = 1.287 \times 10^{-5} / \text{วินาที}$$

$$\varepsilon = 1.5\%$$

$$t_a = 900 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_a} = 11.516 \times 10^{-3}$$

$$t_d = 49800 \text{ วินาที} ; \quad e^{-\lambda t_d} = 0.527$$

$$t_c = 1800 \text{ วินาที} ; \quad 1 - e^{-\lambda t_c} = 22.900 \times 10^{-3}$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนค่าต่างๆเหล่านี้ลงในสมการที่ (ผ.ข.4) และ (ผ.ข.6) จะได้ว่า

$$\phi = \frac{26.981538 \times 71049 \times 1.287 \times 10^{-5}}{34.448 \times 10^{-2} \times 1.5 \times 10^{-2} \times 122.51 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 1.516 \times 10^{-3} \times 0.527 \times 22.900 \times 10^{-3}}$$

$$= 4.66 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{และ } \Delta\phi = \sqrt{\left(\frac{0.89}{122.51}\right)^2 + \left(\frac{561.3}{71049}\right)^2} \times 4.66 \times 10^8$$

$$= 0.05 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \phi \pm \Delta\phi$$

$$= (4.66 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

สำหรับความหนาแน่นฟลักซ์นิวตรอนของไฟลีนเบอร์(SAS002) ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
คำนวณได้ดังนี้

$$m_{Al} = 0.32063 \text{ กรัม}$$

$$M_{Al} = 26.981538 \text{ กรัม}$$

$$C = (10310 \pm 215) \text{ counts}$$

$$B = 100\%$$

$$f = 100\%$$

$$\sigma = (122.51 \pm 0.89) \text{ mb} = (122.51 \pm 0.89) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$T_{1/2} = 53852.4 \text{ วินาที}$$

$$\lambda = 1.287 \times 10^{-5} / \text{วินาที}$$

$$\epsilon = 1.5\%$$

$$t_a = 900 \text{ วินาที} ; \quad 1 - e^{-\lambda t_a} = 11.516 \times 10^{-3}$$

$$t_d = 52908 \text{ วินาที} ; \quad e^{-\lambda t_d} = 0.506$$

$$t_c = 1800 \text{ วินาที} ; \quad 1 - e^{-\lambda t_c} = 22.900 \times 10^{-3}$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนค่าต่างๆเหล่านี้ลงในสมการที่ (ผ.ข.4) และ (ผ.ข.6) จะได้ว่า

$$\phi = \frac{26.981538 \times 10310 \times 1.287 \times 10^{-5}}{32.063 \times 10^{-2} \times 15 \times 10^{-2} \times 122.51 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 11516 \times 10^{-3} \times 0.506 \times 22.900 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.76 \times 10^8 \text{ n / cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{และ } \Delta\phi = \sqrt{\left(\frac{0.89}{122.51}\right)^2 + \left(\frac{215}{10310}\right)^2} \times 0.76 \times 10^8$$

$$= 0.02 \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

$$\text{ดังนั้น } \phi = \phi \pm \Delta\phi$$

$$= (0.76 \pm 0.02) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$$

ผ.ข.3 การคำนวณหาปริมาณของเหล็กและโครเมียม ในทับทิมและไพไลน

ณ เวลาสิ้นสุดการอบรังสีนิวตรอนพอดี ($t_d = 0$) สมการที่(2.21) จะเขียนได้ว่า

$$m = \frac{MC_0 \lambda}{\varepsilon B \phi f \sigma N_A (1 - e^{-\lambda t_a})(1 - e^{-\lambda t_c})} \quad \text{----- (ผ.ข.7)}$$

และ

$$\frac{\Delta m}{m} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \phi}{\phi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \sigma}{\sigma}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C_0}\right)^2} \quad \text{----- (ผ.ข.8)}$$

ผ.ข.3.1 การคำนวณปริมาณเหล็กในไพไลนที่พลังงาน 846 keV จากปฏิกิริยานิวเคลียร์

$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$ สำหรับไพไลนเบอร์(SAS001) ที่มีค่าต่างๆดังนี้

$$M_{\text{Fe}} = 55.93494 \text{ กรัม}$$

$$C_0 = (17619.88 \pm 641.97) \text{ counts}$$

$$B = 91.68\%$$

$$f = 99\%$$

$$T_{1/2} = 9282.6 \text{ วินาที}$$

$$\sigma = (115.13 \pm 4.29) \text{ mb} = (115.13 \pm 4.29) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$\lambda = 7.466 \times 10^{-5} / \text{วินาที}$$

$$\varepsilon = 2.55\%$$

$$\phi = (4.66 \pm 0.05) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$$

$$t_a = 900 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_a} = 0.065$$

$$t_c = 1800 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_c} = 0.126$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนลงในสมการที่(ผ.ข.7)และ(ผ.ข.8) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} m &= \frac{55.93494 \times 17619.88 \times 7.466 \times 10^{-5}}{2.55 \times 10^{-2} \times 91.68 \times 10^{-2} \times 4.66 \times 10^8 \times 99 \times 10^{-2} \times 115.13 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 0.065 \times 0.126} \\ &= 2. \text{ มิลลิกรัม} \end{aligned}$$

$$\text{และ } \Delta m = \sqrt{\left(\frac{0.05}{4.66}\right)^2 + \left(\frac{4.29}{115.13}\right)^2 + \left(\frac{641.97}{17619.88}\right)^2} \times 12.1 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$= 0.6 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ดังนั้น } m = m \pm \Delta m$$

$$= 12.1 \pm 0.6 \text{ มิลลิกรัม}$$

คิดเป็น (0.49 ± 0.03) เปอร์เซ็นต์ในมวลของ ไพลิตินเบอร์ (SAS 001)

