

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุด้วยวิธีทางแสง



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**81594**
วัน,เดือน,ปี.....**19 มี.ย. 2551**

b. **119 347b1**
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of Linear Expansion Coefficient of Material by Optical Method







A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science
Department of Applied Physics
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุด้วยวิธีทางแสง
นักศึกษา นายเพชร รุทธระกาญจน์
 นายธานินทร์ นิ่มแสง
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สุวรรณ กุสุราธู

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	นายธรรมรัตน์ แต่งตั้ง	
กรรมการ	รศ.อนุพงศ์ สรงประภา	
กรรมการ	อ.วิฑูรย์ ชินดีสุข	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ. สุวรรณ กุสุราธู	



(รองศาสตราจารย์วิชาญ เจริญธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง	การหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุด้วยวิธีทางแสง	
นักศึกษา	นายพชร รุทธระกาญจน์	
	นายธานินทร์ นิ่มแสง	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สุวรรณ คูสำราญ	

บทคัดย่อ

วัสดุแต่ละชนิดเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดการขยายตัวขึ้น นิยมบอกความแตกต่างด้วยค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้น (β) วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นที่เราใช้ในการทดลองนี้ เป็นวิธีทางแสงที่ใช้หลักการของแทรกสอดของไมเคลสัน (Michelson Interference) โดยการใช้กระจกเป็นตัวสะท้อนแสงมาประกบกับวัสดุที่เราต้องการวัด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและยังมีความละเอียดในการวัดมากที่สุดคือ 316.4 นาโนเมตร หรือครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่ใช้วัด วัสดุที่เรานำมาวัดคือแก้ว อลูมิเนียม และทองเหลือง ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ วัสดุที่เราจะนำมาใช้วัดนั้นจะต้องมีความยาวในแนวของลำแสงไม่เกินครึ่งหนึ่งของความยาวอาพันธ์ของเลเซอร์ นอกจากนั้นวัสดุที่มีความโปร่งใสอย่างแก้วนั้น เรายังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของดัชนีหักเหหรือ γ ได้อีกด้วย ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของแก้ว อลูมิเนียม และทองเหลือง มีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานเป็น 6.6 และ 2.6 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Special Project Title	Determination of Linear Expansion Coefficient of Material by Optical Method	
Name	Mr. Pachara Rudrakanchana Mr. Thanin Nimsang	
Department	Applied Physics	Faculty of Science
Program	Applied Physics	
Academic Year	2007	
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Suwan Kusamran	

ABSTRACT

When temperature of material increase, it is expanded. The "linear expansion coefficient" β of various materials are different. In this special project, the linear expansion coefficient was measured using optical method - Michelson Interferometer. There are thin glasses on sample surface for reflection. This method is simple and the minimum value of expansion measured is 316.4 nm or half of wavelength of laser used. Samples used in this special project are glass, aluminum and brass. The limitation of this method is the thickness of samples in the light path must less than half of coherence length of laser. Moreover, we can also measure the temperature coefficient of reflective index (γ) for transparent material, such as glass. The error of linear expansion coefficient of glass, aluminum and brass measured is 6.6%, 2.6% and 0.5% respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.สุวรรณ คุณสำราญ เป็นอย่างสูงที่ช่วยให้ความรู้ คำแนะนำ และให้ข้อมูลที่สำคัญในการทำโครงการพิเศษนี้ ๆ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ฐิตินัย แก้วแดง ที่กรุณาให้ยืมใช้เครื่องมือ ขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการซ่อมสร้างที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือซ่อมสร้าง และขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำเล็ก ๆ น้อย ๆ ในการทำรายงานและคอยให้กำลังใจตลอดมา ทำให้การทำรายงานเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายพร รุทธระกาญจน์
นายธานีทร์ นิ่มแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การแทรกสอดของคลื่น (Interference of Waves)	3
2.2 อินเตอร์เฟอริมิเตอร์ (Interferometer)	5
2.3 แหล่งกำเนิดแสง	6
2.4 การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุ	7
2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิ	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	9
3.2 การทดลอง	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	17
4.1 แก้ว	17
4.2 ทองเหลือง	25
4.3 อลูมิเนียม	29
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่า β , ของวัสดุบางชนิด	7
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มี การเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด	17
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มี การเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด	21
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มี การเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด	25
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มี การเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด	29
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของที่ได้จากการทดลองของค่า β	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแทรกสอดของคลื่นสองคลื่น	4
รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การสร้างการแทรกสอดของแสง	5
รูปที่ 3.1 แท่งแก้วคล้ายทรงกระบอกสามชิ้นที่ติดเข้าด้วยกัน	9
รูปที่ 3.2 ชั้นทองเหลืองที่ใช้เป็นตัวอย่าง	10
รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง	11
รูปที่ 3.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดกับแท่นวางแหล่งกำเนิดแสง	12
รูปที่ 3.5 บริเวณสองบริเวณที่ใช้ในการวัดค่า β และ γ	13
รูปที่ 3.6 การวัดค่า β ที่บริเวณ b	13
รูปที่ 3.7 การวัดค่า β ของอนุภาคนิยมและทองเหลือง	14
รูปที่ 3.6 การวัดค่า γ ที่บริเวณ a	15
รูปที่ 3.7 ชั้นตัวอย่างจริง	16
รูปที่ 3.8 ตัวให้ความร้อน	16
รูปที่ 3.9 คิวบิตอลเทอร์โมมิเตอร์	16
รูปที่ 3.10 แท่นวางแหล่งกำเนิดแสงและชุดอุปกรณ์	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในการวัดความยาวที่แม่นยำต้องคำนึงถึงปัจจัยการเพิ่มอุณหภูมิ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของประเทศไทยเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่รักษามาตรฐานการวัดและพัฒนากระบวนการวัดให้เป็นไปตามมาตรฐานสากลโดยได้นำระบบการวัดทางแสงประยุกต์ใช้ความถูกต้องของความยาวซึ่งต้องใช้ความแม่นยำและความละเอียดสูง ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นจากการวัดความยาวคือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุที่ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องกับมาตรฐานอ้างอิง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุเกิดการขยายตัว ทั้งในการขยายตัวเชิงเส้น เชิงพื้นที่ และเชิงปริมาตร โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นจะส่งผลกระทบต่อการวัดความยาวเป็นอย่างมาก ซึ่งมีเทคนิคในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนอยู่หลายวิธีแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิคการวัดที่เป็นที่ยอมรับและจัดทำเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่

Optical Interference Techniques

X - Ray Diffraction Techniques

Optical Imaging Techniques

ในโครงการพิเศษนี้ได้ใช้หลักการแทรกสอดของแสงโดยเทคนิคไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุ ซึ่งระบบไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์นี้สามารถใช้วัดระยะทางความละเอียดในการวัดคือ 316 นาโนเมตร จึงเหมาะสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุประเภทต่างๆ โดยสามารถวัดค่าการขยายตัวของวัสดุ ได้อย่างละเอียดและแม่นยำอีกทั้งยังจะเป็นการนำระบบการวัดทางแสงมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงเป็นที่มาของการศึกษาการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุ

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุ
- เพื่อศึกษาการวัดการขยายตัวของวัสดุด้วยไมเคิลสันอินเตอร์ฟีรอมิเตอร์
- เพื่อศึกษาระบบการวัดในงานที่มีความละเอียดสูงด้วยวิธีการทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุ
- ศึกษาหลักการและทฤษฎีของไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์
- สร้างระบบควบคุมอุณหภูมิ
- คิดตั้งอุปกรณ์ และทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุด้วยวิธีไมเคิลสันอินเตอร์เฟอโรมิเตอร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการดำเนินการวิจัยได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2. ออกแบบอุปกรณ์การทดลอง

ขั้นตอนที่ 3. จัดหาอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 4. คิดตั้งระบบที่ใช้ในการวัด และทดสอบระบบที่สร้างขึ้น

ชุดทดลองนี้จะมี 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ชุดให้ความร้อน
2. แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นเลเซอร์ HeNe
3. ตัวแยกแสงและฉากรับแสง

ขั้นตอนที่ 5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ชุดอุปกรณ์การทดลองนี้ช่วยให้เราได้เรียนรู้ทั้งหลักการพื้นฐานของการแทรกสอดแบบไมเคิลสัน และยังได้นำเทคนิคของการนำความรู้เรื่องการแทรกสอดมาประยุกต์ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของวัสดุได้ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นชุดอุปกรณ์ที่มีประโยชน์อย่างมากต่อนักศึกษาในสาขาฟิสิกส์ที่ต้องการศึกษาในเรื่องของการแทรกสอดได้เป็นอย่างดี

เมื่อโครงการนี้ประสบความสำเร็จแล้ว ทางคณะผู้จัดทำจะมอบชุดทดลองทั้งหมดนี้ให้แก่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ให้นักศึกษารุ่นต่อ ๆ ไปได้ใช้ทำการทดลองกัน

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การแทรกสอดของคลื่น (Interference of Waves)

การรวมกันของคลื่นอาพันธ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ เรียกว่าการแทรกสอดของคลื่น พิจารณาคลื่นรูปไซน์สองคลื่นเคลื่อนที่ในทิศเดียวกันแทนด้วย y_1, y_2 ถ้าคลื่นทั้งสอง มีความถี่และแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีเฟสต่างกันจะมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.1

$$y_1 = A\sin(kx - \omega t) \text{ และ } y_2 = A\sin(kx - \omega t + \phi) \quad (2.1)$$

เมื่อ ϕ คือความต่างเฟสระหว่างคลื่นทั้งสอง ถ้าคลื่นทั้งสองมาพบกันจะเกิดการแทรกสอดจะได้

$$y = y_1 + y_2 = A[\sin(kx - \omega t) + \sin(kx - \omega t + \phi)] \quad (2.2)$$

จากความสัมพันธ์

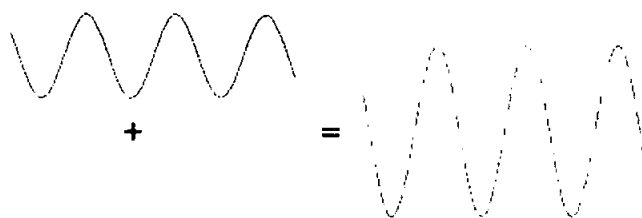
$$\sin a + \sin b = 2 \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \quad (2.3)$$

จะได้ฟังก์ชันคลื่นรวม

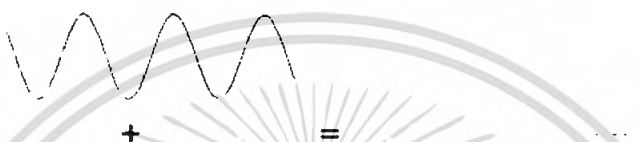
$$y = \left(2A \cos\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.4)$$

