

การศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุบริสุทธิ์ A Study of Differential Cross Sections for Compton Scattering of Pure Elements

กิตติพงษ์ เสียงเสนาะ^{1*} พงศมิตล ลิมกิจเจริญภรณ์^{1, 3} วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล²
พิเชษฐ ลิมสุวรรณ² และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{1, 3}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*first_f@windowslive.com

บทคัดย่อ

ในงานนี้ได้ทำการศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุบริสุทธิ์ โดยใช้รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จาก ¹³⁷Cs เป็นโฟตอนก่อเกิดอันตรกิริยา ในการศึกษาที่ใช้ธาตุ คาร์บอน อลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก และตะกั่ว เป็นแท่งกระเจิง สเปกตรัมของรังสีแกมมากระเจิงที่มุม 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา จะถูกบันทึกด้วยหัววัดรังสีแบบซิลทิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์ และคำนวณหาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ นอกจากนี้เรานำเสนอการเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีของภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ซึ่งถูกคำนวณโดยสมการไคลน์ นิชินา กับค่าทางการทดลอง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ ค่าทางทฤษฎีและค่าทางการทดลองมีความสอดคล้อง โดยค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ขึ้นอยู่กับมุมกระเจิงและเลขอะตอมของธาตุที่ใช้เป็นแท่งกระเจิง

คำสำคัญ: การกระเจิงแบบคอมป์ตัน, ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์, สมการไคลน์ นิชินา

Abstract

In this work, the differential cross section of the Compton scattering for the pure elements was studied using 662 keV gamma rays from ¹³⁷Cs source as the interaction photons. Carbon, aluminium, copper, iron and lead rods were used as scattering materials. The scattered gamma ray spectra at various scattering angles of 30, 45, 60, 75, 90, 105, and 120 degree were recorded by NaI(Tl) scintillation detector and the differential cross sections were determined. The experimental values of the differential cross section were compared with the theoretical values calculated by Klein Nishina formula. The results show that the experimental results are in good agreement with those of theoretical calculation. Furthermore, The atomic differential cross section values depend on the scattering angle and the atomic number (Z) of the scattering elements.

Keywords: Compton Scattering, Differential Cross Section, Klein Nishina Formula

1. บทนำ

ผู้คนทั่วไปมักมีความคิดว่าพลังงานนิวเคลียร์เป็นเรื่องที่น่ากลัวและอันตราย แต่มนุษย์ก็ได้นำพลังงานนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลากหลายสาขา เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร พลังงาน และอุตสาหกรรม ในการนำพลังงาน

นิวเคลียร์หรือเทคนิคทางนิวเคลียร์ไปใช้ จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานว่าพลังงานงานนิวเคลียร์ที่ปล่อยออกมาในรูปของกัมมันตภาพรังสี หรือรังสีนิวเคลียร์ ซึ่งรังสีนิวเคลียร์แต่ละประเภทเมื่อเข้าชนกับสสารจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) แตกต่างกันไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรังสีที่เข้าชนและสสาร โดยหลังการชน รังสีอาจมีพลังงานลดลง เปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่หรือถูกดูดกลืนไว้ในสสาร ส่วนในสสารอาจเกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน การกระตุ้น หรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยและมีรายละเอียดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและพลังงานของรังสี สมบัติของสสาร (มวลอะตอม รังสี, 2545) ซึ่งจากการศึกษาของรัทเทอร์ฟอร์ด เรื่องการกระเจิงของรังสีแอลฟาที่มีพลังงานต่ำโดยนิวเคลียสของแผ่นทองคำ สรุปได้ว่าอะตอมประกอบไปด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบ ๆ เส้นผ่าศูนย์กลางอะตอมมีค่าโดยประมาณ 10^8 เซนติเมตร และนิวเคลียสมีขนาด 10^{-12} เซนติเมตร ผลดังกล่าวนับเป็นการเริ่มต้นยุคของนิวเคลียร์ฟิสิกส์ จะเห็นได้ว่าอะตอมมีขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้การสังเกตโดยตรงด้วยตาเปล่า แม้ว่าจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบันส่องดูก็ไม่อาจเห็นอะตอมได้ อย่างไรก็ตามเรายังคงต้องการศึกษาเรื่องราวต่าง ๆ เกี่ยวกับอะตอม เราจึงต้องเลี้ยวไปใช้วิธีศึกษาทางอ้อมวิธีที่ดีที่สุด คือ การศึกษาการกระเจิงของอนุภาค เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ทั้งยังได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความจริงด้วย

