

520.7281

๓๓๕ ๓

๓๓

ภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ของรังสีแกมมา

พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV จากฟังสเดน

ปริญาณิพนธ์

ของ

จินตารัตน์ จรัสรังสีชล

24 ส.ย. 2536

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

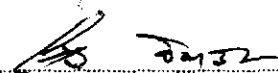
มีนาคม 2528

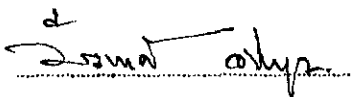
ลิขสิทธิ์ เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

177768

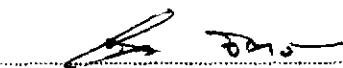
คณะกรรมการที่ปรึกษาประจำตัวนิสิตและคณะกรรมการสอบ ได้พิจารณาปริญญาโท
ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

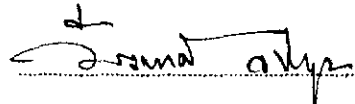
คณะกรรมการที่ปรึกษา

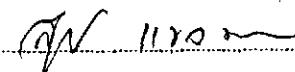

ประธาน


กรรมการ

คณะกรรมการสอบ


ประธาน


กรรมการ


กรรมการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย

จาก

ทุนงบประมาณแผ่นดิน

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากทบวงงบประมาณแผ่นดิน และได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์วิมล จิตวิวัฒนากร ประธานกรรมการที่ปรึกษา และอาจารย์วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล ภาควิชาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อให้ใช้สถานที่ เครื่องมือ และให้คำแนะนำในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์แดง สุขกุล อาจารย์สมควร ไร่ไทรกุล และอาจารย์ทุกท่านในหมวดวิทยาศาสตร์ โรงเรียนวัดอินทาราม ที่ได้ให้กำลังใจและช่วยเหลือในการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอรำลึกถึงพระคุณของ บิดา มารดา พี่และน้อง ๆ ที่ได้สนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาและในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

จินตารัตน์ จรัสรังสีชล

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
2 ทฤษฎีและ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	6
การกระเจิงแบบ เรเดย์	6
การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน	6
การกระเจิงแบบ เกลบรุค	9
การกระเจิงแบบอภินาถนิวเคลียร์	10
ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์	10
3 เครื่องมือและวิธีดำเนินการทดลอง	13
เครื่องมือ	13
แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา	13
เครื่องวัดรังสีแกมมา	16
เป้า	19
วิธีดำเนินการทดลอง	20
การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	26

บทที่	หน้า
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	29
การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี	29
การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ	33
5 บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อ เสนอแนะ	39
บทย่อ	39
สรุปผลการวิจัย	40
อภิปรายผล	40
ข้อ เสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ความเข้มโมเมนต์พลังงานของรังสีแกมมาจาก ${}_{63}\text{Eu}^{152}$	14
2 การเปรียบเทียบค่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{e1}$ จากผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี	30
3 เปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี ที่พลังงาน 0.344 MeV ณ มุมกระเจิงต่าง ๆ	32
4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง เดียวกัน	34
5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง ใกล้เคียงกัน	37
6 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลอง อื่น ๆ	42

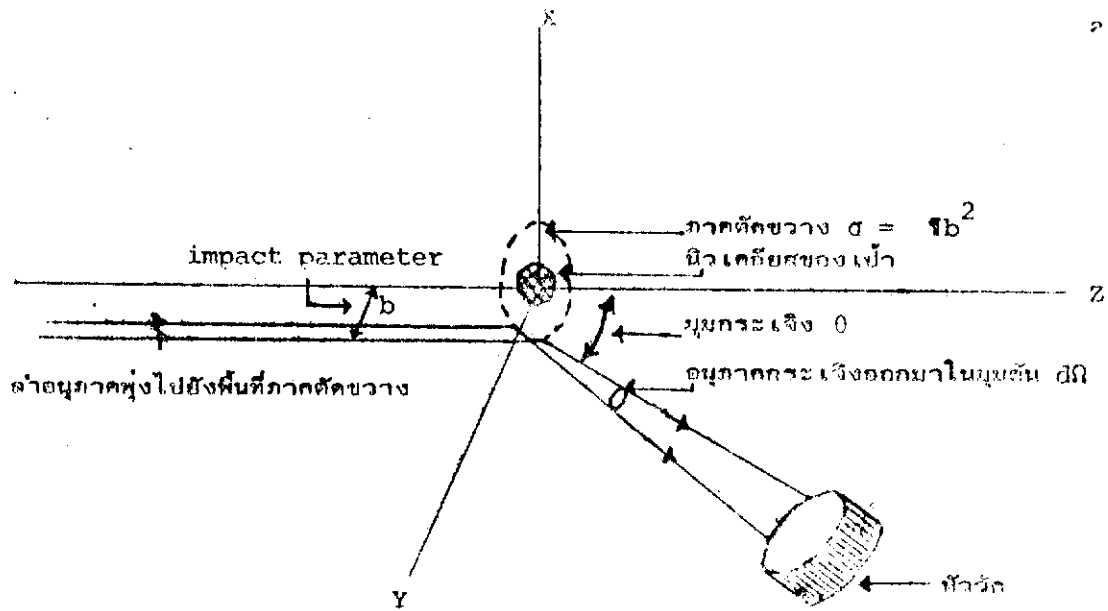
บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงการกระเจิงของอนุภาคไปยังหัววัดในมุมตัน $d\Omega$ และมุมกระเจิง θ	2
2 กราฟแสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก ${}_{63}\text{Eu}^{152}$	16
3 กราฟแสดงการหาค่าเรสโซแนนซ์	18
4 แสดงแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา, เป้า และเครื่องวัดรังสีแกมมา	20
5 กราฟแสดงการทดสอบตำแหน่งมุมกระเจิง θ	22
6 กราฟแสดง เนิบเทียบมาตรฐานของพลังงานกับจำนวนช่อง และแสดงตำแหน่งของ พลังงาน ${}_{63}\text{Eu}^{152}$ 0.344 MeV และ 1.400 MeV	24
7 การเปรียบเทียบค่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{el}$ จากผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี	31
8 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง เดียวกัน	35
9 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง ใกล้เคียงกัน	38
10 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ	40

ภูมิหลัง

ความรู้พื้นฐาน เกี่ยวกับองค์ประกอบและสมบัติทางกายภาพของสสารได้มาจากการศึกษา โครงสร้างภายในอะตอม, นิวเคลียสและอนุภาคมูลฐาน (Marmier and Sheldon. 1969 : 1) วิธีการหนึ่งที่น่าไปสู่การศึกษาโครงสร้างภายในอะตอมคือ การศึกษาเรื่องการกระเจิงของ อนุภาค (scattering) โดยการยิงอนุภาคหรือโฟตอนไปยังเป้า เมื่ออนุภาคหรือโฟตอนเกิด อันตรกิริยา (interaction) กับอะตอมของเป้าแล้วก็จะกระเจิงออกมาในทิศทางต่าง ๆ ซึ่ง สามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องวัดที่เหมาะสมกับชนิดของอนุภาคหรือโฟตอนที่กระเจิงออกมา การวัดจำนวนอนุภาคที่ตกกระทบต่อหน่วยเวลา จำนวนอนุภาคที่กระเจิงต่อหน่วยเวลาและมุม กระเจิงของอนุภาคที่พลังงานต่าง ๆ สามารถกำหนดได้ในรูปของภาคตัดขวาง (cross section) และภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ (differential cross section) (Green. 1955 : 205) ซึ่งพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

อนุภาคริงเข้าชนนิวเคลียสด้วยอิมแพค พารามิเตอร์ (impact parameter) b ซึ่ง เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่อนุภาคจะเข้าไปใกล้นิวเคลียสได้ถ้าไม่มีแรงกระทำ จากนั้นก็กระเจิงออก ไปเป็นมุม θ ซึ่งเรียกว่า มุมกระเจิง (scattering angle) ดังนั้นอนุภาคริงเข้าชน นิวเคลียสด้วยอิมแพค พารามิเตอร์จาก 0 ถึง b ก็จะกระเจิงออกไปด้วยมุมตั้งแต่ θ ขึ้นไปหรือ อาจกล่าวได้ว่า อนุภาคริงเข้าชนนิวเคลียสภายในพื้นที่ πb^2 รอบนิวเคลียสจะกระเจิงออกไป ด้วยมุมตั้งแต่ θ ขึ้นไป และเรียกพื้นที่ πb^2 นี้ว่า ภาคตัดขวาง ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงการกระเจิงของอนุภาคไปยังตัววัดในมุมตัน $d\Omega$ และมุมกระเจิง θ

อนุภาคที่กระเจิงออกมาจาก เป้าจะ เคลื่อนที่ไปยังตัววัดในมุมตัน $d\Omega$ ซึ่งตัววัดจะนับจำนวนอนุภาคในมุมตันนี้ ถ้า I_0 เป็นจำนวนของอนุภาคที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาและ $I d\Omega$ เป็นจำนวนของอนุภาคที่กระเจิงออกมาในมุมตันนี้ ดังนั้น เราอาจนิยามภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิง (differential scattering cross section) แทนด้วยสัญลักษณ์ $\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$ ได้ดังนี้

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

(Merzbacher, 1970 : 217)

ดังกล่าวมาแล้วว่า ถ้าเรายิงอนุภาคหรือโฟตอนไปยังเป้าจะเกิดการกระเจิงของอนุภาคหรือโฟตอนขึ้นซึ่งลักษณะของการกระเจิงแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) คือ การกระเจิงที่พลังงานจลน์ทั้งหมดก่อนและหลังการกระเจิงไม่เท่ากันและอะตอมของเป้าอยู่ในสถานะกระตุ้น
2. การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) คือ การกระเจิงที่พลังงานจลน์ทั้งหมดก่อนและหลังการกระเจิงมีค่าเท่ากัน

ในการทดลองนี้ เรามุ่งที่จะศึกษาภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่ไปตกกระทบ เป้าทำด้วยทังสแตนซึ่งโดยทั่วไปการกระเจิงแบบยืดหยุ่นประกอบด้วย การกระเจิงย่อย ๆ 4 แบบ ดังนี้

1. การกระเจิงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering)
2. การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน (nuclear Thomson scattering)
3. การกระเจิงแบบเดลบรุค (Delbruck scattering)
4. การกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์ (nuclear resonance scattering)

การกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้งสี่แบบนี้มักจะเกิดด้วยกันเสมอ จึงเป็นการยากที่จะแยกการกระเจิงแต่ละแบบออกจากกัน (Bernstein and Mann. 1968 : 805) ดังนั้น ในการศึกษาการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาจึงต้องถือว่าเป็นผลรวมของการกระเจิงทั้งสี่แบบ อย่างไรก็ตามการกระเจิงในแต่ละแบบจะปรากฏอย่างเด่นชัดถ้าเราเลือกพลังงานของรังสีแกมมาและมุมกระเจิงได้เหมาะสม เช่น ถ้าใช้รังสีแกมมาที่มีพลังงานน้อยกว่า 1.5 MeV การกระเจิงแบบเดลบรุคและการกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์จะมีค่าน้อยกว่า 5% (Johnson and Cheng. 1976 : 692) ส่วนการกระเจิงแบบเรเลย์และการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสันจะมีค่าเด่น ดังนั้นการทดลองสำหรับรังสีแกมมาในช่วงพลังงานนี้เราจึงไม่พิจารณาผลของการกระเจิงแบบเดลบรุคและการกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการวัดภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV ในช่วงมุมกระเจิงระหว่าง 15° - 45° โดยใช้ทังสแตนเป็นเป้าและใช้หัววัดรังสีแบบโซเดียมไอโอไดต์ [NaI (Tl)]
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่ได้จากการทดลองครั้งนี้กับผลการทดลองของ เทเลอร์และคณะ (Taylor et al. 1981 : 126) และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้ฟอร์มแฟคเตอร์ (form factor)

ความสำคัญของการวิจัย

1. ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ในการทำการทดลองการกระเจิงแบบยืดหยุ่นโดยใช้รังสีแกมมาที่พลังงานแตกต่างกัน
2. เพื่อเป็นแนวทางสนับสนุนการใช้อิทธิพลโพรมิเทอเรียในการหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา
3. เพื่อเป็นแนวทางในการนำเอาเทคนิคการคำนวณทางคอมพิวเตอร์มาใช้ คำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา

ขอบเขตของการวิจัย

1. ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่วัดได้ ในการทดลองนี้จะพิจารณาว่าเป็นผลรวมของการกระเจิงแบบเรเดียและการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสันเท่านั้นซึ่งคำนวณโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ๒ ชุดคือ BAKFIT และ GAMMA
2. ดันกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้คือ ยูโรเปียม - 152 (Europium ; ${}_{63}\text{Eu}^{152}$) ขนาดความแรงประมาณ 0.677 คูรีและใช้หัววัดรังสีแบบโซเดียมไอโอไดด์ขนาด 5 x 6 เซนติเมตร
3. เป้าที่ใช้เป็นทั้งแผ่นหนา 0.93 เซนติเมตร และอะลูมิเนียมหนา 0.64 เซนติเมตร มีขนาด 5 x 6 เซนติเมตร และขนาด 10 x 7 เซนติเมตร ตามลำดับ
4. การทดลองครั้งนี้ใช้มุมกระเจิงระหว่าง 16 - 46 องศาที่ใช้น้ำมันในช่องนี้ก็ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ ได้
5. $\frac{d\sigma}{d\Omega}(0)$ ที่คำนวณจากทฤษฎีโดยใช้อิทธิพลโพรมิเทอเรียได้มาจากโปรแกรม ARGY
6. ทำการทดลองที่ภาควิชาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การกระเจิง คือ การที่อนุภาคหรือโฟตอนวิ่งไปชนเป้าแล้วมีอนุภาคหรือโฟตอนที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันวิ่งเปี่ยงเบนไปจากทิศเดิม
2. การกระเจิงแบบยืดหยุ่น คือ การกระเจิงที่พลังงานจลน์ทั้งหมดก่อนและหลังการกระเจิงมีค่าเท่ากันและอะตอมของเป้าอยู่ในสถานะปกติ
3. มุมกระเจิง คือมุมที่อนุภาคหรือโฟตอนทำกับทิศทางเดิมก่อนการกระเจิง
4. ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ คือ โอกาสที่อนุภาคหรือโฟตอนจะถูกกระเจิงออกจากอะตอมของเป้าต่อ 1 มุมตัน
5. แอมพลิจูดของการกระเจิง คือ แอมพลิจูดของคลื่นที่กระเจิงออกมาจากเป้า เช่น e^{ikz} เป็นคลื่นระนาบที่ตกกระทบบมี k เป็นเลขคลื่น คลื่นที่กระเจิงออกมาที่ระยะทาง r จากศูนย์กลางของการกระเจิงจะเขียนแทนด้วย $\frac{Ae^{ikz}}{r}$ โดยที่ A คือ แอมพลิจูดของการกระเจิง
6. โปรแกรม BAKFIT คือ โปรแกรมที่ใช้หาเส้นตรงที่ดีที่สุด เพื่อนำมาตัดกราฟหาพื้นที่ใต้ยอดพลังงานของสเปกตรัมรังสีแกมมา
7. โปรแกรม GAMMA คือ โปรแกรมที่ใช้หาพื้นที่ใต้ยอดพลังงานของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นและการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน
8. โปรแกรม AAGY คือ โปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าภาคตัดขวางในเทอมแอมพลิจูดรวม โดยใช้สูตรฟอร์มแฟคเตอร์

ทฤษฎีและ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การกระเจิงแบบยืดหยุ่นคือ การกระเจิงที่พลังงานจลน์ทั้งหมดเป็นไปตามหลักการคงตัวของพลังงาน กล่าวคือพลังงานจลน์ของอนุภาคทั้งหมดก่อนและหลังการกระเจิงเท่ากัน การกระเจิงยืดหยุ่นนี้แบ่งออกเป็น 4 แบบคือ

1. การกระเจิงแบบ เร เลย์
2. การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน
3. การกระเจิงแบบ เคนบรูด
4. การกระเจิงแบบอภินาตนิวเคลียร์

การกระเจิงแบบ เร เลย์

ที่พลังงานตั้งแต่ 0.1 MeV ขึ้นไปการกระเจิงแบบยืดหยุ่นมักเกิดขึ้นจากอะตอมของธาตุหนักซึ่งเลขอะตอม (atomic number) มีค่าสูง การกระเจิงแบบเรเลย์ซึ่งเป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่นและเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคหรือโฟตอนที่กระเจิงออกมาจากอะตอมของแก๊สแล้วไม่ทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้น (excitation) หรือสถานะไอไอไนท์ (ionization)

การกระเจิงแบบเรเลย์จะมีเปอร์เซ็นต์ของการเกิดสูงเมื่อรังสีแกมมาที่มีพลังงานอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 MeV และมีมุมกระเจิงเล็ก ๆ (Roy and Reed, 1968 : 240) และการกระเจิงแบบเรเลย์เกิดอาพันธ์ (coherent) กับการกระเจิงแบบทอมสัน แต่การกระเจิงแบบเรเลย์จะเด่นกว่ามาก

การคำนวณค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)$ ของรังสีแกมมาในช่วงมุมเล็ก ๆ ($\theta < 1.5$) ฟรานซ์ (Franz, 1936 : 852 ; 1938 : 314) ได้ใช้หลักการประมาณของ ทอมสัน และเฟอร์มี (Thomson and Fermi approximation) : ค่ารวมหาค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering cross - section ; $[\frac{d\sigma}{d\Omega}]_R$) ซึ่งสมการต่อไปนี้

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R = 8.67 \times 10^{-33} \frac{E_0 Z^3}{(h\nu)^3} \frac{(1 + \cos^2\theta)}{2 \sin^3 \frac{\theta}{2}}$$

เมื่อ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R$ คือ ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบเรเลย์

E_0 คือ พลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอน

$h\nu$ คือ พลังงานของรังสีแกมมา

θ คือ มุมกระเจิง

Z คือ เลขอะตอม

จากการทดลองหาค่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R$ โดยใช้การขยายแบบบอร์นในเมตริกซ์ของการเปลี่ยนแปลง (Born expansion in transition matrix) นั้น บราวน์, พีเออร์ลส์และวูดเวิร์ด (Brown, Peierls and Woodward. 1954 : 51) บราวน์และเมเยอร์ส (Brown, and Mayers. 1956 : 387 ; 1957 : 99) ต่างก็พบเช่นเดียวกันว่า สำหรับรังสีแกมมาพลังงานเหล่านี้คือ 0.32, 0.64, 1.28 และ 2.56 MeV ค่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R$ จะแปรผันกับ Z^2 ที่มุมกระเจิงเล็ก ๆ และจะแปรผันกับ Z^3 ที่มุมกระเจิงใหญ่ ๆ แสดงว่าการกระเจิงแบบเรเลย์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเป้าที่ใช้เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูงและโดยทั่วไปแล้วการคำนวณภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบเรเลย์จะคำนวณจากอิเล็กตรอนในชั้น K และ L สำหรับชั้น M, N, ... จะมีความสำคัญลดลงตามลำดับ

ดังกล่าวมาแล้วว่า การกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้งสี่แบบนี้มักจะเกิดขึ้นด้วยกันเสมอ จึงต้องอาศัยเทคนิคทางการคำนวณที่สามารถแยกการกระเจิงแต่ละแบบออกจากกัน ซึ่งได้แก่ การศึกษาภาคตัดขวางในเทอมของแอมพลิจูดโดยไม่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีสัมพันธภาพซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อว่าการประมาณแบบฟอร์มแฟคเตอร์ (form factor approximation) มีสาระสำคัญพอสรุปได้ดังนี้

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R = r_0^2 (|A|^2)$$

เมื่อ r_0 คือ รัศมีของอิเล็กตรอน โดยที่ $r_0 = \frac{e^2}{mc^2} = 2.818 \times 10^{-13}$ เซนติเมตร

$|A|$ คือ ขนาดของแอมพลิจูด แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. แอมพลิจูดแบบหมุนกลับ (spinflip amplitude ; A^{SF}) คือแอมพลิจูดของการกระเจิงที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของโพลาไรเซชันแบบวง (circular polarization)
2. แอมพลิจูดแบบไม่หมุนกลับ (non spinflip amplitude ; A^{NSF}) คือแอมพลิจูดของการกระเจิงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโพลาไรเซชันแบบวง ดังนั้น

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_R = r_0^2 \left[|A^{SF}|^2 + |A^{NSF}|^2 \right]$$

ในปัจจุบันการคำนวณหาค่าแอมพลิจูดรวมของการกระเจิงแบบเวลาย่อยที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีคือ

1. ใช้แอมพลิจูด จอห์นสัน - เซง ($JC_{A_R}^{NSF/SF}$)
2. ใช้แอมพลิจูด บราวน์ ฟอรัมแพคเตอร์ ($BR-FF_{A_R}^{NSF/SF}$)
3. ใช้แอมพลิจูด เพียว ฟอรัมแพคเตอร์ ($FF_{A_R}^{NSF/SF}$)

สำหรับการทดลองในครั้งนี้จะได้อ่านหาค่าภาคตัดขวางใน เทอมแอมพลิจูดรวมที่ใช้ฟอรัมแพคเตอร์ จากโปรแกรม AAGY

การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน

การกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน บางทีเรียกว่า การกระเจิงโดยประจุไฟฟ้านิวเคลียร์ (scattering by nuclear charge) เป็นการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของโฟตอนพลังงาน W จากนิวเคลียสซึ่งมีมวล M โดยที่ $W \ll M$ ทำให้เราสามารถหาสมการของภาคตัดขวางเชิง

อนุพันธ์ของทอมสัน $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_T$ ในเทอมของมุมกระเจิง θ ได้ดังต่อไปนี้

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_T = Z^2 r_0^2 \left(\frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right)$$

สำหรับการคำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ใน เทอมของแอมพลิจูด เราแบ่งแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบทอมสันเป็น 2 แบบคือ

1. แอมพลิจูดแบบทมนกลับ แทนด้วยสัญลักษณ์ $A_T^{SF}(\omega, \theta)$ มีค่าดังต่อไปนี้

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

2. แอมพลิจูดแบบไม่ทมนกลับ แทนด้วยสัญลักษณ์ $A_T^{NSF}(\omega, \theta)$ มีค่าดังต่อไปนี้

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

เมื่อ Z คือ เลขอะตอม

m คือ มวลของอิเล็กตรอน

M คือ มวลของนิวเคลียส

การกระเจิงแบบเคลบรุค

การกระเจิงแบบเคลบรุคเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การกระเจิงโดยสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียส (scattering by a nuclear coulomb field) เป็นอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนตกกระทบกับสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียส ทำให้เกิดอนุภาคคู่ขึ้น (เสมือนหรือจริงขึ้นอยู่กับว่า $W < 2m$ หรือ $W > 2m$ ตามลำดับ) จากนั้นอนุภาคที่ถูกสร้างขึ้นก็จะเกิดอันตรกิริยากับสนามนิวเคลียสก่อนที่จะเกิดการประลัย (annihilation) ให้โฟตอนที่มีพลังงานเท่ากับโฟตอนตกกระทบ

ปาปัสซาคอสและมอร์ค (Papatzacos and Mork. 1975 : 211) ได้คำนวณแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเคลบรุคโดยอาศัยวิธีการประมาณแบบบอร์น (Born approximation) สำหรับสนามคูลอมบ์ของนิวเคลียสสามารถกำหนดอยู่ในรูป

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

$$A_D^{\parallel}(\omega, \theta) = (\alpha Z)^2 \left[f_D(\omega, \theta) \cos\theta - g_D(\omega, \theta) \sin^2\theta \right]$$

เมื่อ $A_D^{\perp}(\omega, \theta)$ และ $A_D^{\parallel}(\omega, \theta)$ เป็นแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเคลบรุคซึ่งตั้งฉาก

และขนานกับระนาบของการกระเจิงตามลำดับ

$f_D(\omega, \theta)$, $g_D(\omega, \theta)$ เป็นฟังก์ชันเชิงซ้อน (complex function) ของ ω และ θ

การกระเจิงแบบอรินาทนิวเคลียร์

การกระเจิงแบบอรินาทนิวเคลียร์เกิดขึ้นเมื่อเรายิงโฟตอนไปยังอะตอมของเป้าแล้ว นิวเคลียสมีการดูดกลืนพลังงานนี้ไว้จึงทำให้ระดับพลังงานของนิวเคลียสสูงขึ้นจากสถานะปกติไปสู่สถานะกระตุ้นและเพื่อให้นิวเคลียสมีพลังงานที่ถูกต้องคืออยู่ในสถานะปกติ ดังนั้น นิวเคลียสซึ่งกำลังอยู่ในสถานะกระตุ้นจะปล่อยโฟตอนที่ึ่มีพลังงานเท่ากับพลังงานของโฟตอนตกกระทบ การกระเจิงแบบอรินาทนิวเคลียร์นี้สามารถแยกออกเป็น 2 กรณีคือ

1. พลังงานของโฟตอนเข้าใกล้พลังงานอรินาทนิวเคลียร์ (photon energy near nuclear resonant energy) จะเกิดในช่วงพลังงานต่ำและเป็นการกระเจิงที่สังเกตเห็นได้ยาก ทั้งนี้เพราะโอกาสที่จะทำให้พลังงานของโฟตอนที่พอเหมาะเพื่อให้นิวเคลียสไปสู่สถานะกระตุ้นและกลับสู่สถานะปกติอีกเป็นไปได้น้อย
2. พลังงานโฟตอนไกลจากพลังงานอรินาทนิวเคลียร์ (photon energy far nuclear resonant energy) มีขบวนการเกิดเหมือนแบบแรกเพียงแต่การกระเจิงแบบนี้จะเกิดในช่วงปลายที่มีพลังงานต่ำ (low energy tail) ของการเกิดอรินาทไดโพลขนาดใหญ่ (giant dipole resonance)

จากการศึกษาการกระเจิงแบบยืดหยุ่น เลวีนเจอร์ (Levinger. 1951 : 523) พบว่า สำหรับรังสีแกมมาในช่วงพลังงานต่ำกว่า 1 MeV ค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบอรินาทนิวเคลียร์จะมีค่าน้อย เราจึงไม่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณ

ภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์

การกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้งสี่ขบวนการนี้ เบิร์นสไตน์และมานน์ (Bernstein and Mann. 1958 : 110) พบว่าเป็นขบวนการที่เกิดอาพันธ์กัน ดังนั้นถ้าเราพิจารณาภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ในเทอมของแอมพลิจูดจะได้ว่า แอมพลิจูดทั้งหมดของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นแทนด้วยสัญลักษณ์ A จะมีค่าเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของการกระเจิงทั้งสี่แบบ คือ

$$A = A_R + A_T + A_D + A_N$$

เมื่อ A_R คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเรเดีย

A_T คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน

A_D คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเดลบรุก

A_N คือ แอมพลิจูดของการกระเจิงแบบอุตัตานาฟนิวเคลียร์

เมื่อตัดแอมพลิจูดของการกระเจิงแบบเดลบรุกและแบบอุตัตานาฟนิวเคลียร์ออกไป เพราะมีค่าน้อยมาก จะได้แอมพลิจูดรวมดังนี้

$$A = A_R + A_T$$

การคำนวณหาค่า $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ในเทอมของแอมพลิจูดจากสมการของฟรานซ์ คือ

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 |A|^2$$

และอาจเขียนได้ในเทอมของแอมพลิจูดแบบไม่หมุนกลับ (A^{NSF}) และหมุนกลับ (A^{SF}) คือ

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \left[|A^{NSF}|^2 + |A^{SF}|^2 \right]$$

$$\text{เมื่อ } A^{NSF/SF} = A_R^{NSF/SF} + A_T^{NSF/SF} + A_D^{NSF/SF} + A_N^{NSF/SF}$$

เบลสกีและสตาโรโดบตเซฟ (Bel'skii and Starodobtsev. 1960 : 700)

ได้ศึกษาการกระเจิงแบบเรเดียของรังสีแกมมาที่ค่าพลังงานต่าง ๆ พบว่า ในช่วงพลังงานรังสีแกมมา ≤ 5 MeV จะไม่มีโอกาสที่จะแยกการกระเจิงแบบคอมพัสันออกจากการกระเจิงแบบเรเดียได้เลย

เบิร์นสไตน์และมานน์ (Bernstein and Mann. 1958 : 110) พบว่าการกระเจิงแบบยืดหยุ่นทั้งสองแบบจะเกิดขึ้นด้วยกันเสมอ จึงเป็นการยากที่จะแยกการกระเจิงแต่ละแบบออกจากกันด้วยการทดลอง

รอยและรีด (Roy and Reed. 1968 : 240) พบว่าการกระเจิงแบบเรเดียมีเปอร์เซ็นต์การเกิดสูงตามด้วยการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานในช่วงต่ำกว่า 1 MeV และมีมุมกระเจิงเล็ก ๆ

เลวีนเจอร์ (Livingier, 1981 : 523) พบว่า เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานต่ำกว่า 1 MeV ค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบอักษานิวเคลียร์จะมีค่าน้อย แต่ถ้ารังสีแกมมามีพลังงานระหว่าง 3 - 20 MeV ค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบอักษานิวเคลียร์จะเริ่มมีค่าสูงขึ้น

บารอสและคณะ (Barros et al. 1981 : 1766) ได้ทำการทดลองหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบเรเลย์ ที่พลังงาน 0.468 MeV ระหว่างมุม 3 - 40 โดยใช้อะลูมิเนียม, ทองแดง, คาร์บอน, แคลเซียม, เงิน, โมลิบดีนัม และทองแดงเป็นเป้า ปรากฏว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีซึ่งคำนวณจากฟอร์มแฟกเตอร์โดยใช้ดิแรก - ฮาร์ทรี - สเลเตอร์ เวฟฟังก์ชัน (Dirac - Hartree-Fock - Slater wave function) พบว่าที่มุม 40 ค่าภาคตัดขวางจากผลการทดลองมากกว่าผลทางทฤษฎีประมาณ 20% และที่มุม 60 ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลทางทฤษฎีประมาณ 80%

เทเลอร์และคณะ (Taylor et al. 1981 : 128) ได้ทดลองหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นที่มุม 7 - 45 โดยใช้อิเล็กตรอนมาจากรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 0.344, 0.444, 0.778, 0.964, 1.060, 1.112 และ 1.408 MeV โดยใช้อลูมิเนียมเป็นเป้า การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีที่พิจารณาจากผลรวมของการกระเจิงแบบเรเลย์และการกระเจิงแบบอักษานิวเคลียร์ที่มุมสั้น จากการทดลองที่มุมกระเจิงเล็ก ๆ ผลการทดลองสอดคล้องเป็นอย่างดีกับผลการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีฟอร์มแฟกเตอร์แบบบีเยอร์, คัสเซินและแพรทท์ และเทียวยอร์มแฟกเตอร์ สำหรับพลังงาน 1.408 MeV ซึ่งได้พิจารณาการกระเจิงแบบเดลบรูคของปาสีซาคอสและมอร์คเข้าไปด้วยนั้นปรากฏว่า ที่มุมกระเจิงน้อยกว่า 25 ความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลทางทฤษฎีลดน้อยลงแต่ที่มุมกระเจิงใหญ่ ๆ ผลการทดลองมีความแตกต่างกันมากกับผลทางทฤษฎี

เครื่องมือและวิธีดำเนินการทดลอง

เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา
2. เครื่องวัดรังสีแกมมา (scintillation counter)
3. เป้า
4. โปรแกรม BAKFIT, GAMMA และ AAGY

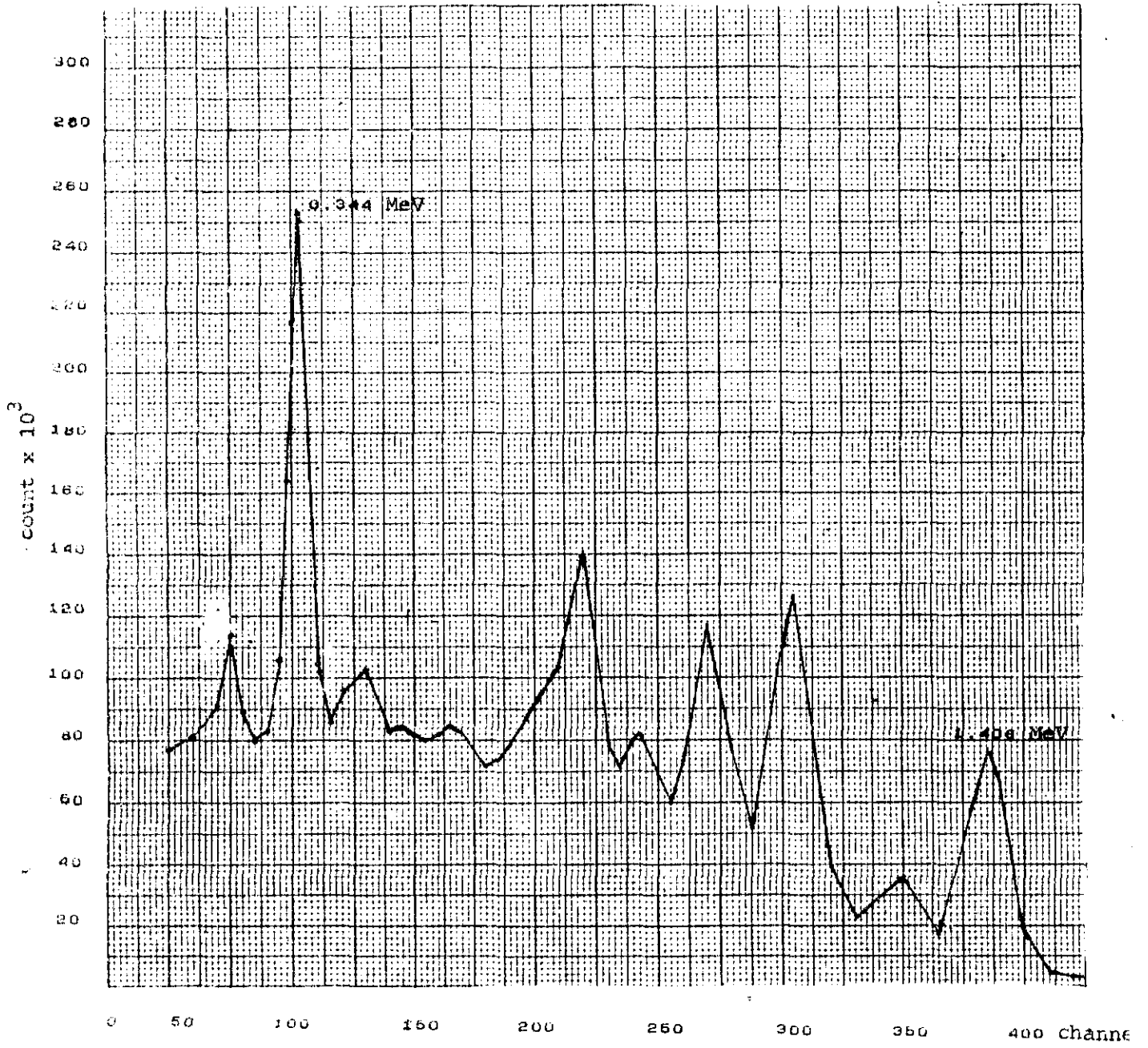
แหล่งกำเนิดรังสีแกมมา

แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในการทดลองนี้คือ ยูโรเทียม - 152 (${}_{63}\text{Eu}^{152}$) มีขนาดความแรงประมาณ 0.877 คูรี ทำขึ้นจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ประเทศออสเตรเลีย (Australian Atomic Energy Commission) โดยใช้วิธีการนิวตรอนแอกทิเวชัน (neutrons activation) กับยูโรเทียมออกไซด์ในธรรมชาติ ยูโรเทียม - 152 นี้อยู่ในรูปของผงบรรจุอยู่ในหลอดซึ่งวางอยู่ในท่อโลหะผสมและท่อนี้ถูกหุ้มด้วยตะกั่วหนาประมาณ 13 เซนติเมตรโดยรอบเพื่อกันรังสีออกทางด้านอื่น ๆ เว้นไว้แต่ช่องเล็ก ๆ ที่เจาะไว้ที่ด้านหนึ่ง สำหรับให้รังสีออกมาเป็นลำรังสีเพื่อใช้ในการทดลอง โดยขนาดลำรังสีกว้าง 1 หรือลำรังสีจะถ่างออกเป็น 0.03 เมตรในระยะ 2 เมตร ทั้งหมดนี้หุ้มด้วยเหล็กกล้าขนาด 26 x 26 x 26 เซนติเมตรอีกชั้นหนึ่ง เหตุผลที่ใช้ยูโรเทียม - 152 เป็นแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาเพราะ

1. มีครึ่งชีวิตที่นานมากพอ คือประมาณ 12.4 ปี
2. ให้รังสีแกมมาที่มีความเข้มสูงอยู่หลายค่าตั้งแต่พลังงาน 0.244 MeV ถึง 1.408 MeV และพลังงานที่จะศึกษาในการทดลองนี้คือ 0.344 MeV และ 1.408 MeV เพราะเป็นพลังงานที่มีความเข้มสูงเป็นพิเศษ ดังแสดงในตาราง 1 และภาพประกอบ 2

ตาราง 1 ความเข้มในแต่ละพลังงานของรังสีแกมมาจาก $^{152}\text{Eu}_{63}$ (Weast. 1973 : unpage)

รังสีแกมมา (MeV)	ความเข้ม (/100 decays)
0.244	7.8
0.344	28.5*
0.411	2.8
0.443	3.6
0.779	14.5
0.667	4.4
0.964	16.2
1.086	11.8
1.112	15.4
1.408	22.9*



ภาพประกอบ 2 ภาพแสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมาจาก ^{152}Eu

เครื่องวัดรังสีแกมมา

เครื่องวัดรังสีแกมมา เป็น เครื่องวัดที่มีความไวสูงซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. หัววัดรังสี ประกอบด้วยสารเรืองแสง (scintillator) และหลอดทวีคูณ (photomultiplier tube) เมื่อรังสีแกมมาตกกระทบบนผลึกโซเดียมไอโอไดด์จะทำให้อะตอมภายในผลึกถูกกระตุ้นแล้วกลับสู่ภาวะปกติอย่างรวดเร็วพร้อมกับปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปโฟตอน โฟตอนนี้จะวิ่งไปชนแผ่นโลหะที่เรียกว่า photocathode ซึ่งอยู่ในหลอดทวีคูณจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากแผ่นโลหะนี้ 1 ตัวต่อ 1 โฟตอน อิเล็กตรอนนี้จะถูกเร่งโดยสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ประมาณ 100 โวลต์ ให้เคลื่อนที่ไปชนแผ่นโลหะแผ่นต่อไป ซึ่งเรียกว่า ไดโนด (dynode) แผ่นที่ 1 ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา n ตัว ($n \approx 2 - 5$) อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งต่อไปยังไดโนดแผ่นที่ 2 ด้วยความต่างศักย์เท่าเดิม อิเล็กตรอนแต่ละตัวจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอื่นหลุดออกมา n ตัวเสมอ ถ้ามีไดโนด 10 แผ่น ดังนั้นจากโฟตอนเดิมเพียง 1 ตัว จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเป็นจำนวน $(n)^{10}$ ตัว เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดได้ง่ายสะดวกและมีความแรงพอสมควร

ในการทดลองนี้ หัววัดรังสีถูกหุ้มด้วยตะกั่วหนา 3 เซนติเมตรจะเปิดเฉพาะส่วนหน้าที่จะาวัวพอดีกับส่วนของหัววัดรังสี เพื่อป้องกันรังสีที่จะสะท้อนมาจากทิศทางอื่น ๆ ทำให้สามารถวัดรังสีแกมมาที่มาจากมุมกระเจิงที่ต้องการวัดได้ใกล้เคียงความจริงที่สุด

2. เครื่องนับ เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 2.1 ปรีแอมพลิฟายเออร์
- 2.2 แอมพลิฟายเออร์
- 2.3 วงจรเลือกสัญญาณ
- 2.4 วงจรตั้งเวลา
- 2.5 วงจรนับ
- 2.6 แหล่งจ่ายไฟแรงสูง

กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรตัววัดรังสีจะทำให้เกิดสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้านี้จะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสีแกมมา วงจรต่าง ๆ ในเครื่องนับจะทำหน้าที่เพิ่มขนาดและวิเคราะห์สัญญาณนี้ก่อนแล้วจึงนับ เครื่องนับที่สามารถวิเคราะห์ทั้งปริมาณและพลังงานของรังสีแกมมาได้เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง (multichannel analyser ; MCA)

ในการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องวัดรังสีแกมมาว่ามีความสามารถในการแยกยอดพลังงาน (energy peak) ๒ ยอดซึ่งมีพลังงานใกล้เคียงกันมากออกจากกันได้เด่นชัดแค่ไหน ให้พิจารณาจากค่าเรโซลูชัน (resolution) ซึ่งจะบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์และเครื่องวัดที่มีประสิทธิภาพสูงควรมีค่าเรโซลูชันไม่เกิน 10% เราสามารถคำนวณหาค่าเรโซลูชัน แทนด้วยสัญลักษณ์ R ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\% R = \frac{\Delta E}{E} \times 100$$

เมื่อ ΔE = ความกว้างของยอดพลังงานที่ตำแหน่งความสูงครึ่งหนึ่งของยอดพลังงาน

E = พลังงานที่ตำแหน่งสูงสุดของยอดพลังงาน

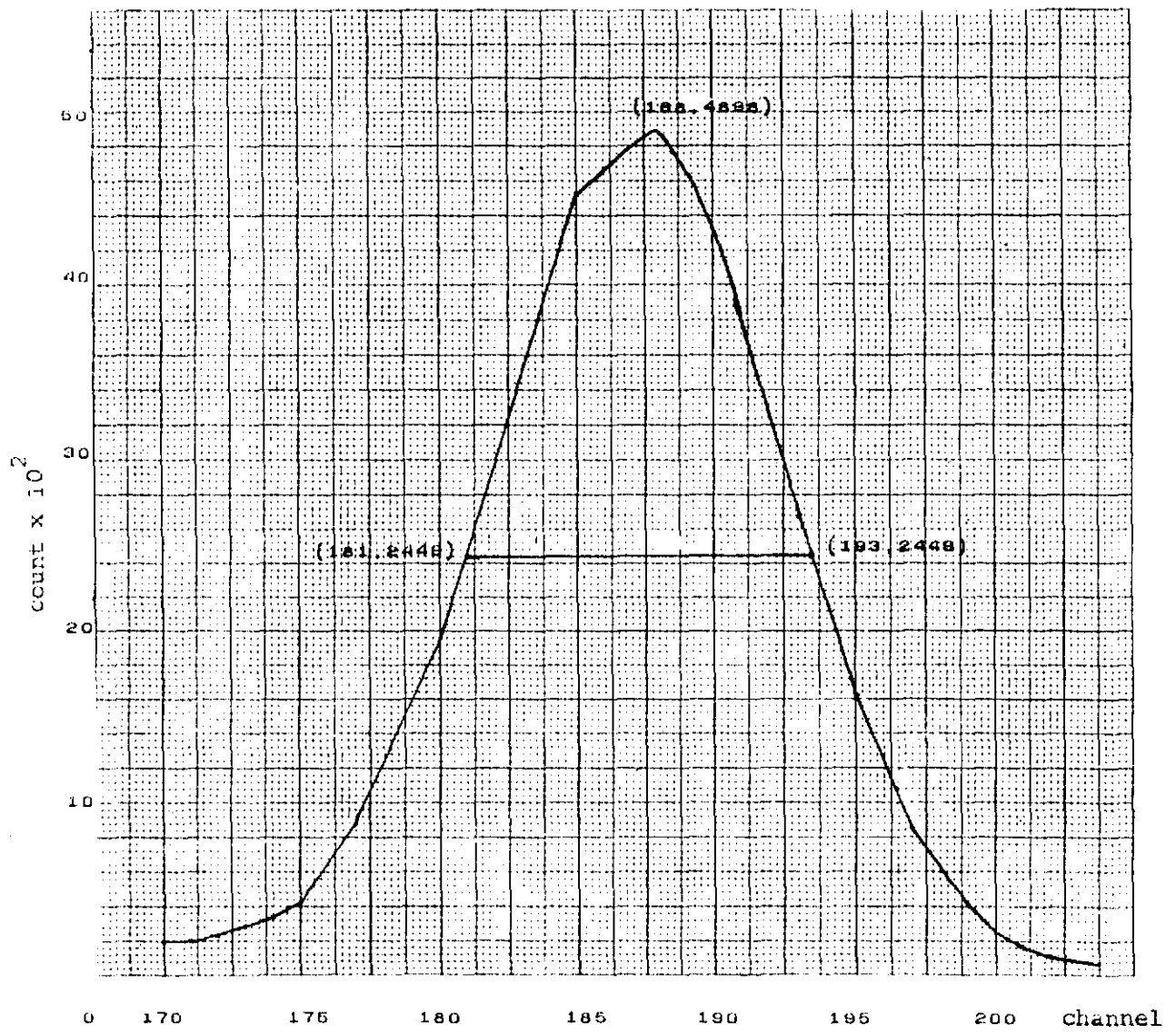
หรือ E = หมายเลขช่องที่ตำแหน่งสูงสุดของยอดพลังงาน

ในการทดลองนี้ใช้ข้อมูลรังสีแกมมาของซีเซียม (Cs^{137}) ซึ่งมีพลังงาน 0.662 MeV มากำหนดจุดลงบนกราฟ ดังภาพประกอบ ๓ จะได้

$$\Delta E = 193 - 181 = 12 \text{ ช่อง}$$

$$E = 188 \text{ ช่อง}$$

$$\text{ดังนั้น } \%R = \frac{12}{188} \times 100 = 6.38\%$$



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงการหาค่าเรสโซแนนซ์

เป้า

เป้าที่ใช้ในการทดลองนี้มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. หังสเดมบริสุทธิ ขนาด 6 x 6 เซนติเมตร พหนา 0.33 เซนติเมตร
2. อะลูมิเนียมบริสุทธิ ขนาด 7 x 10 เซนติเมตร พหนา 0.64 เซนติเมตร

การที่ต้องใช้เป้า 2 ชนิดนี้ เพราะการทดลองนี้ต้องการศึกษาการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาจากหังสเดมบริ การใช้หังสเดมบริเป็นเป้านั้นรังสีที่กระเจิงออกมาได้มีเพียงการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาเท่านั้น แต่ยังมีรังสีภูมิหลัง (background radiation) และการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นคือการกระเจิงแบบคอมพ์ตันรวมอยู่ด้วย จึงต้องใช้เป้าอะลูมิเนียม เพราะผลที่จะกระเจิงออกมาจากเป้าอะลูมิเนียมนี้จะมีแต่รังสีภูมิหลัง และการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน เมื่อหักด้วยกันแล้วจะได้การกระเจิงแบบยืดหยุ่นตามต้องการ

ความหนาของเป้าที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทดลองหาค่าภาคตัดขวางนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสองประการคือ การกระเจิงของโฟตอนในเป้าและการดูดกลืนรังสีที่กระทบเข้ากับการดูดกลืนโฟตอนที่กระเจิง องค์ประกอบทั้งสองนี้จะทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาที่วัดได้ผิดจากความ เป็นจริง สำหรับการกระเจิงของโฟตอนในเป้านั้นพิจารณาได้ยากมากดังนั้นในการศึกษาอย่างหยาบ ๆ จะถือว่าไม่มีผลต่อการวัดความเข้มของรังสีแกมมา ส่วนผลของการดูดกลืนสามารถคำนวณได้และสามารถหาความหนาที่ให้ผลดีที่สุดสำหรับอัตราการนับรังสีแกมมาสูงสุด โดยคำนวณจากสูตร

$$I(\theta) = I_0 \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} \int_0^t e^{-\mu x} e^{-\mu(t-x)} \sec\theta dx$$

$$= I_0 \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} \frac{(e^{-\mu t \sec\theta} - e^{-\mu t})}{1 - \sec\theta}$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของโฟตอนที่ตกกระทบบนเป้าที่หนา t

$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$ คือ ภาคตัดขวางของการกระเจิงเชิงอนุพันธ์ของเป้าที่มุม θ

μ คือ สัมประสิทธิ์เชิงเส้นของการดูดกลืนรังสีแกมมา

ค่าสูงที่สุดของ $J(\theta)$ ขึ้นอยู่กับความหนา t หาได้จาก

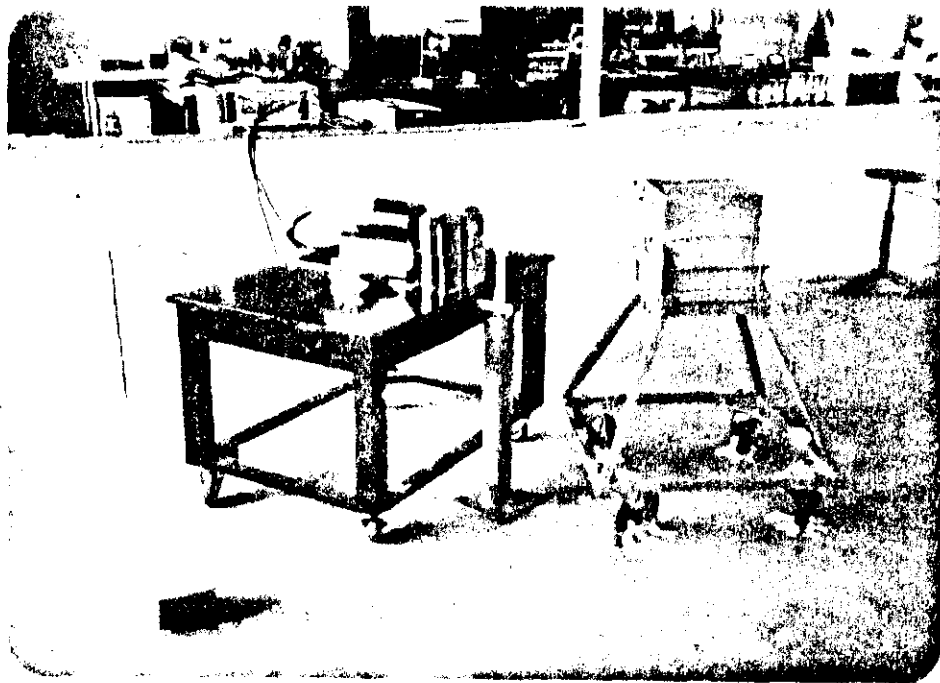
$$\frac{\partial J}{\partial t} = 0$$

ค่าความหนาที่ดีที่สุดของ เป้าสามารถคำนวณได้จาก

$$e^{-\mu t} (1 - \sec \theta) = 0$$

จากการคำนวณของเทเลอร์และคณะ พบว่าทั้งสแตนที่ใช่เป็นเป้าควรจะมีความหนาอยู่ระหว่าง 0.33 - 0.67 เซนติเมตร และค่าการดูดกลืนสามารถละทิ้งได้ถ้าใช้อะลูมิเนียมที่มีความหนาน้อยกว่า 1.17 เซนติเมตร

วิธีดำเนินการทดลอง



ภาพประกอบ 4 แสดงแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา เป้า และเครื่องวัดรังสีแกมมา

1. จัดเครื่องมือต่าง ๆ ตามภาพประกอบ 4 โดยให้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาและที่รองรับ เป้าตั้งอยู่บนแกนที่ยึดติดกับพื้น เพื่อให้ระยะห่างระหว่าง เป้ากับช่อง เปิดของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา เท่ากันตลอดการทดลอง จากแกนที่รองรับ เป้ามีคานยึดติดกับโต๊ะหมุนซึ่ง เป็นที่วางหัววัดรังสีโต๊ะหมุนนี้จะ เคลื่อนที่อยู่บนพื้น เป็นวงกลมมีแกนที่รองรับ เป้า เป็นจุดศูนย์กลาง

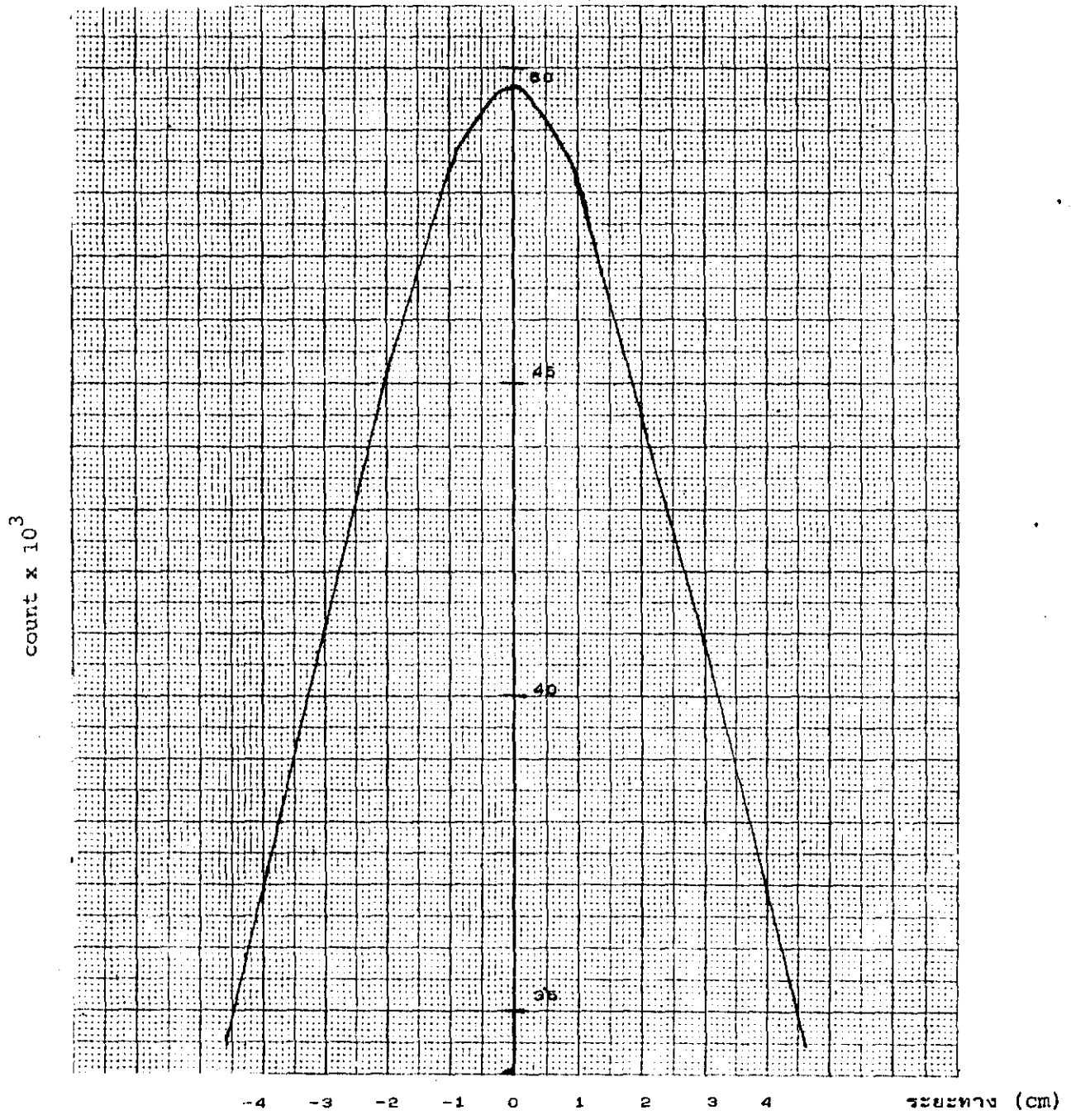
2. การวัดความ เข้มของรังสีแกมมาในการทดลองจะต้องให้รังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีมาตกกระทบตรงกลางของหัววัดพอดีจึงจะได้ค่าความ เข้มที่ใกล้เคียงความจริง ณ. มุมที่ต้องการวัดมากที่สุดซึ่งทำได้เป็นชั้น ๆ ดังนี้

2.1 จัดให้หัววัดรังสีอยู่ในแนวระดับแนวเดียวกับช่อง เปิดของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา โดยพยายามทำให้ตรงกันมากที่สุด แล้ววัดจำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบบนหัววัดรังสีในช่วง เวลาที่กำหนดว่า ณ. ตำแหน่งนั้นมีจำนวนรังสีแกมมาที่มากกระทบบ เท่าใด

ต่อไปจึง เปลี่ยนระดับของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซึ่งมีลักษณะ เป็นกล่องโลหะสีเหลืองให้ขึ้นหรือลง และขยับซ้ายหรือขวาโดยชั้นสกรูซึ่งอยู่ทางด้านหลังของกล่องแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา จากนั้นจึงวัดจำนวนรังสีแกมมาอีกครั้งทำ เช่น เดียวกันนี้จนกว่าจะได้จำนวนรังสีแกมมาที่ตกกระทบบบนหัววัดมากที่สุด ตำแหน่งนั้นจะเป็นตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของหัววัดรังสีมีระดับ เดียวกันกับลำรังสีที่พุ่งออกมาจากช่อง เปิดของแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งเรากำหนดให้ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งของมุมกระเจิง 0°

2.2 เพื่อทดสอบว่า ตำแหน่งมุมกระเจิง 0° นี้ตรงตามความเป็นจริงหรือไม่ เราทดสอบได้โดยเคลื่อนโต๊ะหมุนไปทางซ้ายและทางขวาครึ่งละ 1 เซนติเมตร วัดจำนวนรังสี ณ. ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งถ้าตำแหน่งมุมกระเจิง 0° ตรงตามความเป็นจริงแล้วจะได้ค่าจำนวนรังสีที่ตำแหน่งนี้มีค่าสูงสุดจากนั้นจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อตำแหน่งของหัววัดเปลี่ยนไปทั้งด้านซ้ายและด้านขวา เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟระหว่างระยะทางที่ตำแหน่งต่าง ๆ กับจำนวนรังสีที่วัดได้ จะพบว่าตำแหน่งมุมกระเจิง 0° เป็นจุดยอดของกราฟและกราฟที่ได้มีลักษณะสมมาตรกันทั้งสองด้าน ดังภาพประกอบ 5

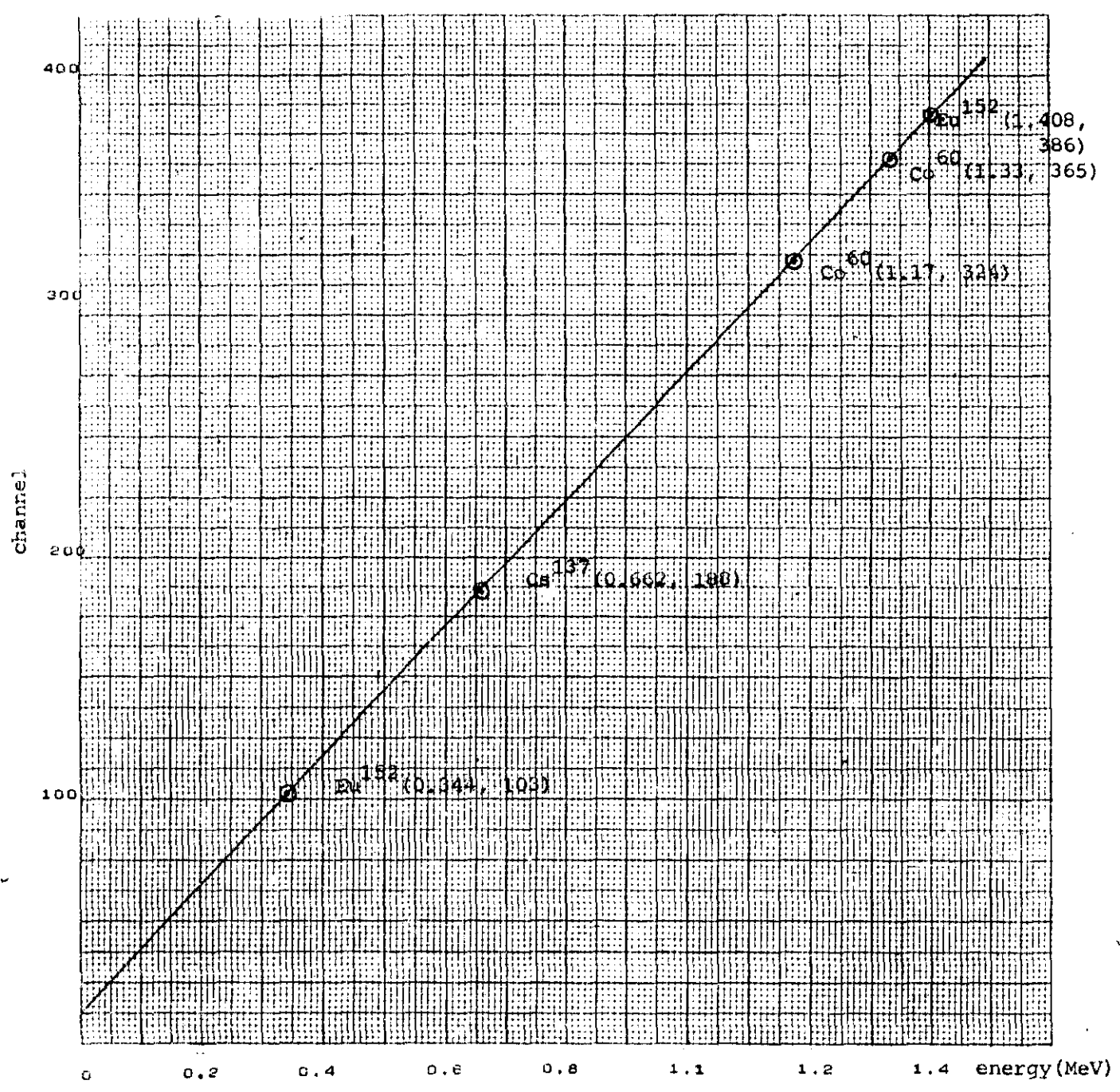
177768



ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงการทดสอบตำแหน่งมุมกระเจิง θ

3. จากตำแหน่งของมุมกระเจิง θ ใช้แกนที่รองรับเป้าเป็นรัศมีสร้างมาดราส่วนของมุมเป็นองศาเพิ่มทีละ 6° จนถึงมุม 48° เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของมุมกระเจิงค่าต่าง ๆ

4. สร้างเส้นเทียบมาตรฐาน (calibration curve) ซึ่งเป็นเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีแกมมา กับหมายเลขช่องของเครื่อง MCA เส้นเทียบมาตรฐานนี้สร้างขึ้นจากแหล่งกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานที่ทราบพลังงานอย่างแน่นอนแล้วหลาย ๆ ธาตุ เช่น ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{22}Na เป็นต้น นำธาตุต่าง ๆ นี้มาวัดหาความเข้มและพิจารณาดูว่าพลังงานนั้น ๆ ตรงกับหมายเลขช่องใด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นี้มาเขียนกราฟโดยให้พลังงานเป็นแกนนอน และหมายเลขช่องเป็นแกนตั้ง เส้นเทียบมาตรฐานที่สร้างขึ้นจะทำให้ทราบได้ว่ารังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV ตรงกับหมายเลขช่องใดช่วยในการทดสอบเครื่องวัดทั้งก่อนและหลังการทดลองให้อยู่ในมาตรฐานนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่าข้อมูลที่ได้นี้ไม่ได้มีการผิดพลาดจากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แสดงว่า การทำงานของเครื่องวัดถูกต้องตลอดการทดลอง ดังภาพประกอบ ๑



ภาพประกอบ ๘ กราฟแสดงเส้นเทียบมาตรฐานของพลังงานกับจำนวนช่อง และแสดงตำแหน่งของพลังงาน ^{152}Eu 0.344 MeV และ 1.408 MeV

๕. วัดความเข้มของรังสีแกมมาที่มุมกระเจิง θ โดยการวัดโดยตรงจาก 63Eu^{152}

นำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงสเปกตรัมของรังสีแกมมา

๖. เลื่อนตำแหน่งโต๊ะหมุนมาที่มุม 1๕

๖.1 วัดความเข้มของรังสีแกมมาในรูปสเปกตรัมโดยตรงจาก 63Eu^{152} โดยไม่มี

เป้าเรียกข้อมูลที่ได้ว่า รังสีภูมิหลัง

๖.2 นำเป้าทั้งสแตนด์ไปวางบนที่รองรับซึ่งตั้งอยู่บนแกนที่ยึดติดกับพื้นให้ระนาบของ

เป้าตั้งฉากกับลำรังสีแกมมาที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแล้ววัดความเข้มของรังสีแกมมาในรูปสเปกตรัม

๖.3 เปลี่ยนเป้าเป็นอะลูมิเนียม แล้ววัดความเข้มของรังสีแกมมาในรูปสเปกตรัม

7. เลื่อนตำแหน่งโต๊ะหมุนมาที่มุม 2๐, 2๕, ๓๕ และ 4๕ ทำการทดลองตามวิธีการ

ในข้อ ๖ อย่างไรก็ตามในการวัดเข้มของรังสีแกมมาในแต่ละมุมนั้นอาจมีการปรับระยะห่างระหว่าง

เป้ากับหัววัดใหม่ได้เพื่อให้ dead time ไม่เกิน 10% มิฉะนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอาจ

เสียหายได้

๘. ความเข้มของรังสีแกมมาในรูปสเปกตรัมที่วัดได้จากเครื่อง MCA ในแต่ละมุมที่ทดลอง

จะถูกเปลี่ยนเป็นจำนวนนับต่อวินาทีแล้วถูกพิมพ์เป็นข้อมูลที่ เป็นตัวเลขทาง เครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งจะได้ข้อมูลทั้งหมด 1๖ ชุด ดังต่อไปนี้

๘.1 จำนวนนับต่อวินาทีของรังสีภูมิหลังที่มุมกระเจิง ๐, 1๕, 2๐, 2๕, ๓๕ และ

4๕ รวม ๖ ชุด

๘.2 จำนวนนับต่อวินาทีของเป้าทั้งสแตนด์ที่มุมกระเจิง 1๕, 2๐, 2๕, ๓๕ และ 4๕

รวม ๕ ชุด

๘.๓ จำนวนนับต่อวินาทีของเป้าอะลูมิเนียมที่มุมกระเจิง 1๕, 2๐, 2๕, ๓๕ และ

4๕ รวม ๕ ชุด

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. นำข้อมูลที่ได้จากการวัดความเข้มของรังสีแกมมาในรูปแบบสเปกตรัม 16 ชุด ดังกล่าว แล้วของวิธีดำเนินการทดลอง มาคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 2 ชุดคือโปรแกรม BAKFIT และโปรแกรม GAMMA จะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

1.1 ค่าไตเร็คท์บีม (direct beam)

1.2 ค่ายืดหยุ่น (elastic)

1.3 ค่าคอมพัตตัน 1 (Compton 1)

1.4 ค่าคอมพัตตัน 2 (Compton 2)

ค่าทั้งสี่นี้เป็นของเป้าหึ่งสเดนมและรังสีแกมมาหลัง ในแต่ละมุมกระเจิงที่พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV

2. ที่พลังงานระดับหนึ่งและมุมกระเจิงมุมหนึ่งหาค่า $\left[\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}\right]_{el}$ ได้ตามขั้นตอนดังนี้

2.1 นำข้อมูลจากข้อ 1 ของเป้าหึ่งสเดนมไปคำนวณหาค่าพื้นที่ได้ออตพลังงานของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นเมื่อมีรังสีแกมมาหลัง (Elast._w) โดยอาศัยค่าไตเร็คท์บีมและค่ายืดหยุ่น และหาค่าพื้นที่ได้ออตพลังงานของการกระเจิงแบบคอมพัตตันเมื่อมีรังสีแกมมาหลัง (Comp._w) โดยอาศัยค่าคอมพัตตัน 1 และค่าคอมพัตตัน 2

2.2 นำข้อมูลจากข้อ 1 ของรังสีภูมิหลัง ไปคำนวณหาค่าพื้นที่ได้ออดพลังงานของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น ($Elast._{Bg}$) โดยอาศัยค่าโตเร็กซ์บี้มและค่ายืดหยุ่น และหาค่าพื้นที่ได้ออดพลังงานของการกระเจิงแบบคอมพัตตัน ($Comp._{Bg}$) โดยอาศัยค่าคอมพัตตัน 1 และค่าคอมพัตตัน 2

2.3 คำนวณหาค่าพื้นที่ได้ออดพลังงานของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น เมื่อไม่มีรังสีภูมิหลัง ($Elast.$) และพื้นที่ได้ออดพลังงานของการกระเจิงแบบคอมพัตตัน เมื่อไม่มีรังสีภูมิหลัง ($Comp.$) โดยคำนวณได้จาก

$$Elast. = Elast._w - Elast._Bg$$

$$Comp. = Comp._w - Comp._Bg$$

2.4 คำนวณหาค่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{el}$ จากสูตร

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{el} = \left[\frac{Elast.}{Comp.}\right] \times \left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{Comp.}$$

เมื่อ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{Comp.}$ คือ ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพัตตัน โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{Comp.} = S(x, z) \times \left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta)\right]_{KN}$$

โดยที่ $S(x, z)$ คือ ฟังก์ชันการกระเจิงแบบไม่อาพันธ์ (incoherent scattering function)

เมื่อ x คือ ค่าที่ได้จากสมการต่อไปนี้

$$x = \frac{E \text{ (keV)} \sin\theta/2}{12.4} \text{ มีหน่วยเป็น } \text{\AA}^{-1}$$

โดยที่ E (keV) คือ ค่าพลังงานในหน่วย keV

θ คือ ค่ามุมกระเจิง

และ z คือ เลขอะตอม

ค่า $S(x, E)$ มาได้จากการคำนวณค่า x ในแต่ละมุมกระเจิงที่พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV เขียนกราฟระหว่าง $S(x, E)$ กับ x ซึ่งได้มาจากการเปิดตาราง atomic form factor, $F(x, E)$, and incoherent scattering function, $S(x, E)$ (Hubbell and others. 1975 : 509) แล้วนำค่า x ที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบจากกราฟก็จะสามารถหาค่า $S(x, E)$ ที่ต้องการได้

และ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right]_{KN}$ คือ differential Klein - Nishina (free electron Compton) collision cross section per electron

ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \right]_{KN} = \frac{r_0^2}{2} [1 + k(1 - \cos\theta)]^{-2} \times \left[1 + \cos^2\theta + \frac{k^2(1 - \cos\theta)^2}{1 + k(1 - \cos\theta)} \right]$$

$$\text{เมื่อ } r_0^2 = 7.940775 \times 10^{-26} \text{ cm}^2$$

θ คือ มุมกระเจิง

k คือ พลังงานของรังสีแกมมาต่อมวลหนึ่งของอิเล็กตรอน ซึ่งมีค่าคงสมการ

ต่อไปนี้

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

3. เปรียบเทียบ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{el}$ ที่ได้จากการทดลอง (จากข้อ 2.4) กับผลที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีพร้อมแยกเตอร์ที่มุมกระเจิงและพลังงานเดียวกันว่า เท่ากันหรือแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด

4. เปรียบเทียบ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{el}$ ที่ได้จากการทดลองกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ

โดยแยกพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ

4.1 ที่มุมกระเจิงและพลังงานเดียวกันจะพิจารณาว่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{el}$ เท่ากันหรือแตกต่างกันเล็กน้อยเพียงใด

4.2 ที่มุมกระเจิงและพลังงานใกล้เคียงกันจะพิจารณาว่า $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{el}$ มีแนวโน้มที่จะสอดคล้องกันหรือไม่ โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right]_{el}$ กับมุมกระเจิงต่าง ๆ ที่พลังงานหนึ่ง ๆ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

การคำนวณหาค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา พลังงาน 0.344 MeV และ 1.406 MeV จากห้องต้นที่มุมกระเจิง 15°, 20°, 25°, 30° และ 45° ซึ่งได้จากการทดลองแล้วนำผลการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีฟอร์มแฟคเตอร์ 4 แบบคือ ของฮับเบิล แทนด้วย H, คีลเซิลและพรอทแทนด้วย KP, บราวน์ฟอร์มแฟคเตอร์ แทนด้วย BR - FF และเทียฟอรัมแฟคเตอร์ แทนด้วย FF ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกัน ดังแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 7

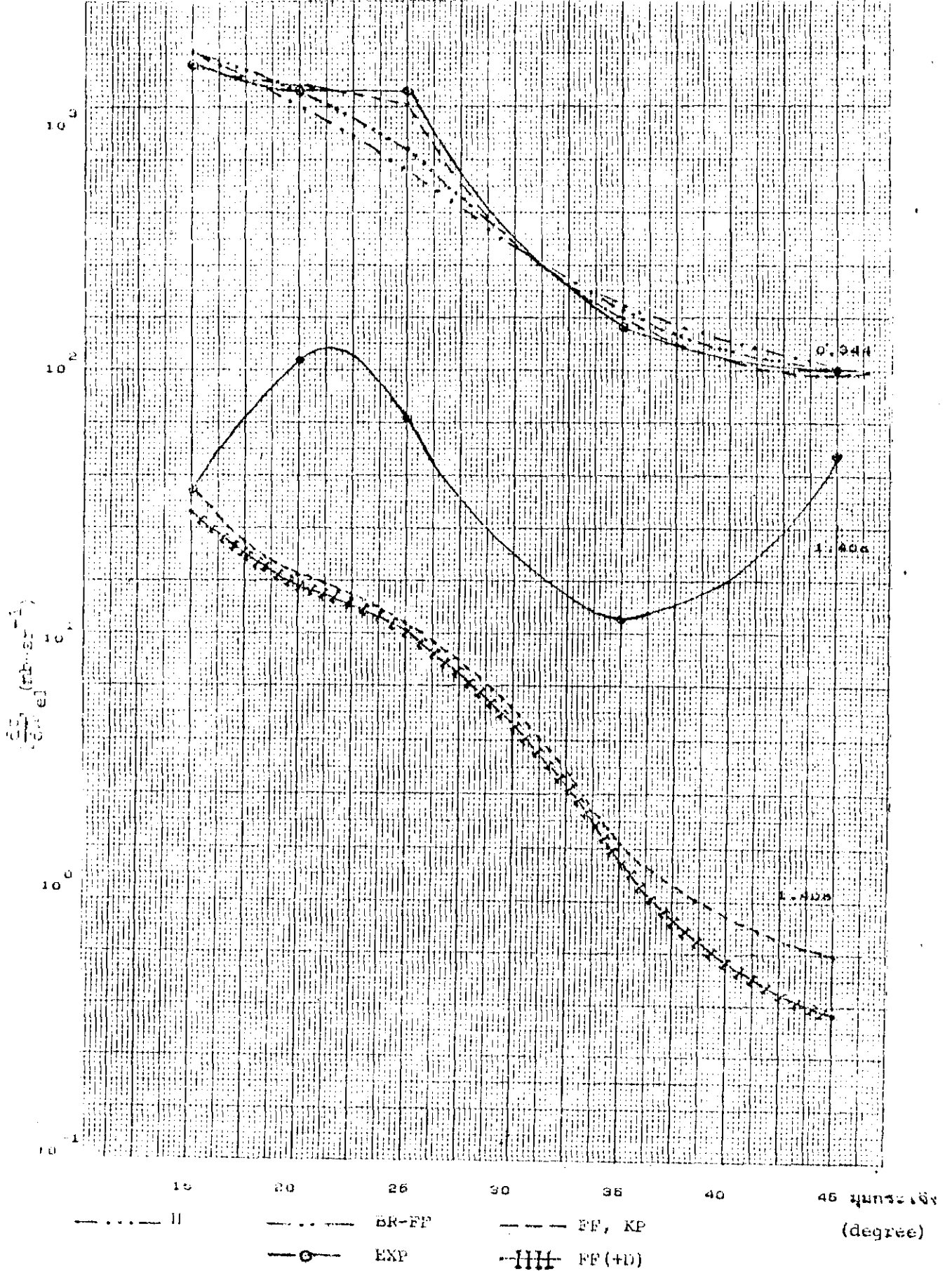
ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่า $\left| \frac{d\sigma}{d\Omega} \right|_{e1}$ จากผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

(ตัวเลขในวงเล็บแทนดัชนีของ 10)

พลังงาน (MeV)	$\left \frac{d\sigma}{d\Omega} \right _{e1}$ (mb-sr ⁻¹)	มุมกระเจิง (degree)				
		15	20	25	35	45
0.344	H	2.96(3)	1.49(3)	8.57(2)	3.10(2)	1.12(2)
	KP	2.49(3)	1.75(3)	1.09(3)	2.90(2)	1.01(2)
	BR - FF	2.91(3)	-	-	-	1.10(2)
	FF	2.41(3)	1.70(3)	1.05(3)	2.80(2)	9.91(1)
	EXP.	2.42(3)	1.58(3)	1.54(3)	2.59(2)	1.12(2)
1.408	BR - FF	6.58(1)	-	-	-	5.68(-1)
	FF	5.78(1)	2.97(1)	1.39(1)	2.98(0)	8.18(-1)
	BR - FF (+D)	5.01(1)	-	-	-	4.08(-1)
	FF (+D)	5.18(1)	2.62(1)	1.08(1)	2.38(0)	6.17(-1)
	EXP.	5.94(1)	1.32(2)	8.37(1)	1.52(1)	7.14(1)

BR - FF (+D) = บราวน์ฟอร์หมแฟคเตอร์ที่รวมการกระเจิงแบบเคลบรุก

FF (+D) = เทียวฟอร์หมแฟคเตอร์ที่รวมการกระเจิงแบบเคลบรุก



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของ $\left(\frac{dn}{dE}\right)$ กับมุมตกกระทบของลำแสงที่ตกกระทบบนผิวหน้าของผลึก

จากการเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงแบบปิดหุ้มของรังสีแกมมา พลังงาน 0.344 MeV ที่มุมกระเจิง 15, 20, 25, 35 และ 45 ซึ่งได้จากผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีฟอร์มแฟคเตอร์ ปรากฏว่าได้ผลสอดคล้องกัน ยกเว้นที่มุมกระเจิง 25 ผลการทดลองนี้มากกว่าผลการคำนวณทางทฤษฎีและ เมื่อนำมาเปรียบเทียบ เป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีปรากฏผลดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 เปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่างผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีที่พลังงาน 0.344 MeV ณ. มุมกระเจิงต่าง ๆ

มุมกระเจิง (degree)	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่าง			
	H	KP	BR - FF	FF
15	16.2	2.9	18.8	0.4
20	4.7	10.8	-	8.2
25	78.0	41.2	-	48.8
35	18.4	10.8	-	7.5
45	0	10.8	1.8	12.5

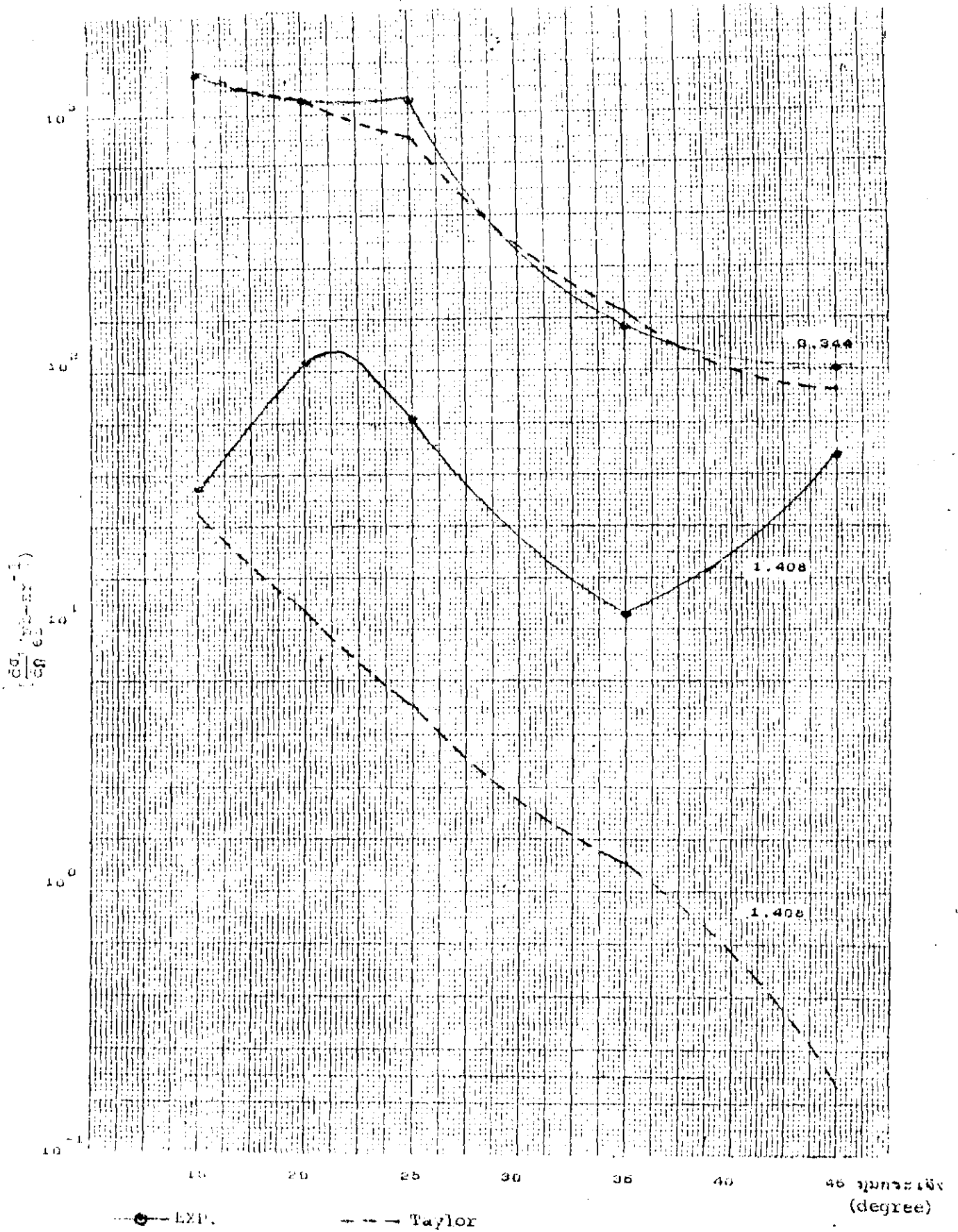
สำหรับพลังงาน 1.408 MeV ปรากฏว่าผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีไม่สอดคล้องกันเป็นอย่างมาก โดย $\left|\frac{d\sigma}{d\Omega}\right|_{\text{การทดลอง}}$ มากกว่า $\left|\frac{d\sigma}{d\Omega}\right|_{\text{ทฤษฎี}}$ ที่คำนวณทางทฤษฎี ยกเว้นที่มุมกระเจิง 15 ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ

ตาราง 4 และภาพประกอบ ๒ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองนี้ กับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกันคือ เปรียบเทียบกับผลการทดลองของเทเลอร์และคณะ ที่พลังงาน ๐.๓๔๔ MeV ปรากฏว่าได้ผลสอดคล้องกันยกเว้นที่มุมกระเจิง 25° $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{el}$ ผลการทดลองมีค่ามากกว่าประมาณ ๖7.4% ส่วนที่พลังงาน 1.4๐๘ MeV ผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกันกับผลการทดลองของเทเลอร์และคณะ ยกเว้นที่มุมกระเจิง 15° ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันโดย $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{el}$ จากผลการทดลองมีค่ามากกว่าประมาณ 1๖%

ตาราง 4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงเดียวกัน
(ตัวเลขในวงเล็บแทนดัชนีของ 10)

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง (degree)	$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{el} (\mu\text{b}\cdot\text{sr}^{-1})$		ค่าเปอร์เซ็นต์ ของความแตกต่าง
		ผลการทดลอง	เทเลอร์และคณะ	
0.344	15	2.42(3)	2.68(3)	9.7
	20	1.58(3)	1.87(3)	0.6
	25	1.54(3)	9.20(2)	67.4
	35	2.59(2)	3.10(2)	18.8
	45	1.12(2)	9.40(1)	19.1
1.408	15	5.94(1)	5.12(1)	18.0
	20	1.32(2)	1.89(1)	-
	25	8.37(1)	7.40(0)	-
	35	1.52(1)	2.00(0)	-
	45	7.14(1)	3.47(-1)	-



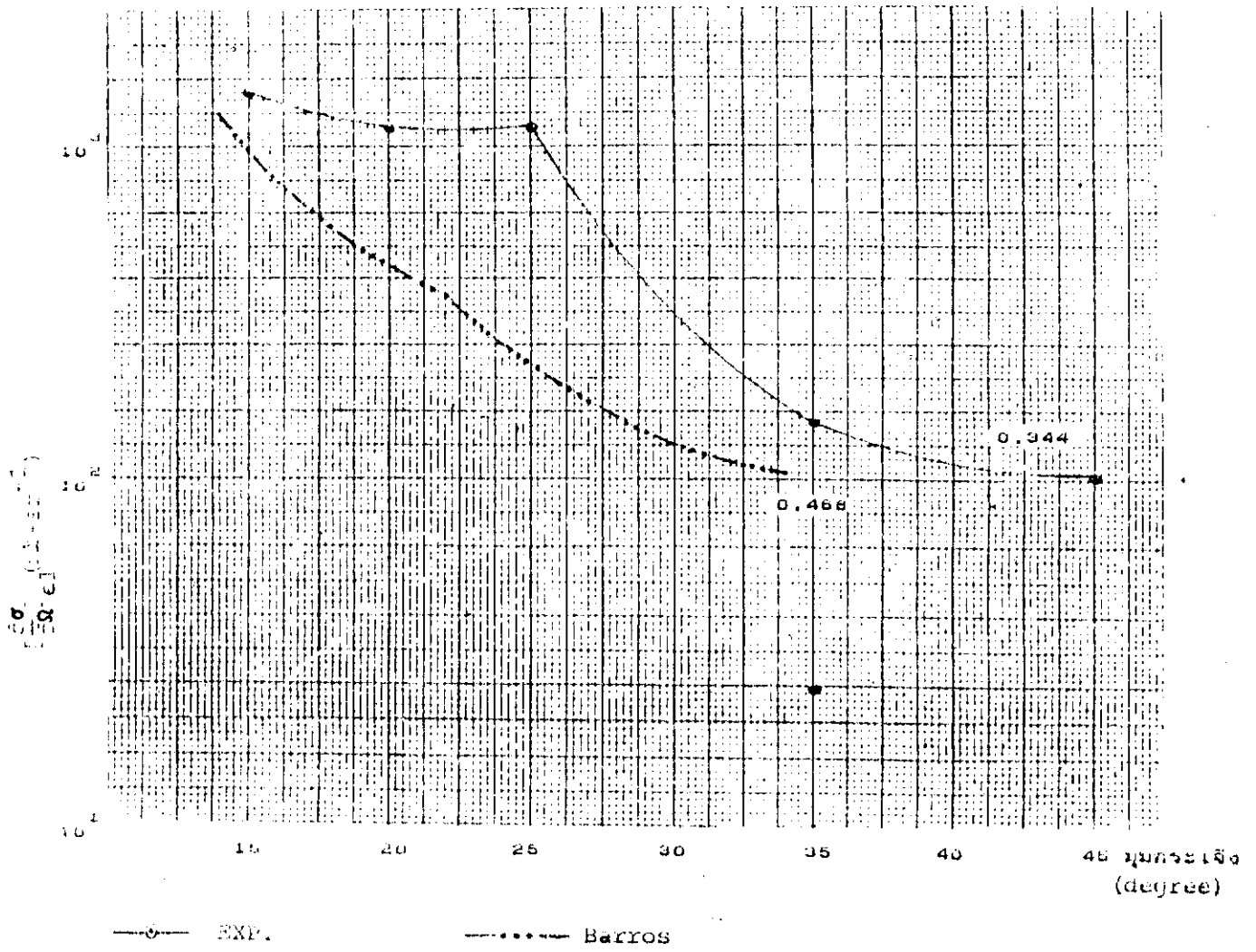
ภาพประกอบ ๑ การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทฤษฎีอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิง
 เดียวกัน

ตาราง 5 และภาพประกอบ ๑ แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองนี้กับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงใกล้เคียงกันคือ เปรียบเทียบผลการทดลองที่พลังงาน ๐.๓44 MeV กับผลการทดลองของแบรอสและคณะ ที่พลังงาน ๐.4๘๖ MeV เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟพบว่า ผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกันพอสมควร

ตาราง 5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองอื่น ๆ ที่พลังงานและมุมกระเจิงใกล้เคียงกัน

(ตัวเลขในวงเล็บแทนค่านี้อย่างน้อย 10)

มุมกระเจิง (degree)	$\frac{d\sigma}{d\Omega} \left[\frac{1}{e^1} \right]$ จากผลการทดลอง	$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega} \right] \left[\frac{1}{e^1} \right]$ จากเบรอสและคณะ
	พลังงาน 0.344 MeV	พลังงาน 0.468 MeV
14	-	1.87(3)
15	2.42(3)	-
20	1.56(3)	-
22	-	5.8(2)
26	1.54(3)	-
28	-	3.5(2)
34	-	1.2(2)
35	2.59(2)	-
46	1.12(2)	-



ภาพประกอบ ๖ การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทฤษฎี ที่พลังงานและมุมกระเจิง
ใกล้เคียงกัน

บทที่ ๕

บทย่อ สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการวัดภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV ในช่วงมุมกระเจิงระหว่าง 1๘ - 4๘ โดยใช้ห้องสแตน เป้าและใช้ตัววัดรังสีแบบโซเดียมไอโอไดค์ [NaI(Tl)]

2. เพื่อเปรียบเทียบค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมาที่ได้จากการทดลองครั้งนี้กับผลการทดลองของ เทเลอร์และคณะ (Taylor et al. 1๙๖1 : 12๐) และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้ฟอร์มแฟคเตอร์ (form factor)

วิธีดำเนินการวิจัย

การวัดค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่นที่พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV โดยใช้ห้องสแตน เป้านี้ ทดลองวัดที่มุมกระเจิง ๕ มุมคือ 1๘, 2๘, ๒๘, ๓๘ และ 4๘ โดยแต่ละมุมจะต้องวัดความเข้มของรังสีแกมมาโดยตรงจาก $^{152}_{63}\text{Eu}$ วัดจากเป้าห้องสแตนและวัดจากเป้าอะลูมิเนียม เมื่อรังสีแกมมากระเจิงจากเป้าเข้าสู่เครื่องวัดรังสีแกมมาจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณเข้าเครื่อง MCA และถูกเปลี่ยนเป็นจำนวนนับต่อวินาที แล้วถูกพิมพ์เป็นข้อมูลที่ เป็นตัวเลขทางเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ นำข้อมูลที่ได้นั้นในแต่ละมุมกระเจิงไปคำนวณหาพื้นที่ใต้ยอดพลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป 2 ชุด คือ BAKFIT และ GAMMA สุดท้ายนำข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับแต่ละมุมกระเจิงไปคำนวณหาภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์ของการกระเจิงแบบยืดหยุ่น

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลการคำนวณทางทฤษฎี ตลอดจนผลการทดลองอื่น ๆ พบว่า ที่พลังงาน 0.344 MeV มุมกระเจิง 15, 20, 30 และ 45 นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีเฟี้ยวฟอร์มันแฟกเตอร์ มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 0.4 - 12.6% ส่วนที่มุม 25 มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากประมาณ 40.6%

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ เทเลอร์และคณะ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างระหว่าง 0.6 - 19.6% ส่วนที่มุม 25 มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากประมาณ 67.4%

สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ แบริอส และคณะ ที่พลังงาน 0.488 MeV ซึ่งมีพลังงานและมุมกระเจิงใกล้เคียงกัน พบว่ามีความสอดคล้องกันพอสมควรโดยผลการทดลองนี้มากกว่าผลการทดลองของแบริอสและคณะเล็กน้อย

ส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV นั้น ผลการทดลองไม่สอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลองอื่น ๆ โดยผลการทดลองที่ได้สูงกว่าผลการคำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลองอื่น ๆ มาก ยกเว้นที่มุมกระเจิง 15 มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 3.1% และ 16% ตามลำดับ

บทสรุป

จากการทดลองวัด $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta=1}$ ของรังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV โดยใช้ทั้งแผ่นเป็นเป้า ตาราง 8 และภาพประกอบ 10 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองนี้กับผลการคำนวณทางทฤษฎี และผลการทดลองอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta=1}$ ที่พลังงาน 0.344 MeV สอดคล้องกับการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเฟี้ยวฟอร์มันแฟกเตอร์ และยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ เทเลอร์และคณะ รวมทั้งของแบริอสและคณะอีกด้วย

ส่วนที่พลังงาน 1.408 MeV มุมกระเจิง 15 ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ เพราะเป็นมุมกระเจิงเล็ก ๆ การกระเจิงแบบเรเลย์มีเปอร์เซ็นต์

การเกิดสูงมากตามด้วยการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสันจึงสามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกัน ส่วนที่มุมกระเจิงอื่น ๆ ผลการทดลองนี้ไม่สอดคล้องกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุต่อไปนี้

1. ยูโรเพียม - 162 เป็นแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาซึ่งให้รังสีแกมมาที่มีความเข้มสูงออกมาหลายค่าตั้งแต่พลังงาน 0.224 MeV ถึง 1.408 MeV โดยที่ยอดพลังงาน 1.408 MeV อยู่ใกล้กับยอดพลังงาน 1.112 MeV ทำให้ภาคตัดขวางของการกระเจิงแบบคอมพตันของพลังงาน 1.408 MeV มารวมกับ $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{e1}$ ที่พลังงาน 1.112 MeV และมีผลทำให้การคำนวณหาพื้นที่ได้ยอดพลังงานของการกระเจิงแบบคอมพตันของพลังงาน 1.408 MeV มีค่าผิดพลาดได้ จึงทำให้ผลการทดลองผิดพลาดไป

2. เนื่องจากเรสโซแนนซ์ของหัววัดรังสีแบบไซเตียมไอโอไดต์ในการทดลองนี้มีขีดจำกัดทำให้หัววัดไม่สามารถแยกจำนวนนับต่อวินาทีที่พลังงานใกล้เคียงกันออกจากกันได้

3. จำนวนนับที่ได้ในการทดลองนี้ น้อยเกินไปจึงทำให้ยอดพลังงานที่ได้ไม่เด่นชัดพอและมีผลทำให้การคำนวณผิดพลาด

ตาราง 8 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองอื่น ๆ
(ตัวเลขในวงเล็บแทนค่าผิดของ 10)

พลังงาน (MeV)	มุมกระเจิง (degree)	$\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{el} (\text{mb sr}^{-1})$		
		การทดลอง	เฟรมพร้อมผลเตอร์	เทเลอรัและคณะ
0.344	15	2.42(3)	2.41(3)	2.68(3)
	20	1.58(3)	1.70(3)	1.57(3)
	25	1.54(3)	1.05(3)	0.20(2)
	35	2.59(2)	2.80(2)	3.10(2)
	45	1.12(2)	0.91(1)	0.40(1)
1.408	15	5.94(1)	5.78(1)	5.12(1)
	20	1.32(2)	2.97(1)	1.69(1)
	25	6.37(1)	1.39(1)	7.40(0)
	35	1.52(1)	2.99(0)	2.00(0)
	45	7.14(1)	6.18(-1)	3.47(-1)

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

1. ควรใช้เครื่องวัดรังสีแกมมาซึ่งใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์แมนเนียมเนื้อผลึกเดี่ยว [Ge(Li)] ในการทดลองวัด $\left[\frac{d\sigma}{d\Omega}\right]_{e_1}$ ของรังสีแกมมาจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องมือมีน้อยที่สุด
2. แพลตฟอร์มวัดพลังงานของรังสีแกมมาที่ใช้ควรจะให้พลังงานรังสีแกมมาหนึ่งค่าหรือสองค่าโดยถ้าเป็นสองค่ายอดพลังงานแต่ละค่าควรห่างกันพอสมควร เพื่อจะไม่ให้มีปัญหาการรบกวนในการวัดจำนวนนับต่อวินาทีของพลังงาน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน จะทำให้ข้อมูลที่ได้อาจต้องยิ่งขึ้น

נגרמקומו

බහුමාපනය

- Barros et al. "Rayleigh Scattering of 468 keV Photons by Different Atoms," Phys. Rev. 24 : 1765, 1981.
- Bel'skii, S. A. and S. V. Starodubtsev. Soviet Physik. JETP (English Transl) 37 : 700, 1960.
- Bernstein, A. M. and A. K. Mann. "Scattering of Gamma Ray by a Static Electric Field," Phys. Rev. 110 : 805, 1958.
- Brown, G. E., R. E. Peierls and J. B. Woodward. "The Coherent Scattering of γ - rays by K. Electrons in heavy atoms," Proc. Roy. Soc. A227 : 51, 1954.
- Brown, G. E. and D. F. Mayers. "The Coherent Scattering of γ - rays by K. Electrons in heavy atoms," Proc. Roy. Soc. A242 : 89, 1957.
- Franz, Von W. "Rayleighsche Streuung harter Strahlung, and Schweren Atomen," Zeitschrift Fur Physik. 95 : 652, 1935 ; 98 : 314, 1936.
- Green, E. S. Nuclear Physics. New York, McGraw - Hill, 1955. 535 p.
- Johnson, W. R. and Kwok-tsang Cheng. "Elastic Scattering of 0.1 - 1 MeV Photons," Phys. Rev. 13 : 692, 1976.
- Levinger, J. S. "Elastic Scattering of gammas and the nuclear resonance cross section," Phys. Rev. 84 : 523, 1951.
- Marmier, P. and E. Sheldon. Physics of Nuclei and Particle. New York, Academic Press, 1969. 809 p.
- Mersbacher, Eugen. "Scattering," in Quantum Mechanics. p. 215, 2nd. ed., Sydney, John Wiley and Sons, 1970.
- Papatzacos, Paul and Kjell Mork. "Delbruck Scattering Calculation," Phys. Rev. 12 : 206, 1975.
- Roy, R. R. and R. D. Reed. Interaction of Photons and Leptons with Matter. p. 240 - 250, New York, Academic Press, 1968.
- Taylor et al., "Elastic Scattering of ¹⁵²Eu γ - Rays by Tungsten," Aust. J. Phys. 34 : 126, 1981.
- Weast, Robert C. Handbook of Chemistry and Physics. The Chemical Rubber Co., 1973.

ภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา

พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV จากทังสแตน

บทคัดย่อ

ของ

จินตารัตน์ จรัสรังษีชด

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร

เพื่อ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต

มีนาคม 2528

การทดลองหาค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์สำหรับการกระเจิงแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมา พลังงาน 0.344 MeV และ 1.408 MeV ที่มุมกระเจิง 15°, 20°, 25°, 35° และ 45° นี้ ใช้ ทั้งสเต็ม เป็นเป้า และใช้หัววัดรังสีแบบผลึกโซเดียมไอโอไดด์

การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ ในเชิงทดลองและเชิง ทฤษฎีทั้งที่ใช้รังสีแกมมาพลังงานค่าเดียวกันและค่าใกล้เคียงกันโดยในทางทฤษฎีค่าภาคตัดขวาง เชิงอนุพันธ์คิดจากการกระเจิงแบบ เรเลย์และการกระเจิงแบบนิวเคลียร์ทอมสัน

สรุปได้ว่า เมื่อใช้รังสีแกมมาที่พลังงาน 0.344 MeV ค่าภาคตัดขวางเชิงอนุพันธ์ จาก ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ และกับผลการคำนวณทางทฤษฎี สำหรับรังสี แกมมาที่พลังงาน 1.408 MeV ไม่สอดคล้องกับผลการทดลองของคนอื่น ๆ และกับผลการคำนวณ ทางทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องวัดที่ใช้ในการทดลองนี้มีเรโซแนนซ์ ไม่สูงพอที่จะแยกยอด พลังงาน 1.112 MeV และยอดพลังงานที่เกิดจากการกระเจิงแบบคอมพตันของพลังงาน 1.408 MeV ซึ่งใกล้เคียงกันออกจากกันได้ ทำให้จำนวนรังสีที่วัดได้มากกว่าความเป็นจริง

DIFFERENTIAL CROSS SECTIONS FOR ELASTIC SCATTERING
OF 0.344 MeV AND 1.408 MeV γ - RAYS FROM TUNGSTEN

AN ABSTRACT

BY

JINDARAT JARASRANGSICHOL

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

March 1985

The differential cross sections for elastic scattering of 0.344 MeV and 1.408 MeV gamma rays at scattering angles of 15°, 20°, 25°, 35° and 45°, using tungsten targets and scintillation detector with NaI(Tl) crystals.

The results were compared with the previous experimental work, using gamma rays at the same energy and slightly different energies. They were also compared with the theoretical differential cross sections for Rayleigh scattering and nuclear Thomson scattering.

For 0.344 MeV gamma rays, the experimental differential cross sections agreed very well with the results of the others and the theoretical calculation. But for 1.408 MeV gamma rays, the differential cross sections did not agree with neither theoretical results nor experimental results of others. The discrepancy is due to the fact that the resolution of the detector used in this experiment was not high enough to separate the peak of 1.112 MeV and the Compton peak of 1.408 MeV which are very closed, so the count was much higher than the expected value.