จากสมการนี้จะพบว่าคลื่นรวมเป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ และความยาวคลื่นเท่าเดิม แอมพลิจูดของคลื่นรวม คือ $2A \cos\frac{\phi}{2}$ และมีเฟส $\frac{\phi}{2}$ ถ้าคลื่น y_1 และ y_2 มีเฟสตรงกัน นั่นคือ $\phi = 0$ เรเดียน คลื่นรวมมีแอมพลิจูดเท่ากับ $2A$ หรือมีแอมพลิจูดเป็นสองเท่าของแอมพลิจูดของแต่ละคลื่นกรณีนี้เรียกว่าการแทรกสอดแบบเสริม (Constructive interference) โดยทั่วไปการแทรกสอดแบบเสริมจะเกิดขึ้นเมื่อ $\cos\frac{\phi}{2} = \pm 1$ หรือ เมื่อ $\phi = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$ เรเดียน ในทางตรงกันข้าม ถ้ามุม $\phi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ เรเดียน จะทำให้ $\cos\frac{\phi}{2} = \cos\frac{\pi}{2} = 0$ เป็นผลให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมเป็นศูนย์ กรณีนี้เรียกว่าการแทรกสอดแบบหักล้าง (Destructive interference) เกิดขึ้นเมื่อยอดคลื่นของคลื่นหนึ่งตรงกับท้องคลื่นของอีกคลื่นหนึ่งตามรูปที่ 2.1 การกระจัดของคลื่นรวมจะหักล้างกันทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1(a) การแทรกสอดแบบเสริมของคลื่นสองคลื่นที่มีเฟสตรงกัน



รูปที่ 2.1(b) การแทรกสอดแบบหักล้างของคลื่นสองคลื่นที่มีเฟสต่างกันเท่ากับ π

ถ้า y_1 และ y_2 เป็นคลื่นที่มีเฟส ϕ_1 และ ϕ_2 และมีความเข้มแสง I_1 และ I_2 ตามลำดับจะได้ว่าความเข้มของแสงที่เกิดจากการแทรกสอดของแสงที่เกิดขึ้นมีค่าดังนี้

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (2.5)$$

ถ้า $(\phi_1 - \phi_2) = (2n + 1)\pi$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \dots$ ดังนั้น $\cos(\phi_1 - \phi_2) = -1$ จะได้ว่า

$$I = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \quad (2.6)$$

ซึ่งเป็นความสว่างต่ำสุดเมื่อคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกัน π เรเดียนหรือ 180° เรียกว่า out of phase และเรียกว่าเกิด destructive interference

ถ้า $(\phi_1 - \phi_2) = 2n\pi$ เมื่อ $n = 0, 1, 2, \dots$ ดังนั้น $\cos(\phi_1 - \phi_2) = 1$ จะได้ว่า

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \quad (2.7)$$

ซึ่งเป็นความสว่างสูงสุดเกิดเมื่อคลื่นทั้งสองมีเฟสตรงกันเรียกว่า in phase กัน และเรียกว่าเกิด constructive interference

ในกรณีที่คลื่นทั้งสองมีความเข้มเท่ากัน $I_1 = I_2 = I_0$

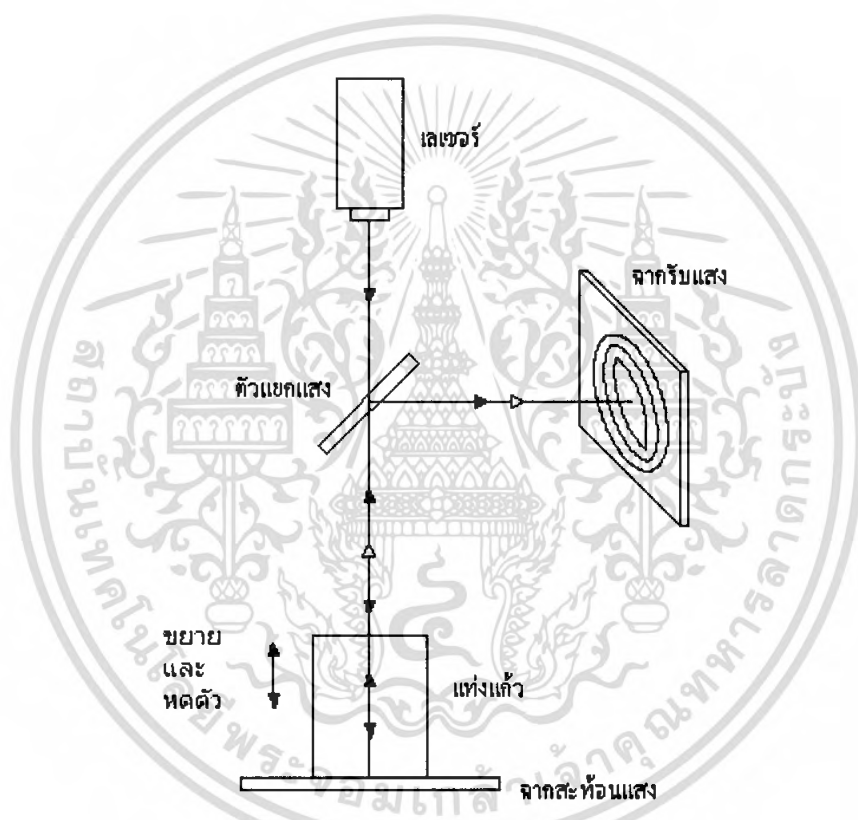
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2) = 2I_0[1 + \cos(\phi_1 - \phi_2)] \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $I = 4I_0 \cos^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$ เนื่องจาก $\cos^2\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ดังนั้นการแทรกสอดของแสงจะทำให้แสงมีความเข้มเป็น 0 ที่จุดมืด (destructive interference) และแสงมีความเข้มเป็น $4I_0$ ที่จุดสว่าง (constructive interference)

2.2 อินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ (Interferometer)

อินเตอร์ฟีรอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการแทรกสอดของคลื่น ในการทดลองนี้จะใช้อินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ที่มีการจัดอุปกรณ์ดังรูป



รูปที่ 2.2 อุปกรณ์การสร้างการแทรกสอดของแสง

แสงจากแหล่งกำเนิดแสง (Laser) ผ่านไปยังตัวแยกแสง (beam splitter) ลำแสงจะสะท้อนและทะลุผ่านเข้าไปในแท่งแก้ว โดยลำแสง 1 (ลูกศรสีดำ) จะได้มาจากแสงที่ทะลุผ่านเข้าไปในแท่งแก้วแล้วสะท้อนบริเวณด้านล่างของแท่งแก้วขึ้นมาแล้วสะท้อนกลับมายังตัวแยกแสง จากนั้นจะทะลุไปยังฉากรับแสง ส่วนลำแสง 2 (ลูกศรสีขาว) ได้มาจากแสงที่สะท้อนบริเวณพื้นผิวด้านบนของแท่งแก้วและสะท้อนกลับมายังตัวแยกแสง จากนั้นจะสะท้อนไปยังฉากรับแสงเช่นกันทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นเป็นบริเวณมืด-สว่าง แต่เนื่องจากแท่งแก้วมีการขยายตัวและหดตัวเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้ระยะทางของลำแสง 2 เปลี่ยนไป ลำแสงทั้งสองจึงแทรกสอดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีความต่างเฟสที่เปลี่ยนไปตามการขยายตัวและหดตัวเชิงเส้นของแท่งแก้ว ทำให้เห็นแถบมืดและแถบสว่างเป็นแนววงกลมบนฉากตามเงื่อนไขการเกิดการแทรกสอด

หลักการวัดการขยายตัวเชิงเส้นของแท่งแก้วที่เปลี่ยนไปด้วยอินเทอร์ฟีรอมิเตอร์

เมื่อแท่งแก้วได้รับความร้อนจะทำให้แท่งแก้วมีการขยายตัว ถ้าแท่งแก้วมีการขยายตัวเชิงเส้นที่ขนานแนวการเคลื่อนที่ของแสงและมีความยาวเพิ่มขึ้นเท่ากับ $\frac{\lambda}{4}$ แสงสองลำจะเดินทางด้วยระยะทางที่แตกต่างกัน $\frac{\lambda}{2}$ รี้วการแทรกสอดตรงกลางจะเปลี่ยนจากสว่างเป็นมืดหรือจากมืดเป็นสว่างได้ เมื่อแท่งแก้วขยายตัวออกไปอีก $\frac{\lambda}{4}$ (รวมเป็น $\frac{\lambda}{2}$) รี้วการแทรกสอดจะเปลี่ยนกลับไปเป็นแบบเดิม เราจะนับรี้วการแทรกสอดได้เพิ่มขึ้นเป็น 1 รี้ว และจะเพิ่มขึ้นทีละ 1 รี้ว เมื่อแท่งแก้วขยายตัวออกทุก ๆ $\frac{\lambda}{2}$ ดังนั้นขนาดของแท่งแก้วที่ขยายตัวออกจะคำนวณได้จากการนับรี้วแทรกสอดที่เปลี่ยนไปกับจตุรมุข

ความยาวของแท่งแก้วที่ขยายตัวออกหรือหดตัวลงนั้นจะสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการเดียวกันคือ

$$d = n \left(\frac{\lambda}{2} \right) \quad (2.9)$$

เมื่อ d = ความยาวของแท่งแก้วที่เปลี่ยนไป

n = จำนวนรี้วแทรกสอดที่เปลี่ยนไป

λ = ความยาวคลื่นแสง (632.8 nm สำหรับเลเซอร์ฮีเลียม-นีออน)

ขนาดความยาวที่เปลี่ยนไปของแท่งแก้วที่น้อยที่สุดที่เราสามารถวัดได้ ($n = 1$) จะได้ขนาดเท่ากับ 316.4 nm

2.3 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มาจากเลเซอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นดังนี้

1. มีความยาวคลื่นเดียว (Monochromaticity wavelength)
2. มีความเป็นคลื่นอาพันธ์สูง (Coherence)
3. ลำแสงมีมุมที่บานออก (Beam divergence) น้อย
4. ให้ความสว่างสูง

2.4 การขยายตัวเนื่องจากความร้อนของวัสดุ

วัสดุแข็งส่วนใหญ่จะขยายตัวขณะได้รับความร้อนและจะหดตัวขณะถูกทำให้เย็น การเปลี่ยนแปลงขนาดตามอุณหภูมิของวัสดุแข็งอาจเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \beta_l (T_f - T_0) \quad (2.10)$$

หรือ
$$\frac{\Delta l}{l_0} = \beta_l \Delta T \quad (2.11)$$

$$\beta_l = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \quad (2.12)$$

เมื่อ l_0 และ l_f คือค่าความยาวเริ่มต้นและสุดท้ายที่อุณหภูมิ T_0 และ T_f ตามลำดับ ค่าตัวแปร β_l เรียกว่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อน เป็นค่าคุณสมบัติวัสดุซึ่งบ่งบอกการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและมีหน่วยเป็นส่วนกลับของอุณหภูมิ [$(^{\circ}\text{C})^{-1}$ หรือ $(\text{K})^{-1}$] แนนอน การให้ความร้อนหรือการเย็นตัวมีผลต่อขนาด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามอุณหภูมิอาจคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta_v \Delta T \quad (2.13)$$

$$\beta_v = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T} \quad (2.14)$$

โดย ΔV และ V_0 คือปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงและปริมาตรเริ่มต้นตามลำดับ และค่า β_v คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเชิงปริมาตร

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่า β_l ของวัสดุบางชนิด

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นตามอุณหภูมิ ($\times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
แก้ว	9.0
ทองเหลือง	19.0
อลูมิเนียม	23.0

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างค่า β_l ของวัสดุบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสงของวัสดุที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

