

539.7222

ป/ป/ก

3

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ 1.408 MeV
ของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 โดยทองแดง

ปริญาณพนธ์

ของ

ประสาท อุนมณี



เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

มีนาคม 2527

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

177773

24 เม.ย. 2535

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ 1.408 MeV
ของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 โดยทองแดง

บทคัดย่อ

ของ

ประสาธน์ อนุมณี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
มีนาคม 2527

การทดลองนี้ศึกษาภาคทัศนภาพเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น
ของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม -152 ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV
โดยใช้ทองแดงเป็นเป้า ที่มุมกระเจิง 15° 30° และ 45°

ได้เปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับการทดลองอื่น ๆ ที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน
และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี โดยวิธี-ฟอร์มันแฟคเตอร์ เมื่อมีการกระเจิง
แบบเรเดีย และการกระเจิงแบบทอมสัน

สรุปได้ว่า สำหรับรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 MeV ผลการทดลองนี้
สอดคล้องกับการทดลองอื่น ๆ และผลการคำนวณทางทฤษฎี

สำหรับการทดลองที่ใช้รังสีแกมมาพลังงาน 1.408 MeV ปรากฏว่าผลการ
ทดลองบางส่วนจะผิดไปจากการทดลองอื่น ๆ และผลการคำนวณทางทฤษฎี

DIFFERENTIAL ELASTIC SCATTERING CROSS-SECTION OF
0.344 AND 1.408 MeV OF ^{152}Eu γ -RAYS BY Cu

AN ABSTRACT

BY

PRASAT OUNMANEE

Presented in partial fulfillment of the requirements
for the Master of Education degree
at Srinakharinwirot University

March 1984

The measurement has been performed to study the differential cross section of the elastic scattering of 0.344 and 1.408 MeV ^{152}Eu γ -rays by Cu for 15° , 30° and 45° scattering angles.

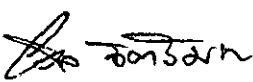
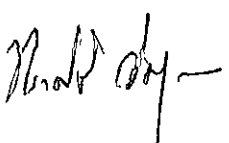
The present experimental results are compared with the previous experimental works which employed γ -rays at the slightly different energies and compare with the theoretical calculation by Form factor method for Rayleigh plus nuclear Thomson scattering.

For 0.344 MeV γ -rays, the experimental differential cross section are in good agreement with results from other experiments and theoretical calculations.

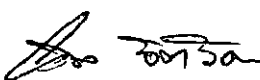
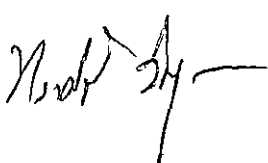
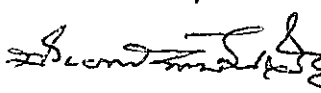
For 1.408 MeV γ -rays, some of the present experimental differential cross sections differ from the other experimental works and theoretical calculations.

คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิต และคณะกรรมการสอบได้พิจารณา
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
การศึกษามหาบัณฑิตของมหาวิทยาลัยเกรินทรวิโรฒได้

คณะกรรมการที่ปรึกษา

 ประธาน
 กรรมการ

คณะกรรมการสอบ

 ประธาน
 กรรมการ
 กรรมการ

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือและแนะนำเป็นอย่างดีจาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิมล จิตวัฒนากร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สุรีย์ แขวงโสภา และอาจารย์วิทยา วัชรวิทยากุล กรรมการที่ปรึกษา และ
ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ประยงค์ พงษ์ทองเจริญ และ ผศ. ดร. ทรงกรี
วิมลวณิช ที่ได้ให้ความกรุณาสอบปริญญานิพนธ์ครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบ
พระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนงบประมาณแผ่นดิน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ
ที่นี้ด้วย

ประสาท อุนมดี

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	6
ความสำคัญของการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	7
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย	9
ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์	9
การกระเจิงแบบเรเลย์	9
แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเลย์	9
การประมาณแบบฟอร์ม แฟคเตอร์	10
การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน	11
การกระเจิงแบบเดลบรูก	12
การกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์	12
3 วิธีดำเนินการทดลอง	13
เครื่องมือ	13
การทดลอง	19
การวิเคราะห์ข้อมูล	24
4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	29
การเปรียบเทียบกับผลของการทดลองอื่น ๆ	29

การ เปรียบเทียบกับผลของการคำนวณทางทฤษฎี	31
5 บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ	32
บทย่อ	32
ความมุ่งหมายของการวิจัย	32
วิธีดำเนินการวิจัย	32
สรุปผลการวิจัย	33
อภิปรายผล	34
ข้อเสนอแนะการวิจัย	35
บรรณานุกรม	36

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
แสดงแผนภาพของการกระเจิง	1
แสดงการกระเจิงของอนุภาคไปยังหัววัดในมุมตัน $d\Omega$ และ มุมกระเจิง	2
แผนภาพแสดงต้นกำเนิดรังสีแกมมา	15
แสดงแผนภาพและรูปถ่ายของแหล่งกำเนิดรังสี	16
กราฟแสดงเส้นเทียบมาตรฐานของพลังงานกับหมายเลขของ และแสดงตำแหน่งของหมายเลขของ ^{152}Eu พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV	22
แสดงแผนผังการจัดเครื่องมือทดลอง	23
การเปรียบเทียบค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองครั้งหนึ่งกับการทดลอง อื่น ๆ	30

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	ความเข้มข้นในแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152	13
2	พลังงานของรังสีแกมมาที่ตรงกับหมายเลขช่องของ MCA	20
3	ตำแหน่งจั่ววาง เครื่องมือและเวลาในการทดลอง	24
4	ผลการคำนวณค่าของ $(\frac{dN}{dt})_{comp}$	27
5	ค่า $\frac{dN}{dt}$ จากการทดลองและการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธี การประมาณฟรอนส์ ฟอรัม แฟคเตอร์	31
6	ค่า $\frac{dN}{dt}$ ที่ได้จากทดลองโดยรังสีแกมมาจาก ยูโรเพียม-152 โดยใช้ทองแดงเป็นเป้า	33

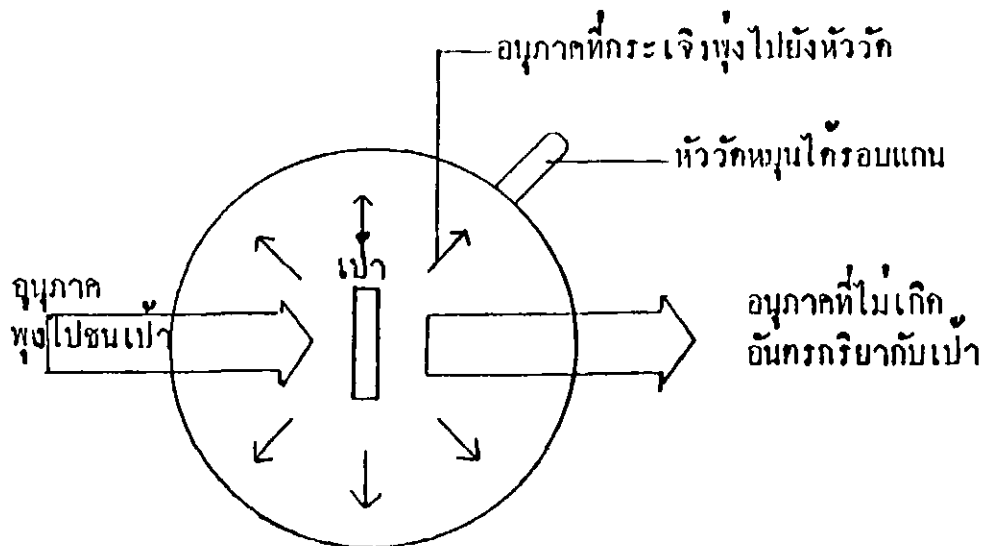
บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

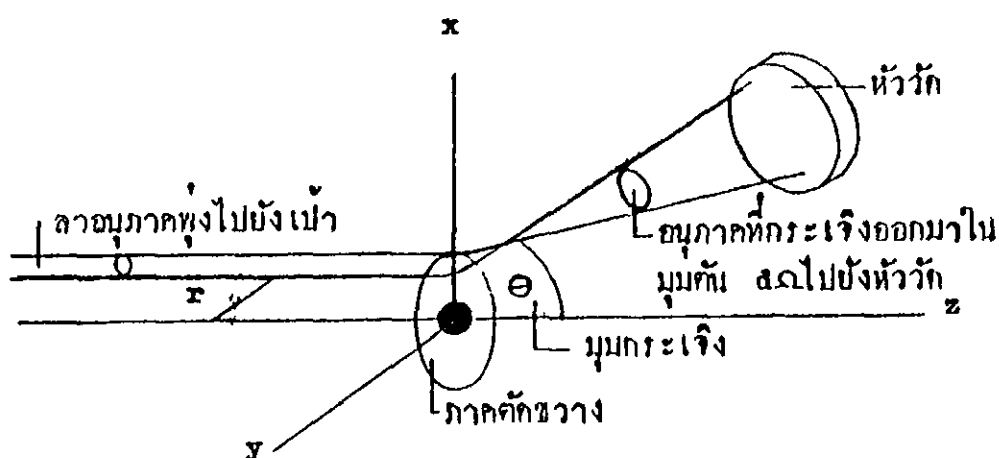
ข้อเท็จจริงซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงและอันตรกิริยาในอะตอมและนิวเคลียส ได้มาจากการศึกษาเรื่องการกระเจิง (scattering) (Herzbaeches, 1970 : 621) โดยการยิงอนุภาคซึ่งมีทิศทางและขนาดพลังงานเดียวกัน ให้ไปตกกระทบเป้าบาง ๆ ที่อยู่กั้นที่ (ถึงภาพประกอบ 1) และในระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจาก เป้ามีความหนาพอเหมาะเพื่อให้มีการกระเจิงครั้งเดียว

