

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์และการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบ คอมป์ตันของรังสีแกมมาจากเป้าอลูมิเนียม

Differential Cross Sections and Intensity Distribution of Gamma Scattered Energy for Compton Scattering from Aluminium Targets

กิตติพงษ์ เสียงเสนาะ^{1*} พุทธิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์^{1, 3} วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล²
พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ² และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{1, 3}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ศูนย์วิจัยแก้วและวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

*first_f@windowslive.com

บทคัดย่อ

ในงานนี้ได้ทำการศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์และการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาจากเป้าอลูมิเนียม โดยใช้รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จาก ¹³⁷Cs ในการศึกษานี้ใช้ธาตุอลูมิเนียมเป็นเป้าในการกระเจิง สเปกตรัมของรังสีแกมมากระเจิงที่มุม 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา และบันทึกความเข้มรังสีแกมมาด้วยหัววัดรังสีแบบซิลทิลเลชันโซเดียมไอโอไดด์จากนั้นคำนวณหาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์และการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาจากเป้าอลูมิเนียม เพื่อการเปรียบเทียบค่าทางทฤษฎีของภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ซึ่งถูกคำนวณโดยสมการโคลน์ นิชินา กับค่าทางการทดลอง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าทางทฤษฎีและค่าทางการทดลองมีความสอดคล้อง โดยค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ขึ้นอยู่กับมุมกระเจิงและการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานขึ้นอยู่กับขนาดของเป้าที่ใช้ในการกระเจิง ซึ่งถ้าขนาดของเป้าที่ใช้ในการกระเจิงมีขนาดใหญ่ก็ย่อมให้การกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่มีค่ามากตามไปด้วย

คำสำคัญ: การกระเจิงแบบคอมป์ตัน, ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์, สมการโคลน์ นิชินา, การกระจายตัวของความเข้มของพลังงาน

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. The interaction photons aluminium was 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, Intensity Distribution of Gamma Scattered Energy for Compton Scatteringshowed good agreement.

Keywords: compton scattering, differential cross section, klein nishina formula, intensity distribution of gamma scattered energy

1. บทนำ

ผู้คนทั่วไปมักมีความคิดว่าพลังงานนิวเคลียร์เป็นเรื่องที่น่ากลัวและอันตราย แต่มนุษย์ก็ได้นำพลังงานนิวเคลียร์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลากหลายสาขา เช่น ด้านการแพทย์ การเกษตร พลังงาน และอุตสาหกรรม ในการนำพลังงานนิวเคลียร์หรือเทคนิคทางนิวเคลียร์ไปใช้ จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานว่าพลังงานงานนิวเคลียร์ที่ปล่อยออกมาในรูปของกัมมันตภาพรังสี หรือรังสีนิวเคลียร์ซึ่งรังสีนิวเคลียร์แต่ละประเภทเมื่อเข้าชนกับสสารจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) แตกต่างกันไป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรังสีที่เข้าชนและสสาร โดยหลังการชน รังสีอาจมีพลังงานลดลง เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือถูกดูดกลืนไว้ในสสาร ส่วนในสสารอาจเกิดกระบวนการแตกตัวเป็นไอออน การกระตุ้น หรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ จะเกิดขึ้นมากหรือน้อยและมีรายละเอียดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและพลังงานของรังสี สมบัติของสสาร (นิวคลีอิด รังสีแกมมา, 2545) ซึ่งจากการศึกษาของรัทเธอร์ฟอร์ด เรื่องการกระเจิงของรังสีแอลฟาที่มีพลังงานต่ำโดยนิวเคลียสของแผ่นทองคำ สรุปได้ว่าอะตอมประกอบไปด้วยนิวเคลียสอยู่ตรงกลาง และมีอิเล็กตรอนวิ่งรอบๆ เส้นผ่าศูนย์กลางอะตอมมีค่าโดยประมาณ 10^{-8} เซนติเมตร และนิวเคลียสมีขนาด 10^{-12} เซนติเมตรผลดังกล่าวนี้เป็นการเริ่มต้นยุคของนิวเคลียร์ฟิสิกส์ จะเห็นได้ว่าอะตอมมีขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้การสังเกตโดยตรงด้วยตาเปล่า แม้ว่าเราจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบันส่องดูก็ไม่อาจเห็นอะตอมได้ อย่างไรก็ตามเรายังคงต้องการศึกษาเรื่องราวต่างๆ เกี่ยวกับอะตอม เราจึงต้องเลี้ยวไปใช้วิธีศึกษาทางอ้อมวิธีที่ดีที่สุด คือ การศึกษาการกระเจิงของอนุภาค เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก ทั้งยังได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงความจริงด้วย