ในความจริงแล้วอาจมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในขณะเกิดปฏิกิริยาด้วย แต่ผลที่ออกมาก็ยังมีความสัมพันธ์เท่ากับเมื่อเริ่มต้น (กันทิมา รัชฎาวรรณพงษ์, 2524) ในการทดลองนี้เรามุ่งที่จะศึกษาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นหรือเรียกอีกอย่างว่าการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมา (inelastic scattering of γ -rays) เราจะนำความรู้ในเรื่องภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ซึ่งมีประโยชน์ในการคำนวณของการลดทอนรังสี การป้องกันเครื่องปฏิกรณ์ การถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม การลำเลียงและการสะสมพลังงานในฟิสิกส์ทางการแพทย์ และอีกหลากหลายในสายงานอื่น ๆ (Ghumman, B.S., Archarya, V.B. and Sing, B., 1981: 3905) การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของรังสีแกมมาโดยอิเล็กตรอนอิสระถูกอธิบายได้อย่างเป็นนัยโดยทฤษฎีของ Klein-Nishina (Klein, O. and Nishina, Y., 1929: 853)

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการทดลองการกระเจิงแบบคอมป์ตันโดยใช้ ^{137}Cs ที่พลังงาน 662 keV เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุบริสุทธิ์ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎี

2. ทฤษฎี

2.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร

การไอออนไนส์หรือการกระตุ้นไม่อาจเกิดในสสาร เนื่องจากรังสีแกมมาไม่มีประจุ ตามปกติรังสีทุกชนิดเมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อสาร จะเกิดการชนกับอะตอมของสารทำให้เสียพลังงานไปตลอดเวลาที่เคลื่อนที่ไป จนกระทั่งพลังงานจลน์หมดไปและถูกสสารดูดกลืนในที่สุด รังสีแกมมาก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีปริมาณรังสีจำนวนหนึ่งผ่านเข้าไปในเนื้อสาร บางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ บางส่วนจะผ่านออกมาได้ โดยไม่มีอันตรกิริยา การเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์ได้แก่การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการผลิตอิเล็กตรอนคู่ (pair production) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ (photonuclear reactions) ได้หากรังสีแกมมามีพลังงานสูงพอ

2.1.1 ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton effect) (Evans,R.D.,1970)

ในกรณีที่รังสีแกมมามีพลังงานขนาดปานกลาง (ในช่วงประมาณ 0.5 - 1.0 MeV) อันตรกิริยาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบผลคอมป์ตันหรือการกระเจิงคอมป์ตันกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับโฟตอนและอิเล็กตรอนโดยที่ส่วนหนึ่งของพลังงานของโฟตอนจะจ่ายให้กับอิเล็กตรอน โฟตอนที่หลุดลอดออกมาจากการชนจะอยู่ในทิศทางใหม่พร้อมกับพลังงานที่ลดลง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{m_e c^2}\right)(1 - \cos\theta)} \quad (1)$$

โดยที่ E_γ คือ พลังงานของรังสีแกมมาตกกระทบ

E'_γ คือ พลังงานของรังสีแกมมากระเจิง

E_e คือ พลังงานของ Recoil electron (MeV)

รังสีแกมมาสูญเสียพลังงานไปบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนและกระเจิงไปเป็นมุม θ โดยมีพลังงานเหลือ E'_γ โดยที่ $m_e c^2$ คือ เป็นพลังงานมวลนิ่งของอิเล็กตรอน 511 keV