ด้วยเหตุนี้อนุภาคส่วนมากผ่านทะลุเป้าไปโดยไม่เกิดอันตรกิริยาใด ๆ เกิดขึ้น แต่มีอนุภาคบางส่วนเกิดอันตรกิริยาในขณะผ่านเป้า ทำให้แนวทางของอนุภาคที่ผ่านออกมาจากเป้าเปลี่ยนไปจาก แนวทางเดิม เราจะวัดจำนวนและแนวทางของอนุภาคได้ โดยอาศัยหัววัด ซึ่งสามารถวัดได้รอบ โดยมียุคศูนย์กลางอยู่ที่เป้า ทำให้ศึกษาอันตรกิริยาในช่วงเวลาหนึ่งได้



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพของการกระเจิง

เมื่อพิจารณาวิถีเคลื่อนที่ของเป้าซึ่งมีขนาดเล็ก ๆ จนถือได้ว่าเป็นจุด แต่มีมวล อนุภาคที่วิ่งเข้าชนมีอิมแพคพารามิเตอร์ (impact parameter (x)) ซึ่งเป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่อนุภาควิ่งเข้าไปใกล้วิถีเคลื่อนที่ แล้วอนุภาคกระเจิงออกไปทำมุม θ ซึ่งเรียกว่ามุมกระเจิง (scattering angle) จำนวนอนุภาคที่ถูกยิงไปยังนิวเคลียสมีลักษณะเป็นลาอูภาค ทั้งนั้นอนุภาคที่เข้าชนภายในพื้นที่ ηx^2 รอบ ๆ นิวเคลียส จึงเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียส ในพื้นที่ ηx^2 นี้จึงเรียกว่าภาคตัดขวาง (cross section) แทนด้วยสัญลักษณ์ σ



ภาพประกอบ 2 แสดงการกระเจิงของอนุภาคไปยังหัววัด
ในมุมตัน σ และมุมกระเจิง

อนุภาคที่กระเจิงออกมาจากเป้าจะเคลื่อนที่ไปยังหัววัด พื้นที่หน้าตัดของหัววัดปิดมุมตัน σ ที่เป้า (ดังภาพประกอบ 2) หัววัดจะนับจำนวนอนุภาคในมุมตันนี้

ถ้า I_0 เป็นจำนวนของอนุภาคที่ตกกระทบบนพื้นที่ต่อหน่วยเวลา

ถ้า I_{σ} เป็นจำนวนของอนุภาคที่กระเจิงออกมาในมุมตันนี้

คำนวณภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแทนด้วย

(differential scattering cross section) เขียนด้วยสมการดังนี้

(Merzbacher. 1970 : 621)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{I}{I_0} \quad (1.1)$$

เมื่ออนุภาคไปชนเป้าแล้วเกิดการกระเจิงนั้น จะมีลักษณะของการกระเจิง
ทั่วไป 2 ชนิด คือ

1. การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering)

หมายถึง พลังงานจลน์ของอนุภาคที่เข้าชนก่อนการกระเจิง และหลังการกระเจิง
ไม่เท่ากัน และนิวเคลียสที่ถูกระเจิงอยู่ในสถานะกระตุ้น

2. การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) หมายถึง
การชนที่พลังงานจลน์ของอนุภาคก่อนการกระเจิงและหลังการกระเจิงมีค่าเท่ากัน

ในตำราอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้กล่าวว่า แสงประกอบด้วยก้อนพลังงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว
แต่ละก้อนมีพลังงาน หรือ 1 ควันตัม (Quantum) เรียก 1 ควันตัมของพลังงานนี้ว่า
โฟตอน (photon) ซึ่งมีลักษณะเสมือนเป็นอนุภาค ดังนั้นโฟตอนจึงมีโมเมนตัมและ
พลังงาน (Richard and Robert. 1963 : 513) ดังนั้นเมื่อยิงรังสีแกมมา
ไปยังเป้าก็เปรียบเสมือนว่ายิงอนุภาคไปยังเป้า จึงเกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสี
แกมมากับนิวเคลียส ทำให้รังสีแกมมากระเจิงออกมาทำมุมกับแนวทางเดิมหลังจาก
เกิดอันตรกิริยา เหมือนกับการกระเจิงของอนุภาค

ในการทดลองครั้งนี้ จะศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบ
ยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV โดยใช้ทองแดงเป็น
เป้า

โดยทั่วไปการกระเจิงแบบยืดหยุ่นมี 4 แบบ คือ

1. การกระเจิงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering) เป็นการ
กระเจิงที่รังสีแกมมาตกกระทบ แล้วถูกดูดกลืนโดยอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียส

ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงขึ้นและอยู่ในสถานะกระตุ้น อิเล็กตรอนเหล่านี้จึงคายรังสีแกมมาที่มีพลังงานเท่ากับรังสีแกมมาที่ตกกระทบแล้วจึงกลับสู่สถานะปกติ

2. การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน (Nuclear Thomson scattering) การกระเจิงแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมาแบบไม่โพลาไรซ์ ไปตกกระทบนิวเคลียสของฉากรกกัน ทำให้มีรังสีแกมมาที่ถูกกระเจายออกมาเนื่องจากประจุไฟฟ้าของนิวเคลียส ในแบบไม่โพลาไรซ์ในระนาบของการกระเจิง

3. การกระเจิงแบบเดลบรุค (Delbruck scattering) เป็นปรากฏการณ์การกระเจิงที่เกิดขึ้นโดยสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส ทำให้รังสีแกมมากระเจิงออกมา

4. การกระเจิงแบบบอห์มนิวเคลียร์ (Nuclear resonance scattering) เป็นขบวนการการกระเจิงที่เกิดขึ้น โดยนิวเคลียสดูดกลืนพลังงานเข้าไปทำให้ระดับพลังงานของนิวเคลียสสูงขึ้นจากสถานะปกติก็คายเป็นสถานะกระตุ้นแล้วนิวเคลียสปรับตัวเข้าสู่สถานะเดิมอีก ดังนั้นนิวเคลียสที่อยู่ในสถานะกระตุ้นจึงคายรังสีแกมมา เพื่อกลับเข้าสู่สถานะปกติ

ขบวนการการเกิดการกระเจิงแบบยืดหยุ่นแต่ละแบบ จะเกิดขึ้นได้ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบ มุมกระเจิงและค่าของเลขอะตอมของเป้า

โดยเหตุที่รังสีแกมมาเป็นคลื่น ดังนั้นรังสีแกมมาที่เกิดจากการกระเจิงในแต่ละแบบเกิดการแทรกสอดกัน ทำให้การวัดค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นในแต่ละแบบเป็นไปได้ยาก เพราะในการทดลองทั่วไปค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงที่ได้ เป็นผลรวมของการกระเจิงทั้ง 4 แบบ

(Bernstein and Manno, 1958 : 805) อย่างไรก็ตาม เราสามารถที่จะวัดค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงในแต่ละแบบได้ โดยการเลือกพลังงานของโฟตอนและมุมกระเจิงที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ขบวนการของการกระเจิงในแต่ละแบบปรากฏอย่างเด่นชัด ในขณะที่ขบวนการอื่น ๆ เกิดขึ้นน้อยมาก จนบางครั้ง

ไม่ต้องพิจารณาแยกได้

มูน (Moon, 1950 : 1189) ได้ทำการศึกษาการกระเจิงของรังสีแกมมา ที่พลังงาน 0.41 MeV โดยใช้ Al, Cu และ Pb เป็นเป้า เขาพบว่าที่พลังงานนี้การกระเจิงแบบเรเลย์ปรากฏมาอย่างเด่นชัด สตอร์รัสท์

(Storruste, 1950 : 1197) ได้ทำการศึกษาต่อโดยใช้มุมกระเจิงในช่วง $3^\circ - 15^\circ$ เขายอมรับทฤษฎีที่นำเทคนิคคำนวณโดยใช้ ฟอรั่มแฟกเตอร์ (form factor) ของฟรานซ์ (Franz) ที่ใช้หาค่าการกระเจิงแบบเรเลย์ว่าถูกต้อง

สตอร์รัสท์และเจิม (Storruste and Tjom, 1958 : 151) ได้ทำการทดลองโดยใช้รังสีแกมมาที่พลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV และใช้มุมกระเจิงในช่วง $1^\circ - 8^\circ$ โดยใช้ Cu และ Pb เป็นเป้า การทดลองนี้ยอมรับทฤษฎีซึ่งใช้คำนวณหาค่าภาคตัดขวางโดยใช้วิธีแบบฟอรั่ม แฟกเตอร์ เช่นกัน

ผลการทดลองที่เป็นการยอมรับกันทั่วไปในการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาแบบเรเลย์ คือรอยและคณะ (Roy et al. 1975 : 163)

เซวัก ^{ดัส}ของการกระเจิงของรังสีแกมมาพลังงาน 0.145 MeV จาก C, Al, Cu, Sn, Hg, ^{ยูเรเนียม}, Th และ Pb ที่มุมกระเจิงในช่วง $3^\circ - 5^\circ$ และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณ แบบฟอรั่ม แฟกเตอร์ โดยใช้ค่าฟังก์ชันคลื่นของฮาร์ทรี ฟอค สเลเตอร์ (Hartree Fock states) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้ได้กับเป้าที่เป็นสารใด ๆ

อัลวาเรซและคณะ (Alvarces et al. 1958 : 1267) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน โดยใช้รังสีแกมมาที่พลังงาน 1.6 MeV และมุมกระเจิงในช่วง $0^\circ - 124^\circ$ โดยใช้ H₂, Li, Cu และ Al เป็นเป้า พบว่าสำหรับเป้าที่มีมวลอะตอมน้อย ๆ ค่าการกระเจิงแบบเรเลย์มีค่าน้อย

แจคสันและคณะ (Jackson et al. 1973 : 1153) ศึกษาการกระเจิงแบบเคลมรุก โดยใช้รังสีแกมมาพลังงานสูง ๆ คือที่ 10.83 MeV ผล

การทดลองพบว่า สำหรับมุมกระเจิงที่น้อยกว่า 45° ขบวนการการกระเจิงจะเป็นแบบเคลบรุค

เลวีนเจอร์ (Levinger, 1951 : 523) ทำการวัดค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่พลังงานต่ำกว่า 2 MeV พบว่า การกระเจิงแบบอภินาถนิวเคลียร์มีค่าน้อยมาก

ในการทดลองครั้งนี้ใช้รังสีแกมมา พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV จึงไม่ทำการกระเจิงแบบเคลบรุค และอภินาถนิวเคลียร์มาศึกษาในครั้งนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์แบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ณ มุมกระเจิง $15^\circ - 45^\circ$ โดยใช้ทองแดงเป็นเป้า
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นกับผลการทดลองอื่น ๆ
3. เพื่อเปรียบเทียบทางทฤษฎีของการหาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น โดยวิธีการคำนวณแบบฟอร์ม แฟลคเตอร์ กับวิธีการคำนวณแบบอื่น ๆ
4. เพื่อนำเทคนิคคำนวณทางคอมพิวเตอร์ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AGGY คำนวณภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นแบบฟอร์ม แฟลคเตอร์

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลที่ได้จากการศึกษานี้ จะเป็นแนวทางในการทำการศึกษาทดลองการกระเจิงแบบยืดหยุ่น โดยใช้รังสีแกมมาที่พลังงานแตกต่างกันออกไป
2. เพื่อสนับสนุนหรือเสนอแนะสำหรับการทดลองอื่น ๆ ซึ่งมีวิธีการทำการทดลองต่าง ๆ กัน
3. เพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนหรือให้ข้อเสนอแนะในทฤษฎีการคำนวณหาค่า

ภาคตัดขวางต่าง ๆ

4. เพื่อเป็นแนวทางในการนำเอาเทคนิคคำนวณทางคอมพิวเตอร์ มาใช้
คำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา

ขอบเขตของการวิจัย

1. เปรียบเทียบผลของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา ที่พลังงาน
0.344 และ 1.408 MeV ที่มุมกระเจิง 15° , 30° และ 45° โดยใช้เป้า
ทองแดง (^{23}Cu) ซึ่งมีความหนา 0.33 เซนติเมตร

2. ค้นหานิวไคลด์รังสีแกมมาที่ใช้คือ ยูโรเพียม-152 (Europium ^{152}Eu)
ขนาด 0.677 คูรี

3. หัววัดคือ NaI (sodium iodide) ขนาด $1" \times 1"$

4. ข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณด้วยโปรแกรม BAKFIT และ GAMMA แล้ว
เปรียบเทียบค่า $\frac{d\sigma}{ds}$ กับการทดลองอื่น และคำนวณด้วยโปรแกรม AGGY เพื่อ
เปรียบเทียบค่า $\frac{d\sigma}{ds}$ กับทฤษฎีอื่น

5. ทำการทดลองที่แผนกนิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. มุมกระเจิงหมายถึง มุมระหว่างแนวตกกระทบกับมุมที่อนุภาคกระเจิง
ออกมา

2. แอมพลิจูดของการกระเจิง คือปริมาณที่สัมพันธ์กับความเข้มของการ
กระเจิงของคลื่น

3. โปรแกรม BAKFIT เป็นโปรแกรมที่นำค่าการนับจำนวนโฟตอนจาก
หัววัด เพื่อหาพื้นที่ใต้ยอดพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV

4. โปรแกรม GAMMA เป็นโปรแกรมที่นำผลจากโปรแกรม BAKFIT

คำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์

5. โปรแกรม **ACGX** เป็นโปรแกรมที่คำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์
โดยโปรแกรมนี้เขียนมาจากวิธีคำนวณแบบฟอร์ม แพคเตอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1. ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา พลังงาน ω ที่กระเจิงออกมาในมุมตัน θ คือ

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_e^2 \left[f(\omega, \theta) \right]^2 \quad (2.1)$$

ในเมื่อ $f(\omega, \theta)$ เป็นแอมพลิจูดที่เกิดจากการรวมของแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้ง 4 ขบวนการ ดังนั้น

$$f(\omega, \theta) = (R + T + D + N) \quad (2.2)$$

ในเมื่อ R , T , D และ N เป็นแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเดีย นิวเคลียร์ทอมสัน เกล็ดรูป และอภินาตนิวเคลียร์ตามลำดับ

2. การกระเจิงแบบเรเดีย2.1 แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเดีย

ค่าแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเดีย ของรังสีแกมมาจากสถานะ เริ่มต้นที่มีโพลาไรเซชัน $\epsilon^{(i)}$ ไปยังสถานะสุดท้ายที่มีโพลาไรเซชัน $\epsilon^{(f)}$ สามารถแยกออกมาในเทอมย่อย ๆ ของโพลาไรเซชันที่ขนาน ($\epsilon_{\parallel}^{(1,f)}$) และตั้งฉาก ($\epsilon_{\perp}^{(1,f)}$) กับระนาบของการกระเจิง (Whittingham, 1978 : 46) ใกล้เคียงกับการ

$$R(\omega, \theta) = R_{\parallel}(\omega, \theta) + R_{\perp}(\omega, \theta) \quad (2.3)$$

$$= m [M_{\parallel}(\omega, \theta) \varepsilon_{\parallel}^{(1)*} \varepsilon_{\parallel}^{(1)} + M_{\perp}(\omega, \theta) \varepsilon_{\perp}^{(1)*} \varepsilon_{\perp}^{(1)}] \quad (2.4)$$

ในเมื่อ $M_{\parallel}$ และ $M_{\perp}$ เป็นมัตริโกลที่อยู่ใประนาบที่ขนานและตั้งฉากกับระนาบของการกระเจิงตามลำดับ ซึ่ง

$$\begin{pmatrix} M_{\parallel}(\omega, \theta) \\ M_{\perp}(\omega, \theta) \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \sum_{J=1}^{\infty} (2J+1) \left\{ P_J^0(\cos \theta) - \frac{P_J^2(\cos \theta)}{J(J+1)} \right\} \begin{pmatrix} X_J^1(\omega) \\ X_J^0(\omega) \end{pmatrix} \\ + \frac{1}{2} \left\{ P_{J+1}^0(\cos \theta) + P_{J-1}^0(\cos \theta) + \frac{P_{J+1}^2(\cos \theta) + P_{J-1}^2(\cos \theta)}{J(J+1)} \right\} \begin{pmatrix} X_J^0(\omega) \\ X_J^1(\omega) \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

ซึ่ง $P_n^m(\cos \theta)$ เป็นเลอจองด์ฟังก์ชัน

J และ λ แทนโมเมนตัมเชิงมุม และมัตริโกล

$X_J^{\lambda}(\omega)$ เป็นแอมพลิจูดของมัตริโกล

การคำนวณหา $R(\omega, \theta)$ จาก (2.3) ต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ และไม่เป็นที่ยอมรับปฏิบัติกันเมื่อใช้เป้าที่มีเลขมวลมาก ๆ

(Chitwatanaorn et al. 1979 : 4616)

2.2 การประมาณแบบฟอร์ม แฟลคเตอร์

การคำนวณทางทฤษฎีอย่างถูกต้องแน่นอนของแอมพลิจูด การกระเจิงแบบเรเลย์ทำได้ยากมาก และใช้เวลานาน ดังนั้นจึงต้องอาศัยวิธีประมาณการที่จะคำนวณ (Teansomprasong. 1978 : 46)

สมการที่เป็นพื้นฐานที่จะทำให้ได้รับการประมาณแบบฟอร์ม แฟลคเตอร์ของแอมพลิจูดการกระเจิงแบบเรเลย์ คือ

$$R_1''(\omega, \theta) = -\cos \theta F_1(\Delta) \quad (2.6)$$

$$R_1^\perp(\omega, \theta) = -F_1(\Delta) \quad (2.7)$$

ซึ่ง $F_1(\Delta)$ เป็นฟอร์ม แฟคเตอร์ สำหรับวงโคจรของอิเล็กตรอนที่
($i = K, L, M, \dots$) ซึ่ง

$$F_1(\Delta) = 2|\kappa_1| \int d^3x \phi_1^\dagger(x) e^{i\Delta \cdot x} \phi_1(x) f(r) \quad (2.8)$$

เมื่อ $x = (r, \Omega)$, $\Delta = k_1 - k_f$ คือ การเปลี่ยนเวกเตอร์คลื่น (wave vector) ของรังสีแกมมา ระหว่างขบวนการกระเจิง

และ $2|\kappa_1|$ เป็นจำนวนอิเล็กตรอนในวงโคจร i ซึ่งมีฟังก์ชันคลื่น (wave function) เป็น $\phi_1(x) f(r)$ มีอยู่ 2 ค่าให้เลือก คือ

1. $f(r) = 1$, ดังนั้น

$$F_1(\Delta) + f_1(\Delta) = 2|\kappa_1| \int d^3x \phi_1^\dagger(x) e^{i\Delta \cdot x} \phi_1(x) \quad (2.9)$$

2. $f(r) = mc^2/[E_1 + V(r)]$, ดังนั้น

$$F_1(\Delta) + g_1(\Delta) = 2|\kappa_1| \int d^3x \phi_1^\dagger(x) \frac{mc^2 e^{i\Delta \cdot x}}{E_1 + V(r)} \phi_1(x) \quad (2.10)$$

ซึ่ง $f_1(\Delta)$ และ $g_1(\Delta)$ เรียกว่า ฟรานซ์ ฟอร์ม แฟคเตอร์ (Franz form factor) ซึ่งเป็นการคำนวณฟอร์ม แฟคเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

3. การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน

แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด
(Whittingham, 1978 : 46)

3.1 แอมพลิจูดแบบหมุนกลับ T^{SF} ซึ่งสถานะของโพลาไรเซชันในระนาบ
หลังจากการกระเจิงไม่เปลี่ยน มีค่า

$$T^{SF}(\omega, \theta) = -\frac{Z^2 m}{M} (1 - \cos \theta) \quad (2.11)$$

3.2 แอมพลิจูดแบบไม่หมุนกลับ T^{NSF} ซึ่งสถานะของโพลาไรเซชันในระนาบหลังจากการกระเจิงไม่เปลี่ยน มีค่า

$$T^{NSF}(\omega, \theta) = -\frac{Z^2 m}{M} (1 + \cos \theta) \quad (2.12)$$

ในเมื่อ Ze และ M เป็นประจุและมวลของนิวเคลียส

4. การกระเจิงแบบเคลิบรูก

แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเคลิบรูก ปาปัลซาคอสและมอร์ค (Papalzacos and Mork. 1975 : 97) ใช้วิธีการประมาณการแบบบอร์ (Bohr) ซึ่งเขียนได้เป็น

$$D^{\perp}(\omega, \theta) = (\alpha Z)^2 f_D(\omega, \theta) \quad (2.13)$$

$$D''(\omega, \theta) = (\alpha Z)^2 [f_D(\omega, \theta) \cos \theta - g_D(\omega, \theta) \sin^2 \theta] \quad (2.14)$$

เมื่อ $D^{\perp}(\omega, \theta)$ และ $D''(\omega, \theta)$ เป็นแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเคลิบรูกที่อยู่ในแนวตั้งฉากและขนานกับระนาบของการกระเจิงตามลำดับ

$f_D(\omega, \theta)$ และ $g_D(\omega, \theta)$ เป็นฟังก์ชันเชิงซ้อน

ของ ω และ θ

5. การกระเจิงแบบอนินาทนิวเคลียร์

สำหรับนิวเคลียสทรงกลมที่หนัก ค่าแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบอนินาทนิวเคลียร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงานสามารถแทนได้ด้วย E_1 และมีครึ่งความกว้าง (half width Γ_1) ดังนั้น แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบอนินาทนิวเคลียร์ (Whittemberg 1978 : 46) จึงเป็น

$$f_N(\omega, \theta) = \underline{\epsilon}^{(F)*} \cdot \underline{\epsilon}^{(I)} \frac{\sigma_1 \Gamma_1}{4\pi \hbar c} (\hbar \omega)^2 \frac{E_1^2 - (\hbar \omega)^2 + i \hbar \omega \Gamma_1}{[E_1^2 - (\hbar \omega)^2]^2 + (\hbar \omega \Gamma_1)^2} \quad (2.15)$$

บทที่ 3

วิชาเนิการทดลอง

1. เครื่องมือ

1.1 แหล่งกนกกำเนิดรังสีแกมมา

แหล่งกนกกำเนิดรังสีแกมมาคือ ยูโรเพียม-152 ซึ่งมีกัมมันภาพ
ประมาณ 0.677 คิวรี

เหตุผลที่ใช้ยูโรเพียม-152 เป็นกนกกำเนิดเพราะ

1.1.1 สามารถให้รังสีแกมมาที่มีความเข้มสูงหลายค่า ตั้งแต่พลังงาน
0.244 MeV ถึง 1.408 MeV พลังงานที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ ที่ 0.344 MeV
และ 1.408 MeV ซึ่งมีความเข้มมาก ดังแสดงในตาราง 1

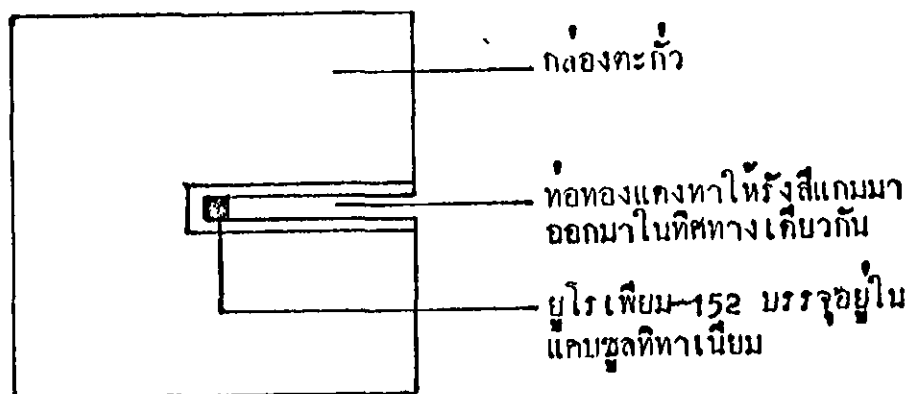
ตาราง 1 ความเข้มในแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาจากยูโรเพียม - 152

γ -rays (keV)	ความเข้ม*
0.244	7.6
0.344	28.5
0.411	2.8
0.433	3.6
0.779	14.5
0.867	4.4
0.964	16.2
1.086	11.8
1.112	15.4
1.408	22.9

* เป็นจำนวนของ γ -rays/100 decays

1.1.2 มีครึ่งชีวิต 12.4 ปี ซึ่งเหมาะในการทดลอง โดยจะเลี้ยงไม่ให้มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงกัมมันตรังสีแกมมาเป็นธาตุอื่นในระหว่างการทดลอง

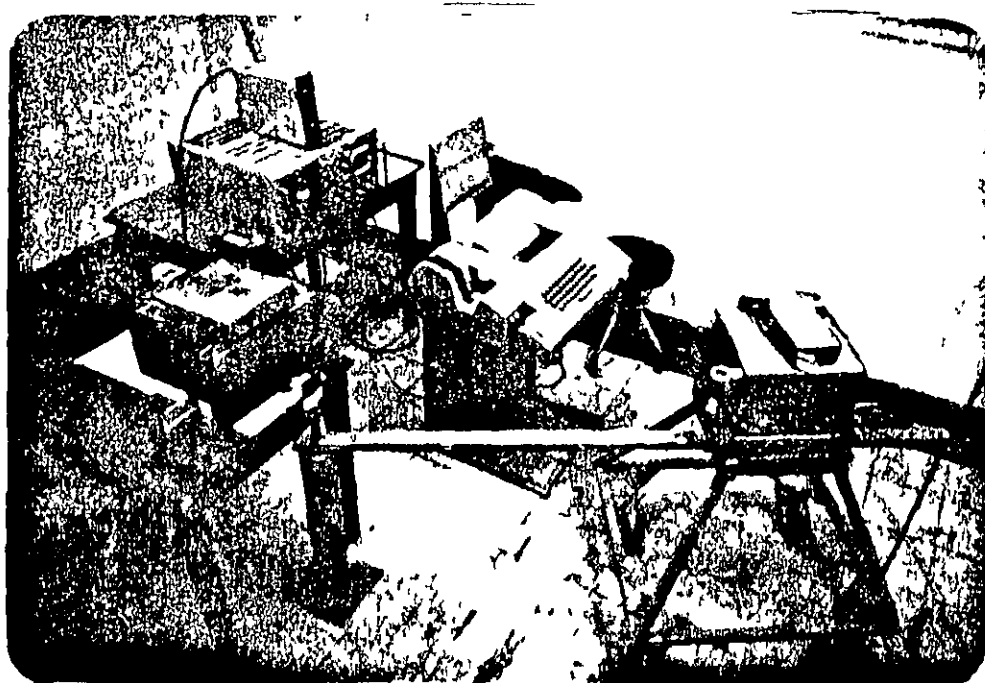
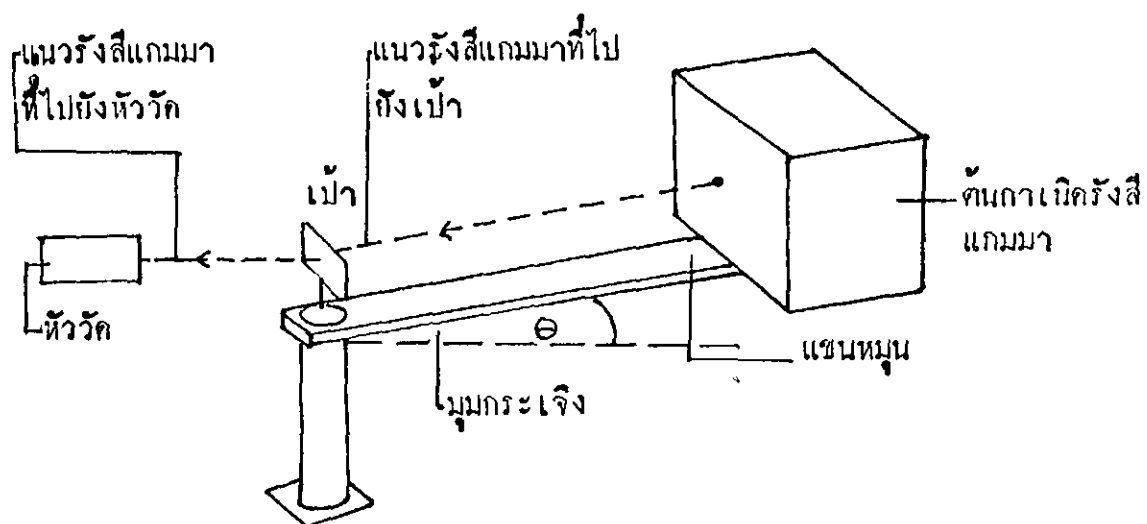
ยูโรเพียม-152 ที่ใช้เป็นผงบรรจุอยู่ในแคปซูลที่ทำด้วยทิตาเนียม และแคปซูลนี้บรรจุอยู่ในท่อโลหะทังสเตน ท่อโลหะทังสเตนนี้ บรรจุในกล่องตะกั่วรูปลูกบาศก์ขนาด $25.8 \times 25.8 \times 25.8$ ซม. เพื่อเป็นเครื่องป้องกันรังสีไม่ให้ออกมาเป็นอันตราย แคปซูลทิตาเนียมอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกล่องตะกั่ว (ดังภาพประกอบ 3)



ภาพประกอบ 3 แผนภาพแสดงคันก้านเปิดรังสีแกมมา

ลำรังสีแกมมาที่ถูกปล่อยออกมาจากยูโรเพียม-152 มีขนาดลำรังสีทาง 1° หรือลำรังสีทางออกเป็น 0.03 เมตร ในระยะทาง 2 เมตร

คันก้านเปิดรังสีแกมมา (รวมทั้งชุดป้องกันรังสี คือกอล้องตะกั่ว) ติดตั้งอยู่บนรถเลื่อนที่มีล้อหมุน (ล้อที่จะกำหนดมุมกระเจิง) และมีแขนต่อจากรถเลื่อนไปยังเป้า เพื่อเลื่อนปรับระยะห่างจากเป้า และทำให้ระยะห่างจากเป้าคงที่ โดยการดันสกรูให้แน่น ซึ่งแขนนี้สามารถหมุนได้รอบ โดยมีจุดหมุนอยู่ที่เป้า (ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 4 แสดงแผนภาพและรูปถ่ายของแหล่งกำเนิดรังสี

แนวรังสีที่ออกมาจากยูโรเทียม-152 สามารถปรับให้ขนานกับพื้นได้ โดยการหมุนสกรูที่รูดเลื่อน ทำให้หน้าตัดของกล้องตะกั่วยกขึ้นหรือว่าลง ซึ่งแนวรังสีแกมมาที่ออกมาจะมีทิศทางขึ้น หรือพุ่งลงตามไปเลย และแนวรังสีแกมมาสามารถปรับให้พุ่งเอียงไปทางซ้ายและขวาได้ โดยการหมุนสกรู

ที่ของรังสีแกมมาพุ่งออกมา มีแท่งตะกั่วหนาซิกไว้ เพื่อป้องกันรังสีแกมมาไม่ให้เป็นอันตรายแก่ผู้ทดลอง ในขณะที่เปลี่ยนเป้าหรือติดตั้งหัววัด

1.2 เป้า

เป้าที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1.2.1 ทองแดงบริสุทธิ์ ขนาด 6×6 ตารางเซนติเมตร หนา 0.33

เซนติเมตร

1.2.2 อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ ขนาด 7×10 ตารางเซนติเมตร หนา

0.70 เซนติเมตร

การใช้เป้า 2 ชนิดนี้ เพราะการทดลองนี้ต้องการศึกษาการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาจากทองแดง ซึ่งเมื่อใช้ทองแดงเป็นเป้ารังสีแกมมาที่กระเจิงออกมา มีทั้งการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ภูมิหลัง (background) และการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นรวมกันออกมา ดังนั้นจึงต้องใช้เป้าอะลูมิเนียม เพราะรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมาจากอะลูมิเนียมมีภูมิหลังและการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นเมื่อนามาหักล้างกันก็จะได้การกระเจิงแบบยืดหยุ่น

สาเหตุที่ใช้ความหนาของเป้าขนาดนี้ เพราะองค์ประกอบสองประการที่เหมาะสมสำหรับการหาภาคตัดขวางในการทดลอง องค์ประกอบแรก คือ การกระเจิงของรังสีในเป้า องค์ประกอบที่สอง คือ การดูดกลืนรังสีที่กระทบเป้าและการดูดกลืนที่กระเจิง ซึ่งค่าความหนาที่ดีที่สุดของฉากรับ สามารถคำนวณได้จาก

จาก

$$e^{-\mu t(1-\sec\theta)} = \cos\theta \quad (3.1)$$

- เมื่อ μ คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นของการดูดกลืนรังสีแกมมา
 t คือ ความหนาของ เป่า
 θ คือ มุมกระเจิง

จากการคำนวณพบว่า ทองแดงที่ใช้เป็นเป้านั้น ความหนาที่คิดสูงสุดขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมาที่มากกระทบ และในการทดลองนี้ทองแดงควรมีความหนา 0.33 – 0.67 เซนติเมตร และในการนี้ของอะลูมิเนียมนั้นค่าการดูดกลืนสามารถละทิ้งได้ ถ้าใช้ฉากกันที่มีความหนาน้อยกว่า 1.77 เซนติเมตร

1.3 หัววัด

หัววัดเป็นแบบ NaI(Tl) ขนาด 1"x1" ซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องตะกั่ว มีความหนา 3 เซนติเมตร โดยที่พื้นที่หน้าตัดของหัววัดส่วนที่จะรับรังสีแกมมาไหลออกมาจากช่องของกล่องตะกั่วที่เจาะไว้เท่านั้น สาเหตุที่หัววัดบรรจุอยู่ในกล่องตะกั่ว เพราะป้องกันรังสีแกมมาที่มาจากแหล่งต้นกำเนิดอื่น เพื่อไม่ให้เข้าไปสู่หัววัด ซึ่งจะ เป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลที่วัดได้ผิดพลาด

หัววัดนี้มีเรโซลูชัน (resolution) ขนาด 6.2% โดยเทียบจากรังสีแกมมาจากซีเซียม-137 (^{137}Cs) ที่พลังงาน 0.662 MeV

หัววัดนี้มีสายไฟต่อเข้ากับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นเครื่องมือรับรังสีแกมมา

1.4 เครื่องนับรังสีแกมมา

เครื่องนับรังสีแกมมาที่ใช้ เป็นแบบเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง (multichannel analyzer; MCA) MCA สามารถที่จะวิเคราะห์ทั้งปริมาณ

และพลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงไปยังหัววัด โดยแสดงผลออกมาอยู่ในรูป
ตัวเลขและกราฟ ซึ่งหมายเลขช่องของ MCA บอกได้ว่า ช่องนั้นตรงกับพลังงาน
เท่าไรของรังสีแกมมา ในการทดลองนี้ต้องการศึกษารังสีแกมมาพลังงาน 0.344
และ 1.408 MeV ของที่ตรงกับพลังงานนี้คือ 112 และ 430 ตามลำดับ การที่จะ
รู้ได้ว่าช่องของ MCA ตรงกับพลังงานของรังสีแกมมานั้นพิจารณาจาก การสร้าง
เส้นเทียบมาตรฐาน (calibration curve) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ในการทดลอง MCA สามารถตั้งเวลาที่จะนำสัญญาณจากหัววัดมา
วิเคราะห์ได้ โดยการปรับตั้งเวลาเมื่อครบกำหนดตามเวลาที่ตั้งไว้ MCA ก็
จะนำสัญญาณจากหัววัดมาวิเคราะห์ แต่ MCA สามารถจำข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์
ก่อนครั้งสัญญาณได้ การที่จะนำข้อมูลมาคำนวณนั้น สามารถทำได้โดยการทอ MCA
กับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะพิมพ์ข้อมูลออกมาเป็นตัวเลขบนแผ่นกระดาษสะดวกในการไป
คำนวณในชั้นต่อไป

2. การทดลอง

2.1 การจัดให้แนวรังสีแกมมาตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของหัววัด

นำต้นกำเนิดรังสีแกมมา (ยูโรเพียม-152) หัววัด และเครื่องนับ
รังสีแกมมาติดตั้ง เลื่อนต้นกำเนิดรังสีแกมมาให้เข้าไปใกล้พื้นที่หน้าตัดของหัววัด
โดยที่หัววัดตั้งอยู่บนโต๊ะระดับเดียวกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา การที่จะรู้ว่าทิศทาง
ของรังสีแกมมาวางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของหัววัดหรือไม่ ให้รังสีแกมมาไปตกกระทบบน
บนหัววัด แล้วดูจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบบนหัววัดจากเครื่องนับรังสีแกมมาใน
ช่วงเวลาที่กำหนด (15 วินาที) ที่ตำแหน่งนั้นมีจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบบมี
ค่าเท่าไร แล้วทำการหมุนสกรูที่ต้นกำเนิดเปลี่ยนทิศทางของรังสีแกมมาใหม่ ให้
ขยับไปทางซ้าย-ขวา หรือ บน-ล่าง จนกระทั่งไปตำแหน่งที่จำนวนรังสีแกมมาตก

กระหมับหัววัดมีความมากที่สุด ซึ่งเป็นแนวทางของรังสีแกมมาและพื้นที่หน้าตัดของหัววัด ทั้งฉากกัน และยังเสมือนเป็นตำแหน่งที่นอกขนาดมุมกระเจิงที่ 0° ซึ่งเป็นมุมกระเจิง ที่ทุก ๆ มุมต้องวัดเทียบจากมุมกระเจิงนี้

2.2 การจัดให้แนวรังสีแกมมาตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของเป้า

การจัดในทำนองเดียวกับข้อ 2.1 เพียงแต่นำเป้าหมายวางระหว่างต้น ก่าเน็ครังสีแกมมากับหัววัด ให้เป้าอยู่ที่ตำแหน่งที่เป็นจุดหมุนของแขนจากต้นก่าเน็ค รังสีแกมมาที่เป้าอยู่ห่างจากหัววัด 9 เซนติเมตร และทำการปรับเป้าอย่างเดียว

2.3 การสร้างเส้นเทียบมาตรฐาน

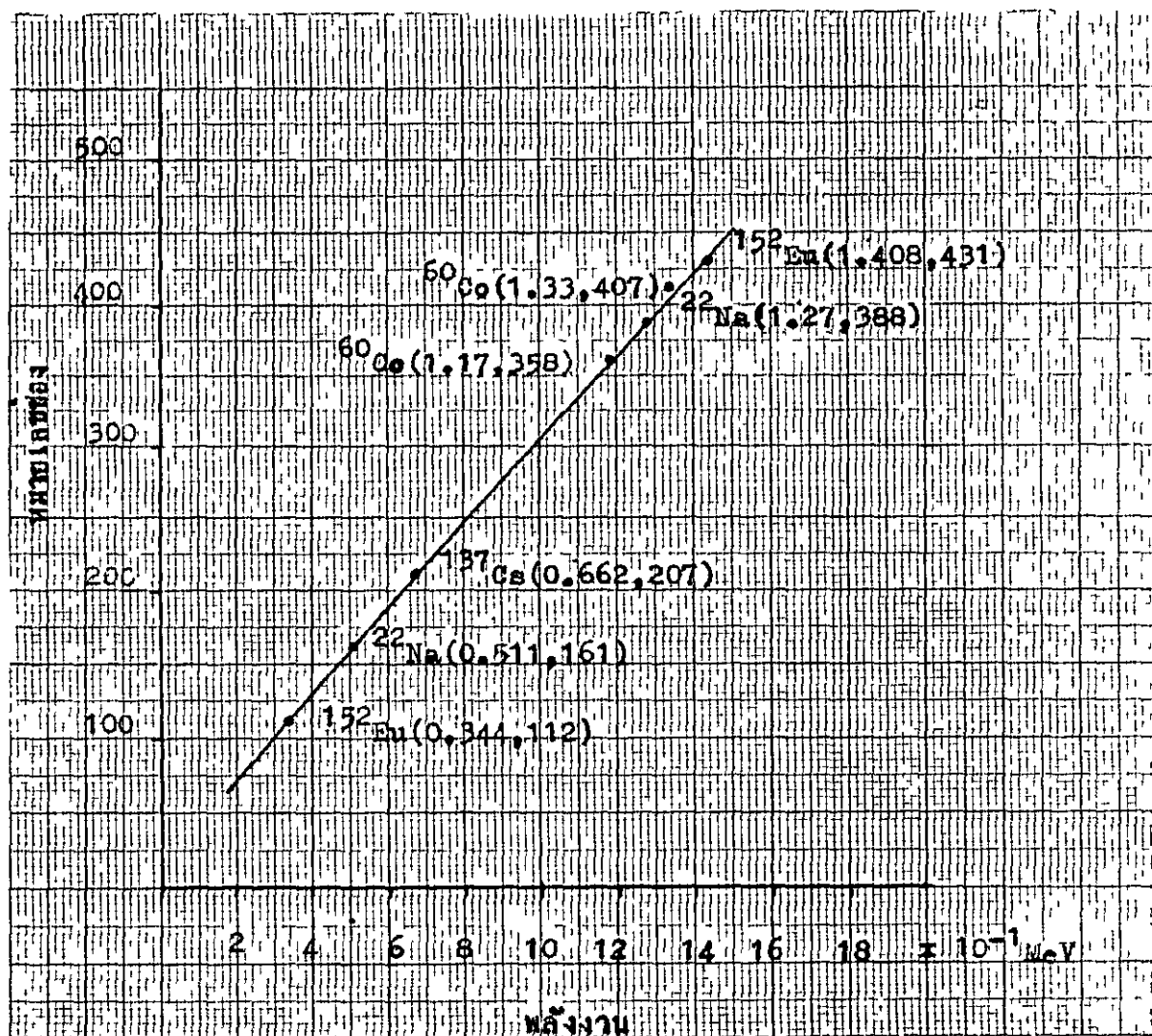
นำเอาแหล่งก่าเน็ครังสีแกมมามาตรฐานที่รู้พลังงานอย่างแน่ชัด ไปติด ใจหน้าตัดของหัววัด เพื่อให้ทราบว่ารังสีแกมมาที่รู้พลังงานจากต้นก่าเน็คมาตรฐาน นั้นตรงกับช่องของ MCA ช่องที่เท่าไร โดยการพิจารณาจากยอดสูงสุดของกราฟว่า ตรงกับช่องใด ซึ่งได้ผลตามตาราง 2

ตาราง 2 พลังงานของรังสีแกมมาที่ตรงกับหมายเลขช่องของ MCA

ธาตุ	พลังงาน (MeV)	หมายเลขช่อง
^{22}Na	0.511	161 ± 1
	1.27	388 ± 1
^{60}Co	1.17	358 ± 1
	1.33	407 ± 1
^{137}Cs	0.662	207 ± 1

นำเอาค่าในตาราง 2 เขียนกราฟ โดยให้พลังงานอยู่ในแกนนอน และ
 หมายเลขของยูเรเนียม-235 จากเส้นผ่านจุดเหล่านี้ ดังภาพประกอบ 5 ซึ่งจะให้เป็น
 เส้นตรง ในการทดลองครั้งนี้ใช้รังสีแกมมาจากยูเรเนียม-235 พลังงาน 0.344
 และ 1.408 MeV เมื่อต้องการหาหมายเลขของที่ตรงกับพลังงานนี้ทำได้โดยจาก
 เส้นโยงจากแกนนอนไปยังกราฟก็จะอ่านหมายเลขของได้

111
 111



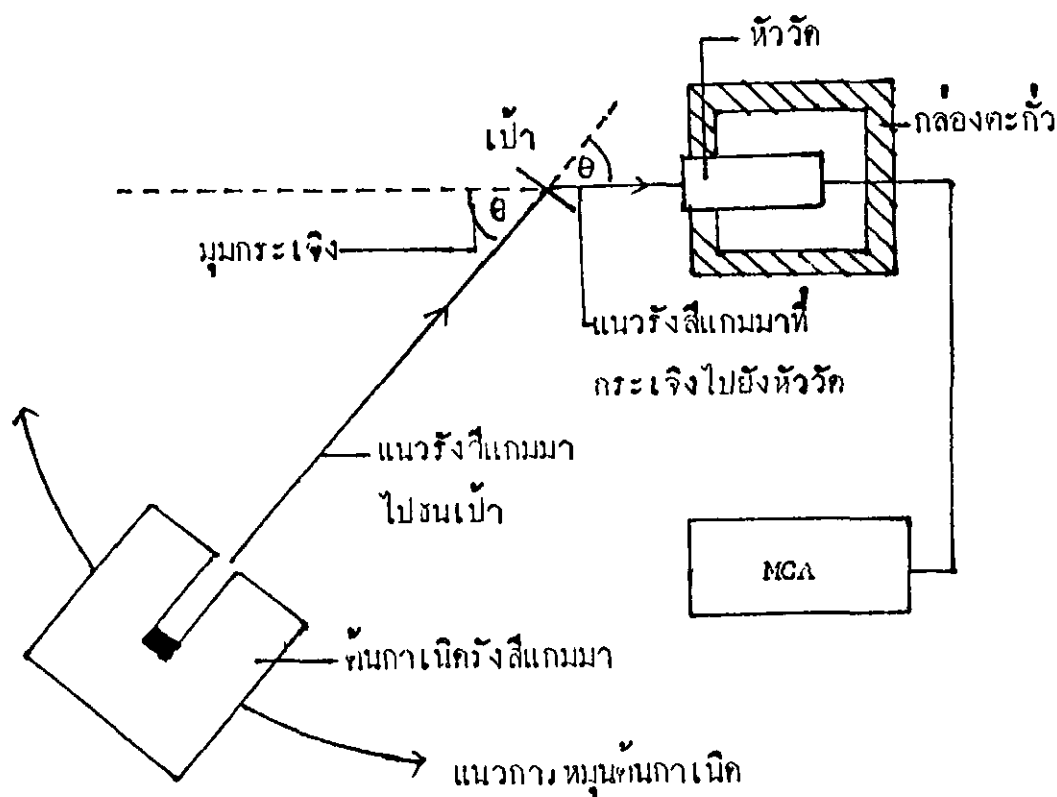
ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงเส้นเทียบมาตรฐานของพลังงานกับ
หมายเลขช่องและแสดงตำแหน่งของหมายเลขของ
 ^{152}Eu พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV

จากกราฟได้ว่าพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ตรงกับช่องที่ 112 และ 431 ของเส้นเทียบมาตรฐานตามลำดับ

ในการหาคะบอกให้ยอดของพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ตรงกับช่องที่ 112 และ 431 คือกวดเวลา ซึ่งแสดงให้ทราบว่าสเปกตรัมของการกระเจิงต่าง ๆ มีคาหน่งแน่นอน ถ้าหากว่ายอดของพลังงานทั้งกล่าวนี้นับไปจากเดิม แสดงว่าการทํางานของ MCA ผิดปกติ และจำเป็นต้องเทียบเส้นมาตรฐานใหม่

2.4 การวัดจำนวนรังสีแกมมาที่มุมกระเจิงต่าง ๆ

การติดตั้งชุดเครื่องมือ เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงแผนผังการจัดเครื่องมือทดลอง

ทดลองวัดมุมกระเจิง 15° , 30° และ 45° โดยในแต่ละมุมจะต้องทำการวัดสเปกตรัม 3 แบบ คือ

1. สเปกตรัมจาก ^{152}Eu โดยตรง
2. สเปกตรัมจากเป้าทองแดงหนา 0.33 เซนติเมตร
3. สเปกตรัมจากเป้าอะลูมิเนียมหนา 0.70 เซนติเมตร

ในการวัดแต่ละมุมต้องตั้งระยะทางของแหล่งกำเนิดรังสีกับเป้า เป้ากับหัววัด และเวลาที่ใช้นับรังสี ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 3

ตาราง 3 ตำแหน่งจัดวางเครื่องมือและเวลาในการทดลอง

มุมกระเจิง	ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดและเป้า (ซม.)	ระยะระหว่างเป้าและหัววัด (ซม.)	เวลาที่ใช้ (วินาที)
15°	39.5	10.8	5,000
30°	92.0	10.5	10,000
45°	124.0	11.0	20,000

นำผลที่ได้จากการนับ ซึ่งพิมพ์ออกมาโดยเครื่องพิมพ์ ไปคำนวณต่อไป

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 นำข้อมูลที่ได้ออกจากสเปกตรัม ^{152}Eu โดยตรงมาเขียนกราฟ โดยเลือกเอาเฉพาะค่าที่อยู่ภายใต้ยอดพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV กราฟเขียนให้หมายเลขของอยู่ในแกนนอน และจำนวนที่นับอยู่ในแกนตั้ง หาค่าพื้นที่ใต้กราฟที่เหมาะสมทั้งด้านหน้าและด้านหลังของกราฟ เพื่อให้ได้พื้นที่ใต้กราฟมากที่สุด เลือกตำแหน่งเหมาะสมมา 4 จุด คือ ด้านหน้า 2 จุด และด้านหลัง 2 จุด ซึ่งตรงกับ

หมายเลขของของ MCA ที่ทดลอง

3.2 นำข้อมูลที่ได้อาจจากข้อ 3.1 และที่ได้จากการทดลองไปคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จ 2 โปรแกรม คือ

3.2.1 โปรแกรม BAKFIT เป็นโปรแกรมที่เอาข้อมูลจากข้อ 3.1 และสเปกตรัมทั้ง 3 ชนิด ในแต่ละมุมจากข้อ 2.4 มาที่ได้ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองของคอมพิวเตอร์

3.2.2 โปรแกรม GAMMA เป็นโปรแกรมที่นำผลที่เก็บในหน่วยความจำสำรองของคอมพิวเตอร์จากข้อ 3.2.1 มาคำนวณโดยแยกข้อมูลเป็น 2 ชุดที่คำนวณด้วยกัน คือ

3.2.2.1 ทองแดงและอะลูมิเนียม

3.2.2.2 ยูโรเพียม-152 (background) และอะลูมิเนียม
ผลออกมา ในแต่ละชุดที่จะนำไปคำนวณมีสิ่งดังต่อไปนี้

DIRECT BEAM , COMPTON , ELASTIC , BACKGROUND

3.3 นำผลที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาคำนวณหาความเข้มข้นต่อไปนี้ คือ

3.3.1 ชุดของทองแดงและอะลูมิเนียม

$$\text{ELAST Cu} = \text{DIRECT BEAM} \times \text{ELASTIC} \quad (3.2)$$

$$\text{COMP Cu} = \text{COMPTON} \times \text{BACKGROUND} \quad (3.3)$$

เมื่อ ELAST Cu หมายถึง จำนวนนับต่อวินาที

จากเป้าทองแดงในแบบยี่สิบ

COMP Cu หมายถึง จำนวนนับต่อวินาทีจากเป้าทองแดงใน

แบบคอมแพค

3.3.2 ชุกของยูโรเพียม-152 และอะลูมิเนียม

$$\text{ELAST BG} = \text{DIRECT BLAM} \times \text{ELASTIC} \quad (3.4)$$

$$\text{COMP BG} = \text{COMPTON} \times \text{BACKGROUND} \quad (3.5)$$

เมื่อ ELAST BG หมายถึง จำนวนนับต่อนาทีของภูมิหลัง
 COMP BG หมายถึง จำนวนนับต่อนาทีของภูมิหลังจากเป้า
 อะลูมิเนียมในแบบคอมพัตตัน

3.4 นำข้อมูลในข้อ 3.3 กลับกันดังนี้

$$\text{LLAST} = \text{ELAST Cu} - \text{ELAST BG} \quad (3.6)$$

$$\text{COMP} = \text{COMP Cu} - \text{COMP BG} \quad (3.7)$$

3.5 นำข้อ 3.4 หาค่าดังนี้ $\frac{\text{ELAST}}{\text{COMP}}$

3.6 คำนวณหาภาคตัดขวางแบบคอมพัตตัน ดังนี้

(J.H. Hrbbell. 1975 : 473)

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{comp}} = S(x, z) \left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{\text{KN}} \quad (3.8)$$

เมื่อ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{\text{KN}}$ หมายถึงภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์แบบเคลย์น นิชิงนา

3.6.1 $S(x, z)$ พิจารณาจากตาราง เมื่อ z เป็นเดซิเมตร
 ของทองแดง และ x คำนวณได้จาก

$$X = \frac{\text{Energy (keV)} \sin \theta / 2}{12.4} \quad (3.9)$$

เมื่อ Energy (keV) เป็นพลังงานของรังสีตกมาที่ศึกษาใน
 หน่วย keV

๐ เป็นมุมกระเจิง

3.6.2 ค่า

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{KN}} = \frac{r_e}{2} \left[1 + k(1 - \cos \theta) \right]^{-2} \left[1 + \cos^2 \theta + k^2 \frac{(1 - \cos \theta)^2}{1 + k(1 - \cos \theta)} \right] \quad (3.10)$$

$$\text{เมื่อ } r_e = 0.281793807 \text{ cm.}$$

$$k = \frac{\text{Energy (eV)}}{511003.4}$$

๐ เป็นมุมกระเจิง

ค่าที่ได้แสดงในการวาง 4

ตาราง 4 ผลการคำนวณค่าของ $(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{\text{comp}}$

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง	$(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{\text{KN}} (\text{barn})$	$S(x, z)$	$(\frac{d\sigma}{d\Omega})_{\text{comp}}$
0.344	15	0.0733643	27.375	2.00835
	30	0.0587104	28.675	1.68352
	45	0.0424535	28.950	1.22903
1.408	15	0.0644065	29.00	1.86779
	30	0.0391735	29.00	1.13603
	45	0.0226212	29.00	0.656015

3.7 นำผลจากข้อ 3.5 และ 3.6 ของมุมและพลังงานเดียวกัน มาคูณกัน ได้ดังนี้

$$|\phi| = \frac{\text{ELAST}}{\text{COMP}} \times (\frac{d\sigma}{d\Omega})_{\text{comp}}$$

$|\phi|$ คือภาคหักขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา จากทองแดง

3.8 นำผลจากข้อ 3.7 เปรียบเทียบกับการทดลองของคนอื่น โดยพิจารณาว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกันหรือไม่ โดยใช้กราฟหาความสัมพันธ์

3.9 นำผลจากข้อ 3.7 เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จ ACCX ซึ่งเป็นการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธีฟอร์ม แคลคูลอร์

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

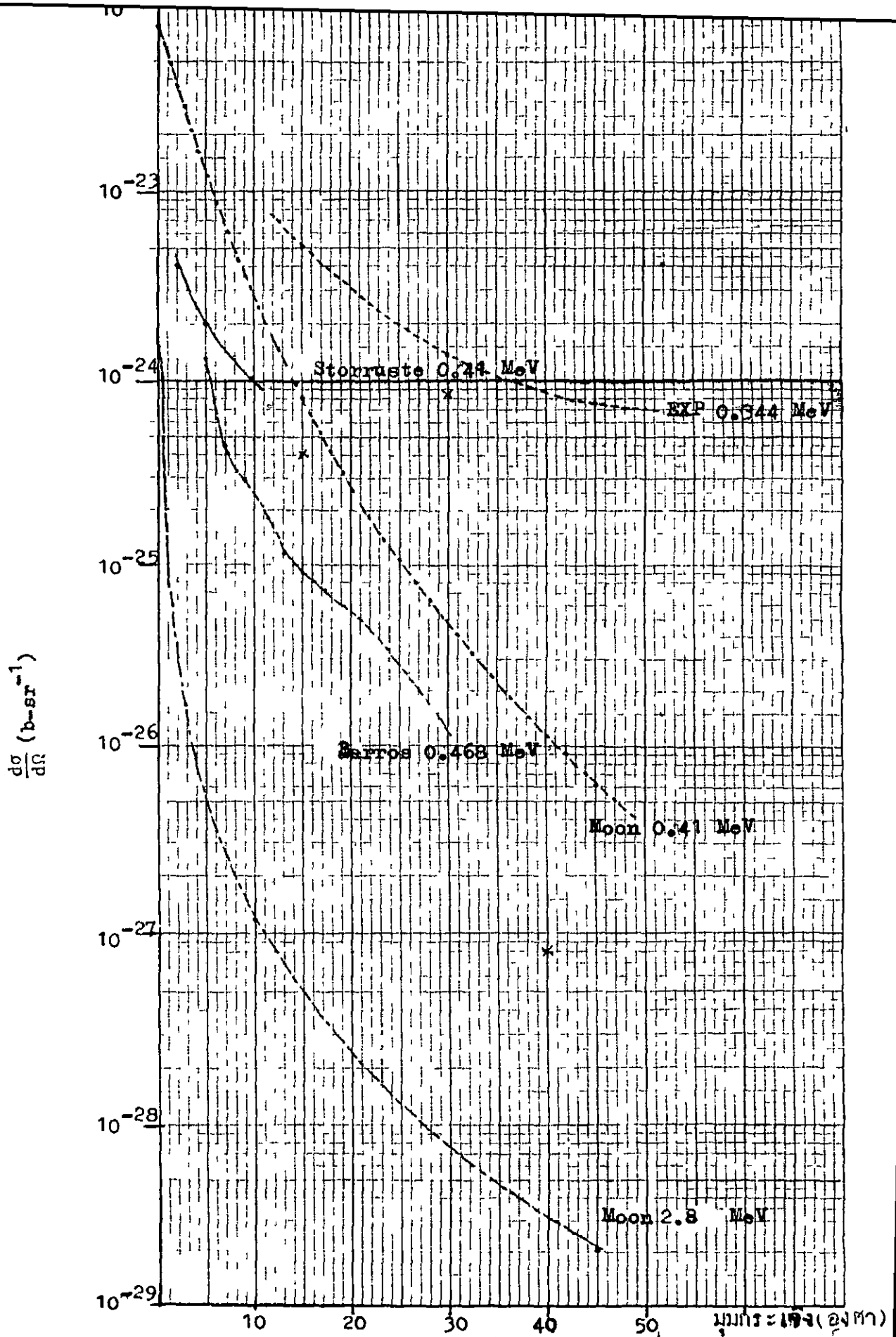
การเปรียบเทียบกับผลของการทดลองอื่น ๆ

การเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทดลองครั้งนี้กับการทดลองอื่น ๆ นั้น มีข้อจำกัด เนื่องจากยังไม่มีผลการทดลองด้านการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา จากทองแดงมากนัก และยังไม่มีการทดลองที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ดังนั้นจึงเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่ไม่ได้ใช้พลังงานเดียวกัน โดยพิจารณาจากความสอดคล้องของการทดลองทั่วไป

การเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองครั้งนี้กับผลการทดลองของบาร์รอส (Barros. 1765 : 1981) ที่พลังงาน 0.468 MeV มูน (Moon. 63 : 1950) ที่พลังงาน 0.41 และ 2.8 MeV และสตอร์รัส (Storruste. 63 : 1950) ที่พลังงาน 0.41 MeV เป็นดังแสดงในภาพประกอบ 7 .

ที่พลังงาน 0.344 MeV พบว่าในการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานสูงกว่า 0.344 MeV จะเห็นว่ามีค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ มีแนวโน้มค่าคงรูปกราฟ และ $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ของ 0.344 มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงมีความสอดคล้องกันก็กับการทดลองของบาร์รอส และเมื่อมุมกระเจิงเล็กจึงมีความสอดคล้องกับการทดลองของสตอร์รัส

ที่พลังงาน 1.408 MeV ที่มุม 30° มีค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นมากกว่าที่มุม 15° ซึ่งแสดงว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นที่มุมกระเจิง 30° สำหรับมุมกระเจิง 15° และ 30° เมื่อพิจารณาค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น พบว่ามีความสอดคล้องกับการทดลองอื่น ๆ



ภาพประกอบ 7 การเปรียบเทียบค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทดลองครั้งนี้กับการทดลองอื่น ๆ

การเปรียบเทียบกันผลของการคำนวณทางทฤษฎี

เปรียบเทียบผลการทศกัณฐกับการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธี ฟรานส์
ฟอร์มัน แฟลคเตอร์ ซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรม AGGY ดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ จากการทศกัณฐและการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธีฟรานส์
ฟอร์มัน แฟลคเตอร์

มุมกระเจิง	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 0.344 MeV (b-sr ⁻¹)		$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 1.408 MeV (b-sr ⁻¹)	
	EXP	FF	EXP	FF
15°	5.09(0)	3.03(0)	4.09(-1)	4.00(-1)
30°	1.34(0)	1.47(0)	8.37(-1)	1.97(-2)
45°	7.79(-1)	6.91(-1)	8.08(-4)	6.18(-5)

(ตัวเลขในวงเล็บแทนกำลังเลข 10)

EXP = การทศกัณฐ

FF = ฟรานส์ ฟอร์มัน แฟลคเตอร์

ที่พลังงาน 0.344 MeV พบว่าผลจากการทศกัณฐมีหัดัก (order) ใกล้เคียง
กับการคำนวณทางทฤษฎีมาก

ที่พลังงาน 1.408 MeV พบว่า ผลการทศกัณฐที่มุม 15° มีหัดักใกล้เคียง
กับการคำนวณทางทฤษฎีมาก แต่ที่มุม 30° และ 45° ผลการทศกัณฐแตกต่างจาก
ทฤษฎีสูงมาก

บทที่ 5

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อจะศึกษาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ณ มุมกระเจิง 15° 30° และ 45° โดยใช้ทองแดงเป็นเป้า แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ และผลจากการคำนวณทางทฤษฎี

วิธีดำเนินการวิจัย

ขบวนการหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ณ 0.344 และ 1.408 MeV ของรังสีแกมมาจาก ^{152}Eu โดยทองแดงนี้ ทดลองวัดที่มุมกระเจิง 3 มุม คือ 15° 30° และ 45° โดยแต่ละมุมต้องทำการวัดสเปกตรัมสามชนิด คือ สเปกตรัมจาก ^{152}Eu โดยตรง จากเป้าทองแดง และจากเป้าอะลูมิเนียม เมื่อรังสีแกมมาเข้าสู่หัววัดก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเข้าเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่องปรากฏบนจอภาพในรูปกราฟของสเปกตรัม และพิมพ์เป็นข้อมูลแสดงจำนวนรังสีแกมมาในแต่ละช่องออกมาทางเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งข้อมูลนี้นำไปคำนวณโดยโปรแกรมสำเร็จสองชุด คือ BAKFIT ซึ่งใช้คำนวณหาพื้นที่ใต้ยอดพลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV และ GAMMA ใช้คำนวณผลที่ได้จากโปรแกรม BAKFIT ผลที่ได้จากโปรแกรม GAMMA นำไปคำนวณต่อเพื่อหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น นาผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ และผลจากการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งคำนวณจากโปรแกรม AGCY

สรุปผลการวิจัย

ค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของการทดลองครั้งนี้ ได้แสดงการวาง 6

ตาราง 6 ค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 โดยให้ทองแดงเป็นเป้า

มุมกระเจิง	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 0.344 MeV	$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ 1.408 MeV
15°	5.09(0)	4.09(-1)
30°	1.34(0)	8.37(-1)
45°	7.79(-1)	8.08(-4)

$\frac{d\sigma}{d\Omega}$ อยู่ในหน่วย $b\text{-sr}^{-1}$

(ตัวเลขในวงเล็บแทนค่านี้อยู่ของ 10)

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับการทดลองอื่น ๆ พบว่า ค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 MeV สอดคล้องกันกับการทดลองของ บาร์รอส (Barros. 1765 : 1981) และสทอร์รัสท์ (Storruste. 63 : 1950)

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธีฟรานส์ ฟอรัม แฟลเคอร์ พบว่าที่พลังงาน มุมกระเจิง 30° และ 45° แตกต่างจากการคำนวณทางทฤษฎีน้อยกว่า 15% และที่พลังงาน 1.408 MeV มุมกระเจิง 15° แตกต่างจากการคำนวณทางทฤษฎีน้อยกว่า 5%

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองนี้ที่พลังงาน 0.344 MeV มีความสอดคล้องกับการทดลองอื่น ๆ และการคำนวณทางทฤษฎีโดยวิธีฟรานส์ ฟอรัม แฟคเตอร์ แต่ที่พลังงาน 1.408 MeV ไม่สอดคล้องกับการทดลองอื่น ๆ และการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของหัววัดแบบ NaI(Tl) ที่ใช้ในการทดลองมีไม่มากพอ เพราะเมื่อพิจารณาจากค่าเรโซลูชัน (resolution) ของหัววัดซึ่งมีค่า 6.2% จะเห็นว่ามีค่าสูง ดังนั้นสัญญาณที่ส่งไปยังเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง เพื่อวิเคราะห์และแสดงผลออกมาเป็นกราฟนั้น ความกว้างของกราฟจะกว้างมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถที่จะวิเคราะห์จำนวนโฟตอนเฉพาะที่พลังงาน 0.344 และ 1.408 MeV ได้อย่างแม่นยำ

2. กระแสไฟฟ้า สำหรับเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่องไม่คงที่ ดังนั้นสเปกตรัมที่ได้จากเป้าต่าง ๆ จึงไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

3. การกระเจิงของรังสีแกมมาที่พลังงาน 1.408 MeV อาจเกิดเป็นแบบคอมพตันมากกว่าการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นมีค่าน้อย โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto z^2$$

เมื่อ z เป็นเลขอะตอมของเป้า

ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ทองแดงเป็นเป้าหมายมีเลขอะตอม 29 ดังนั้นค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นจึงมีค่าน้อย เมื่อพลังงานของรังสีแกมมามีค่ามากขึ้น การกระเจิงแบบคอมพตันจึงเด่นชัดขึ้นมามาก

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการทดลองต่อไป ควรใช้ตัววัดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องวิเคราะห์รังสีแบบทลายช่องควรมีค่าคงที่อยู่ตลอดเวลาในขณะทำการทดลองตลอดเวลา
2. ตัววัดควรมีการป้องกัน (shielding) ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ตัววัดวัดเฉพาะการกระเจิงของการทดลองเท่านั้น จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องจริง คือลดจนขจัดการกระเจิงหลายนครั้งออกไปจากการทดลองด้วย

บรรพชาญกรม

Alvarez, Luis W., Frank S. Crawford and M. Lynn Stevenson.

"Elastic Scattering of 1.6 MeV Gamma from H, Li, C, and Al
Nuclei," Physical Review. 112 : 1267, November, 1968

Barros, S., Eichler, J., Gaspar, M. and Goncalves, O.

"Rayleigh scattering of 468 keV photons by different
atoms," Physical Review, 1765 : October, 1981

Bernstein, A.M. and A.K. Mann. "Scattering of Gamma Rays
by a Static Electric Field," Physical Review, 110 :
805, May, 1958.

Chitwattanagorn, W. and other. "Elastic Scattering of ^{152}Eu
 γ -rays by Pb," J. Phys. G : Nucl. phys. 6 : 1147, 1980.

Jackson, H.E., Thomas, G.E., and Wetzell, K.J. Physical Review
C9 : 1153, 1974.

Levinger, J.S. Physical Review. 84 : 523, 1951.

Merzbacher, Eugen. "Scattering," Quantum Mechanics. p.215,
2nd. ed., 1970.

Moon, P.B. "The Hard Components of Scattered Gamma-Rays,"
The Proceedings of the Physical Society. 63 : 1189, November,
1950.

Papatzacos, Paul and Kjell Mork. Phys. Lett. C21 : 97, 1975.

Roy, R.R and Robert D. Read, "Total Photon Absorption,"
Interaction of Photon and Leptons with Matter, p.240-250,
Academic Press, 1968.

Richard, L. Weidner and Robert L. Seria, Elementary Modern
Physics, 502, 6th.ed., 1983

Storruste, A.P. "The Rayleigh Scattering of 0.41 MeV Gamma-Rays
at Various Angles." Proc. phys. Soc. 63 :1197, 1950.

Storruste, A.P. and P.O. Tjøm. "Small Angle Scattering of
1.33 MeV and 1.17 MeV Gamma-Rays," Nuclear Physica, 6 :
151, 1958.

Whittingham, I.B. Elastic Scattering of Low Energy Gamma-Rays
:II. Theoretical Cross Section for Scattering of ^{152}Eu Gamma-
Rays by Pb. 46 : May, 1978.