ในความจริงแล้วอาจมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในขณะเกิดปฏิกิริยาด้วย แต่ผลที่ออกมาก็ยังมีพลังงานจลน์เท่ากับเมื่อเริ่มต้น (กันทิมา รัชฎาวรรณพงษ์, 2524) ในการทดลองนี้เรามุ่งที่จะศึกษาการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นหรือเรียกอีกอย่างว่าการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมา (inelastic scattering of γ -rays) เราจะนำความรู้ในเรื่องภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ซึ่งมีประโยชน์ในการคำนวณของการลดทอนรังสีการป้องกันเครื่องปฏิกรณ์การถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมการลำเลียงและการสะสมพลังงานในฟิสิกส์ทางการแพทย์และอีกหลากหลายในสายงานอื่นๆ (Ghumman, B.S., Archarya, V.B. and Sing, B., 1981: 3905) การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นของรังสีแกมมาโดยอิเล็กตรอนอิสระถูกอธิบายได้อย่างเป็นอย่างดีโดยทฤษฎีของ Klein-Nishina (Klein, O. and Nishina, Y., 1929: 853)

ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบการทดลองการกระเจิงแบบคอมป์ตันโดยใช้ ^{137}Cs ที่พลังงาน 662 keV เป็นแหล่งกำเนิดรังสีศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของเป้าอลูมิเนียมเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับทฤษฎีและทำการศึกษาการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาจากเป้าอลูมิเนียม

2. ทฤษฎี

2.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร

การไอออนไนส์หรือการกระตุ้นไม่อาจเกิดในสสาร เนื่องจากรังสีแกมมาไม่มีประจุ ตามปกติรังสีทุกชนิดเมื่อผ่านเข้าไปในเนื้อสาร จะเกิดการชนกับอะตอมของสารทำให้เสียพลังงานไปตลอดเวลาที่เคลื่อนที่ไป จนกระทั่งพลังงานจลน์หมดไปและถูกสสารดูดกลืนในที่สุด รังสีแกมมาก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อมีปริมาณรังสีจำนวนหนึ่งผ่านเข้าไปในเนื้อสาร บางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ บางส่วนจะผ่านออกมาได้ โดยไม่มีอันตรกิริยาการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสารก่อให้เกิดปรากฏการณ์ได้แก่การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกการกระเจิงแบบคอมป์ตัน (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)

การกระเจิงแบบคอมป์ตันเป็นหนึ่งในกระบวนการของอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนดังรูปภาพที่ 1 ซึ่งโฟตอนที่ตกกระทบ สามารถคำนวณค่าที่ได้จากทางทฤษฎีของภาคตัดขวางของการกระเจิง โดยอ้างอิงจากสมการของ Klein-Nishina ซึ่งนำไปใช้งานได้โดยตรงกับโฟตอนที่มีขอบเขตของพลังงานสูงภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ของเป้า และพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ ซึ่งได้ถูกศึกษาและรวบรวมไว้โดย Klein-Nishina ดังสมการ

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

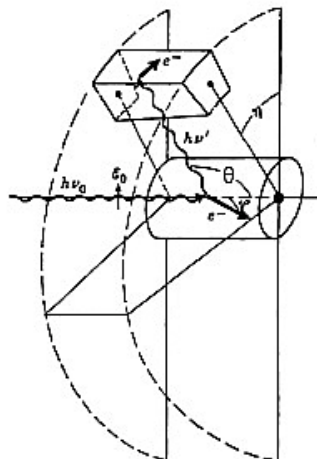
เมื่อ r_0 คือ รัศมี classical electron : $\frac{e^2}{mc^2} = 2.818 \times 10^{-13} \text{ cm}$.