2.2 ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Kurucu, Y. et al, 1998)

การกระเจิงแบบคอมป์ตันเป็นหนึ่งในกระบวนการของอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอน ซึ่งโฟตอนที่ตกกระทบ สามารถคำนวณค่าที่ได้จากทางทฤษฎีของภาคตัดขวางของการกระเจิง โดยอ้างอิงจากสมการของ Klein-Nishina ซึ่งนำไปใช้งานได้โดยตรงกับโฟตอนที่มีขอบเขตของพลังงานสูง ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ของเป้าและพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ ซึ่งได้ถูกศึกษาและรวบรวมไว้โดย Klein-Nishina ดังสมการ

$$\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{\gamma'}{\gamma}\right)^3 \left(\frac{\gamma}{\gamma'} + \frac{\gamma'}{\gamma} - \sin^2 \theta\right) \quad (2)$$

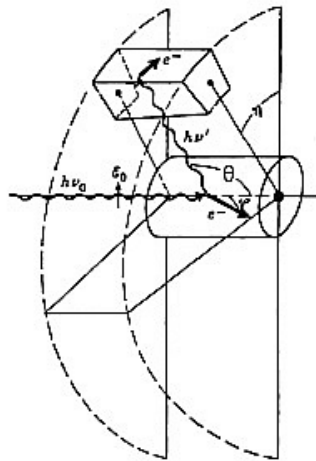
เมื่อ r_0 คือ รัศมี classical electron : $\frac{e^2}{mc^2} = 2.818 \times 10^{-13} \text{cm}$.

θ คือ มุมที่โฟตอนกระเจิง

γ คือ พลังงานของโฟตอนจากแหล่งกำเนิดรังสี

γ' คือ พลังงานของโฟตอนที่กระเจิง

Klein- Nishina cross section หมายถึง ความน่าจะเป็นของโฟตอนที่ชนกับสสารแล้วเกิดการเบี่ยงไปผ่านมุมบางมุม โดยพลังงานของโฟตอนส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม และโฟตอนที่มีพลังงานเหลือก็เกิดการกระเจิงเช่นกัน



รูปภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการกระเจิงเมื่อโฟตอนตกกระทบเป้าแล้วทำให้เกิดคอมป์ตันอิเล็กตรอนในทิศทางหนึ่ง ในขณะทีโฟตอนกระเจิงที่มุม θ, η

ที่มา: Evans,R.D. (1970). *The Atomic Nucleus*. McGraw-Hill Book Company. New York.

การคำนวณภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน สำหรับโฟตอนพลังงานต่ำ สามารถนำมารวมได้เฉพาะหลังจากการพิจารณาการมีอิทธิพลของอิเล็กตรอนวงนอก นั่นคือความสำเร็จจากแรงกระตุ้นของการประมาณค่าโดยแสดงภาคตัดขวางการกระเจิงแบบคอมป์ตัน : $\frac{d\sigma_c}{d\Omega}$ สำหรับการกระเจิงแบบคอมป์ตันของโฟตอนของพลังงาน E ผ่านมุม θ ในเทอมที่เกี่ยวข้องกับ Klein- Nishina cross section : $\frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega}$ และ Incoherent Scattering Function : $S(x,Z)$

$$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} = \frac{d\sigma_{KN}}{d\Omega} S(x,z) \quad (3)$$

โดยที่ $S(x,Z)$ คือ Incoherent Scattering Function

ซึ่ง Z คือ เลขอะตอม

$$X = (\sin \theta/2)/\lambda(\text{Å})$$

โดย $\lambda(\text{Å})$ คือ ความยาวคลื่นของโฟตอน

$$= 12.398520/E(\text{keV})$$

Incoherent scattering function, $S(x,Z)$ คือ ความน่าจะเป็นของอะตอมมิถิเล็กตรอน มีโมเมนตัมที่ถูกรับมา กำหนดโดยค่า x จะถูกดูดซับพลังงานทั้งหมดเป็นผลในระดับพลังงานกระตุ้น ทั้งหมดของการประเมินผลของ $S(x,Z)$ ได้จัดกระทำไว้เป็นตารางโดย Hubble (Hubble, J.H., et al.,1975: 471) และแนวโน้มของ Incoherent scattering function ที่ค่า X สูงขึ้น จะทำให้สามารถใช้ค่าเลขอะตอมของธาตุนั้นเป็นตัวแทนของ Incoherent scattering function

