บทที่ 3

การทดลองเกี่ยวกับนิวตรอนเร็ว

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณและการดำเนินการทดลองที่เกี่ยวกับนิวตรอนเร็วรวมทั้งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทำการทดลอง เพื่อที่จะนำผลการทดลองมาเขียนกราฟ calibration curve เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าโดสของนิวตรอนเร็ว ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์สำคัญข้อหนึ่งในการทำการทดลองวัดนิวตรอนโดยวิธีเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์นี้

การเขียนกราฟ calibration curveนี้จะเขียนระหว่างปริมาณแสงที่อ่านได้จากผลึก LiF เมื่อนำไปทำการทดลองรับนิวตรอนจากแหล่งกำเนิดโดยใช้เป็นแกนตั้งกับค่าโดสของนิวตรอนเร็ว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากระยะทาง เวลา และความแรงของแหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ใช้ในการทดลอง โดยให้เป็นแกนนอน

3.1 การทดลองเพื่อหาค่าปริมาณแสงที่อ่านได้จากผลึก LiF

ในการทำการทดลองเพื่อหาค่าปริมาณแสงที่อ่านได้จากผลึก LiF นั้นได้ใช้ถังที่มีสัณฐานสี่เหลี่ยมจำนวน 2 ใบ บรรจุน้ำจนเต็ม ใช้แผ่น LiF ติดบริเวณด้านหน้าถังถังละ 4 แผ่น โดยติดให้เหมือนกับที่คนใช้จริง ๆ แล้วนำไปวางรับนิวตรอนเร็วจากแหล่งกำเนิดนิวตรอนอเมอริเซียม-เบอริลเลียม โดยถือว่าน้ำมีคุณสมบัติทำให้นิวตรอนเร็วกลายไปเป็นนิวตรอนช้าคล้ายกันกับของเหลวในร่างกายของคน ใช้ระยะต่าง ๆ กัน 4 ค่า คือ 51, 58, 71 และ 100 เซนติเมตร ใช้เวลาในการตั้งรับนิวตรอนเท่ากันคือ 65 ชั่วโมง ผลึก LiF จะบันทึกปริมาณนิวตรอนช้าที่เกิดจากปริมาณนิวตรอนเร็วที่วิ่งมาจากแหล่งกำเนิด และชนกับอะตอมของตัวกลางในที่นี้คือน้ำ แล้วถูกทำให้วิ่งช้าลงจนกลายไปเป็นนิวตรอนช้า

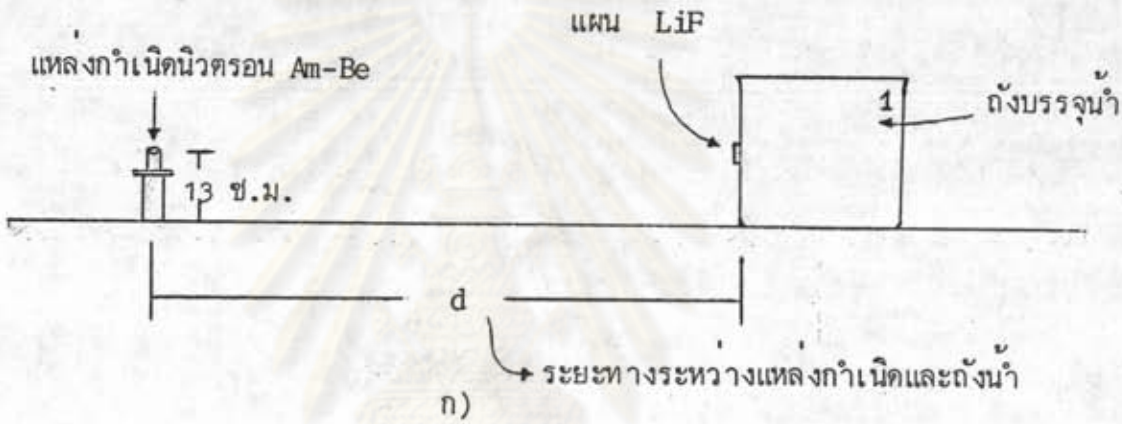
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดำเนินการทดลอง จะทำการทดลอง 2 วิธีคือ