วัสดุแข็งเมื่ออยู่ในอุณหภูมิค่าหนึ่ง ๆ หรืออุณหภูมิห้องจะมีค่าดัชนีหักเหแสง (n) คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง แต่ถ้าวัสดุนั้นอยู่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหแสงของตัวกลางอาจเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\gamma = \frac{(n_f - n_0)}{(T_f - T_0)} \quad (2.15)$$

$$\gamma = \frac{\Delta n}{\Delta T} \quad (2.16)$$

เมื่อ n_0 และ n_f คือค่าดัชนีหักเหแสงเริ่มต้นและสุดท้ายที่อุณหภูมิ T_0 และ T_f ตามลำดับ ค่าตัวแปร γ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของดัชนีหักเหแสงที่ขึ้นกับอุณหภูมิ เป็นค่าคุณสมบัติของตัวกลาง ซึ่งบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีหักเหแสงเมื่อได้รับความร้อนและมีหน่วยเป็นส่วนกลับของอุณหภูมิ [$(^{\circ}\text{C})^{-1}$ หรือ (K^{-1})]

บทที่ 3

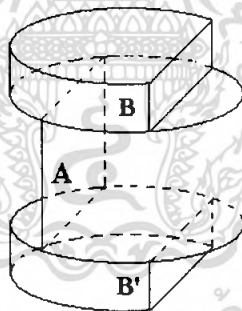
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ตัวอย่าง

แก้ว

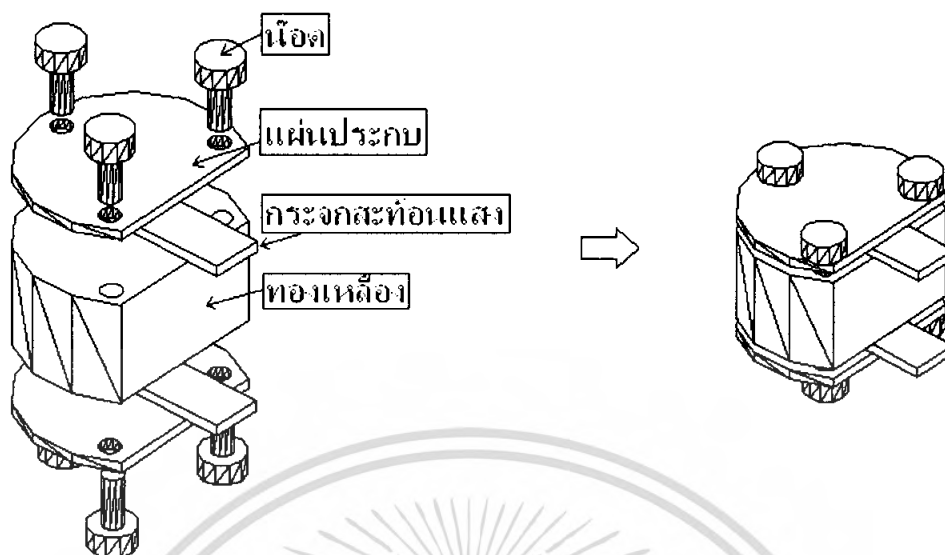
ตัวอย่างรูปทรงคล้ายทรงกระบอกที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้ทำมาจากแก้ว ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 เมื่อ A คือแท่งแก้วทรงกระบอกถูกตัดออกเป็นปล้อง พื้นผิวทั้งด้านบนและด้านล่างของมันจะขนานกันโดยมีความสูงประมาณ 10 มิลลิเมตร B และ B' คือแผ่นงานสองแผ่นที่ทำมาจากแก้วชนิดเดียวกัน นำมาติดกับด้านบนและด้านล่างที่มีพื้นผิวที่ขนานกันของแท่งแก้ว A ซึ่งพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแท่งแก้ว B และ B' นั้นจะไม่ขนานกัน แท่งแก้ว A, B และ B' ถูกติดรวมกันด้วยกาวชนิดพิเศษที่สามารถทนความร้อนได้ ค่าดัชนีหักเหแสงของกาวนั้นจะมีค่าเดียวกับแก้วและความหนาของมันมีค่าน้อยจนไม่ต้องนำมาคิด



รูปที่ 3.1 แท่งแก้วคล้ายทรงกระบอกสามชั้นที่ติดเข้าด้วยกัน

ทองเหลือง

ตัวอย่างที่ทำจากทองเหลืองนั้นจะมีรูปทรงเดียวกันกับรูปทรงของแท่งแก้ว A แต่จะมีแผ่นโลหะบาง ๆ มาประกบด้านบนและด้านล่างของชิ้นทองเหลือง เพื่อที่จะใช้ยึดติดกับแผ่นกระจกเล็ก ๆ ที่วางติดกับชิ้นทองเหลือง แผ่นกระจกนี้จะใช้ในการสะท้อนและส่งผ่านแสงจากเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.2 แต่ชิ้นทองเหลืองจะไม่สามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีหักเหแสงตามอณูมิติได้ เนื่องจากมีลักษณะทึบแสง



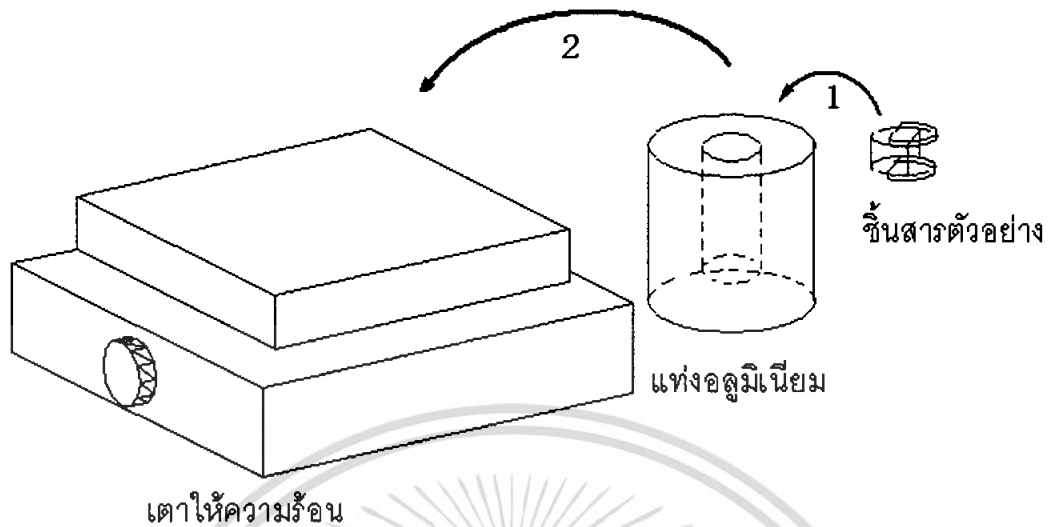
รูปที่ 3.2 ชั้นทองเหลืองที่ใช้เป็นตัวอย่าง

อลูมิเนียม

ตัวอย่างที่ทำจากอลูมิเนียมนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับตัวอย่างที่ทำจากทองเหลืองทุกประการ โดยเปลี่ยนจากชั้นของทองเหลืองเป็นชั้นของอลูมิเนียมแทน

2. ตัวให้ความร้อน

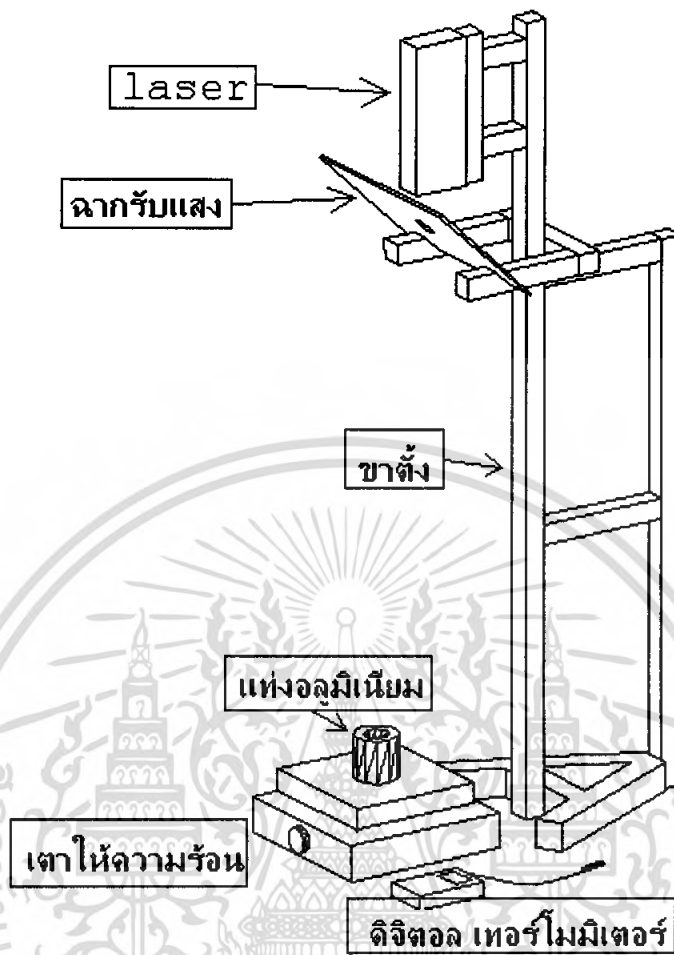
ตัวให้ความร้อนที่ใช้ในการทดลองนี้มีแผนผังดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 แท่งอลูมิเนียมขนาดใหญ่จะใช้เป็นตัวเก็บความร้อนที่ได้จากตัวให้ความร้อน (heater) เพื่อให้ความร้อนมีปริมาณที่สม่ำเสมอภายในแท่งอลูมิเนียมนี้และตัวอย่าง บริเวณแกนกลางของแท่งอลูมิเนียมจะถูกเจาะกลึงเป็นช่องคล้ายท่อรูปทรงกระบอกเพื่อใช้สำหรับใส่ตัวอย่างลงไป เมื่อต้องการให้ตัวอย่างร้อนขึ้นขั้นแรกเราก็ใส่ตัวอย่างลงไปในห้องโพรงของแท่งอลูมิเนียมขนาดใหญ่ ต่อมานำแท่งอลูมิเนียมขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยตัวอย่างไปวางบนเตาให้ความร้อน



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง

3. แทนวางแหล่งกำเนิดแสง

แทนวางแหล่งกำเนิดแสงจะใช้วงเลเซอร์ฮีเลียมนีออนบริเวณด้านบน ซึ่งเลเซอร์ฮีเลียมนีออนมีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร แผ่นกระดานสีขาวที่อยู่ด้านล่างของเลเซอร์จะใช้สำหรับคูรีการแทรกสอดที่เกิดขึ้นโดยจะเจาะรูตรงกลางไว้สำหรับให้ลำแสงเลเซอร์สามารถรอดผ่านไปได้ และรีการแทรกสอดจะเกิดขึ้นที่บริเวณห่างจากรูตรงกลางนี้เล็กน้อย แผ่นกระดานนี้จะถูกวางไว้ให้เอียงประมาณ 45 องศาเพื่อให้สังเกตรีการแทรกสอดที่เกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น โดยจะทำให้สังเกตรีการแทรกสอดที่มีความกว้างของแถบมืดและแถบสว่างที่ใหญ่ขึ้น บริเวณด้านล่างของแทนวางแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะมีตัวปรับความเอียงของขาตั้งได้ ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้ความร้อนที่ประกอบไปด้วยเตาให้ความร้อนและแท่งอลูมิเนียมที่ใส่ตัวอย่างลงไปด้วยนั้นจะถูกวางไว้ด้านล่างของแทนวางแหล่งกำเนิดแสง เพื่อให้ลำแสงเลเซอร์พุ่งผ่านลงไปสู่ตัวอย่างที่อยู่ในแท่งอลูมิเนียม ตัวแทนวางแหล่งกำเนิดแสงจะจัดวางดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดกับแท่นวางแหล่งกำเนิดแสง

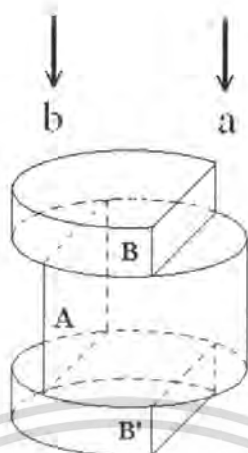
4. ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์

ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์จะใช้ในการวัดอุณหภูมิของตัวอย่างภายในแท่งอุณหภูมินิยมขนาดใหญ่

3.2 การทดลอง

1. การวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นตามอุณหภูมิของวัสดุ (β)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 บริเวณสองบริเวณที่ใช้ในการวัดค่า β และ γ

บริเวณ b จะถูกใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากบริเวณที่เกิดจากการแทรกสอดจากบริเวณนี้จะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นตามอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีหักเหแสงตามอุณหภูมิ



ตัวอย่างที่ถูกให้ความร้อน

รูปที่ 3.6 การวัดค่า β ที่บริเวณ a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 เมื่อแสงเลเซอร์ที่สะท้อนจากบริเวณ b จะเกิดแสงสะท้อนเป็นจำนวน 4 ลำแสง คือ ลำแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นแก้วบน และลำแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของแผ่นแก้วล่าง แต่เนื่องจากมีเพียงพื้นผิวด้านล่างของแผ่นแก้วบนกับพื้นผิวด้านบนของแผ่นแก้วล่างเท่านั้นที่ขนานกัน ทำให้เกิดริ้วการแทรกสอดเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่มาจากลำแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวด้านล่างของแผ่นแก้วบนกับลำแสงที่สะท้อนจากพื้นผิวด้านล่างของแผ่นแก้วล่าง ความแตกต่างของระยะทางเชิงแสง (optical path lengths) ของลำแสงทั้งสองคือ $2L$ สมมติให้อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างคือ T และหลังจากที่เตาเริ่มร้อนขึ้นทำให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ΔT ระยะทางที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างตามอุณหภูมิจะเป็น $\Delta L = L\beta\Delta T$ และการเปลี่ยนจำนวนริ้วของการแทรกสอดคือ m , ทำให้ได้เป็น $2\Delta L = m\lambda$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่นของเลเซอร์ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\beta = \frac{\Delta L}{L\Delta T}$$

$$\beta = \frac{m\lambda}{2L\Delta T} \quad (3.1)$$

เมื่อ L มีค่าประมาณ 10 มิลลิเมตร และ λ มีค่า 632.8 นาโนเมตร บันทึกค่าอุณหภูมิกับจำนวนริ้วที่เลื่อนไปในแต่ละครั้ง (อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40° ถึง 100°) ทำให้เราสามารถหาค่า β ได้

การหาค่า β ของอลูมิเนียมและทองเหลืองนั้นจะแตกต่างจากแก้วคือจะให้แสงตกกระทบกับกระจกที่ได้ทำการประกบไว้ทั้งสองชิ้นดังรูป



รูปที่ 3.7 การวัดค่า β ของอลูมิเนียมและทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของดัชนีหักเหแสงตามอุณหภูมิ (γ)



ตัวอย่างที่ถูกให้ความร้อน
รูปที่ 3.6 การวัดค่า γ ที่บริเวณ a

จากรูปที่ 3.6 เมื่อแสงที่สะท้อนจากบริเวณ a จะเกิดแสงสะท้อนเป็นจำนวน 2 ลำแสงคือ ลำแสงที่สะท้อนจากบริเวณด้านบนและด้านล่างของแท่งแก้วชิ้นตรงกลาง ความแตกต่างของระยะทางของแสงคือ $2nL$ การเปลี่ยนแปลงของระยะทางของแสงที่ขึ้นกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็น ΔT คือ

$$\frac{\Delta(2nL)}{\Delta T} = 2\left(n \frac{\Delta L}{\Delta T} + L \frac{\Delta n}{\Delta T}\right)$$

$$\Delta(2nL) = 2\left(n \frac{\Delta L}{\Delta T} + L \frac{\Delta n}{\Delta T}\right)\Delta T$$

$$\Delta(2nL) = 2L(n\beta + \gamma)\Delta T$$

$$2L(n\beta + \gamma)\Delta T = m_2\lambda$$

$$\gamma = \frac{m_2\lambda}{2L\Delta T} - n\beta \quad (3.2)$$

ค่าอุณหภูมิกับจำนวนริ้วที่เลื่อนไปในแต่ละครั้ง (อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 40° ถึง 100°

เช่นเดียวกัน) ทำให้เราสามารถหาค่า γ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ชุดอุปกรณ์จริง

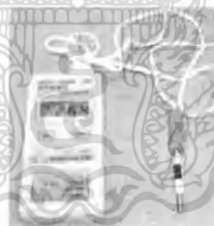
ชิ้นตัวอย่างที่เป็นทองเหลืองและอลูมิเนียมที่ใช้สำหรับวัดค่า β แสดงดังรูปที่ 3.7 ตัวให้ความร้อนกับชิ้นตัวอย่างนั้น แสดงดังรูปที่ 3.8 ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของชิ้นตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 3.9 และแท่นวางแหล่งกำเนิดแสงและชุดอุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.7 ชิ้นตัวอย่างจริงที่เป็นทองเหลืองและอลูมิเนียม



รูปที่ 3.8 ตัวให้ความร้อน



รูปที่ 3.9 ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.10 แท่นวางแหล่งกำเนิดแสงและชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 แก้ว

การหาค่า β ของแก้ว

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแทรกสอด โดยทำการทดลองจำนวน 6 ครั้ง

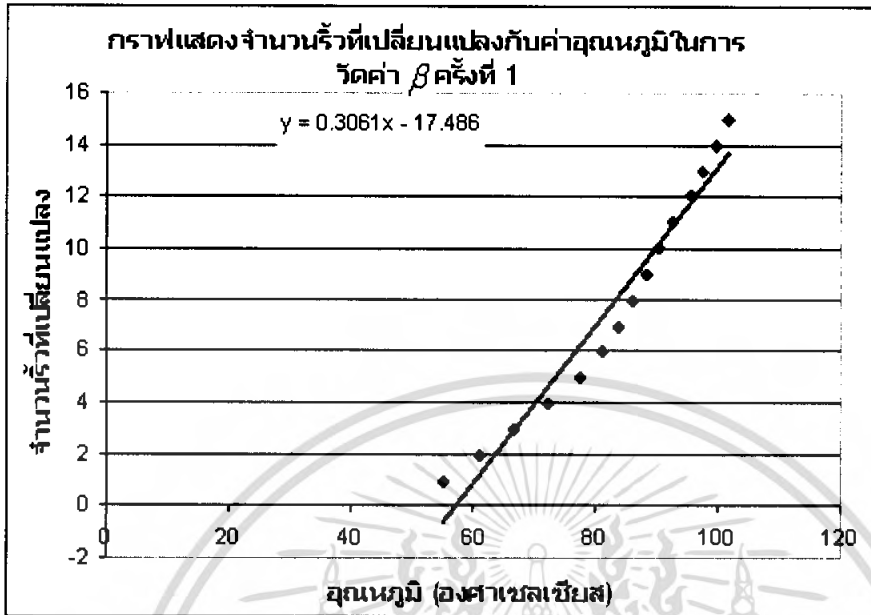
จำนวนปริมาตร แทรกสอดที่ เปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
1	55.1	55.9	60.3	64.7	43.8	53.3
2	61.1	61.8	63.3	71.4	46.6	59.6
3	66.7	68.7	66.3	75.4	48.7	65.2
4	72.1	72.4	71	79.5	50.6	69.8
5	77.6	77.8	74.1	83.2	53.5	73.7
6	81.1	80.9	77.4	87.2	57.7	77.7
7	83.6	84.4	80.4	91.3	61.6	81.3
8	85.9	87.7	84.4	96.9	64.6	84.6
9	88.4	90.8	88	100.6	68.9	88.5
10	90.2	93.6	92.6	104.9	73.9	92.9
11	92.5	98.3	97	108	78.2	97.2
12	95.4	101.4	99.7	110.6	82.6	102.2
13	97.6	104.8	102.7	113.2	86.7	105.8
14	99.8	107.7	105.1	116.2	90.7	108.8
15	101.8	110.8	108.3	119.9	94.5	111.3

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแทรกสอด

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนริ้วกับอุณหภูมิ $\frac{\Delta m}{\Delta T}$ หาได้จากค่าความชันของกราฟ

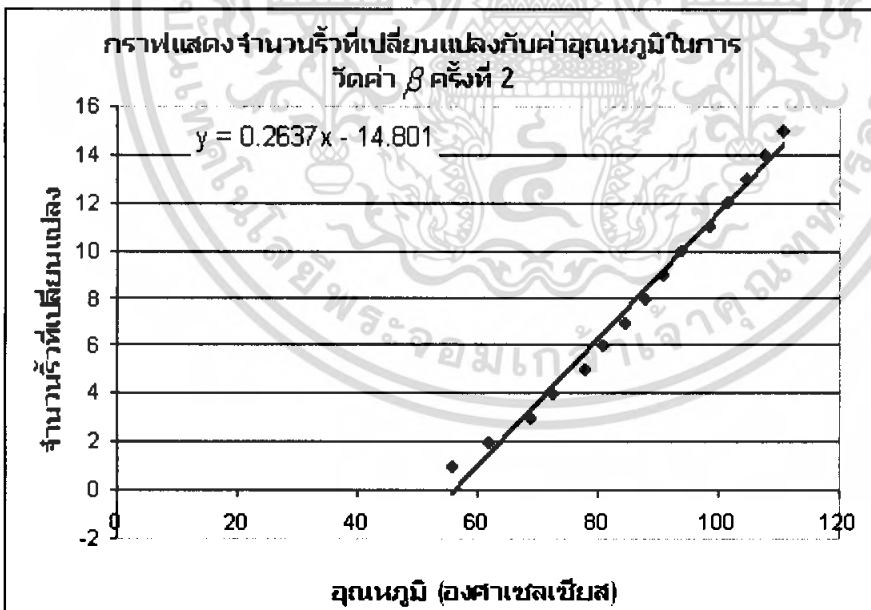
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็น **81594** อาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 1



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.3061 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

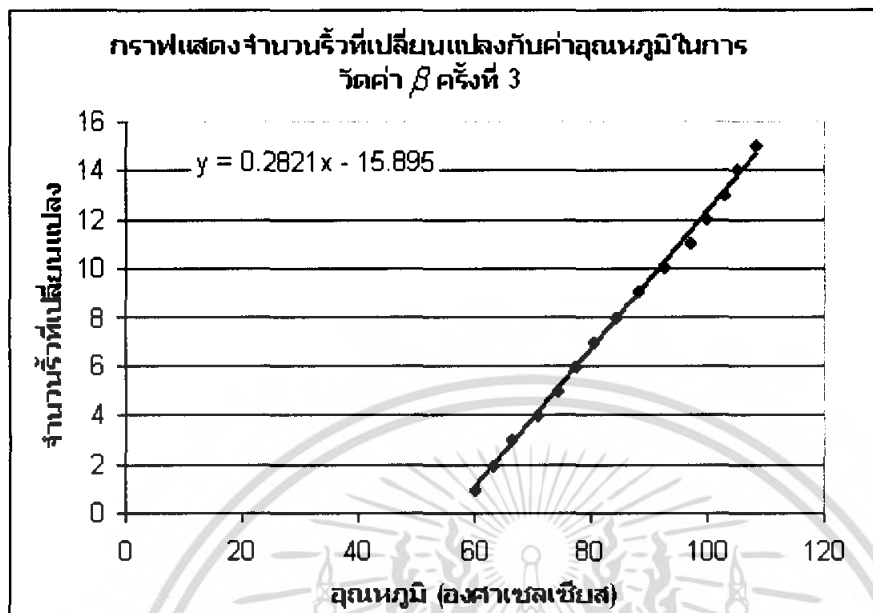
ครั้งที่ 2



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.2637 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

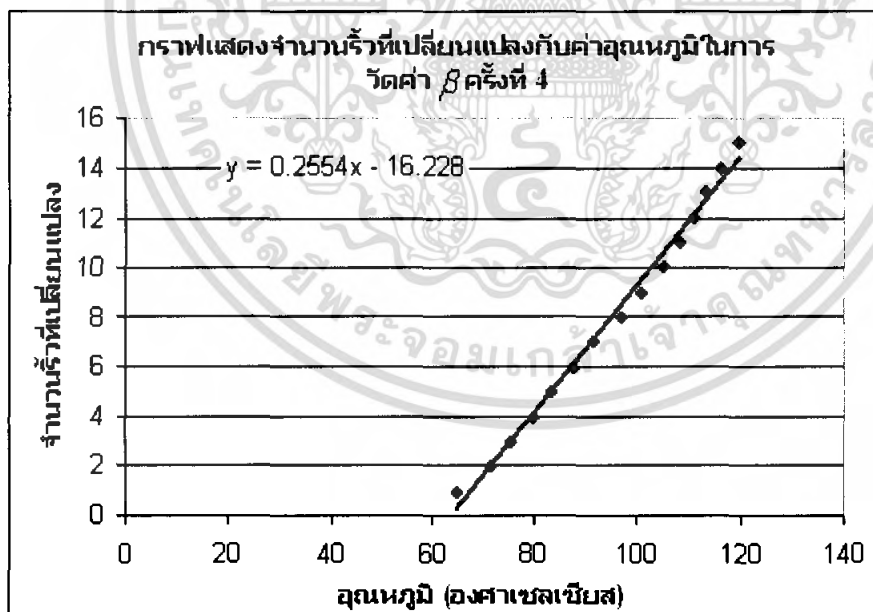
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.2821 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

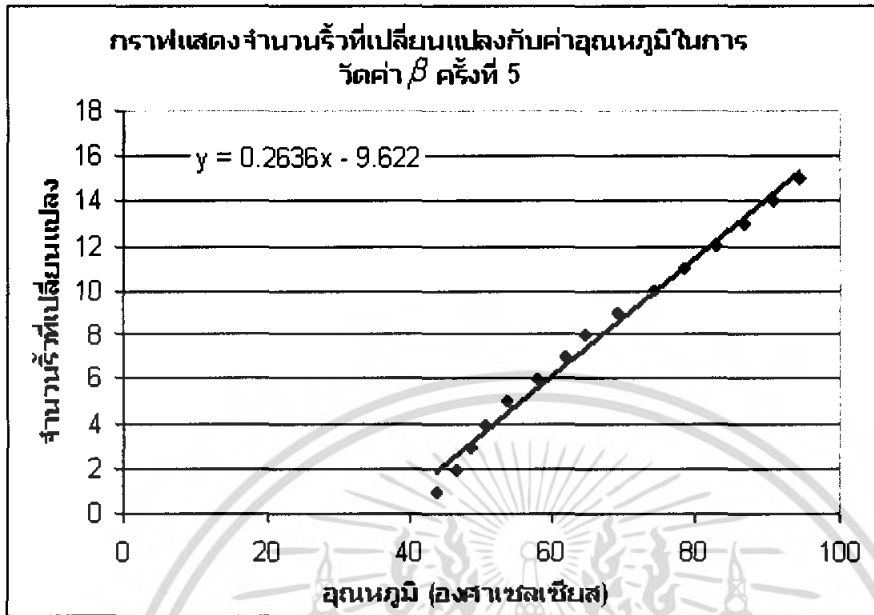
ครั้งที่ 4



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.2554 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

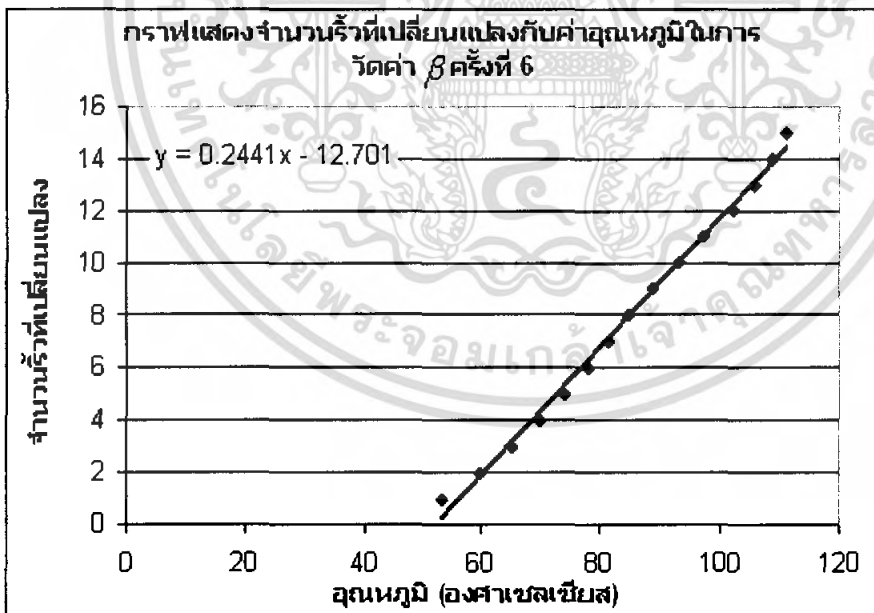
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 5



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.2636 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

ครั้งที่ 6.



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.2441 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

ค่าความชันเฉลี่ย 6 ครั้งเป็น

$$\frac{0.3061 + 0.2637 + 0.2821 + 0.2554 + 0.2636 + 0.2441}{6} = 0.2692$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

จาก
$$\beta = \frac{m_1 \lambda}{2L\Delta T}$$

แทนค่า
$$\beta = \frac{0.2692(^{\circ}C^{-1}) \times 632.8 \times 10^{-9}(m)}{2 \times 0.01012(m)}$$

ได้คำตอบ
$$\beta = 8.4 \times 10^{-6} (^{\circ}C^{-1})$$

การหาค่า γ ของแก้ว

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด โดยทำการทดลองจำนวน 4 ครั้ง

จำนวนรีวการแทรกสอดที่เปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)			
	1	2	3	4
1	45.8	49.8	47.8	49.4
2	47.6	53.6	50.9	51.5
3	49.3	56.7	53.4	53.9
4	51.4	59.5	56	56
5	53.4	61.8	58.5	58
6	55.6	64.1	60.9	60.4
7	57.6	66.6	63.1	62.4
8	59.3	68.7	65.2	64.5
9	61.2	70.9	67.4	66.6
10	63	73.1	69.2	68.6
11	65	75.3	71.2	71.3
12	66.9	77.3	73.2	73.3
13	68.5	79.6	75.2	75.2
14	70.4	81.8	77.5	77.8
15	72.4	84.2	79.4	79.5
16	74	86.6	81.6	81.7
17	75.9	88.5	83.9	83.7
18	77.5	90.6	86.5	85.6
19	79.4	92.3	90.4	87.6

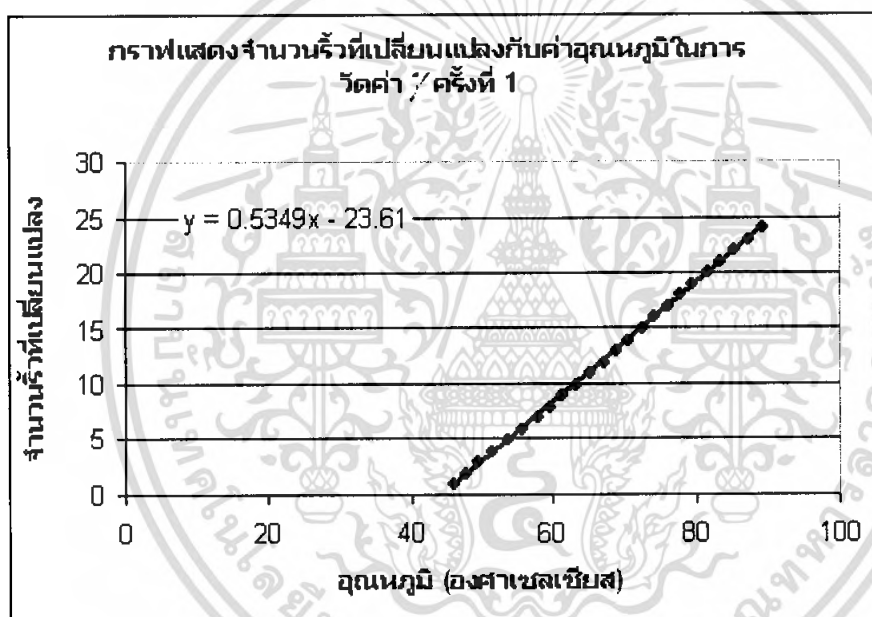
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20	81.4	94.5	92.2	89
21	83.2	96.2	94.5	90.7
22	85.1	98.2	96.8	92.6
23	87.1	99.4	99.2	94
24	89.1	101.4	101.3	96

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนรีวกับอุณหภูมิ $\frac{\Delta m}{\Delta T}$ หาได้จากความชันของกราฟ

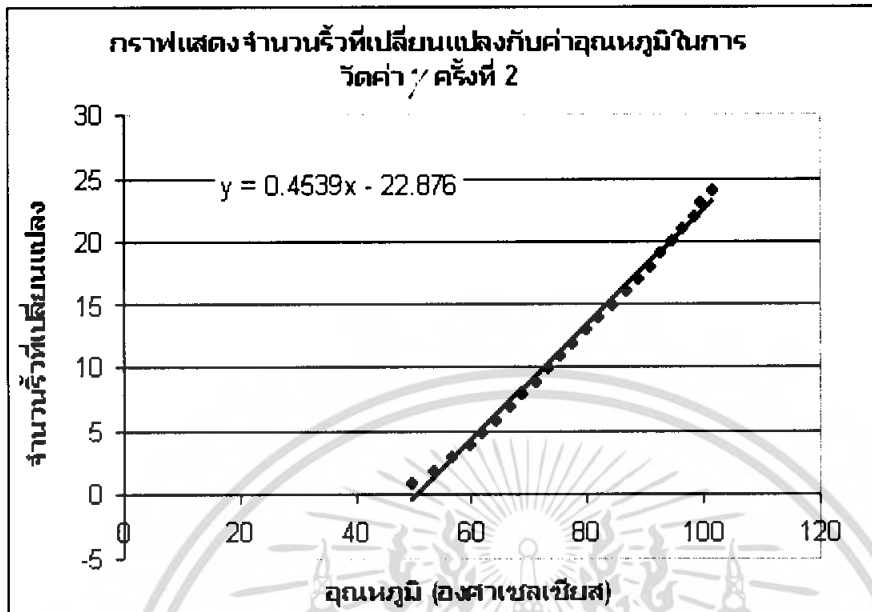
ครั้งที่ 1



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.5349 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

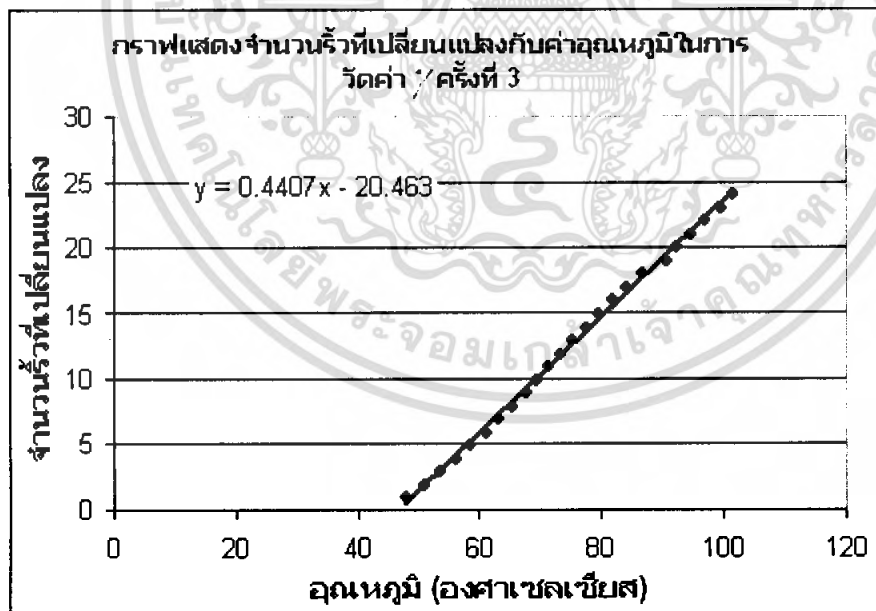
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.4539 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

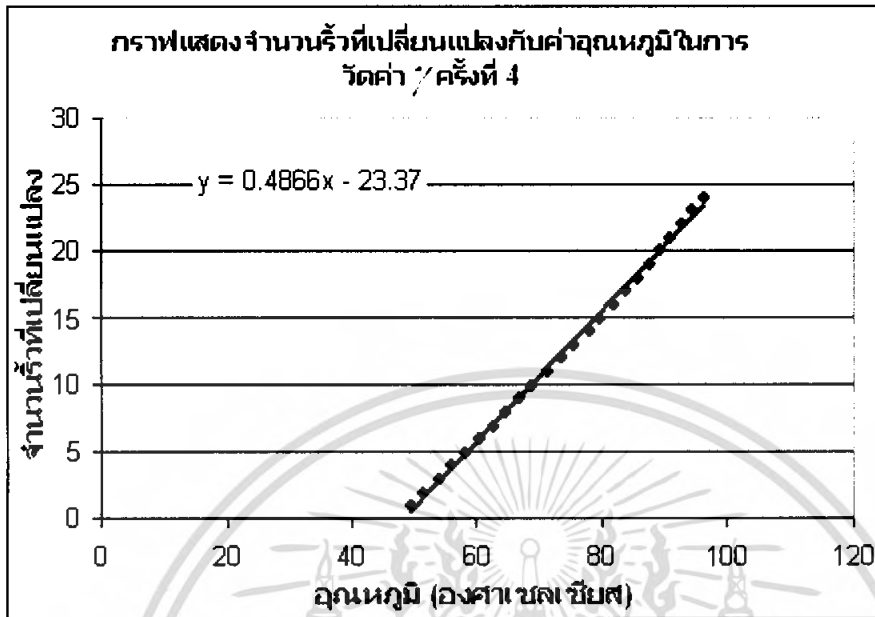
ครั้งที่ 3



ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.4407 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 4

*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.4866 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

ค่าความชันเฉลี่ย 4 ครั้งเป็น

$$\frac{0.5349 + 0.4539 + 0.4407 + 0.4866}{4} = 0.4790$$

การคำนวณ

จาก
$$\gamma = \frac{m_2 \lambda}{2L\Delta T} - n\beta$$

แทนค่า

$$\gamma = \frac{0.4790(^{\circ}\text{C}^{-1}) \times 632.8 \times 10^{-9}(\text{m})}{2 \times 0.01012(\text{m})} - (1.515 \times 8.4321 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1}))$$

ได้คำตอบ
$$\gamma = 2.2 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทองเหลือง

การหาค่า β ของทองเหลือง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรีวการแทรกสอด โดยทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง

จำนวนรีวการแทรกสอดที่เปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
1	59.5	59.2	53.2	53	53.8
2	62.5	60.6	55	54.7	54.4
3	64.1	62.3	56.6	56.6	56.5
4	65.8	64.3	58.3	58.3	58.3
5	67.2	66.1	60	60	60.2
6	69.1	68	61.7	61.8	62
7	70.7	69.8	63.3	63.6	63.9
8	72.5	71.6	65	65.4	65.5
9	74.1	73.4	66.6	67	66.7
10	76	74.8	68.2	68.4	68.6
11	77.6	76.4	69.9	69.9	70.4
12	79.4	78.5	71.4	71.6	72.1
13	81.2	79.8	73.1	73.3	73.7
14	82.9	81.5	74.6	75	75.5
15	84.3	83.1	76.3	76.7	77.6
16	85.7	84.7	78	78.3	79
17	87.6	86.5	79.7	80	80.4
18	89.2	88.2	81.5	81.7	82
19	91.1	89.8	83	83.8	83.5
20	92.6	91.4	84.6	84.7	85.2
21	94.3	93	86.2	86.3	87
22	96.1	94.7	87.7	87.9	88.9
23	97.9	96.2	89.3	89.7	90.5
24	99.5	97.5	90.9	91.5	92.2

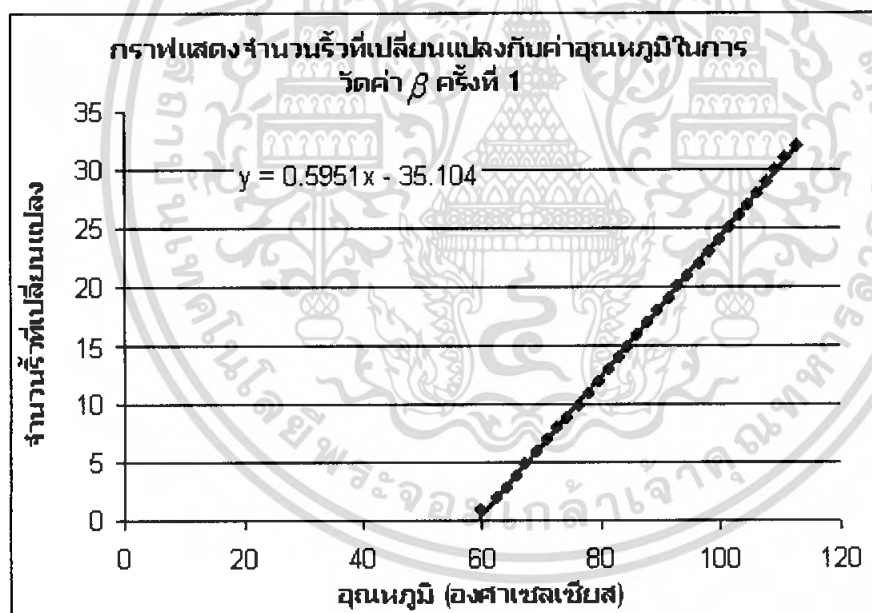
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	101.2	99.2	92.6	92.8	93.8
26	102.8	101.3	94.2	94.8	95.5
27	104.4	102.7	95.8	96.3	97.1
28	105.9	104.3	97.6	98.2	98.6
29	107.5	106	99.2	99.8	100.3
30	109.1	107.6	100.8	101.4	101.7
31	110.6	109.1	102.2	102.5	103
32	112.5	110.3	104.1	104.2	104.7

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแทรกสอด

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนรีวกับอุณหภูมิ $\frac{\Delta m}{\Delta T}$ หาได้จากค่าความชันของกราฟ

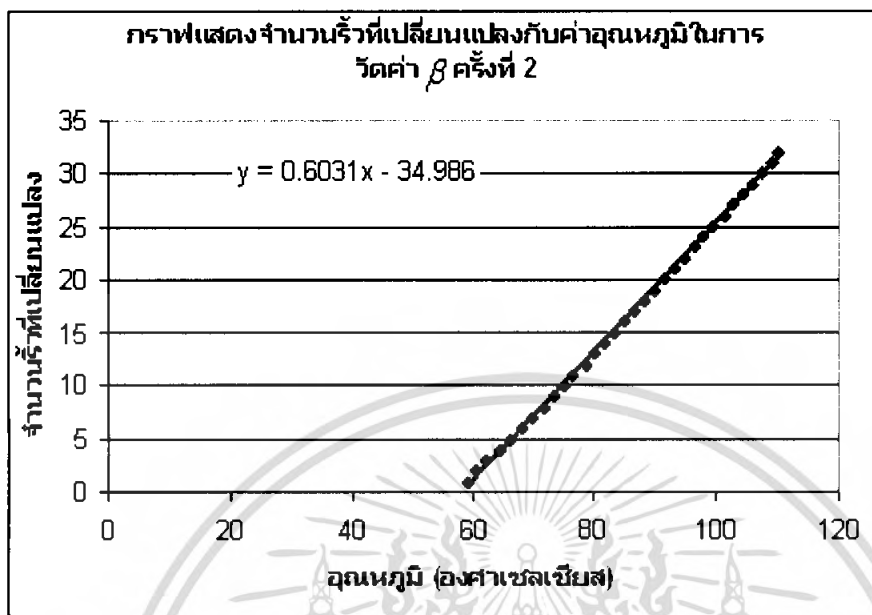
ครั้งที่ 1



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.5951 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

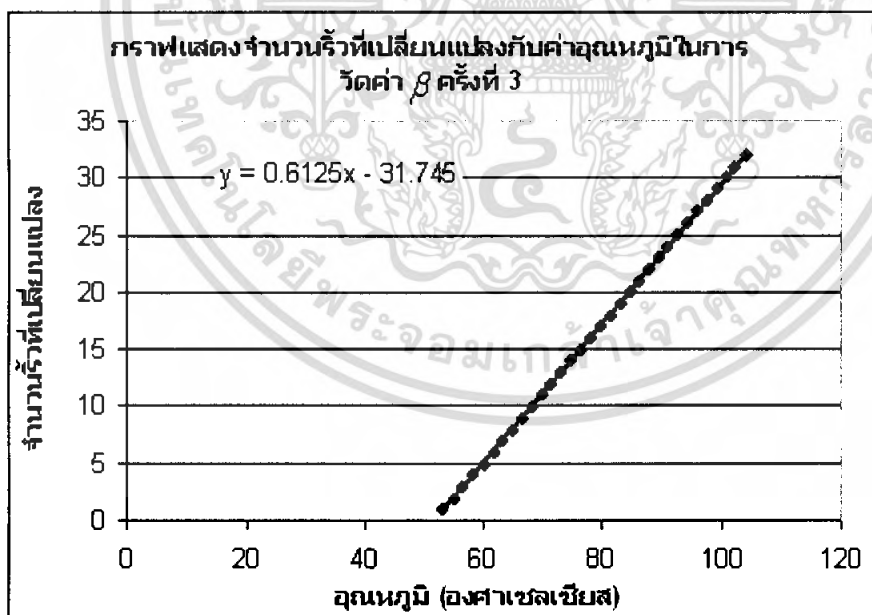
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.6031 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

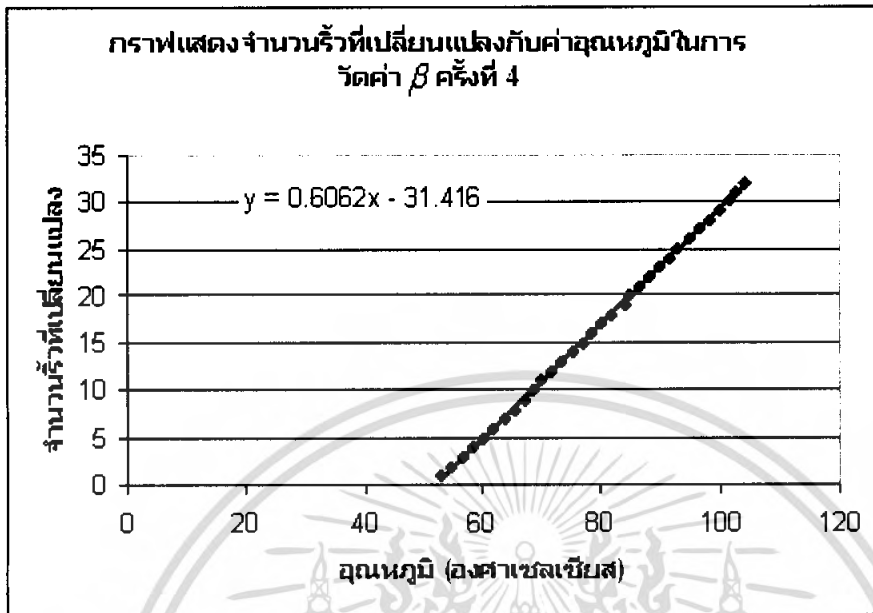
ครั้งที่ 3



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.6125 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

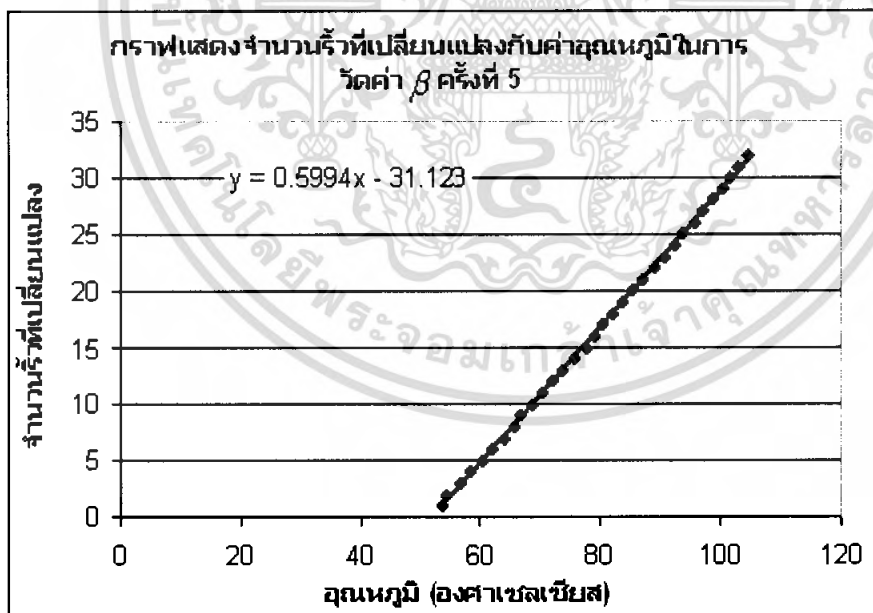
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 4



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.6062 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

ครั้งที่ 5



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.5994 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

ค่าความชันเฉลี่ย 5 ครั้งเป็น

$$\frac{0.5951 + 0.6031 + 0.6125 + 0.6062 + 0.5994}{5} = 0.6033$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{จาก } \beta = \frac{m_1 \lambda}{2L\Delta T}$$

$$\text{แทนค่า } \beta = \frac{0.6033(^{\circ}\text{C}^{-1}) \times 632.8 \times 10^{-9}(\text{m})}{2 \times 0.01012(\text{m})}$$

$$\text{ได้คำตอบ } \beta = 18.9 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1})$$

4.3 อลูมิเนียม

การหาค่า β ของอลูมิเนียม

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิต่าง ๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงรีจิวการแทรกสอด โดยทำการทดลองจำนวน 6 ครั้ง

จำนวนรีจิวการแทรกสอดที่เปลี่ยนแปลง	อุณหภูมิที่วัดได้ (องศาเซลเซียส)					
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
1	41.2	56.3	50.2	50.3	49	53.5
2	42.5	57.8	51.5	51.7	50.3	54.9
3	43.9	59.3	53.3	53.3	51.5	56.2
4	45.3	60.6	54.7	54.5	52.9	57.5
5	46.7	62	56	55.9	54.2	58.8
6	48.2	63.3	57.4	57.3	55.5	60.2
7	49.6	64.5	58.8	58.7	56.8	61.5
8	50.8	65.7	60.4	60.1	58.1	62.8
9	52.3	67.1	61.6	61.4	59.3	64.2
10	53.6	68.6	62.9	62.6	60.5	65.7
11	54.9	69.9	64.2	63.7	61.9	66.8
12	56.2	71.1	65.4	65	63.4	68.1
13	57.5	72.4	66.9	66.3	64.7	69.3
14	59.3	73.7	68.3	67.6	66.2	70.7
15	60.8	75	69.8	69.1	67.7	71.9
16	62	76.4	70.9	70.4	69.1	73.2
17	63.3	77.8	72.5	71.6	70.3	74.5

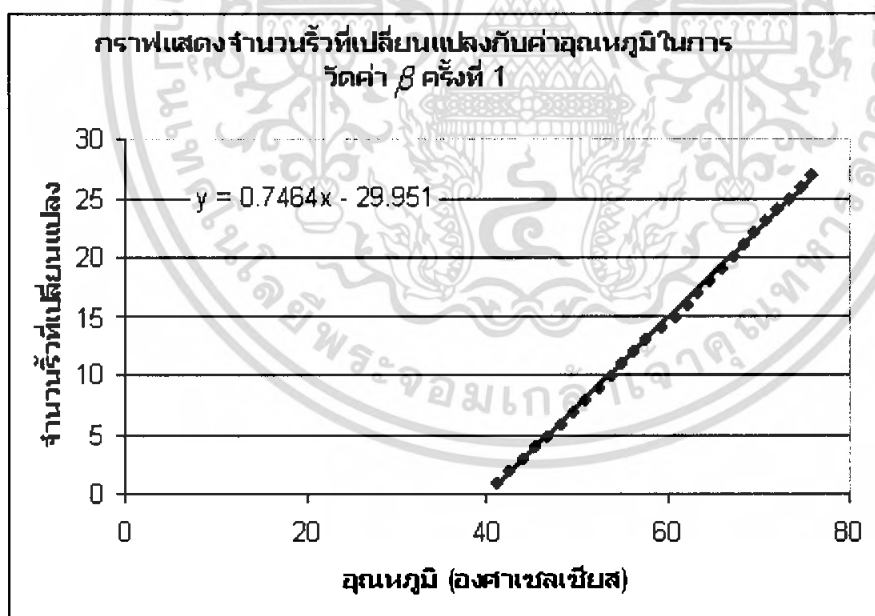
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18	64.6	79.1	73.9	72.9	71.5	75.8
19	65.9	80.4	74.9	74.3	72.7	77.2
20	67.1	81.7	76	75.4	73.9	78.5
21	68.2	83	77.3	76.9	75.2	79.8
22	69.5	84.2	78.7	78.2	76.7	81.2
23	70.7	85.5	80.1	79.5	78	82.5
24	72	86.8	81.4	80.8	79.5	83.7
25	73.3	88	82.6	82	80.8	84.9
26	74.7	89.3	83.7	83.4	82.3	86.2
27	75.8	90.6	84.9	84.5	83.6	87.6

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าอุณหภูมิต่างๆ ที่วัดได้ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรแทรกสอด

ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจำนวนรีฟกับอุณหภูมิ $\frac{\Delta m}{\Delta T}$ หาได้จากค่าความชันของกราฟ

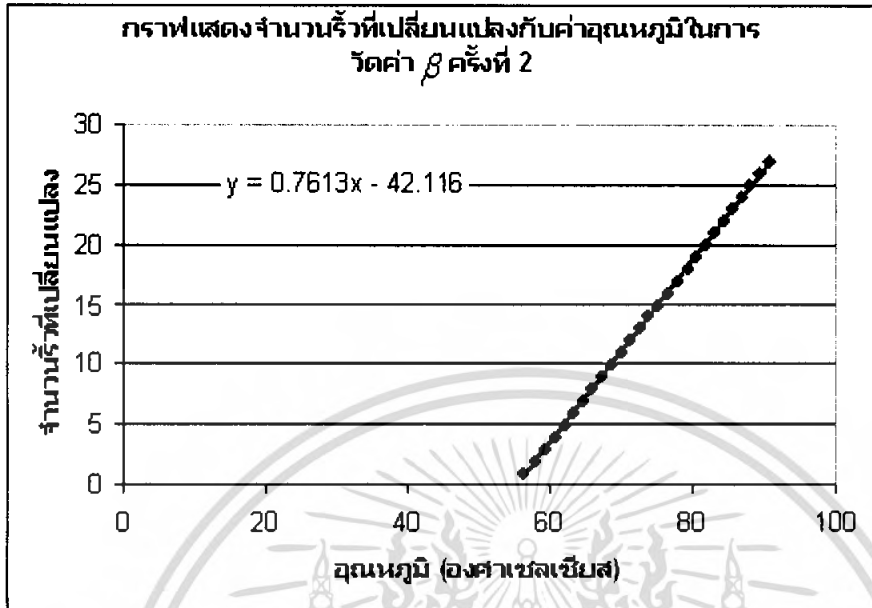
ครั้งที่ 1



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7464 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

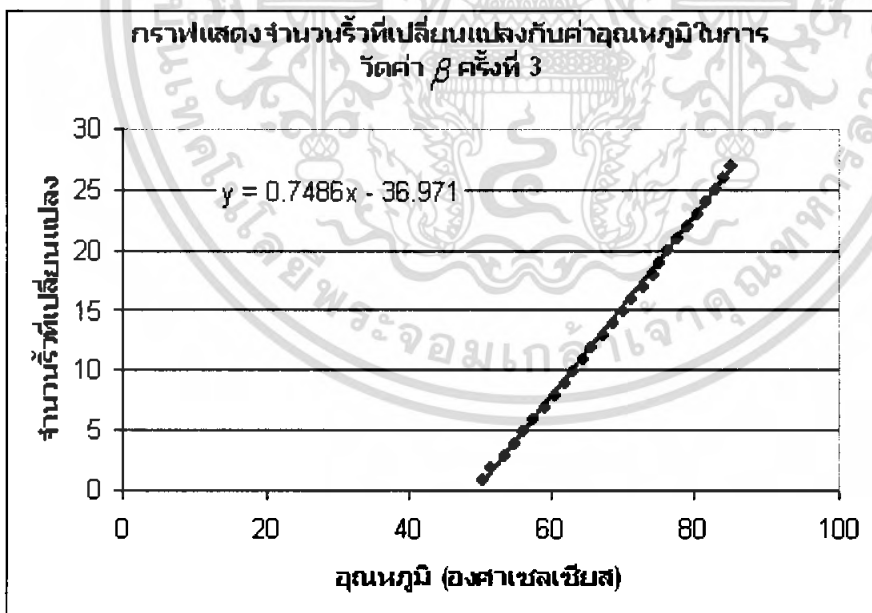
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 2



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7613 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

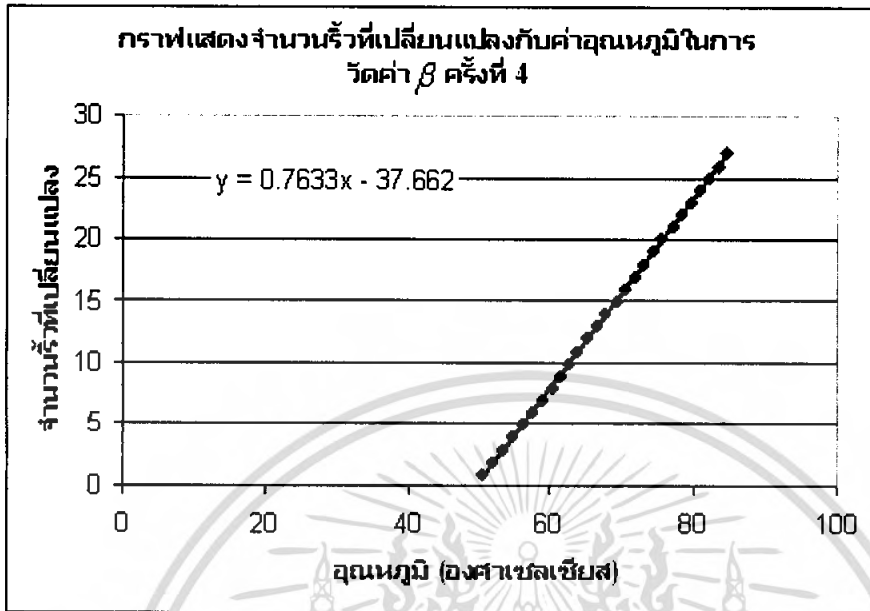
ครั้งที่ 3



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7486 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

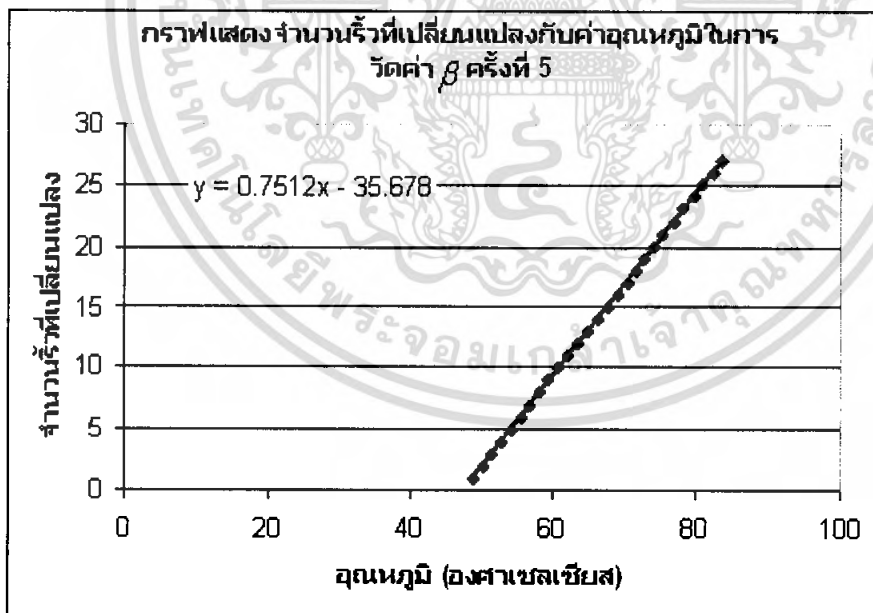
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 4



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7633 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

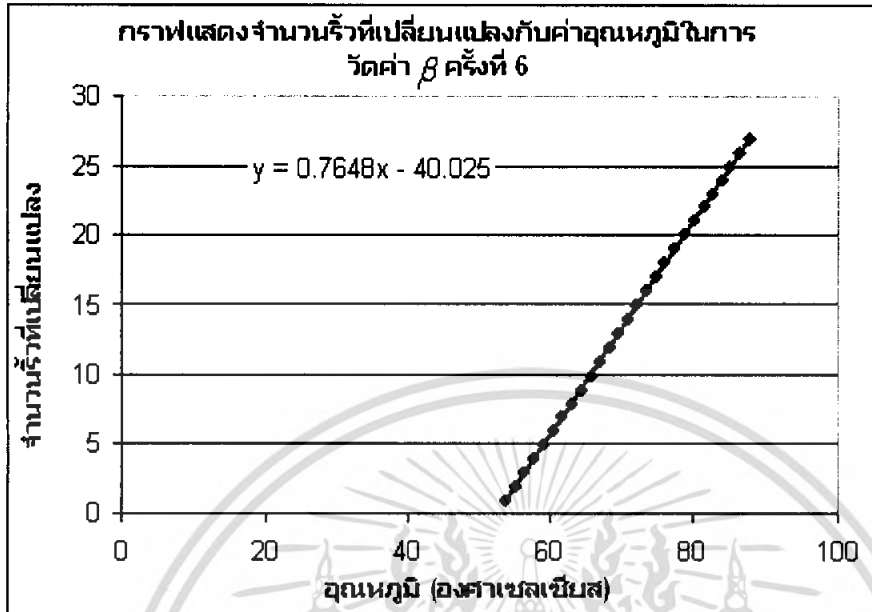
ครั้งที่ 5



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7512 \text{ (}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 6



*ได้ค่าความชันเท่ากับ $0.7648 (^{\circ}\text{C}^{-1})$

ค่าความชันเฉลี่ย 6 ครั้งเป็น

$$\frac{0.7464 + 0.7613 + 0.7486 + 0.7633 + 0.7512 + 0.7648}{6} = 0.7559$$

การคำนวณ

จาก
$$\beta = \frac{m_1 \lambda}{2L\Delta T}$$

แทนค่า
$$\beta = \frac{0.7559(^{\circ}\text{C}^{-1}) \times 632.8 \times 10^{-9} (m)}{2 \times 0.01012 (m)}$$

ได้คำตอบ
$$\beta = 23.6 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C}^{-1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะสังเกตเห็นว่าการบันทึกค่าอุณหภูมิในแต่ละรีวการแทรกสอดที่สังเกตเห็นนั้น มีค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (ΔT) ในแต่ละรีวที่ได้ค่าพอ ๆ กันในแต่ละรีว และเมื่อทำการคำนวณออกมาแล้วนำมาทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องมาจากความร้อนของวัสดุในแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐาน พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 5.1

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นตามอุณหภูมิ ($\times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)		
	ค่ามาตรฐาน	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าคลาดเคลื่อน
แก้ว	9	8.4	6.6%
ทองเหลือง	19	18.9	0.5%
อลูมิเนียม	23	23.6	2.6%

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อนของที่ได้จากการทดลองของค่า β (Halliday; Resnick and Walker 1997)

แสดงว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความเชื่อถือได้พอสมควร

ผลการทดลองที่ได้อาจจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องมาจากความร้อนของวัสดุที่คลาดเคลื่อนไปจากค่ามาตรฐาน น่าจะมีสาเหตุหลักมาจาก

- อุณหภูมิของวัสดุที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์แบบเทอร์โมคัปเปิลนั้นเป็นการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุไปสู่หัววัดอุณหภูมิ ซึ่งในขณะที่ทำการบันทึกผลของค่าอุณหภูมินั้น อาจจะยังไม่ถึงจุดที่เป็นสภาวะสมดุลทางความร้อน นั่นก็คืออุณหภูมิของหัววัดที่เราสังเกตเห็นและทำการจดบันทึกนั้นอาจจะยังไม่เท่ากับอุณหภูมิของวัสดุ และวัสดุที่ร้อนขึ้นนั้นอาจจะมีอุณหภูมิไม่เท่ากันทั้งหมดในเนื้อวัสดุ ทำให้อุณหภูมิที่สังเกตเห็นนั้นไม่ได้เป็นอุณหภูมิจริงของวัสดุ

- การสังเกตรีวการแทรกสอดที่เกิดขึ้นบนฉากนั้นเป็นการสังเกตโดยใช้ตาเปล่า ซึ่งลักษณะของรีวที่เราสังเกตในการเลื่อนตำแหน่งรีวแต่ละรีวอาจจะสังเกตได้ผิดพลาดไป ไม่ตรงกับตำแหน่งเดิมที่ทำการสังเกต ทำให้ในการจดบันทึกอุณหภูมิในแต่ละรีวการแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีความผิดพลาดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบที่ให้ความร้อนในการทดลองนี้ไม่ได้เป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอุณหภูมิกันระหว่างสิ่งแวดล้อมกับระบบที่ทำการทดลอง อุณหภูมิที่เราวัดนั้นอาจเกิดการแปรปรวน

- ในขณะที่ทำการทดลองต้องใช้ความร้อนให้แก่ระบบด้วย ทำให้วัสดุตัวอย่างที่อยู่ในอ่างอุณหภูมิเนี่ยมีการเคลื่อนที่เล็กน้อย รั้วการแทรกสอดจึงเปลี่ยนตำแหน่งตามไปด้วยเช่นกัน การสังเกตรั้วการแทรกสอดก็อาจจะผิดพลาดตามไปด้วย

ข้อเสียของการทดลองนี้อีกอย่างหนึ่งก็คือเป็นการวัดแบบทำลาย โดยต้องเจาะรูวัสดุที่จะทำการวัด เพื่อใส่นิวตสำหรับยึดติดแผ่นที่ใช้ประกบแผ่นแก้วลงไป แต่ข้อดีของวิธีการทดลองนี้คือ ความละเอียดที่วัดได้ของความยาวของวัสดุที่เพิ่มขึ้นตามแนวลำแสงนั้นถือว่ามีความละเอียดมากคือ $\lambda/2$ นาโนเมตร หรือ 316.4 นาโนเมตร

วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อนของวัสดุที่ใช้วิธีทางแสงนี้ สามารถที่จะนำไปใช้วัดกับวัสดุอื่น ๆ ได้อีก ชุดการทดลองนี้ถือว่าเป็นชุดการทดลองที่มีประโยชน์ต่อการศึกษารากฐานทางฟิสิกส์ และคุณสมบัติของวัสดุเป็นอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

- สุทธิชัย พรศักดิ์หาญ. 2548. การวัดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นทางความร้อนของวัสดุ
ด้วย ไมโครสตรัคเจอร์ฟิสิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์
ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ. สุวรรณ กุสราภรณ์. 2537. ทัศนศาสตร์กายภาพ. กรุงเทพฯ. ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะ
วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายพชร รุทธะกาญจน์ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม 2528 เป็นบุตรคนที่สองของตระกูล รุทธะกาญจน์ จากจำนวนพี่น้องทั้งหมด 2 คน บิดาชื่อ นายศรทูล รุทธะกาญจน์ และมารดาชื่อ นางอรุณี รุทธะกาญจน์ ภูมิลำเนาอยู่ที่กรุงเทพฯ เข้ารับการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลพิบูลเวศม์ จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนราชดำริ ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาโพลีเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายธานินทร์ นิมแสง เกิดเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2529 เป็นบุตรคนที่สองของตระกูล นิมแสง จากจำนวนพี่น้องทั้งหมด 2 คน บิดาชื่อ นายสมควร นิมแสง และมารดาชื่อ นางมณฑา นิมแสง ภูมิลำเนาอยู่ที่กรุงเทพฯ เข้ารับการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนเซนต์เจมส์ จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนพรตพิทยพยัต ต่อจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรีในคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สาขาโพลีเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้