สำหรับ ไพลิตินเบอร์ (SAS 002) โดยมีค่าต่างๆดังนี้

$$M_{\text{Fe}} = 55.93494 \text{ กรัม}$$

$$C_0 = (35613.3 \pm 2909.8) \text{ counts}$$

$$B = 91.68\%$$

$$f = 99\%$$

$$\sigma = (115.13 \pm 4.29) \text{ mb} = (115.13 \pm 4.29) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$T_{1/2} = 9282.6 \text{ วินาที}$$

$$\lambda = 7.466 \times 10^{-5} / \text{วินาที}$$

$$\epsilon = 2.55\%$$

$$\phi = (0.76 \pm 0.02) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$$

$$t_a = 900 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_a} = 0.065$$

$$t_c = 1800 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_c} = 0.126$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนลงในสมการที่(ผ.ข.7)และ(ผ.ข.8) จะได้ว่า

$$m = \frac{55.93494 \times 35613.3 \times 7.466 \times 10^{-5}}{2.55 \times 10^{-2} \times 91.68 \times 10^{-2} \times 0.76 \times 10^8 \times 99 \times 10^{-2} \times 115.13 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 0.065 \times 0.126}$$

$$= 150.1 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{และ } \Delta m = \sqrt{\left(\frac{0.02}{4.76}\right)^2 + \left(\frac{4.29}{115.13}\right)^2 + \left(\frac{2909.8}{35613.3}\right)^2} \times 150.1 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$= 13.5 \text{ มิลลิกรัม}$$

ดังนั้น $m = m \pm \Delta m$

$$= 150.1 \pm 13.5 \text{ มิลลิกรัม}$$

คิดเป็น (2.64 ± 0.24) เปอเซนต์ ในมวลของ โพลินเบอร์ (SAS 002)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ผ.ข.3.2 คำนวณหาปริมาณของโครเมียมในแท่งทึบ ณ พลังงาน 1433 keV โดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{52}\text{Cr}(n,p)^{52}\text{V}$ สำหรับแท่งทึบเบอร์ (RAS001) โดยมีค่าต่างๆดังนี้

$$M_{\text{Cr}}^{[1]} = 51.940511 \text{ กรัม}$$

$$C_0 = (332.3 \pm 34.3) \text{ counts}$$

$$B = 83.76\%$$

$$f = 100\%$$

$$T_{1/2} = 225 \text{ วินาที}$$

$$\sigma = (89 \pm 3.89) \text{ mb} = (89 \pm 3.89) \times 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$\lambda = 3.08 \times 10^{-3} / \text{วินาที}$$

$$\epsilon = 1.45\%$$

$$\phi = (1.21 \pm 0.04) \times 10^8 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$$

$$t_a = 300 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_a} = 0.603$$

$$t_c = 200 \text{ วินาที} ; 1 - e^{-\lambda t_c} = 0.460$$

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mole}$$

แทนลงในสมการที่(ผ.ข.7) และ (ผ.ข.8) จะได้

$$m = \frac{51.940511 \times 332.3 \times 3.08 \times 10^{-3}}{1.45 \times 10^{-2} \times 83.76 \times 10^{-2} \times 1.21 \times 10^8 \times 89 \times 10^{-27} \times 6.02 \times 10^{23} \times 0.603 \times 0.460}$$

$$= 2.44 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{และ } \Delta m = \sqrt{\left(\frac{0.04}{1.21}\right)^2 + \left(\frac{3.89}{89}\right)^2 + \left(\frac{34.3}{332.3}\right)^2} \times 2.44 \text{ มิลลิกรัม}$$

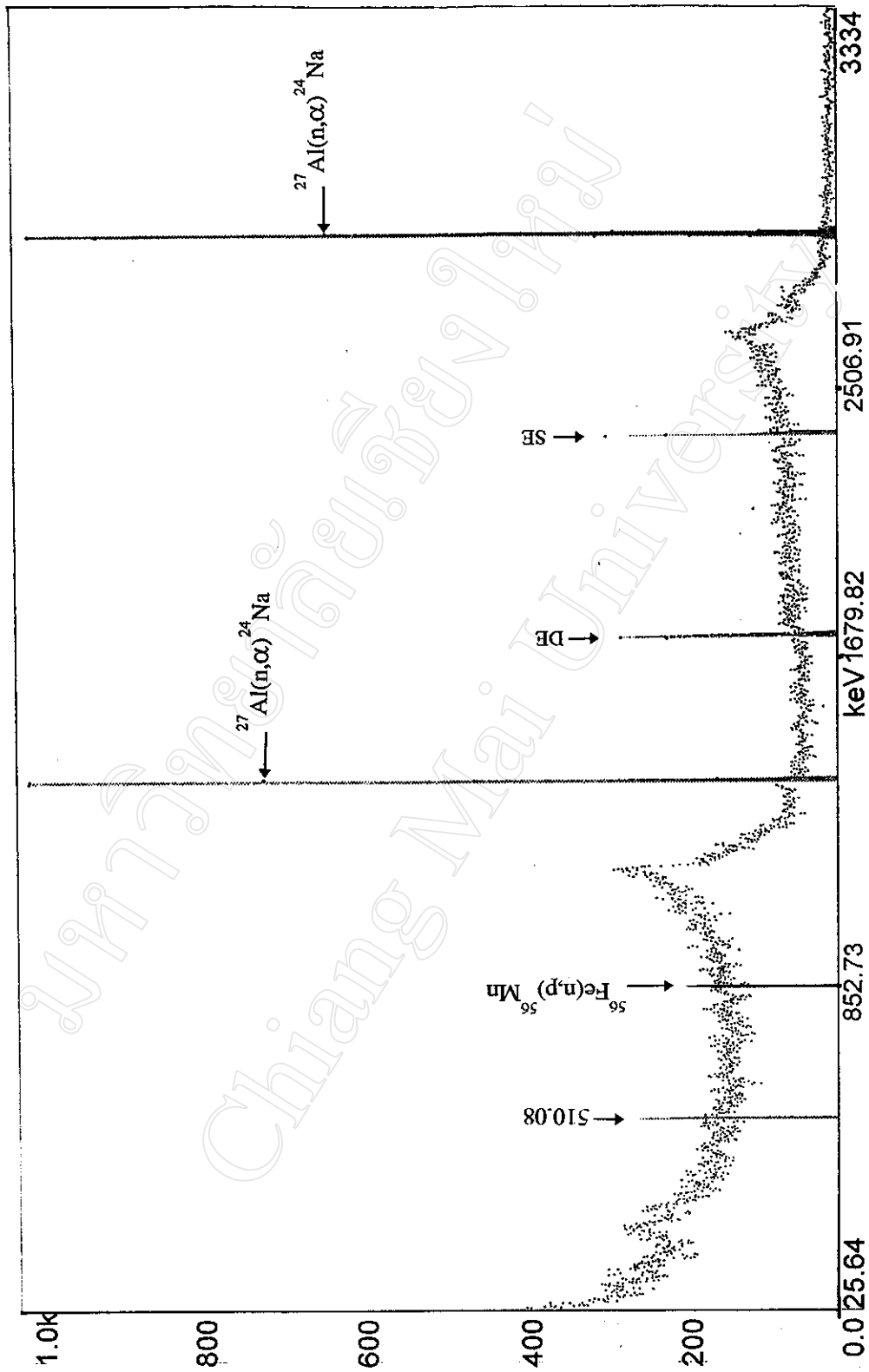
$$= 0.28 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ดังนั้น } m = m \pm \Delta m$$

$$= 2.44 \pm 0.28 \text{ มิลลิกรัม}$$

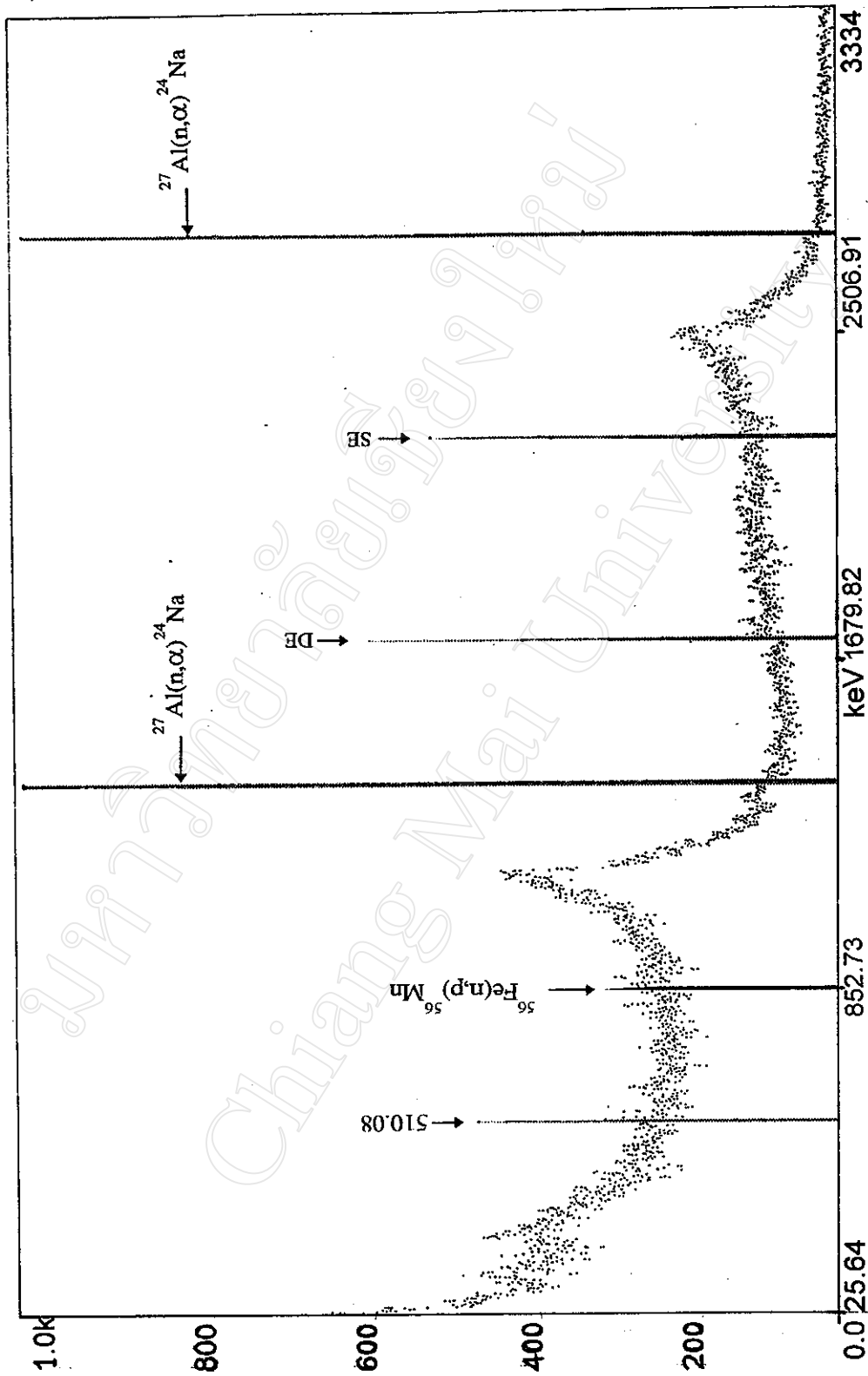
คิดเป็น (0.48 ± 0.06) เปอร์เซ็นต์ในมวลของ แท่งทึบเบอร์ RAS 001