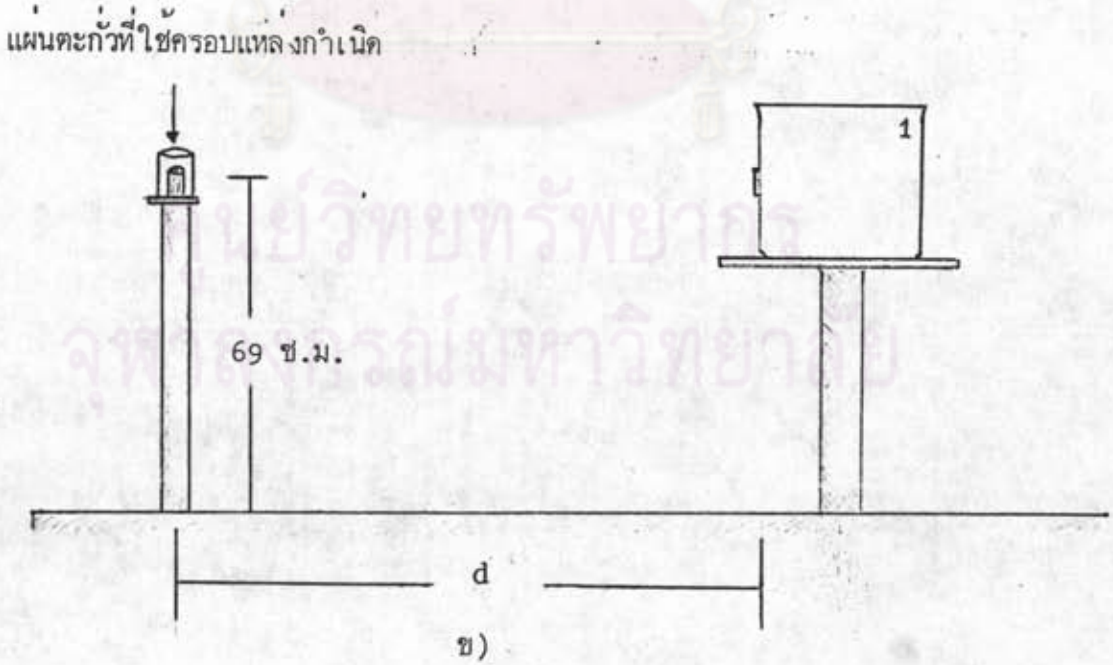
วิธีที่ 1 หนุนแหล่งกำเนิดนิวตรอนสูงจากพื้น 13 ซ.ม. วางถังน้ำกับพื้นและไม่ใช้ตะกั่วครอบแหล่งกำเนิดนิวตรอน

วิธีที่ 2 หนุนแหล่งกำเนิดนิวตรอนและถังน้ำสูงจากพื้น 69 ซ.ม. และใช้ตะกั่วครอบแหล่งกำเนิดนิวตรอน

ดังแสดงในรูปที่ 3.1



ก)



ข)

รูปที่ 3.1 ก) แสดงการทดลองตามวิธีที่ 1

ข) แสดงการทดลองตามวิธีที่ 2

การใช้แผ่น LiF ในการทดลองที่เกี่ยวกับนิวตรอนเร็วนี้จะใช้ทั้งหมด 9 แผ่น โดยใช้ในการทดลอง 8 แผ่น อีก 1 แผ่นจะใช้เป็นตัวควบคุม (control) การทดลอง

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด (ก) ต่อชนิด (ข) อีกด้วย เพื่อนำไปใช้เป็นค่าแก้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองข้างต้น ดังจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 3.1.2 หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ค่าอัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด (ก) ต่อชนิด(ข) นี้จะช่วยแก้ปัญหาการรบกวนของนิวตรอนช้าจากภายนอก (ถ้ามี) และปัญหาการกระเจิงจากพื้นของนิวตรอนเร็วที่วิ่งออกมาจากแหล่งกำเนิด

การดำเนินการทดลอง เพื่อหาอัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) ต่อชนิด(ข) นี้จะทำการทดลอง 2 วิธีคล้ายกันกับการทดลองเพื่อหาค่าปริมาณแสงที่อ่านได้จากผลึก LiF ทุกประการ เพียงแต่แตกต่างกันตรงที่จะไม่บรรจุน้ำลงในถัง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ระยะทาง (ซ.ม.)	อัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) : ชนิด(ข)	
	การทดลองตามวิธีที่ 1	การทดลองตามวิธีที่ 2
51	1.27	3.01
58	1.31	3.38
71	1.35	3.91
100	1.47	4.51