3. วิธีการทดลอง

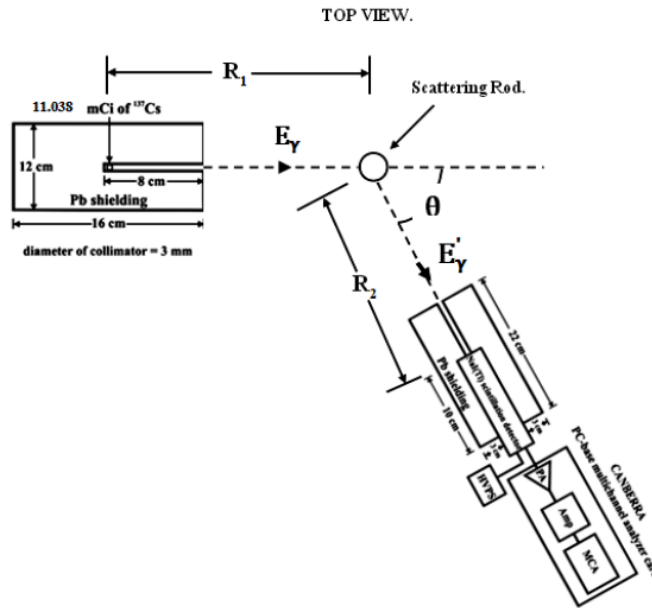
3.1 การหาค่าพลังงานรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมกระเจิงต่าง ๆ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าพลังงานรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมกระเจิงต่าง ๆ
2. เพื่อนำค่าพลังงานที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์

วิธีวิจัย

1. เชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปภาพที่ 2
2. ตั้งฟังก์ชันของเครื่อง MCA โดยใช้เวลา 25,000 วินาทีในการนับวัดต่อมุมที่ใช้ในการกระเจิง
3. กำหนดระยะห่าง R_1 (ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาถึงเป้าที่ใช้ในการกระเจิง) เท่ากับ 12.3 เซนติเมตร และระยะห่าง R_2 (ระยะห่างระหว่างเป้าที่ใช้ในการกระเจิงถึงหัววัดรังสีแกมมา) เท่ากับ 20.0 เซนติเมตร
4. ใช้ธาตุคาร์บอนเป็นเป้าในการกระเจิง โดยติดตั้งที่ตำแหน่งกระเจิงแล้วทำการนับวัดรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา ตามลำดับ
5. บันทึกผลหมายเลขช่องที่นับวัดได้
6. นำค่าหมายเลขช่องที่นับวัดได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานรังสีแกมมาที่มุมกระเจิงนั้น ๆ โดยใช้กราฟเปรียบเทียบพลังงาน
7. ทำซ้ำในข้อที่ 4-6 โดยเปลี่ยนธาตุที่เป็นเป้าในการกระเจิงเป็น อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง และตะกั่ว ตามลำดับ



รูปภาพที่ 2 การจัดอุปกรณ์การวิจัยเพื่อหาค่าพลังงานรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตัน

4. ผลการทดลอง และการอภิปราย

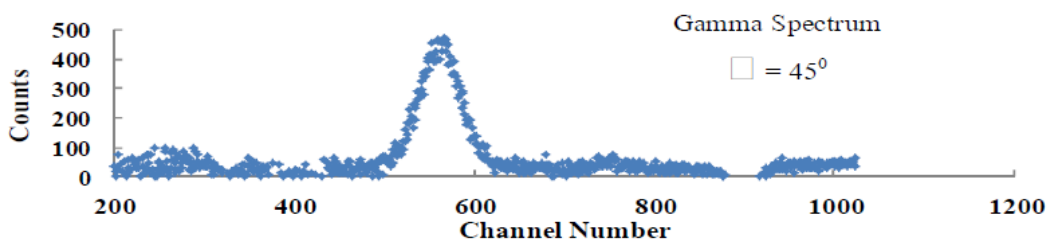
4.1 การวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่ได้จากปรากฏการณ์คอมป์ตัน