[1] Atomic mass ของธาตุโครเมียม



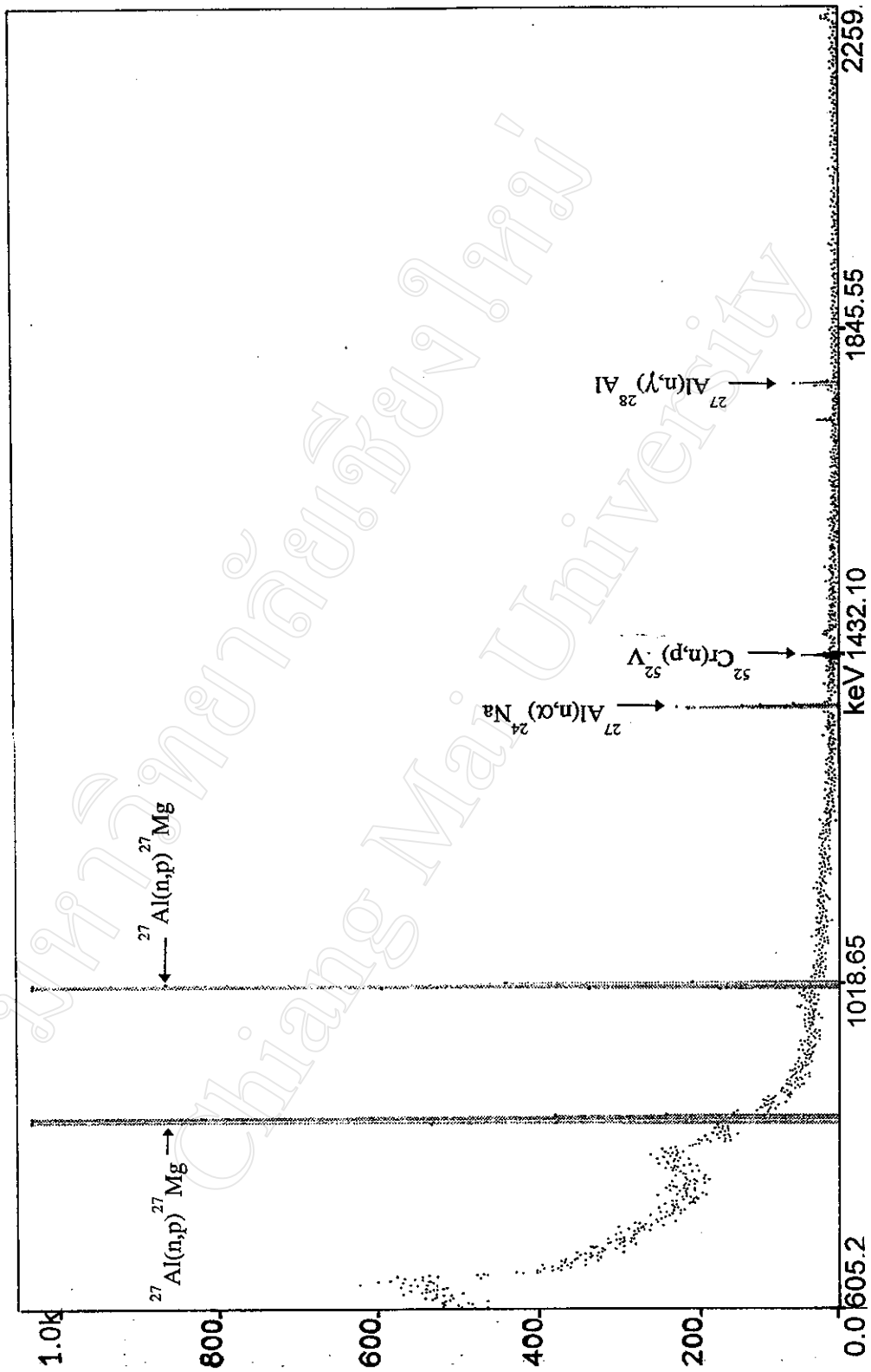
รูปที่ ผ.ง.1 Spectrum ของฟลิเนเบอร์(SAS001) เมื่อ $t_s = 15$ นาที $t_d = 248.1$ นาที

และ $t_c = 30$ นาที



รูปที่ ผ.ข.1 Spectrum ของฟิลิเนบอร์(SBAS002) เมื่อ $t_s = 15$ นาที $t_d = 351.24$ นาที

และ $t_c = 30$ นาที



รูปที่ ผ.ข.1 Spectrum ของพัลซาร์ (RAS001) เมื่อ $t_d = 5$ นาที $t_d = 1.67$ นาที

และ $t_c = 3.33$ นาที

```

C      PROGRAM FOR COMPUTE IRRADIATION TIME
C -----
      REAL  LAMD,Na,RHO,PHI,EPS,B,M,M1,f,T,T3,X,Y
      INTEGER C,T1,T2
C -----
      WRITE(6,40)
40      FORMAT(1X,'PLEASE ENTER NUMBER OF CYCLE')
70      READ(5,*) K
      DO 90 L = 1,K
      WRITE(*,5)
5      FORMAT(1X,' PLEASE ENTER MASS M')
      READ(*,10) M
10     FORMAT(F15.9)
C -----
      C = 1000
      RHO = 103.0E-27
      PHI = 1.0E+8
      EPS = 2.35E-2
      T = 9273.6
      B = 91.68E-2
      Na = 6.02E+23
      M1 = 55.935
      T1 = 1800
      T2 = 180
      f = 9.9E-1
C -----
      LAMD = 0.693/T
      WRITE(*,15)LAMD
15     FORMAT(5X,'LAMD = ',F10.6)
      X = M1*LAMD*C
      Y = M*EPS*B*RHO*f*Na*PHI*(1-EXP(-LAMD*T1))*EXP(-LAMD*T2)
      WRITE(*,25) X,Y
25     FORMAT(2X,'X = ',F15.7, 2X,'Y = ',F15.7)
      T3 = -1/((LAMD*60)*ALOG(1-X/Y))
      WRITE(*,30)T3
30     FORMAT(2X,'T3 = ',F15.7, ' min')
90     CONTINUE
      STOP
      END

```

```

C   PROGRAM FOR COMPUTE A NEUTRONFLUX OF ELEMENTS IN CORUNDUM
REAL NA,NF,AM,HL,LAM,EF,CN,GF,AB,TA,TD,TC,CSS,ME
C   CHARACTER*15 ANS
NA=6.02E23
WRITE(6,*) 'ENTER MASS OF ELEMENTS'
READ(5,*) ME
WRITE(6,*) 'ENTER ATOMIC MASS'
READ(5,*) AM
WRITE(6,*) 'ENTER HALF LIFE'
READ(5,*) HL
LAM=0.693/HL
WRITE(6,*) 'ENTER EFFICINENCY'
READ(5,*) EF
WRITE(6,*) 'ENTER COUNTING NUMBER'
READ(5,*) CN
WRITE(6,*) 'ENTER GAMMA FRACTION'
READ(5,*) GF
WRITE(6,*) 'ENTER ABUNDANCE'
READ(5,*) AB
WRITE(6,*) 'ENTER ACTIVITY TIME'
READ(5,*) TA
WRITE(6,*) 'ENTER DECAY TIME'
READ(5,*) TD
WRITE(6,*) 'ENTER COUNTING TIME'
READ(5,*) TC
WRITE(6,*) 'ENTER CROSS SECTION'
READ(5,*) CSS
NF=(AM*LAM*CN)/(EF*CSS*ME*NA*GF*AB*(1-EXP(-LAM*TA))*EXP(-LAM*TD)
1 *(1-EXP(-LAM*TC)))
WRITE(6,*) 'NF = ',NF,      'neutrons/cm**2-sec'
STOP
END

```

```

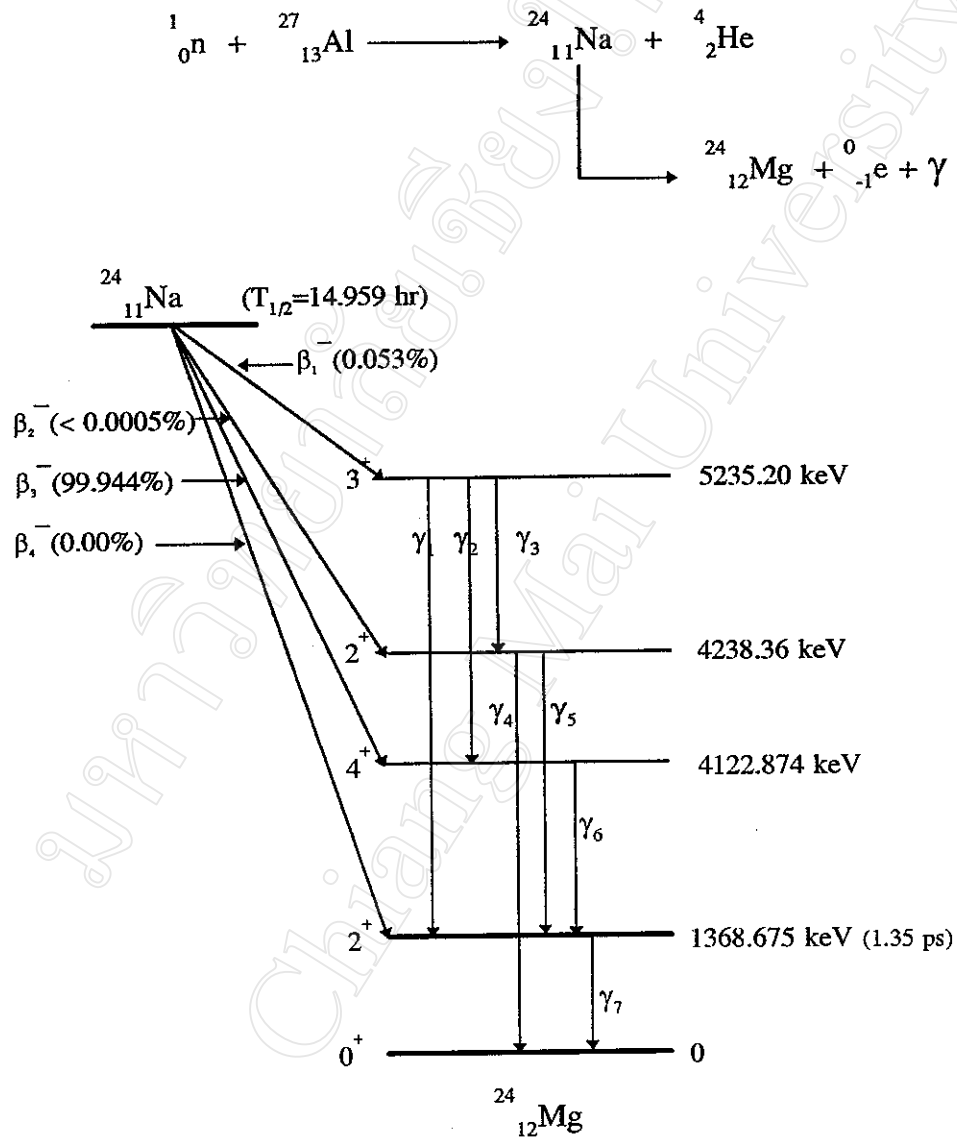
C   PROGRAM FOR COMPUTE A MASS OF ELEMENTS IN CORUNDUM
REAL NA,NF,AM,HL,LAM,EF,CN,GF,AB,TA,TD,TC,CSS,M
C   CHARACTER*5 ANS
NA=6.02E23
WRITE(6,*) 'ENTER NUTRON FLUX'
READ(5,*) NF
WRITE(6,*) 'ENTER ATOMIC MASS'
READ(5,*) AM
WRITE(6,*) 'ENTER HALF LIFE'
READ(5,*) HL
LAM=0.693/HL
WRITE(6,*) 'ENTER EFFICINENCY'
READ(5,*) EF
WRITE(6,*) 'ENTER COUNTING NUMBER'
READ(5,*) CN
WRITE(6,*) 'ENTER GAMMA FRACTION'
READ(5,*) GF
WRITE(6,*) 'ENTER ABUNDANCE'
READ(5,*) AB
WRITE(6,*) 'ENTER ACTIVITY TIME'
READ(5,*) TA
WRITE(6,*) 'ENTER DECAY TIME'
READ(5,*) TD
WRITE(6,*) 'ENTER COUNTING TIME'
READ(5,*) TC
WRITE(6,*) 'ENTER CROSS SECTION'
READ(5,*) CSS
M=(AM*LAM*CN)/(EF*CSS*NF*NA*GF*AB*(1-EXP(-LAM*TA))*EXP(-LAM*TD)
1 *(1-EXP(-LAM*TC)))
WRITE(6,*) 'M = ',M, 'gram'
STOP
END

```

ผนวก ค

แสดงแผนภาพการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ

ผ.ค.1 แผนภาพการสลายตัวของ $^{24}_{11}\text{Na}$ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{27}_{13}\text{Al}(n,\alpha)^{24}_{11}\text{Na}$

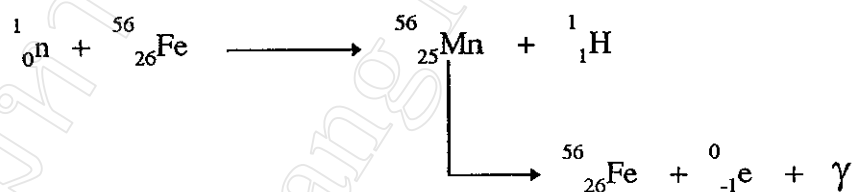


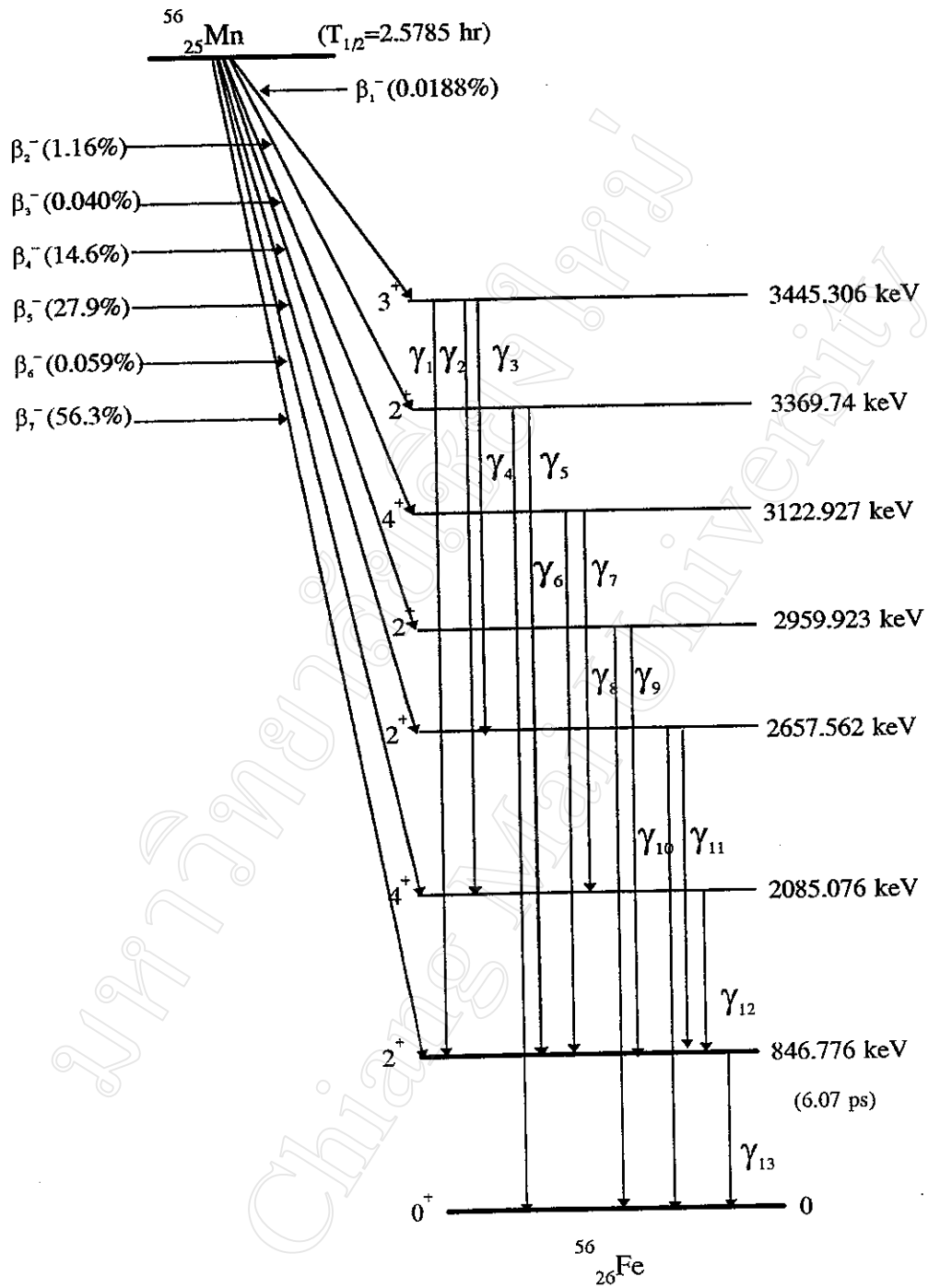
รังสีแกมมาที่ได้จากการสลายตัวออกมาจากสารกัมมันตรังสี ของ $^{24}_{11}\text{Na}$ ลงสู่ระดับพลังงานต่างๆ จะมีค่า branching ratio , gamma fraction และ พลังงาน ที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในตาราง ผ.ค.1

fraction ในการสลายตัวของ $^{24}_{11}\text{Na}$

Gamma Rays	Energy (keV)	gamma fraction (%)	β^- emission (%)
γ_1	3866.19	0.051	0.053
γ_2	1112.30	< 0.0003	
γ_3	996.82	< 0.001	
γ_4	4237.96	< 0.002	< 0.0005
γ_5	2869.50	< 0.001	
γ_6	2754.028	99.944	99.944
γ_7	1368.633	100	0.003

ผ.ค.2 แผ่นภาพการสลายตัวของ $^{56}_{25}\text{Mn}$ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{56}_{26}\text{Fe}(n,p)^{56}_{25}\text{Mn}$