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) ต่อชนิด(ข)

ข้อมูลจากตารางที่ 3.1 นั้น จะเห็นว่าอัตราส่วนความไวของผลึกของชนิด(ก) ต่อชนิด(ข) มีค่าไม่เท่ากัน ความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) จะมีค่ามากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะมีนิวตรอนช้าจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้ผลึก LiF ชนิด(ก) ซึ่งมีความไวต่อนิวตรอนช้า บันทึกนิวตรอนช้าพวกนี้เข้าไปด้วย จึงทำให้อัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) ต่อชนิด(ข) มีค่าไม่เท่ากัน นิวตรอนช้าจากภายนอกนี้อาจจะเกิดจากการกระเจิงจากพื้นของนิวตรอนเร็วที่วิ่งออกมาจากแหล่งกำเนิดเอง หรืออาจจะมีนิวตรอนช้าที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงเข้ามาเกี่ยวข้อง อนึ่ง ได้ทำการทดลองโดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีแกมมาบริสุทธิ์ (pure gamma source) ผลปรากฏว่า อัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด (ก) ต่อชนิด(ข) จะมีค่าเท่ากันทุกระยะทางคือ 1 ต่อ 1 นอกจากนี้จะเห็นว่า อัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด (ก) ต่อชนิด(ข) มีค่ามากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

การใช้แผ่นตะกั่วครอบแหล่งกำเนิดนิวตรอนในการทำการทดลองนั้นจะช่วยให้ผลการทดลองผิดพลาดลดน้อยลง กล่าวคือจะช่วยลดปริมาณรังสีแกมมาแหล่งกำเนิดนิวตรอนให้เข้ามายุ่งเกี่ยวกับการทดลองให้น้อยลง หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองเท่านั้น การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1.1

3.1.1) การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

ในการทำการทดลอง จะได้ข้อมูลของผลการทดลองหลาย ๆ ชุด แต่ละชุดนั้นอาจมีค่าใกล้เคียงหรือแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะที่ทำการทดลอง การจัดกระทำข้อมูลแต่ละชุดนั้น จะใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ย (Mean value) เพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลในการนำไปใช้ต่อไป พร้อมทั้งหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ด้วย

ตัวอย่าง ข้อมูลชุดหนึ่งเป็นดังนี้

163.8, 169.2, 171.3, 155.0, 163.1, 178.7,

165.2, 163.9

หาค่าเฉลี่ยได้จากสูตร $\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{\Sigma x}{n}$

และหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก $\sigma_{n-1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 / n-1}$

หรือ $\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n}{n-1}}$

ได้ค่าเฉลี่ย 166.3

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 7.0

ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้คือ 166.3 ± 7.0

1) การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีที่มีตัวแทนของข้อมูลมาบวกลบกัน

จะนำเอาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชุดมายกกำลังสอง นำมาบวกกัน แล้วถอดรากที่สอง

ถ้า $F_1 = A \pm a$ เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดที่ 1

$F_2 = B \pm b$ เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดที่ 2

$$F_1 \pm F_2 = (A \pm B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$$

ตัวอย่าง เช่น $(5.61 \pm 0.63) + (6.72 \pm 0.81)$

จะได้เป็น 12.33 ± 1.03

2) การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีที่มีตัวแทนของข้อมูลคูณหารกัน

ในกรณีที่นำมาคูณกัน

$$F_1 \cdot F_2 = A \cdot B \pm \sqrt{(Ab)^2 + (Ba)^2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง เช่น $(8.77 \pm 0.94)(1.46 \pm 0.76)$

จะได้เป็น 12.80 ± 6.80

ในกรณีที่นำมาหารกัน

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{B}{A} \pm \frac{\sqrt{(\frac{Ba}{A})^2 + b^2}}{A}$$