มุมต่าง ๆ ที่ใช้ในการกระเจิงก็สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิจัยการวัดรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมกระเจิงต่าง ๆ

มุม	Channel	E'_γ (exp)	E'_γ (the)	% RD
30	679	578.42 ± 27.8	564.08	2.54
45	577	490.04 ± 20.7	479.86	2.12
60	489	413.80 ± 16.0	401.76	3.00
75	410	345.35 ± 16.1	337.76	2.25
90	353	295.97 ± 15.6	288.39	2.63
105	308	256.98 ± 14.2	251.61	2.13
120	278	230.99 ± 12.2	224.92	2.70

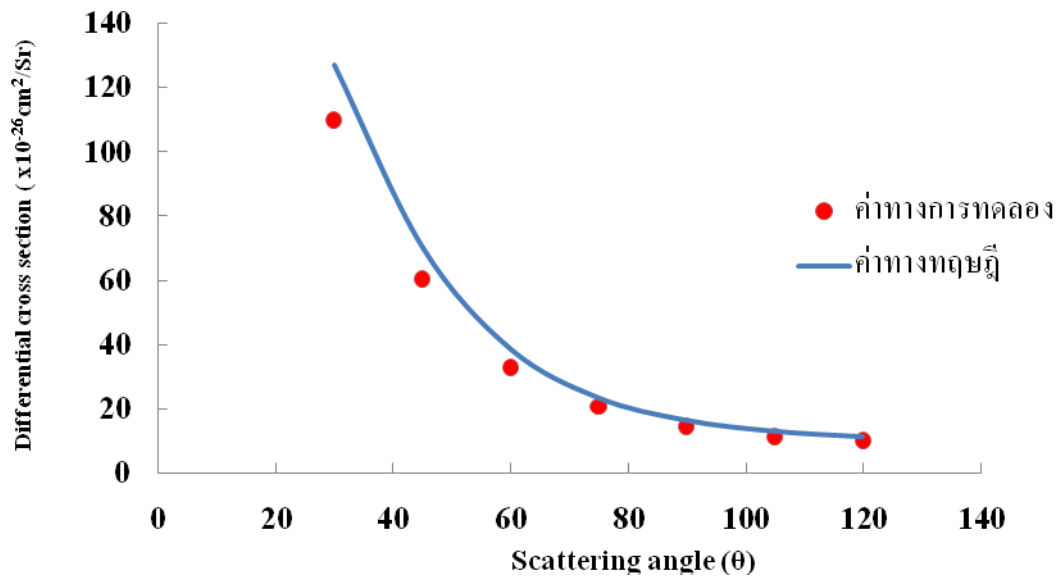
ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาที่มุมกระเจิงต่าง ๆ เมื่อใช้ทองแดงเป็นแท่งกระเจิง



รูปภาพที่ 3 ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 45 องศา

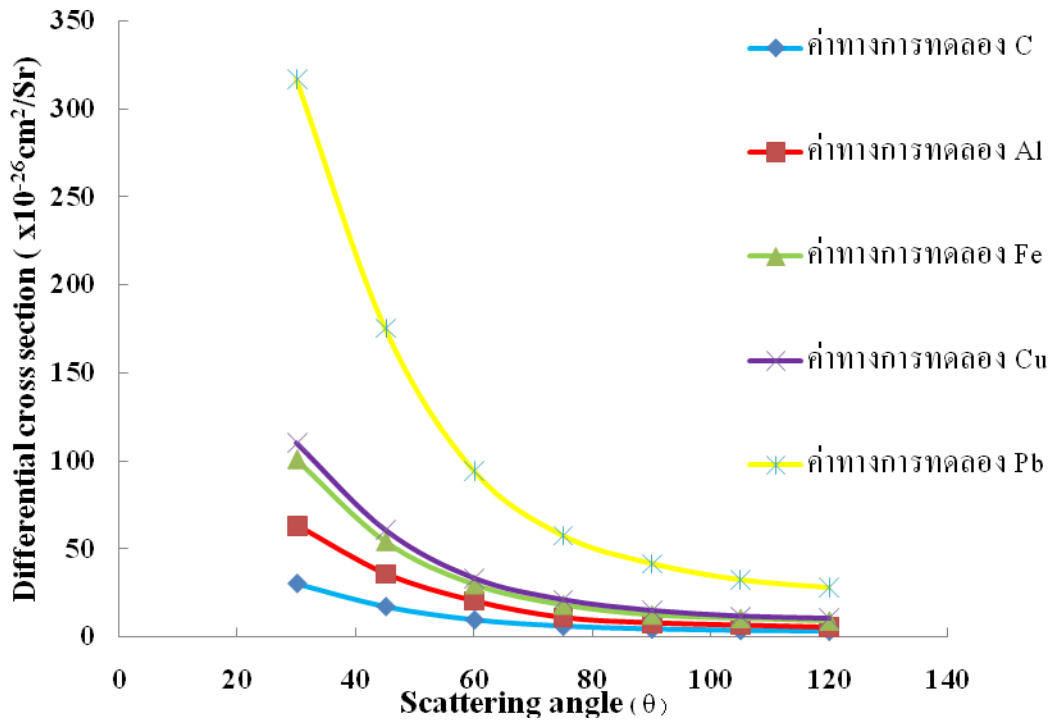
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์จากการทฤษฎีและค่าจากการวิจัยของรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มีมุมกระเจิงต่าง ๆ ของธาตุทองแดง

$\theta(^{\circ})$	$\frac{d\sigma_c}{d\Omega_{(T)}} \times 10^{-26} \frac{\text{cm}^2}{\text{Sr}}$	$\frac{d\sigma_c}{d\Omega_{(exp)}} \times 10^{-26} \frac{\text{cm}^2}{\text{Sr}}$	%RD
30	127.00	110.00	11.99
45	70.40	60.50	13.99
60	38.70	33.00	14.67
75	23.50	20.80	11.59
90	16.50	14.60	11.44
105	13.10	11.40	13.42
120	11.40	10.10	11.81



รูปภาพที่ 4 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระเจิงและค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุทองแดง

จากผลการวิจัยที่ได้ในตารางที่ 2 เมื่อนำมาเสนอในรูปแบบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์กับมุมที่ใช้ในการกระเจิงของธาตุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นเป้าหมายในการวิจัยดังแสดงในรูปภาพที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นแนวโน้มของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ เช่น มุมที่ใช้ในการกระเจิงและธาตุที่ใช้เป็นเป้า ดังแสดงในรูปภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์กับมุมที่ใช้ในการกระเจิงของธาตุต่าง ๆ ที่ใช้เป็นเป้าในการวิจัย

5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและออกแบบการทดลองการกระเจิงแบบคอมป์ตันโดยใช้ ¹³⁷Cs ที่พลังงาน 662 keV เป็นโฟตอนก่อเกิดอันตรกิริยา ใช้ธาตุ คาร์บอน อลูมิเนียม ทองแดง เหล็ก และตะกั่ว เป็นแท่งกระเจิงตามลำดับ ที่มุมกระเจิง 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา ซึ่งถูกบันทึกด้วยหัววัดรังสีแบบซิลิคิลเลชัน โซเดียมไอโอดด์

จากการทดลองการวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่ได้จากปรากฏการณ์คอมป์ตัน สามารถคำนวณหาค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิง เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับค่าทางทฤษฎี มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 2.12 - 3.00 % โดยมุมกระเจิงที่ 60 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 3.00 %

จากการทดลองศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุต่าง ๆ ที่นำมาใช้เป็นแท่งกระเจิงเป็นการวัดและคำนวณค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของรังสีแกมมาที่ได้จากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมกระเจิงต่าง ๆ จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีมีความสอดคล้องกันโดยเมื่อใช้คาร์บอนเป็นแท่งกระเจิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 15.02 - 18.89% โดยที่มุมกระเจิง 90 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 18.89 % เมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นแท่งกระเจิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 4.12 - 17.09 % โดยที่มุมกระเจิง 60 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 17.09 % เมื่อใช้เหล็กเป็นแท่งกระเจิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 10.93 - 15.29 % โดยที่มุมกระเจิง 90 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 15.29 % เมื่อใช้ทองแดงเป็นแท่งกระเจิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 11.44 - 14.67 % โดยที่มุมกระเจิง 60 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 14.67 % และเมื่อใช้ตะกั่วเป็นแท่งกระเจิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 11.44 - 15.12 % โดยที่มุมกระเจิง 120 องศา มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างสูงสุดที่ 15.12 % จากผลการทดลองทั้งหมดที่มุมกระเจิงสูงขึ้นไปจะมีแนวโน้มของค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่ลดลงซึ่งผลการทดลองที่ได้ก็มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นมีคุณภาพที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างผลในการวิจัยครั้งนี้กับค่าทางทฤษฎีด้วยการแสดงของเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างและค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์จะมีค่ามากขึ้นเมื่อสังเกตจากเลขอะตอม นั่นคือ คาร์บอน อลูมิเนียม เหล็ก ทองแดงและตะกั่ว มีค่าเลขอะตอมที่แตกต่างกัน ดังเช่น คาร์บอนมีเลขอะตอมเท่ากับ 6 กับอลูมิเนียมมีเลข

อะตอมเท่ากับ 13 ก็แสดงให้เห็นถึงค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่ใกล้กัน เหล็กมีเลขอะตอมเท่ากับ 26 กบทองแดงมีเลขอะตอมเท่ากับ 29 แสดงให้เห็นถึงค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่ใกล้กัน และตะกั่วมีเลขอะตอมเท่ากับ 82 ซึ่งค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ก็เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงให้เห็นในรูปภาพที่ 5

จากผลการวิจัยซึ่งถูกแสดงโดยใช้รูปแบบในการกระเจิงแบบคอมป์ตันทำให้ได้ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันต่ออะตอม ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเป็น ^{137}Cs ที่พลังงาน 662 keV ให้ค่าของผลการวิจัยโดยผลดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับมุมที่ใช้ในการกระเจิงและค่าเลขอะตอมของเป้าที่ใช้ในการกระเจิง

6. เอกสารอ้างอิง

- กันทิมา รัชฎาวรรณพงษ์. (2524). **ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ 1.048 MeV ของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 โดยตะกั่ว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ.(2545). **วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- Evans,R.D. (1970). **The Atomic Nucleus**. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Ghumman, B.S., Archarya, V.B. and Sing, B. (1981). "Compton Scattering of 145 keV Photons from Bound Electrons of Tin and Molybdenum". **Journal of Physics B**. Vol. 14 No.20. pp. 3905-3909.
- Hubbell, J.H., et al. (1975) "Atomic Form Factors, Incoherent Scattering Function and Photon Scattering Cross sections". **Journal of Physical and Chemical Reference Data**. Vol. 4. No. 3. pp. 471-538.
- Klein, O. and Nishina, Y. (1929). "Scattering of Radiation by Free Electrons on the New Relativistic Quantum Dynamics of Dirac". **Zeitschrift für Physik**. Vol. 52. pp. 853-868.
- Kurucu, Y.,Erzeneoglu,S., Durak, R. and Sahin, Y. (1998). "Measurement of the Compton and Coherent Scattering Differential Cross-Sections". **Turkish Journal of Physics**. Vol.22. pp. 783-788.
- Melissinos, A.C., Napolitano, J. (2003). **Experiment in Modern Physics**. Academic Press. London. pp. 367-385.