θ คือ มุมที่โฟตอนกระเจิง

γ คือ พลังงานของโฟตอนจากแหล่งกำเนิดรังสี

γ' คือ พลังงานของโฟตอนที่กระเจิง

Klein- Nishina cross section หมายถึงความน่าจะเป็นของโฟตอนที่ชนกับสสารแล้วเกิดการเบี่ยงไปผ่านมุมบางมุม โดยพลังงานของโฟตอนส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นพลังงานของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม และโฟตอนที่มีพลังงานเหลือก็เกิดการกระเจิงเช่นกัน



รูปภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะการกระเจิงเมื่อโฟตอนตกกระทบเป้าแล้วทำให้เกิดคอมป์ตันอิเล็กตรอนในทิศทางหนึ่ง ในขณะที่โฟตอนกระเจิงที่มุม 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

$$x = (\sin \theta/2)/\lambda(A)$$

โดย $\lambda(A)$ คือ ความยาวคลื่นของโฟตอน

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

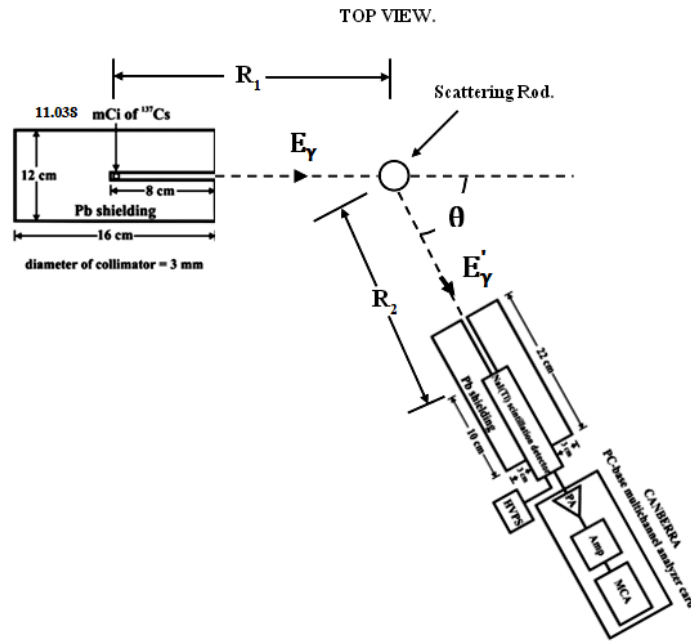
Incoherent scattering function, $S(x,Z)$ คือ ความน่าจะเป็นของอะตอมมิกอิเล็กตรอน มีโมเมนตัมที่ถูกรับมา กำหนดโดยค่า x จะถูกดูดซับพลังงานทั้งหมดเป็นผลในระดับพลังงานกระตุ้น ทั้งหมดของการประเมินผลของ $S(x,Z)$ ได้จัดกระทำไว้เป็นตารางโดย Hubble (Hubbell, J.H., et al.,1975: 471)และแนวโน้มของ Incoherent scattering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

การลำดับหัวข้อในเรื่องนี้ให้ใส่เลขกำกับ โดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1, 2.1.1 เป็นต้น

3. วิธีการทดลอง

3.1 การหาค่าพลังงานรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มุมกระเจิงต่างๆ

เชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปภาพที่ 2 ตั้งฟังก์ชันของเครื่อง MCA โดยใช้เวลา 25,000 วินาทีในการนับวัดต่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงกำหนดระยะห่าง R_1 (ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาถึงเป้าที่ใช้ในการกระเจิง) เท่ากับ 12.3 เซนติเมตร และระยะห่าง R_2 (ระยะห่างระหว่างเป้าที่ใช้ในการกระเจิงถึงหัววัดรังสีแกมมา) เท่ากับ 20.0 เซนติเมตรใช้ธาตุอลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกัน 0.6, 0.9 และ 1.2 ซม. ตามลำดับเป็นเป้าในการกระเจิง โดยติดตั้งที่ตำแหน่งกระเจิงแล้วทำการนับวัดรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา ตามลำดับบันทึกผลหมายเลขช่องที่นับวัดได้นำค่าหมายเลขช่องที่นับวัดได้ไปคำนวณหาค่าพลังงานรังสีแกมมาที่มุมกระเจิงนั้นๆโดยใช้กราฟเปรียบเทียบพลังงาน