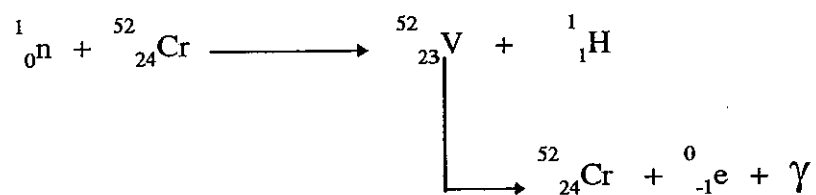


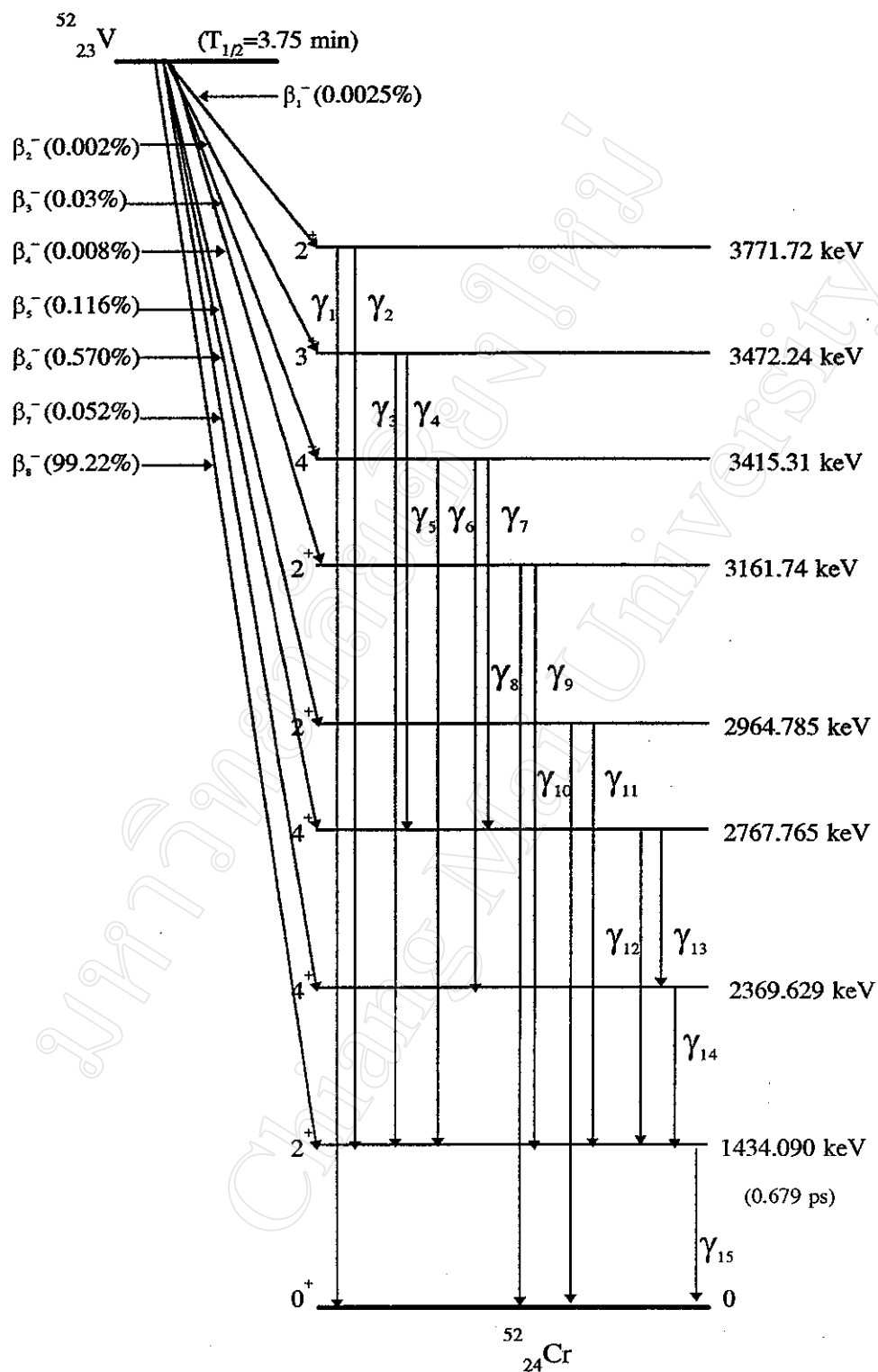
รังสีแกมมาที่ได้จากการสลายตัวออกมาจากสารกัมมันตรังสี ของ $^{56}_{25}\text{Mn}$ ลงสู่ระดับพลังงานต่างๆ จะมีค่า branching ratio , gamma fraction และ พลังงาน ที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในตารางที่ ผ.ก.2

fraction ในการสลายตัวของ $^{56}_{25}\text{Mn}$

Gamma Rays	Energy (keV)	gamma fraction (%)	β^- emission (%)
γ_1	2598.459	0.0148	0.0188
γ_2	1360.215	< 0.004	
γ_3	787.742	< 0.0003	
γ_4	3369.60	0.1685	1.16
γ_5	2522.88	0.9914	
γ_6	2276.36	< 0.0003	0.040
γ_7	1037.840	0.0396	
γ_8	2959.77	0.3059	14.6
γ_9	2113.123	14.2941	
γ_{10}	2657.45	0.8654	27.9
γ_{11}	1810.772	27.0351	
γ_{12}	1238.282	0.1024	0.059
γ_{13}	846.771	98.7382	56.3

ผ.ค.3 แผนภาพการสลายตัวของ $^{52}_{23}\text{V}$ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ $^{52}_{24}\text{Cr}(n,p)^{52}_{23}\text{V}$





รังสีแกมมาที่ได้จากการสลายตัวออกมาจากสารกัมมันตรังสี ของ $^{52}_{23}\text{V}$ ลงสู่ ระดับพลังงาน จะมีค่า branching ratio , gamma fraction และ พลังงาน ที่แตกต่างกัน ดังที่แสดงในตาราง ที่ ผ.ก.3

ตารางที่ ผ.ถ.3 แสดงความแตกต่างระหว่าง branching ratio (β^-) และ gamma-fraction ในการสลายตัวของ $^{52}_{23}\text{V}$

Gamma Rays	Energy (keV)	gamma fraction (%)	β^- emission (%)
γ_1	3771.7	< 0.0005	0.0025
γ_2	2337.44	< 0.002	
γ_3	2038.0	< 0.0004	0.002
γ_4	704.6	< 0.001	
γ_5	1981.12	< 0.002	0.03
γ_6	1045.73	< 0.004	
γ_7	647.47	0.0239	
γ_8	3161.8	< 0.0007	0.008
γ_9	1727.53	< 0.007	
γ_{10}	2965	< 0.001	0.116
γ_{11}	1530.67	0.1150	
γ_{12}	1333.649	0.5856	0.570
γ_{13}	398.08	0.0353	
γ_{14}	935.538	0.0914	0.052
γ_{15}	1434.068	100	99.22

ผนวก ง

อันตรกิริยาของรังสีแกมมา กับมวลสาร

(Interaction of Gamma Rays with Matter)

รังสีแกมมา หรือโฟตอนเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีประจุ มีอำนาจทะลุทะลวงสูง เมื่อกระทบกับสารจะมีโอกาสเกิดกระบวนการที่สำคัญหลักๆอยู่สามประเภท กล่าวคือ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric absorption) การกระเจิงคอมป์ตัน (compton- scattering) และการผลิตคู่ (pair production)

ผ.ง.1 การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก(Photoelectric absorption)

เป็นกระบวนการที่รังสีแกมมา หรือโฟตอนที่มีพลังงาน $E = h\nu$ ชนกับอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร โดยอะตอมของสารจะดูดกลืนรังสีแกมมา หรือโฟตอน นั่นก็คือถ่ายทอดพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในอะตอม เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงาน ก็จะหลุดออกจากอะตอมด้วยพลังงานจลน์

$$E_{e-} = h\nu - E_b$$

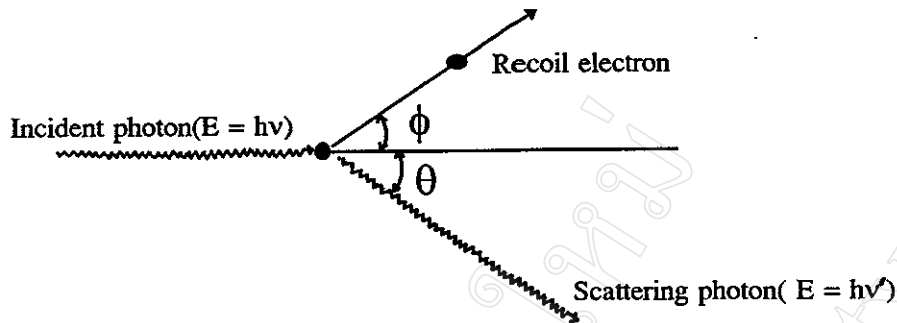
เมื่อ E_b คือพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในอะตอม กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในสารที่มีเลขอะตอม (Z) สูง

ผ.ง.2 การกระเจิงคอมป์ตัน (Compton scattering)

เป็นกระบวนการที่รังสีแกมมาหรือโฟตอนไปชนอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร แล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนในอะตอมของสาร ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาด้วยความเร็วสูง ส่วนรังสีแกมมาที่เข้าชนก็จะกระเจิงออกมาทำมุม θ เทียบกับทิศทางเดิมของการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ ผ.ง.1

$$\text{โดยที่} \quad h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos \theta)}$$

คือพลังงานของรังสีแกมมาหลังทำปฏิกิริยากับสารแล้ว และ $m_0c^2 = 0.511 \text{ MeV}$ เป็นพลังงานมวลหนึ่งของอิเล็กตรอน



รูปที่ ผ.จ.1 แสดงภาพการกระเจิงแบบคอมป์ตันของโฟตอน

การกระเจิงแบบคอมป์ตันจะเกิดขึ้นกับรังสีแกมมาที่มีพลังงานในช่วง 800 KeV ถึง 3 MeV โดยไม่ขึ้นกับเลขอะตอม (Z) ของสารตัวกลางมากนัก เพราะอิเล็กตรอนที่เกิดอันตรกิริยากับรังสีแกมมาในกระบวนการนี้จะเป็นอิเล็กตรอนที่อยู่ห่างจากนิวเคลียส คืออิเล็กตรอนวงนอกสุด

ผ.จ.3 การผลิตคู่ (Pair production)

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมามีพลังงานสูงกว่า $2m_0c^2$ หรือ 1.022 MeV เมื่อรังสีแกมมาหรือโฟตอน มีพลังงานสูงเคลื่อนที่เข้าใกล้นิวเคลียสของสารมากๆ รังสีแกมมาจะกระทำกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้มมาก ซึ่งอยู่ใกล้นิวเคลียส แล้วตัวมันจะหายไปและเกิดผลิตคู่ อิเล็กตรอน (e^-) และโพสิตรอน (e^+) ขึ้นมาแทน โดยพลังงานจลน์ของอนุภาคคู่ นี้มีค่าเป็นไปตามสมการ

$$T = h\nu - 2m_0c^2$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ทองลุน วิไลทอง
วัน เดือน ปีเกิด	10 มีนาคม 2504
สถานที่เกิด	บ้านบวมพอ อำเภอพุกาม จังหวัดหลวงพระบาง
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตร ครุประถม จากโรงเรียน สร้างครูประถมหลวงพระบาง พ.ศ 2521 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตร ครุมัธยม จากโรงเรียน สร้างครูชั้นกลางเลข-2 หลวงพระบาง พ.ศ 2524 สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรชั้นการศึกษามัธยมศึกษาจาก มหาวิทยาลัย Truong Daihoc Supham1-Hanoi ประเทศเวียดนาม พ.ศ 2534
ประสบการณ์ด้านวิชาการ	เป็นครูสอนวิชาคณิตศาสตร์ที่โรงเรียนสร้างครู ชั้นกลางเลข-2 หลวงพระบาง (พ.ศ 2525 - 2527) เป็นอาจารย์สอนที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยแห่งชาติ เวียงจันทน์ (พ.ศ 2535 - ปัจจุบัน)