ตัวอย่าง เช่น $\frac{26.67 \pm 0.94}{18.23 \pm 2.47}$

จะได้เป็น 1.46 ± 0.2

3.1.2) การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลอง

หลังจากที่ได้นำแผ่น LiF ไปทำการทดลองตามหัวข้อที่ 3.1 แล้วก็จะนำไปอ่านโดยใช้เครื่องอ่านรังสี TLD แผ่น LiF ทั้ง 8 แผ่น (ไม่รวมแผ่น control) ที่มีผลึก LiF ชนิด (ก) และชนิด(ข) ก็จะบันทึกผลออกมาได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ (ข้อมูลตัวอย่างนี้เป็นข้อมูลที่สมมุติขึ้นว่าเกิดจากการทดลองตามวิธีที่ 2 โดยใช้ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดนิวตรอนกับถังน้ำเป็น 58 เซนติเมตร)

ข้อมูลที่ได้หลังจากนำแผ่น LiF ไปอ่านแล้วเป็นดังนี้

LiF แผ่นที่	ชนิด(ก)	ชนิด(ข)
1	120	32.9
2	135	33.6
3	125	33.7
4	124	34.7
5	135	37.2
6	135	35.5
7	136	32.1
8	135	33.8
9 (control)	23.4	22.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การอ่านค่าปริมาณแสงจากแผ่น LiF ซึ่งปริมาณแสงนี้จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณนิวตรอนช้า (หรือนิวตรอนเร็ว) กระทำได้โดยวิธีการตามขั้นตอนต่อไปนี้คือ

1) นำข้อมูลที่ผลึก LiF ชนิด(ก) และชนิด(ข) บันทึกได้มาหาตัวแทนของข้อมูลตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.1.1

ตัวแทนของข้อมูลที่บันทึกโดยผลึก LiF ชนิด(ก) คือ 130.6 ± 6.5

หรือ 130.6 ± 4.9 %

ตัวแทนของข้อมูลที่บันทึกโดยผลึก LiF ชนิด(ข) คือ 34.2 ± 1.6

หรือ 34.2 ± 4.7 %

2) นำค่าควบคุมจากแผ่น LiF แผ่นที่ 9 ของแต่ละชนิดไปหักออกจากค่าตัวแทนของข้อมูลทั้งสองนั้น โดยคิดว่าค่าควบคุมนั้นมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วเท่ากันกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแทนของข้อมูล ดังนั้น ค่าตัวแทนของข้อมูลที่บันทึกโดยผลึก LiF ชนิด(ก) และชนิด(ข) จะได้เป็น 107.2 ± 6.6 และ 12.2 ± 1.9 ตามลำดับ

3) นำค่าอัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) ต่อชนิด(ข) จากการทดลองตามวิธีที่ 2 ที่ระยะ 58 ซ.ม. จากตารางที่ 3.1 มาคูณกับค่าตัวแทนของข้อมูลที่บันทึกได้โดยผลึก LiF ชนิด(ข) ในข้อ 2) จะได้เป็น

$$(12.2 \pm 1.9).(3.38 \pm 0.36) = 41.2 \pm 7.78$$

4) หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ในข้อ 3) ไปหักออกจากค่าตัวแทนของข้อมูลที่บันทึกได้โดยผลึก LiF ชนิด(ก) ในข้อ 2) จะได้เป็น

$$(107.2 \pm 6.6) - (41.2 \pm 7.78) = 66.0 \pm 10.2$$

ค่าที่ได้คือ ค่าของปริมาณแสงที่เป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณนิวตรอนช้า (เร็ว) ที่ระยะ 58 ซ.ม. สำหรับที่ระยะอื่น ๆ ก็หาได้โดยวิธีเดียวกันนี้

แผ่น LiF ที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีกลักที่ใช้ใส่เฉพาะอยู่ด้วย ภายในกลักจะมีแผ่นแคดเมี่ยม (Cd) อยู่ เพื่อป้องกันนิวตรอนช้าจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ในการทดลองเกี่ยวกับนิวตรอนเร็วนี้ไม่ได้ใช้กลักดังกล่าวเลย แต่ผลการทดลองที่ได้นี้จะไม่แตกต่างจากการที่ใช้กลักใส่แผ่น LiF เพราะได้ใช้ค่าแก้ [คืออัตราส่วนความไวของผลึก LiF ชนิด(ก) ต่อชนิด(ข)] เข้ามาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ข้อมูล จากการทดลองดังแสดงไว้ข้างต้นแล้ว