รูปภาพที่ 2 การจัดอุปกรณ์การวิจัยเพื่อหาค่าพลังงานรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตัน

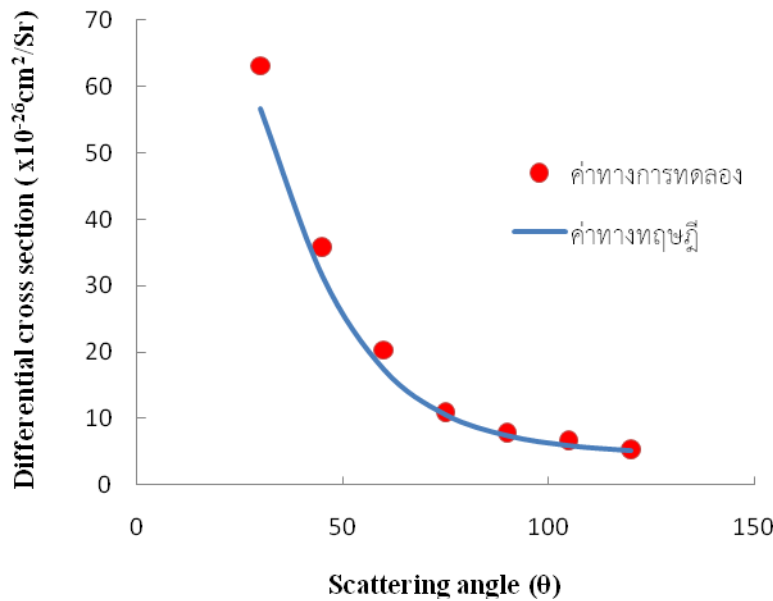
4. ผลการทดลอง และการอภิปราย

จากสมการที่ (2)สามารถคำนวณค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่ได้จากมุมต่างๆของการกระเจิงจากเป้าอลูมิเนียมซึ่งที่ขนาดแตกต่างกันเป็นค่าที่ได้จากทางทฤษฎีและเมื่อนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณค่าจากการทดลองโดยใช้สมการที่ (3)และเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางทฤษฎีและค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงค่าในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์จากการทฤษฎีและค่าจากการวิจัยของรังสีแกมมาจากปรากฏการณ์คอมป์ตันที่มีมุมกระเจิงต่างๆ ของธาตอลูมิเนียมขนาด 0.9 ซม.

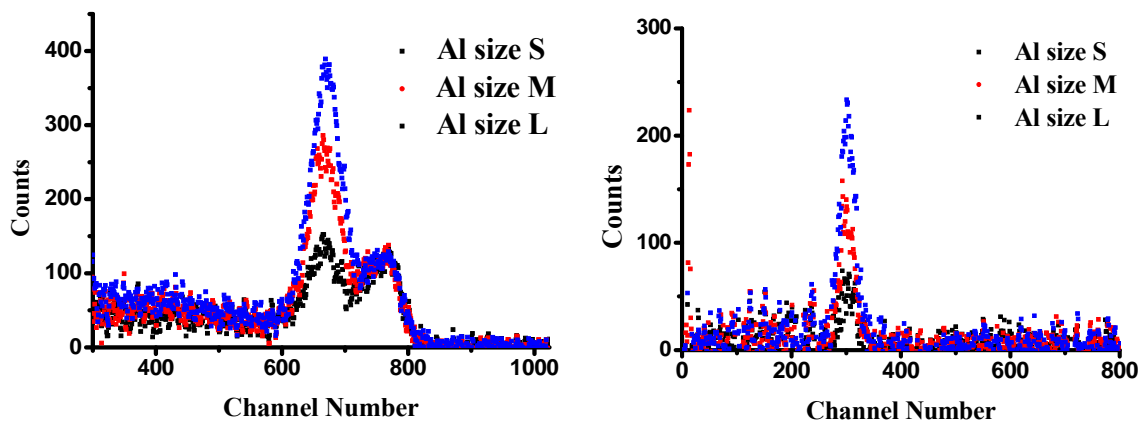
$\theta(^{\circ})$	$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} (\text{cm}^2)$ $(\times 10^{-28} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$	$\frac{d\sigma_c}{d\Omega} (\text{cm}^2)$ $(\times 10^{-28} \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$	%RD
30	56.70	63.14	11.34
45	31.55	35.80	13.47
60	17.36	20.33	17.09
75	10.54	10.97	4.12
90	7.39	7.91	7.09
105	5.89	6.66	13.05
120	5.13	5.40	5.22

และผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์และมุมที่ใช้ในการกระเจิงจะพบว่าค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์มีค่าลดลงเมื่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปภาพที่ 3



รูปภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกระเจิงและค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันของธาตุอลูมิเนียมขนาด 0.9 ซม.

เมื่อทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของขนาดของเป้าที่ใช้ในการกระเจิงเทียบกับความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงดังแสดงในรูปภาพที่ 4 ซึ่งเมื่อสังเกตค่าที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 2 ความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิง เมื่อขนาดของแท่งกระเจิงเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบกับมุมที่ใช้ในการกระเจิง เมื่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงมีค่าลดลงและกลับมามีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงเท่ากับ 120 องศา



รูปภาพที่ 4 รูปด้านซ้ายแสดงตัวอย่างสเปกตรัมจากรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 30 องศาและรูปด้านขวาแสดงตัวอย่างสเปกตรัมจากรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง 105 องศาซึ่งใช้เป้ากระเจิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง S (0.6 ซม.), M (0.9 ซม.) และ L (1.2 ซม.) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่า Counts ที่ได้โพโตพีคของแต่ละมุมที่ใช้ในการกระเจิงเมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเป้ากระเจิงจากธาตุลูมิเนียมที่แตกต่างกัน

$\theta(^{\circ})$	Counts ($\phi=0.6$ cm)	Counts ($\phi=0.9$ cm)	Counts ($\phi=1.2$ cm)
30	23932	35869	38325
45	24701	33605	36713
60	16766	22669	23989
75	9936	11267	14612
90	4035	7779	11313
105	7969	12569	15953
120	11626	17051	20277

5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาและออกแบบการทดลองการกระเจิงแบบคอมป์ตันโดยใช้ ^{137}Cs ที่พลังงาน 662 keV เป็นโพตอนก่อเกิดอันตรกิริยา ใช้ธาตุลูมิเนียมเป็นแท่งกระเจิงที่มีขนาด 0.6 0.9 และ 1.2 ซม ตามลำดับ ที่มุมกระเจิง 30, 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 องศา ซึ่งถูกบันทึกด้วยหัววัดรังสีแบบซิลิซิลเลชัน โซเดียมไอโอไดด์

ค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากทฤษฎีโดยมีความใกล้เคียงกันที่สุด 4.12 % ที่มุมกระเจิง 75 องศาและพบว่าเมื่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์มีค่าลดลง

การกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมาจากเป้าลูมิเนียมที่มีขนาดแตกต่างกันพบว่าเมื่อขนาดของแท่งกระเจิงเพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของความเข้มของพลังงานมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยและในขนาดของเป้าที่ใช้ในการกระเจิงที่เท่ากันเมื่อมุมที่ใช้ในการกระเจิงเพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายตัวของความเข้มของพลังงานมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่มุมกระเจิง 105 องศา

จากผลการวิจัยซึ่งถูกแสดงโดยใช้รูปแบบในการกระเจิงแบบคอมป์ตันทำให้ได้ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบคอมป์ตันต่อเนื่อง ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเป็น ^{137}Cs ที่พลังงาน 662 keV ให้ค่าของผลการวิจัยโดยผลดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับมุมที่ใช้ในการกระเจิงและการกระจายตัวของความเข้มของพลังงานที่ได้จากการกระเจิงแบบคอมป์ตันของรังสีแกมมามีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขนาดของเป้าและมุมที่ใช้ในการกระเจิง

6. เอกสารอ้างอิง

- กันทิมา รัชฎาวรรณพงษ์.(2524).ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ 1.048 MeV ของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 โดยตะกั่ว.วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- นวลฉวี รุ่งชนเกียรติ.(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.