3.2 โดสของนิวตรอนเร็ว

โดสของนิวตรอนเร็วนี้สามารถคำนวณหาได้จากระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดนิวตรอนกับถังน้ำ เวลาที่ใช้ในการทำการทดลองและความแรงของแหล่งกำเนิดนิวตรอนที่ใช้ ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดนิวตรอนอเมอริเซียม-เบอริลเลียม ที่มีความแรง 1 คูรี จะปลดปล่อยปริมาณนิวตรอนออกมา 2.3×10^6 นิวตรอน/วินาที

ดังนั้น แหล่งกำเนิดนิวตรอนอเมอริเซียม-เบอริลเลียม ที่มีความแรง 0.5 คูรี (ซึ่งใช้ในการทดลองนี้) จะปลดปล่อยปริมาณนิวตรอนออกมา 1.15×10^6 นิวตรอน/วินาที

ถ้าคิดว่าแหล่งกำเนิดนิวตรอนมีการปลดปล่อยปริมาณนิวตรอนออกมารอบตัวและมีปริมาณเท่ากันในทุกทิศทางที่ห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะเท่ากัน สามารถคำนวณนิวตรอนฟลักซ์ที่ตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะทางเท่ากับ r เซนติเมตรในทิศใด ๆ ได้คือ

$$\frac{1.15 \times 10^6}{4\pi r^2} \quad \text{นิวตรอน/ตร.ซ.ม.วินาที} \quad \text{.....3.1)}$$

แต่เนื่องจากแหล่งกำเนิดนิวตรอนแบบอเมอริเซียม-เบอริลเลียมจะปลดปล่อยโดสของนิวตรอนเร็วออกมามีค่า $(3.79 \pm 0.23)^1 \times 10^{-8}$ เรม/นิวตรอน/ตร.ซ.ม. ....3.2)

---

[1] S.K. Mehta and W.R. Burrus, "Dose Conservation Factors for Am-Be, Pu-Be, Po-Be and Am-Be Neutron Sources," Proceeding Radiation Protection Monitoring (Vienna : IAEA, 1969), pp. 115-122.

สมมติให้ในการทดลองนี้ ค่าโดสของนิวตรอนเร็วมีค่าเท่ากับ D เรม ณ ที่ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดนิวตรอนเป็นระยะทาง r เซนติเมตร ใด ๆ และใช้เวลาในการทำการทดลอง t วินาที จะหาความสัมพันธ์ระหว่าง D, r และ t โดยใช้ค่าต่าง ๆ ในสมการ 3.1 และ 3.2 ได้ดังนี้คือ

$$D = 3.47 \times 10^{-3} \left(\frac{t}{r^2}\right) \quad \text{.....3.3)}$$

สมการ 3.3) นี้เป็นสมการที่ใช้คำนวณโดสของนิวตรอนเร็วจากแหล่งกำเนิดอเมอริเซียม-เบอริลเลียมที่ใช้ในการทดลองนี้

สำหรับค่า t ซึ่งเป็นเวลาที่แผ่น LiF ใช้ในการรับนิวตรอนจากแหล่งกำเนิดในการทำการทดลองตามหัวข้อที่ 3.1 จะมีค่าคงที่ตลอด คือมีค่าเท่ากับ 65 ชั่วโมง หรือ 2.34×10^5 วินาที

ดังนั้น ที่ระยะต่าง ๆ 4 ค่า ในการทำการทดลองตามหัวข้อที่ 3.1 สามารถคำนวณเป็นค่าโดสของนิวตรอนเร็วได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะทางระหว่าง แหล่งกำเนิดนิวตรอนกับถังน้ำ (ซ.ม.)	โดสของนิวตรอนเร็ว (เรม)
51	0.31
58	0.24
71	0.16
100	0.08

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าโดสของนิวตรอนเร็วที่คำนวณได้จากระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดนิวตรอนกับถังน้ำ โดยใช้เวลาทำการทดลอง 65 ชั่วโมงเท่ากัน

เมื่อได้ผลจากการทดลองและผลการคำนวณโดสของนิวตรอนเร็วจากหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 แล้วก็นำไปเขียนกราฟ calibration curve ได้ตามที่ต้องการ ลักษณะของเส้นกราฟควรมีลักษณะเป็นเส้นตรงและผ่านจุดกำเนิด ซึ่งผลที่ได้จากการนี้ได้แสดงผลไว้ในบทที่ 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย