

การศึกษาระบบโพลาไรมิเตอร์และการโพลาไรซ์ของสารละลาย
A STUDY OF POLARIMETRY AND POLARIZATION OF
SOLUTION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระเบียบองค์การ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบไปเผยแพร่และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2559

A STUDY OF POLARIMETRY AND POLARIZATION OF
SOLUTION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาระบบโพลาไรมิเตอร์และการโพลาไรซ์ของสารละลาย
ชื่อนักศึกษา	นายศมน พงศ์วิสิษฐ์ รหัสนักศึกษา 56051216
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สุรชาติ กมลดิลก

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้เป็นการหาศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายที่ให้ความหวานว่ามีผลอย่างไรต่อมุมโพลาไรซ์ด้วยเครื่องโพลาไรมิเตอร์ โดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ยิงแสงแบบโพลาไรซ์ผ่านสารตัวอย่างก่อนเข้าสู่ตัวอนาไลเซอร์ที่มีคุณสมบัติแบบเดียวกับโพลาไรเซอร์ก่อนที่แสงจะถูกตรวจจับด้วยตัวจับสัญญาณแสง ชุดทดสอบนี้ถูกสร้างขึ้นสำหรับใช้วัดมุมการบิดของแนวโพลาไรซ์ของแสงเลเซอร์เทียบกับมุมบิดแนวโพลาไรซ์ของสารละลายที่ให้ความหวานจากนั้นนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่า Specific Rotation ของสารละลายน้ำตาลเพื่อนำมาเทียบกับค่า Specific rotation มาตราฐานแล้วหาค่าความผิดพลาด จากนั้นใช้ค่าที่ได้มาในการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ไม่ทราบค่าเพื่อทดสอบว่าค่าที่ได้มามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

คำสำคัญ : โพลาไรซ์ โพลาไรมิเตอร์ โพลาไรเซอร์ อนาไลเซอร์ Specific Rotation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Study of Polarimetry and Polarization of Solution
Student	Mr.Samana Phongwisit student ID 56051216
degree	Bachelor of Science (Applied physics)
Department	Physics
Faculty	Sciences
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Lecterer Surachart Kamondilok

Abstract

In this special project is to determine the intensity of a solution with polarimeter. By using a laser light source that give polarization light through the sample and analyzer. Analyzer have the same property to polarizer. Then the light was detect by Photodetector. This test kits create for measured twisted polarized angle of laser light compare with twisted polarized angle of sweetness solution and then analyze that data to find Specific Rotation value of sweetness solution and compare with standard Specific Rotation value to find the error. Next, use the specific rotation value to find the intensity of a sweetness solution we do not know the value to test how accurate the value is.

Keyword : Polarization Polarimeter Polarizer Analyzer Specific rotation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์สุรชาติ กมลดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและการตรวจสอบแก้ไข ดำเนินการจัดโครงการพิเศษ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและเป็นพระคุณอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณอาจารย์ในสาขาวิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำและความคิดเห็นเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ได้ข้อมูลครบถ้วนในงานวิจัยครั้งนี้

คุณงานความดีอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่งและคณาจารย์ผู้ประสาทวิชาความรู้ตลอดจนสหายทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งโครงการพิเศษฉบับนี้จบลงด้วยดี

ศมน พงศ์วิศิษฐ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ(ต่อ)	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ที่มาของระบบ	2
2.2 โพลาริเซชันของแสง	2
2.2.1 โพลาริเซชันโดยการดูดกลืน	4
2.2.2 โพลาริเซชันโดยการสะท้อน	5
2.2.3 โพลาริเซชันโดยการหัก	6
2.2.4 โพลาริเซชันโดยการกระเจิง	6
2.3 Polarimeter	7
2.4 Optical Activity	7
2.5 Specific Rotation	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์การสร้างชุดทดสอบ	9
3.1.1 แหล่งกำเนิดแสง ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ (He-Ne laser)	9
3.1.2 โพลาริเซอร์ (Polarizer) และ Polarizer holder	9
3.1.3 คิวเวตต์ (Cuvette)	10
3.1.4 Photodetector	10
3.1.5 Digital Multimeter	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.6 สารละลายน้ำตาล	11
3.2 สร้างแบบจำลอง	12
3.3 การศึกษามุมบิตแนวโพลาริซ์เนื่องจากสารละลายน้ำตาล	12
บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลการทดลอง	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ให้ความหวานและมุมบิตแนวโพลาริซ์ของสารละลาย	13
4.2 การเตรียมสารละลาย	13
4.3 วิธีการทดสอบ	15
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกราฟ	15
4.5 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลซูโคส	16
4.6 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลกลูโคส	17
4.7 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลกลูโคส	18
4.8 กราฟผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ	19
4.9 วิเคราะห์ค่าความชันจากกราฟ	20
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	21
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย	21
5.3 ข้อเสนอแนะ	22
5.4 แนวทางในการพัฒนา	22
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างค่า Specific Rotation ของน้ำตาลชนิดต่างๆ	8
4.1 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°) ของซูโคส	16
4.2 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n) ของซูโคส	16
4.3 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$) ของซูโคส	16
4.4 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°) ของกลูโคส	17
4.5 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n) ของกลูโคส	17
4.6 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$) ของกลูโคส	17
4.7 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°) ของฟรุคโตส	18
4.8 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n) ของฟรุคโตส	18
4.9 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$) ของฟรุคโตส	18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปตัวอย่างแสดงการโพลาไรซ์ของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านโพลาไรเซอร์หนึ่งตัว	2
2.2 รูปตัวอย่างแสงโพลาไรซ์เมื่อแสงเดินทางออกจากโพลาไรเซอร์ 2 ตัวโดยที่โพลาไรเซอร์ทั้งสองทำมุมต่างกัน	3
2.3 รูปแสดงมุมบรีวสเตอร์	3
2.4 โพลาไรเซชันโดยการเลือกดูดกลืน ด้วยแผ่นโพลาไรเซอร์สองแผ่น	4
2.5 การสะท้อน (a) กรณีทั่วไป (b) กรณีที่สะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์	5
2.6 โพลาไรซ์โดยการสะท้อนในผลึกแคลไซต์ทำให้ลำแสง E ray และ O ray ที่โพลาไรซ์	6
2.7 การกระเจิงของแสงโดยโมเลกุลในอากาศ	6
2.8 ตัวอย่างเครื่องโพลาริมิเตอร์	7
2.9 ผลึกมือซ้ายและผลึกมือขวา	8
3.1 He-Ne Laser	9
3.2 Polarizer และ Polarizer holder	10
3.3 Cuvette	10
3.4 Photodetector	11
3.5 Digital multimeter	11
3.6 ตัวอย่างไดอะแกรม Polarimeter	12
4.1 ตัวอย่างการชั่งตวงสาร (ก) และสารละลายหลังจากบรรจุแล้ว (ข)	14
4.2 ตัวอย่างการวัดมุมโพลาไรซ์	15
4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส	19
4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลกลูโคส	19
4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโทส	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางแสงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์อย่างแพร่หลายมากขึ้น โดยการศึกษาการบิดแนวโพลาไรซ์เนื่องมาจากสารละลายและการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วยโพลาไรมิเตอร์ก็เป็นหนึ่งในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังกล่าว

ในทางด้านเกษตรกรรมได้มีผู้ผลิตน้ำผึ้งออกมาวางจำหน่ายมากมาย โดยที่ผู้ผลิตไม่อาจทราบว่ามีผึ้งที่เลี้ยงควรจะเลี้ยงด้วยน้ำหวานจากดอกไม้ชนิดใด จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบระดับความหวานของน้ำผึ้งขึ้นมา ซึ่งหนึ่งในข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์นี้คือ ความเข้มข้นของสารละลายซึ่งเป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำผึ้งด้วยชุดการทดลองโพลาไรมิเตอร์

ในงานวิจัยขั้นนี้ผู้ทดลองได้ทำการสร้างชุดศึกษาระบบโพลาไรมิเตอร์ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์เข้ามาช่วย คาดว่าชุดการทดลองนี้สามารถวัดความเข้มข้นของสารละลายออกมาได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษากระบวนการโพลาไรซ์ของแสงที่มีผลต่อสารละลาย
- 2) สามารถผลิตชุดทดสอบความหวานของสารละลายจากการโพลาไรซ์ของแสง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) สามารถออกแบบและจัดชุดทดลองเพื่อวัดความหวานของสารละลายด้วยการโพลาไรซ์
- 2) สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่ให้ความหวานได้
- 3) นำชุดทดลองมาวัดความหวานของสารละลายน้ำตาลได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีทักษะในการจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้โพลาไรมิเตอร์
- 2) มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของเครื่องโพลาไรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

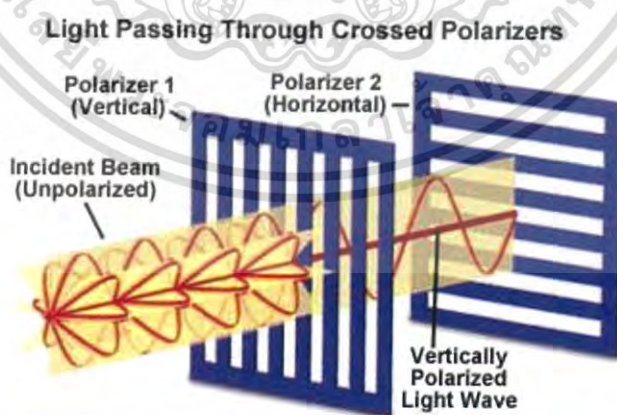
ในการศึกษาระบบโพลาไรมิเตอร์เพื่อใช้หาความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งจะทำการวัดการหมุนของแสงโพลาไรซ์ที่บิดไปเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านสารละลาย

2.1 ที่มาของระบบ

ของเหลวบางชนิดมีสมบัติ optical activity เช่น สารละลายน้ำตาล ซึ่งการบิดมุมของแนวโพลาไรซ์จะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของสารละลาย เครื่องมือที่สามารถวัดมุมของแนวโพลาไรซ์ได้ก็มีแต่โพลาไรมิเตอร์

2.2 โพลาไรเซชันของแสง

โพลาไรเซชัน เป็นปรากฏการณ์ของคลื่นตามขวาง คือ เป็นคลื่นที่มีระนาบการสั่นในระนาบใดระนาบหนึ่งเพียงระนาบเดียว คลื่นแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงส่วนใหญ่จะเป็นคลื่นที่มีระนาบการสั่นของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าหลายระนาบจึงเป็นแสงที่ไม่โพลาไรซ์ ถ้าเราเอาแผ่นโพลาไรรอยด์ไปกั้น (Analyzer) แสงที่ผ่านแผ่นโพลาไรรอยด์มาจะเป็นแสงที่มีระนาบการสั่นเพียงระนาบเดียวตามแกนของแผ่นโพลาไรรอยด์ แสงที่ผ่านมานี้เรียกว่าแสงโพลาไรซ์ (ความเข้มของแสงจะลดไปครึ่งหนึ่งจากเดิม) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างแสดงการโพลาไรซ์ของแสงเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านโพลาไรเซอร์หนึ่งตัว (ที่มา http://www.sa.ac.th/winyoo/light/light_physical/polarization_light.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

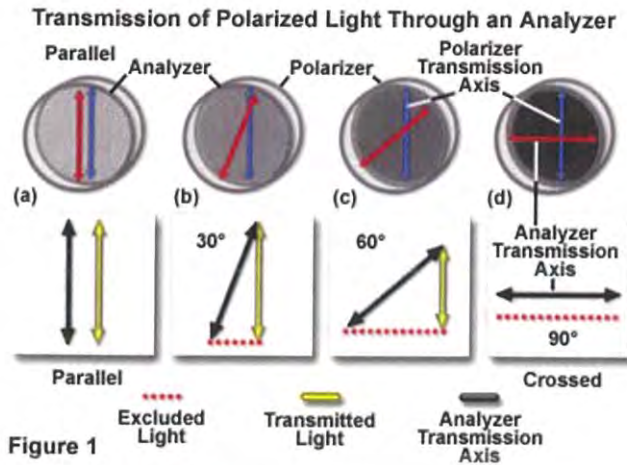


Figure 1

รูปที่ 2.2 รูปตัวอย่างแสงโพลาไรซ์เมื่อแสงเดินทางออกจากโพลาไรซ์เซอร์ 2 ตัวโดยที่โพลาไรซ์เซอร์ทั้งสองทำมุมต่างกัน

(ที่มา http://www.sa.ac.th/winyoo/light/light_physical/polarization_light.htm)

นอกจากการใช้แผ่นโพลาไรซ์แล้ว แสงโพลาไรซ์อาจเกิดจากการสะท้อนได้ ตามหลักของบรีวสเตอร์(Brewster) กล่าวไว้ว่า “ถ้าแสงไม่โพลาไรซ์ตกกระทบกับตัวกลางด้วยมุมตกกระทบค่าหนึ่งแล้วพอดีทำให้แสงสะท้อนและแสงหักเหตั้งฉากกันแสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์ตั้งรูป เมื่อแสงตกกระทบทำมุม (θ) ในตัวกลางหนึ่งแล้วทำให้ลำแสงสะท้อนและลำแสงหักเหทำมุมกัน 90° ดังในรูปที่ 1 (Figure 1) เราเรียกมุมตกกระทบว่ามุม “มุมบรีวสเตอร์” (brewsters angle)

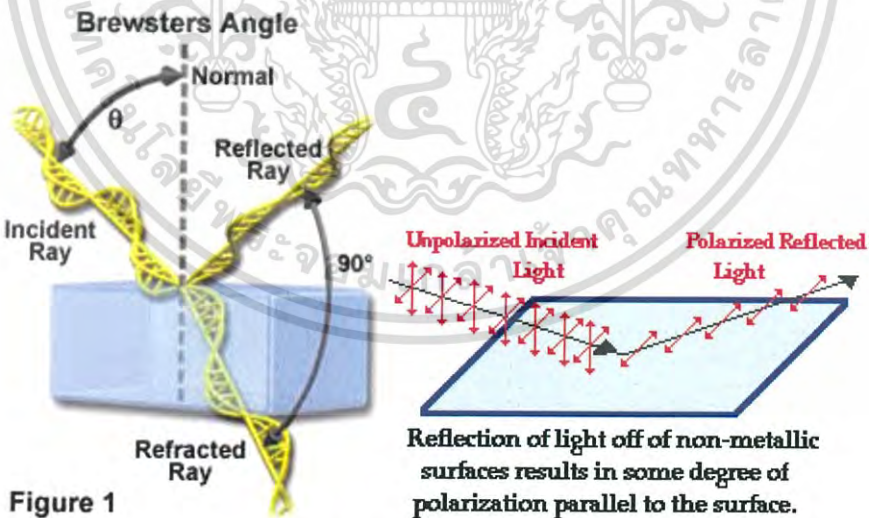


Figure 1

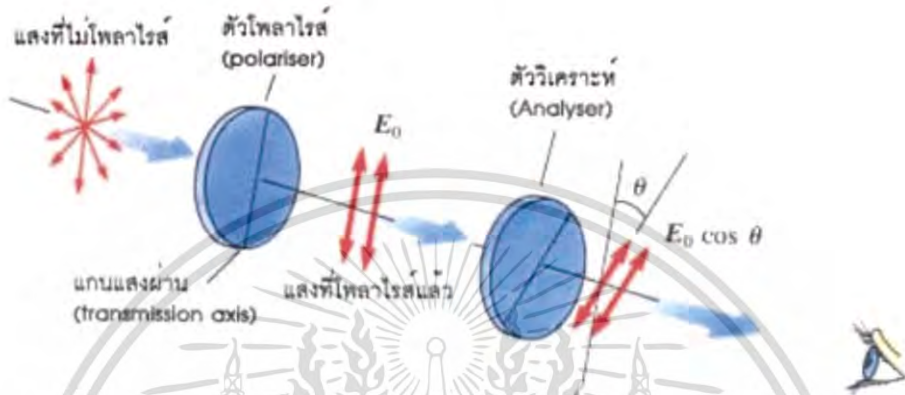
รูปที่ 2.3 รูปแสดงมุมบรีวสเตอร์

(ที่มา http://www.sa.ac.th/winyoo/light/light_physical/polarization_light.htm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โพลาริเซชันโดยการดูดกลืน

ในงานวิจัยชิ้นนี้ เราได้ศึกษาแล้วตัดสินใจจะใช้วิธีการสร้างแสงโพลาไรซ์ด้วยกระบวนการโพลาไรซ์โดยการดูดกลืน วิธีนี้จะต้องใช้วัสดุที่มีสมบัติไดโครอิกที่ยอมให้แสงที่มีทิศโพลาไรซ์เดียวผ่านและดูดกลืนแสงที่มีระนาบโพลาไรซ์อื่นๆ เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาสังเคราะห์เป็นแผ่น polarizer จะทำให้แสงที่ส่องผ่านวัสดุดังกล่าวมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว



รูปที่ 2.4 โพลาริเซชันโดยการเลือกดูดกลืน ด้วยแผ่นโพลาไรเซอร์สองแผ่น
(ที่มา <http://tonanasia.com>)

การใช้แผ่นโพลาไรเซอร์สองแผ่นเรียกว่า polarizer และ analyzer ตามลำดับการวางดังที่แสดงในรูป 2.4 จึงทำให้แสงลดค่าความเข้มลงเป็นค่าต่างๆดังนี้

เมื่อแสงผ่านโพลาไรเซอร์ตัวแรกคลื่นแสงจะมีเวกเตอร์สนามไฟฟ้า E_1 สันในทิศทางเดียว เมื่อแสงผ่านโพลาไรเซอร์แผ่นที่(อนาไลเซอร์) ที่มีสมบัติเหมือนกันแต่บิดแนวแกนเทียบกับมุมของโพลาไรเซอร์ตัวแรกคลื่นแสงผ่านอนาไลเซอร์จะมีค่าสนามไฟฟ้าลดลงเป็น E_2 ที่มีค่า

$$E_2 = E_1 \cos \theta$$

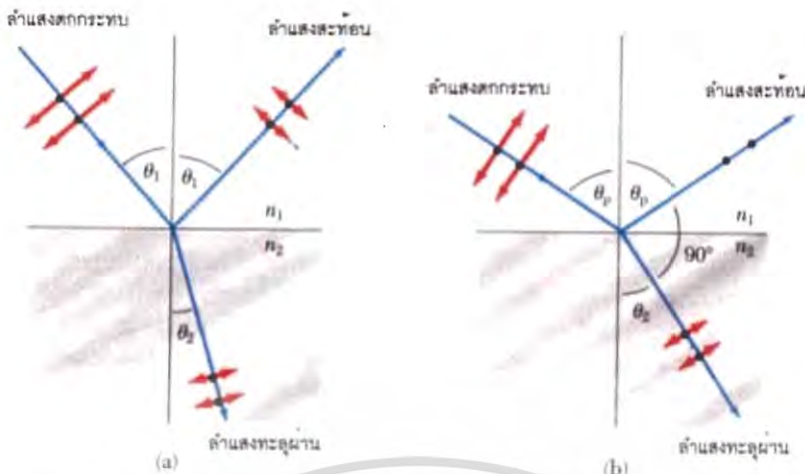
จากทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าความเข้มแสง (I) จะแปรผันตามค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง ดังนั้น

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

เรียกว่า Malus's law ใช้กับแสงที่โพลาไรซ์เชิงเส้น(หรือระนาบ)เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โพลาริเซชันโดยการสะท้อน



รูปที่ 2.5 การสะท้อน (a) กรณีทั่วไป (b) กรณีที่สะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์
(ที่มา <http://tonanasia.com>)

เมื่อแสงที่ไม่โพลาไรซ์ตกกระทบผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง n_1 และ n_2 ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 แสงสะท้อนจะเป็นแสงโพลาไรซ์ได้เมื่อมุมระหว่างรังสีสะท้อนกับรังสีหักเหเป็นมุมฉาก

จากรูปที่ 2.5

$$\theta_p + 90^\circ + \theta_2 = 180^\circ$$

$$\theta_2 = 90^\circ - \theta_p$$

โดยที่ θ_p คือมุมโพลาไรซ์ (Polarizing Angle) เป็นมุมตกกระทบ (ซึ่งเท่ากับมุมสะท้อน) ที่ทำให้เกิดการสะท้อนเป็นแสงโพลาไรซ์ทั้งหมดและ θ_2 คือมุมหักเห
ใช้กฎของสเนลล์

$$n_1 \sin \theta_p = n_2 \sin \theta_2$$

แทนค่า $n_1 = 1$ (อากาศ) , $n_2 = n$ (วัสดุใดๆ)

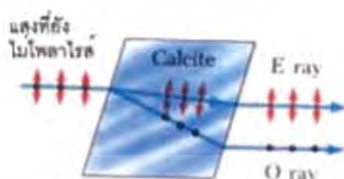
$$\sin \theta_p = n \sin(90^\circ - \theta_p) = n \cos \theta_p$$

$$n = \tan \theta_p$$

เรียกว่า Brewster's law สามารถใช้หาค่าดัชนีหักเหของวัสดุโดยการวัดค่ามุมโพลาไรซ์ค่าเดียว เอกสารนี้เขียนเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
หากมีการนำไปใช้

2.2.3 โพลารไรซ์โดยการหักเห

วัสดุบางชนิดเช่นแคลไซต์หรือควอทซ์ มีคุณสมบัติที่เรียกว่า Birefringent คือมีค่าดัชนีหักเหสองค่า เนื่องจากแสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากันในแต่ละทิศทางของผลึก เมื่อฉายแสงที่ไม่โพลารไรซ์เข้าสู่ผลึกของวัสดุเหล่านั้น แสงที่หักเหออกมาจึงเป็นแสงโพลารไรซ์

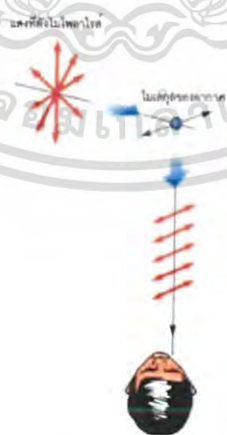


รูปที่ 2.6 โพลารไรซ์โดยการสะท้อนในผลึกแคลไซต์ทำให้ลำแสง E ray และ O ray ที่โพลารไรซ์ (ที่มา <http://tonanasia.com>)

2.2.4 โพลารไรซ์โดยการกระเจิง

เมื่อแสงที่ไม่โพลารไรซ์เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มอนุภาค เช่น ควันแสงแดดผ่านอากาศ จะเกิดปรากฏการณ์กระเจิง (Scattering) แสงที่กระเจิงจะโพลารไรซ์บางส่วน

พิจารณา คลื่นแสงความยาวคลื่น λ ตกกระทบโมเลกุลก๊าซในอากาศ ขนาด d โดย $d \ll \lambda$ (โมเลกุลออกซิเจนและไนโตรเจนในบรรยากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับ 0.2 นาโนเมตร) เนื่องจากความเข้มแสงที่กระเจิงมีค่าแปรผกผันตาม λ^4 ดังนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นสั้น (แสงสีน้ำเงิน) สามารถกระเจิงได้มากกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า (เช่นแสงสีแดง) ดังนั้นท้องฟ้าจึงปรากฏให้เห็นเป็นแสงสีน้ำเงิน



รูปที่ 2.7 การกระเจิงของแสงโดยโมเลกุลในอากาศ (ที่มา <http://tonanasia.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Polarimeter

เป็นอุปกรณ์ในห้องทดลองที่ใช้ในการบ่งชี้มุมของการหมุนของแสง (optical rotation) ของระนาบโพลาไรซ์ของแสงที่วิ่งผ่านตัวกลางชั้นหนึ่ง เครื่องวัดการโพลาไรซ์ปกติประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง อุปกรณ์แยกแสง ตัวกลางตัวอย่าง และวิธีการมองแบบใดแบบหนึ่ง การหมุนของแสงบนสารต่างชนิดกันจะทำให้เกิดความยาวคลื่นและอุณหภูมิที่ต่างกัน ซึ่งอุปกรณ์วัดการโพลาไรซ์จะต้องทำการควบคุมตัวแปรเหล่านี้ สารละลายตัวอย่างที่มีลักษณะการหมุนของระนาบของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่เฉพาะเจาะจง สารละลายตัวอย่างที่มีคุณสมบัตินี้จะถูกเรียกว่า optical activity หรือ optical rotation



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างเครื่องโพลาริมิเตอร์
(ที่มา : [http://www .The polarimeter.htm](http://www.The.polarimeter.htm))

2.4 Optical Activity

ของเหลวบางชนิดที่มีสมบัติ optical activity จะมีสมบัติในการบิดแนวโพลาไรซ์ของแสง เรียกอีกอีกว่า optical rotation เมื่อแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นตกกระทบและแสงที่ผ่านออกมายังคงเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นแต่มีแนวบิดโพลาไรซ์เปลี่ยนไป ระนาบของแสงที่บิดตามเข็มนั้นเป็นผลึกชนิดมือขวา ถ้าบิดในทิศตรงข้ามจะเป็นผลึกชนิดมือซ้าย วัสดุที่มีสมบัติดังกล่าวจะมีโครงผลึกเป็นเกลียว เช่น ควอตซ์ เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาบอนที่จับอยู่กับอะตอมที่แตกต่างกันสี่ชนิด ซึ่งจะมีโครงสร้างได้สองแบบคือแบบมือซ้ายและขวา จากรูปโครงสร้างของโมเลกุลทั้งสองเป็นเหมือนภาพสะท้อนของกันและกันไม่สามารถซ้อนทับกันได้เราจะเรียกโมเลกุลลักษณะนี้ว่าโมเลกุลไครัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลึกมือซ้ายและผลึกมือขวา

2.5 Specific Rotation

Specific rotation คือ มุมที่แนวโพลาไรซ์ของแสงโพลาไรซ์เชิงเส้นที่บิดเมื่อเดินทางผ่านสารละลายที่มีความเข้มข้นค่าหนึ่งที่บรรจุในภาชนะเป็นค่าเฉพาะตัว การบิดของแนวโพลาไรซ์จะขึ้นกับ ชนิด-ธรรมชาติของสารละลาย ความเข้มข้นขององค์ประกอบ optical activity ในสารละลาย ความยาวของเส้นทางเดินแสง ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิด อุณหภูมิ

จากสมการ Specific Rotation ;
$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c} \quad (1)$$

เมื่อ α คือมุมที่แนวแสงโพลาไรซ์บิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลาย

โดยทั่วไป specific rotation เป็นค่าที่วัดที่อุณหภูมิเฉพาะ ปกติคือ 20 องศาที่ความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัม D ของหลอดไฮเดียมที่มีความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร สารบางชนิดที่ทำให้แนวโพลาไรซ์บิดไปในทิศทางเข็มนาฬิกาจะกำหนดให้ค่า แอลฟาเป็นบวก ถ้าทวนเข็มนาฬิกาเป็นลบดังที่แสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างค่า Specific Rotation ของน้ำตาลชนิดต่างๆ

สารละลายในน้ำ	$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$
Sucrose	+66.5
Glucose	+52.74
Fructose	-92.4
Maltose	+130.5
Lactose	+55.4
Dextrose	+195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้จะทำการสร้างเครื่องมือสำหรับการทดลองการวัดความเข้มชั้นของสารละลายด้วยโพลาไรมิเตอร์โดยใช้สารละลายในการทดลองหลายชนิดและหลายความเข้มชั้น นำมาวัดแนวของแสงโพลาไรซ์ที่บิดไปเมื่อผ่านสารละลาย

3.1 อุปกรณ์การสร้างชุดทดสอบ

3.1.1 แหล่งกำเนิดแสง ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ (He-Ne laser)

ฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดที่ใช้ก๊าซเป็นตัวกลางในการกระตุ้นโดยส่วนผสมของตัวกลางที่ใช้ในการกระตุ้นจะประกอบไปด้วยก๊าซฮีเลียมสี่ส่วนและก๊าซนีออนหนึ่งส่วน (He:Ne=10:1) เมื่อเลเซอร์ชนิดนี้ถูกกระตุ้นให้เกิดประชากรผกผันจะทำให้ได้แสงเลเซอร์เป็นสีแดงที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร หรือ 632.8×10^{-9} เมตร



รูปที่ 3.1 He-Ne Laser
(ที่มา www.thorlabs.com)

3.1.2 โพลาไรเซอร์ (Polarizer) และ Polarizer holder

แผ่นโพลาไรเซอร์ คือวัสดุที่มีคุณสมบัติยอมให้แสงที่มีระนาบของสนามไฟฟ้าที่มีทิศทางเดียวกันกับระนาบโพลาไรซ์ของตัวโพลาไรเซอร์ผ่านออกไปได้ดีที่สุดเพียงระนาบเดียว สามารถใช้ตรวจสอบสมบัติโพลาไรซ์เชิงชั้นของแสงและลดความเข้มแสงลงได้ โดยใช้ตัวจับแผ่นโพลาไรซ์เซอร์ในการระบุมุมของแสงโพลาไรซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Polarizer และ Polarizer holder
(ที่มา www.thorlabs.com)

3.1.3 คิวเวตต์ (Cuvette)

คิวเวตต์ ทำหน้าที่บรรจุสารละลายเพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งสามารถจำแนกคิวเวตต์ ออกได้สองประเภทหลักคือ คิวเวตต์ที่ทำจากควอทซ์ (Quartz) ที่เป็นคิวเวตต์ประเภทที่ยอมให้แสง ผ่านตั้งแต่ย่าน Ultraviolet (UV) ไปจนถึงย่าน Visible light หรือก็คือตั้งแต่แสงที่มีความยาวคลื่น 190 นาโนเมตรไปจนถึง 1000 นาโนเมตร และคิวเวตต์อีกชนิดหนึ่งคือคิวเวตต์ชนิดที่ทำจากแก้ว (Glass) ซึ่งคิวเวตต์ชนิดนี้จะยอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 350 นาโนเมตรผ่าน จนถึงย่าน Visible light



รูปที่ 3.3 Cuvette
(ที่มา www.thorlabs.com)

3.1.4 Photodetector

Photodetector เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณแสง ซึ่งอุปกรณ์ชิ้นนี้จะทำหน้าที่ เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นของมูลทางไฟฟ้า วัดความเข้มแสงให้ออกมาในรูปแบบของความตึงศักย์หรือกระแสไฟฟ้า โดยจะใช้ดีจิจิตอลมิเตอร์ในการแสดงค่า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Photodetector
(ที่มา www.thorlabs.com)

3.1.5 Digital Multimeter

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สมการแสงค่าความเข้มแสงที่ผ่านตัวโพลาริเซอร์ออกมาในรูปแบบของค่าความต่างศักย์หรือค่าโวลต์



รูป 3.5 Digital multimeter
(ที่มา <http://www.radio-electronics.com>)

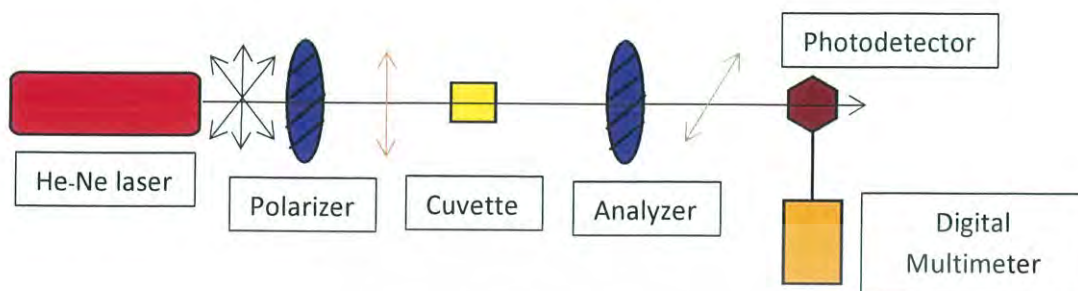
3.1.6 สารละลายน้ำตาล

ใช้น้ำตาลทรายผสมเข้ากับน้ำกลั่นชนิด double-distilled ที่มีคุณสมบัติไม่มีการเปลี่ยนแปลงมุมโพลาไรซ์เมื่อแสงส่องผ่าน ออกมาหลายๆความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สร้างแบบจำลอง

จัดวางอุปกรณ์ต่างๆดังไดอะแกรม



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างไดอะแกรม Polarimeter

3.3 การศึกษามุมบิดแนวโพลาไรซ์เนื่องจากสารละลายน้ำตาล

จากสมการ Specific Rotation ; $[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$ (1)

เมื่อ α คือมุมที่แนวแสงโพลาไรซ์บิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

วิธีการทดลองและการวิเคราะห์การมุมบิดแนวโพลาริซ์เนื่องมาจากสารละลายที่ให้ความหวานโดยใช้ชุดทดลองโพลาริมิเตอร์

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ให้ความหวานและมุมบิดแนวโพลาริซ์ของสารละลาย

ในการทดสอบเพื่อหามุมบิดแนวโพลาริซ์ของสารละลายที่ให้ความหวานจะทำการทดลองโดยพิจารณาจากมุมของแนวโพลาริซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) จากความสัมพันธ์

$$[\alpha]_D^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

เมื่อ α คือมุมที่แนวแสงโพลาริซ์บิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลาย

4.2 การเตรียมสารละลาย

อุปกรณ์ที่ใช้

1. น้ำกลั่น
2. น้ำตาลทราย (ซูโครส)
3. คิวเวตต์ (Cuvette)
4. เครื่องชั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีเตรียมสารละลาย

1. นำน้ำตาลไปชั่งในปริมาณที่กำหนด

ตัวอย่าง การผสมสารละลาย

ใช้วิธีเทียบบัญญัติไตรยางค์ คือ

มีน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ใส่น้ำตาลลงไป 0.1 กรัม

$$\text{ถ้า น้ำกลั่น } 30 \text{ มิลลิลิตร จะต้องใส่น้ำตาล } \frac{30(\text{ml}) \cdot 0.1(\text{g})}{1(\text{ml})} = 3 \text{ กรัม}$$

2. นำน้ำตาลทรายที่ชั่งปริมาณเรียบร้อยแล้วผสมเข้ากับน้ำกลั่น คนให้น้ำตาลละลายจนเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำกลั่น
3. บรรจุสารละลายลงในขวด



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการชั่งตวงสาร (ก) และสารละลายหลังจากบรรจุแล้ว (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการทดสอบ

1. ทำการฉายแสงเลเซอร์จากแหล่งกำเนิดลงบนแผ่นโพลาริเซอร์
2. ทำการปรับมุมของแผ่นโพลาริเซอร์ ให้ได้ค่าความเข้มแสงหรือค่าความต่างศักย์ที่เครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์อ่านได้มีค่าต่ำสุดแล้วบันทึกค่ามุมที่อ่านได้
3. นำเอาสารละลายที่เตรียมไว้มาวางหน้าโพลาริเซอร์
4. ทำการปรับมุมของโพลาริเซอร์ให้มีความเข้มแสงต่ำสุด แล้วทำการบันทึก



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการวัดมุมโพลาริซ์

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกราฟ

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงฟิสิกส์จะมีลักษณะเป็นตาราง และนำข้อมูลที่ได้จากตารางนำมาสร้างเป็นกราฟ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายที่ให้ความหวานและมุมบิดแนวโพลาริซ์ของสารละลาย ว่ามีความสัมพันธ์อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลซูโครส

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°)

ตารางบันทึกผล						
ครั้งที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_{90°
ค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสง	187	187	187	187	187	187

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n)

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ปริมาณน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)					เฉลี่ย α_n
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
3	30	0.1	170	171	170	171	170	170.4
6	30	0.2	170	169	169	169	169	169.2
9	30	0.3	169	169	169	169	168	168.8

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)

ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)			
α_{90° (องศา)	α_n (องศา)		$\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$ (องศา)
	ความเข้มข้น (g/ml)	α_n (องศา)	
187	0.1	170.4	16.6
187	0.2	169.2	17.8
187	0.3	168.8	18.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°)

ตารางบันทึกผล						
ครั้งที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_{90°
ค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสง	187	187	187	187	187	187

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n)

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ปริมาณน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)					เฉลี่ย α_n
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
3	30	0.1	176	176	176	176	175	175.8
6	30	0.2	175	175	175	174	175	174.8
9	30	0.3	174	174	175	175	175	174.6

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)

ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)			
α_{90° (องศา)	α_n (องศา)		$\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$ (องศา)
	ความเข้มข้น (g/ml)	α_n (องศา)	
187	0.1	175.8	11.2
187	0.2	174.8	12.2
187	0.3	174.6	12.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ตารางบันทึกผลของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิด (α_{90°)

ตารางบันทึกผล						
ครั้งที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_{90°
ค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสง	187	187	187	187	187	187

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (α_n)

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ปริมาณน้ำตาล (กรัม)	ปริมาณน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)					เฉลี่ย α_n
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
3	30	0.1	177	177	177	177	177	177
6	30	0.2	178	178	177	178	178	177.8
9	30	0.3	179	179	178	179	178	178.6

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)

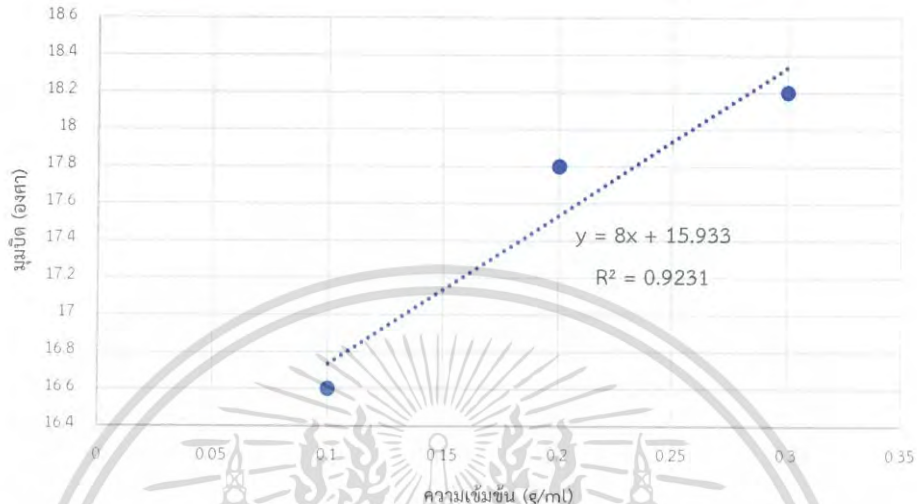
ตารางบันทึกผลค่า α (หาได้โดยการนำค่า $\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$)			
α_{90° (องศา)	α_n (องศา)		$\alpha_{90^\circ} - \alpha_n$ (องศา)
	ความเข้มข้น (g/ml)	α_n (องศา)	
187	0.1	177	10
187	0.2	177.8	9.2
187	0.3	178.6	8.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 กราฟผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลชนิดต่างๆ

กราฟผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส

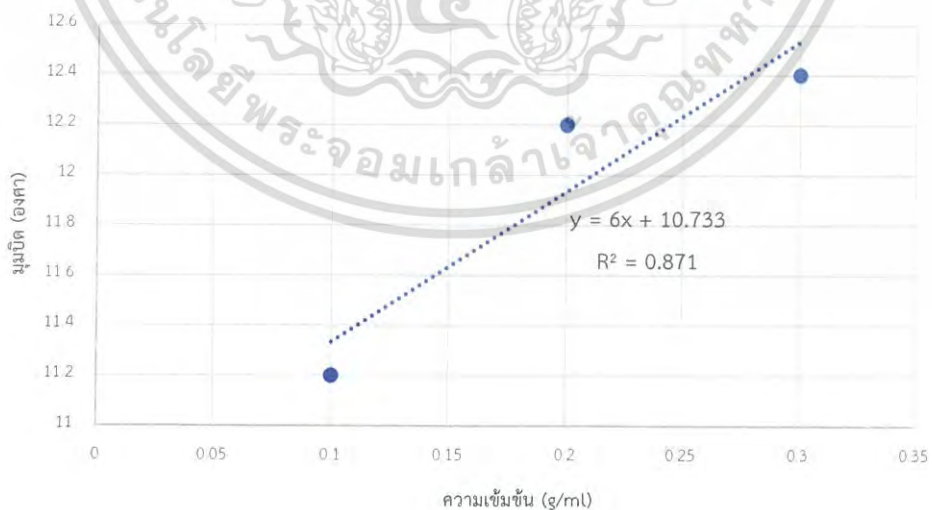
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส กับมุมบิด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส

กราฟผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส กับมุมบิด



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบวัดความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส

4.9 วิเคราะห์ค่าความชันจากกราฟ

$$\text{จาก } [\alpha]_D^T \cdot l = \frac{\alpha}{c}$$

เมื่อ α คือมุมที่แนวแสงโพลาไรซ์บิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลาย

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่า $\frac{\alpha}{c}$ ก็คือค่าความชันของกราฟ แต่เนื่องจากช่องทางเดินแสงในคิวเวตต์ไม่ได้มีค่า 1 เดซิเมตร แต่เป็น 1 เซนติเมตร หรือ 0.1 เดซิเมตร (1 เดซิเมตร เท่ากับ 10 เซนติเมตร) ดังนั้นหลังจากเราได้ค่าความชันมาแล้ว เราต้องนำค่าความชันมาหารด้วย 0.1 อีกทีหนึ่งก่อนที่จะเราได้ค่า Specific Rotation ของสารละลายที่ให้ความหวานที่แท้จริง

ดังนั้น

น้ำตาลซูโครส ค่าความชันเท่ากับ 8 จะมีค่า Specific Rotation เป็น $\frac{8}{0.1} = 80$ องศา

น้ำตาลกลูโคส ค่าความชันเท่ากับ 6 จะมีค่า Specific Rotation เป็น $\frac{6}{0.1} = 60$ องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

น้ำตาลฟรุคโตส ค่าความชันเท่ากับ -8 จะมีค่า Specific Rotation เป็น $\frac{-8}{0.1} = -80$ องศา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องขออนุญาตเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อนนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการสร้างชุดศึกษาระบบโพลาริเมเตอร์ สรุปผลได้ดังนี้

ชุดศึกษาระบบโพลาริเมเตอร์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดแก๊ซฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตรเป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์แสงสีแดงซึ่งอุปกรณ์แหล่งกำเนิดแสงตัวนี้ได้ให้แสงเลเซอร์ที่มีความเป็นโพลาไรซ์อยู่แล้ว จัดวางให้แสงเดินทางผ่านสารละลายที่ให้ ความหวาน จากนั้นจัดวางตัวโพลาไรซ์เซอร์ให้แสงผ่านเข้าสู่ตัวจับสัญญาณแสงก่อนจะเปลี่ยน สัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยสาย bnc แสดงในรูปของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยใช้ สารละลายที่ให้หวานหลายความเข้มข้นการทดลองแล้วใช้ข้อมูลที่บันทึกได้มาสร้างเป็นกราฟด้วย โปรแกรม Excel สำหรับน้ำตาลซูโครสได้ค่า Specific Rotation เท่ากับ +80 องศา ในขณะที่ค่า Specific Rotation มาตรฐานมีค่าเท่ากับ +66.5 องศา หมายความว่า ค่า Specific Rotation ที่วัด ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 20.22 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำตาลกลูโคสได้ค่า Specific Rotation เท่ากับ +60 องศา ในขณะที่ค่า Specific Rotation มาตรฐานมีค่าเท่ากับ +52.74 องศา หมายความว่า ค่า Specific Rotation ที่วัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 13.76 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับ น้ำตาลฟรุคโตสได้ค่า Specific Rotation เท่ากับ -80 องศา ในขณะที่ค่า Specific Rotation มาตรฐานมีค่าเท่ากับ -92.4 องศา หมายความว่า ค่า Specific Rotation ที่วัดได้มีค่าความ คลาดเคลื่อนเท่ากับ 13.41 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัย

โครงการพิเศษชุดศึกษาระบบโพลาริเมเตอร์ พบปัญหาดังนี้

1. เนื่องจากในการทดลองวัดมุมโพลาไรซ์ของสารละลายเป็นการวัดที่เกิดมาจากการหมุนแผ่น โพลาริเซอร์ด้วยมือและเครื่องมือมีค่าความละเอียดที่ 1 ช่อง เท่ากับสององศา ทำให้ค่าที่วัดออกมา ได้ไม่มีความละเอียดมากเท่าที่ควร
2. ในการเตรียมสารละลาย ไม่สามารถเตรียมที่ความเข้มข้นที่มากกว่านี้ได้ เพราะน้ำตาลยิ่ง ความเข้มข้นมากก็ต้องยิ่งใส่น้ำตาลในปริมาณที่มากตามไปด้วย นั่นทำให้การเตรียมน้ำตาลที่ความ เข้มข้นมากขึ้นทำได้ยากเพราะน้ำตาลเมื่อใส่ลงไปใต้น้ำกลั่นในปริมาณมากๆ น้ำตาลจะละลายได้ยาก จนถึงไม่อาจละลายได้อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ระบบโพลาริมิเตอร์เป็นระบบที่วัดมุมโพลาไรซ์จากการปรับด้วยมือยาก เพราะค่ามุมมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกล่าวคือ ที่สารละลายความเข้มข้นแตกต่างกันมุมโพลาไรซ์จะต่างกันเพียงนิดเดียว ดังนั้นเวลาทำการทดลองจะต้องค่อยๆหมุนโพลาไรซ์ทีละน้อยๆ
2. ควรจัดอุปกรณ์ไม่ให้อยู่ห่างกันจนเกินไป เพราะจะทำให้ค่าความเข้มแสงที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นควรจัดอุปกรณ์ให้อยู่ใกล้กัน
3. เนื่องจากตัวจับสัญญาณแสงมีความไวต่อแสงมาก ดังนั้นในการทดลองควรจะทดลองในห้องมืดเพื่อป้องกันค่าความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดแสงอื่นที่ตัวจับสัญญาณแสงอาจตรวจจับเจอได้

5.4 แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาการหมุนแผ่นโพลาไรเซอร์ให้หมุนด้วยมอเตอร์ที่สั่งการด้วยโปรแกรมจะทำให้ได้ค่ามุมโพลาไรซ์ที่มีความละเอียดสูงขึ้น
2. พัฒนาให้สามารถใช้ชุดศึกษาระบบโพลาริมิเตอร์ได้กับสารละลายที่ให้ความหวานชนิดอื่นๆ นอกจากน้ำตาล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ฟิสิกส์ราชมงคล. (2016). โพลาริเซชันและการกระจายแสง. สืบค้นจาก.

<http://www.rmutphysics.com/charud/PDF-learning/6/physics2/17Polarisation.pdf>

วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. (2015). เครื่องวัดการโพลาไรซ์. สืบค้นจาก.

<https://th.wikipedia.org/wiki/เครื่องวัดการโพลาไรซ์>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

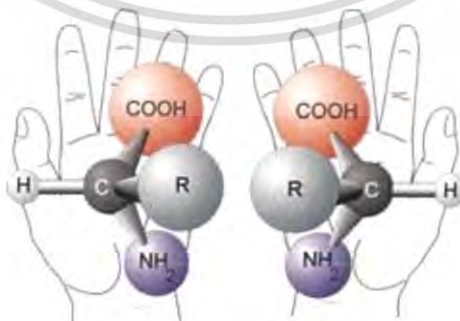
ทฤษฎี

1. โพลาริเซชัน(Polarization)

โพลาริเซชัน(Polarization) คือปรากฏการณ์การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง แสดงสมบัติความเป็นคลื่นของแสงแต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าแสงเป็นคลื่นตามยาวหรือคลื่นตามขวาง สำหรับปรากฏการณ์ที่แสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่นตามขวางคือปรากฏการณ์โพลาริเซชัน ทั้งนี้ เนื่องจากคลื่นตามยาวจะไม่แสดงปรากฏการณ์นี้ แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่สั่นตั้งฉากกันในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศการแผ่ของคลื่น ทิศการสั่นของสนามไฟฟ้า E กำหนดให้เป็นทิศของโพลาริเซชัน แสงธรรมดาที่ไม่โพลาริส์ (unpolarized light) ประกอบด้วยเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่สั่นในทุกทิศทาง และอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของการแผ่ของคลื่น แสงโพลาริส์ (polarized light) จะประกอบด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งสั่นในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น เช่น ในแนวตั้ง แนวราบ เป็นต้น

2. Optical Activity

Optical Activity หรือ Optical Rotation คือคุณสมบัติของของเหลวที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของระนาบโพลาริซของสารละลายเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านของเหลวชนิดนั้นๆ ถ้าระนาบโพลาริซของลำแสงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเข็มนาฬิกาแสดงว่าของเหลวชนิดนั้นเป็นของเหลวที่มีโมเลกุลเป็นผลึกชนิดมือขวา แต่ถ้าระนาบโพลาริซของลำแสงเคลื่อนที่ไปในทิศทางเข็มนาฬิกาแสดงว่าของเหลวชนิดนั้นเป็นของเหลวที่มีโมเลกุลเป็นผลึกชนิดมือซ้าย เกิดจากโมเลกุลคาบอนที่จับอยู่กับโมเลกุลที่แตกต่างกันสี่ชนิด



ผลึกมือซ้ายและผลึกมือขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Specific Rotation

Specific Rotation คือมุมที่ระนาบโพลาริซของสารละลายบิดไปเมื่อแสงที่มีระนาบโพลาริซค่าหนึ่งเดินทางออกมาจากสารละลายที่มีคุณสมบัติ Optical Activity เป็นค่าเฉพาะตัวที่ขึ้นกับชนิด-ธรรมชาติของสารละลายมีสมการเป็น

$$\text{Specific Rotation ; } [\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c} \quad (1)$$

เมื่อ α คือมุมที่แนวแสงโพลาริซบิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลายมีค่าเป็น 1 เดซิเมตร

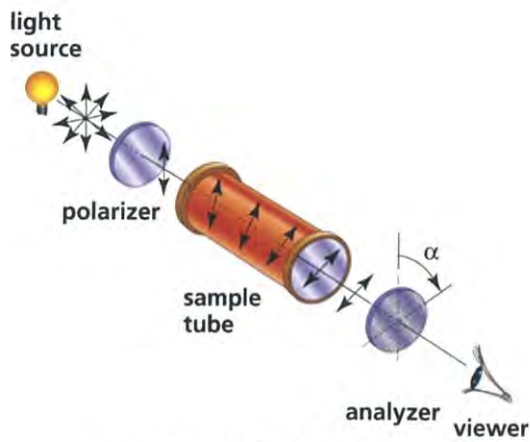
ตารางค่า Specific Rotation ของน้ำตาลชนิดต่างๆ

สารละลายในน้ำ	$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$
Sucrose	+66.5
Glucose	+52.74
Fructose	-92.4
Maltose	+130.5
Lactose	+55.4
Dextose	+195

4. Polarimeter

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่า Optical Rotation ของระนาบโพลาริซที่ผ่านออกมาจากสารละลาย ตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสง แผ่นโพลาริซเซอร์ที่ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นตัวสร้างแสงโพลาริซอีกตัวทำหน้าที่วิเคราะห์ (Analyzer) แสงโพลาริซที่บิดไปเมื่อผ่านสารละลายมาแล้ว และวิธีการสังเกตแบบใดแบบหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบจำลองเครื่องโพลาริเมเตอร์

ที่มา <http://jeanbont.pbworks.com>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องโพลาริเมเตอร์
2. เพื่อศึกษาค่า Specific Rotation ของสารละลาย

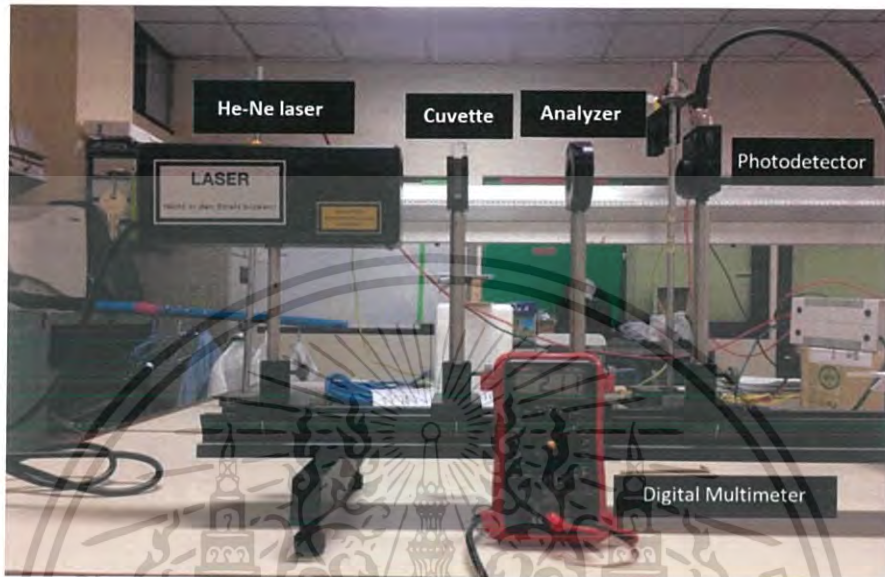
อุปกรณ์ที่ใช้

1. แหล่งกำเนิดแสง ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne laser) 1 เครื่อง
2. โพลาริซเซอร์พร้อมกับตัวอ่านค่ามุม 1 ตัว
3. สารละลายน้ำตาลซูโคส กลูโคส ฟรุคโตส เตรียมใส่คิวเวตต์ชนิดละ 3 ความเข้มข้นคือ 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร 0.2 กรัมต่อมิลลิลิตร 0.3 กรัมต่อมิลลิลิตร
4. ตัวจับสัญญาณแสง(Photodetector)
5. สาย BNC
6. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. จัดวางอุปกรณ์ดังรูปโดยจัดให้ลำแสงเข้าตัวจับสัญญาณแสงโดยผ่านสารตัวอย่างและ Polarizer ที่ทำหน้าที่เป็น Analyzer (เนื่องจากแหล่งกำเนิดแสงได้ให้แสงที่เป็นแสงโพลาไรซ์อยู่แล้วทำให้ใช้ Polarizer แค่ตัวเดียว



รูปการจัดวางอุปกรณ์

2. ทำความมุมของแหล่งกำเนิดแสงโพลาไรซ์การปรับ Analyzer ให้ความเข้มแสงต่ำที่สุดโดยสังเกตจากค่าความต่างศักย์บนเครื่องดิจิตอลมัลติมิเตอร์ แล้วทำการจดบันทึกค่ามุมที่อ่านได้จากแผ่น Analyzer ทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง
3. ทำการใส่สารละลายกลูโคสที่บรรจุแล้วในแท่นวาง จากนั้นทำการหมุนแผ่น analyzer ให้ค่าความเข้มแสงมีค่าต่ำที่สุด แล้วทำการจดบันทึกค่ามุมที่อ่านได้จากแผ่น Analyzer ทำซ้ำเป็นจำนวน 5 ครั้ง
4. ทำการเปลี่ยนสารละลายเป็นสารละลายกลูโคสอีก 2 ความเข้มข้นที่เหลือแล้วทำขั้นตอนที่ 3 ซ้ำอีกครั้ง
5. ทำการเปลี่ยนสารละลายเป็นน้ำตาลชนิดที่เหลือก่อนจะทำตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 4 ซ้ำอีกครั้ง
6. นำค่าที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟระหว่างค่าแนวโพลาไรซ์ที่บิดไปของสารละลายน้ำตาลกลูโคส(แกน y)กับความเข้มข้นของสารละลาย(แกน x)โดยหาค่าความชันของกราฟมาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. คำนวนค่า Specific Rotation จะได้ว่า

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

α คือมุมที่แนวแสงโพลาไรซ์บิดไป

c คือความเข้มข้นของสารละลาย

l คือความยาวของเส้นทางเดินแสงในสารละลาย

สังเกตว่าค่าความชันของกราฟมีค่าเป็น $\frac{\alpha}{c}$ แต่นี้ยังไม่ใช่ค่า Specific Rotation ที่แท้จริงเพราะช่องทางเดินแสงในควิเวตไม่ได้มีค่า 1 เดซิเมตร แต่มีค่าเป็น 0.1 เดซิเมตร(1เซนติเมตร) ดังนั้นเราจะต้องทำการหารค่าความชันด้วย 0.1 เดซิเมตรก่อน ถึงจะได้ค่าความชันที่แท้จริง

8. ทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนระหว่างค่า Specific Rotation มาตรฐานกับค่าที่เราหาได้ว่ามีค่าก็เปอร์เซ็นต์โดยใช้ สมการ

$$Error = \frac{|P_1 - P_2|}{P_2} \times 100\%$$

โดยที่ P_1 คือค่า Specific Rotation ที่หาได้จากการทดลอง

P_2 คือค่า Specific Rotation มาตรฐาน

9. ทำขั้นตอนที่ 6 ถึง 8 ซ้ำอีกครั้งกับสารละลายที่เหลือ

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ตารางบันทึกค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสง

ตารางบันทึกผล						
ครั้งที่	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_{90°
ค่ามุมโพลาไรซ์ของแหล่งกำเนิดแสง						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลายน้ำตาลกลูโคส

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)						α_{90°	$\alpha = \alpha_{90^\circ} - \alpha_n$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_n		
0.1								
0.2								
0.3								

ตารางบันทึกผลค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลายน้ำตาลซูโครส

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)						α_{90°	$\alpha = \alpha_{90^\circ} - \alpha_n$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_n		
0.1								
0.2								
0.3								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผลค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส

ตารางบันทึกผลการทดสอบ								
ความเข้มข้น (g/ml)	ค่ามุมโพลาไรซ์ของสารละลาย (องศา)						α_{90°	$\alpha = \alpha_{90^\circ} - \alpha_n$
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย α_n		
0.1								
0.2								
0.3								



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Helium Neon Lasermodul für OEM-Anwendung

Helium Neon Laser Module for OEM Application

Hersteller : LASOS Lasertechnik GmbH
Manufacturer : Carl-Zeiss-Promenade 10
 D-07745 Jena
 Phone: (**49) 3641 / 29 44-0
 Fax: (**49) 3641 / 29 44-79
 Internet: http://www.lasos.com

1 Elektrische Sicherheit / Electrical safety

1.1 Netzgeräte / Power Supplies

Das Lasermodul darf nur mit einem zugelassenem Netzteil betrieben werden.
 The operation of the laser module is allowed with a permissible power supply only.

Zum Betrieb des Lasers sind folgende Netzgeräte geeignet:
 For laser operation the following power supplies are suitable:

1

Modell Model	Bestellnummer Ordering number	Eingangsspannung Input voltage	Abmessungen L x B x H [mm] Dimensions L x W x H [mm]
314T-1700-4.9-4 Laser Drive, Inc.	/	115/230 VAC 50/60 Hz	107,9 x 76,2 x 30,5
101T-1700-4.9-4 Laser Drive, Inc.	/	12 VDC	95,25 x 38,1 x 25,4
LGN 7461 A	577009-0712-100	115/230 VAC	107,9 x 76,2 x 30,5
LGN 7463	577009-0704-503	12 VDC	101,6 x 38,1 x 25,4
SAN 7461 A	577009-1304-000	115/230 VAC	231 x 212 x 70

1.2 Berührungsschutz / Lasersicherheit Touch-Guard / Laser Safety

Der Berührungsschutz sowie die Lasersicherheit sind vom Anwender zu gewährleisten.
 Bei Einbau und Betrieb sind die Vorschriften DIN EN 61010-1, DIN EN 60950, DIN EN 60825-1, BGV B2 zu beachten.
 Der Stecker zur Verbindung des Netzgerätes mit dem Modul ist nicht geeignet, betriebsmäßig verbunden bzw. gelöst zu werden.

The touch-guard and laser safety are to be guaranteed by user.
 At installation and in operation pay attention to regulations EN 61010-1, EN 60950, EN 60825-1, BGV B2.
 The connector between power supply and laser module is not suited for connection or disconnection while operation.

¹ Weitere Stromversorgung auf Anfrage / More power supplier on request

 unregistrierte Kopie unregistered copy		Datum Name bearb. 05.02.2010 LASOE geprüft 31.03.2010 LAMLZ freigegeben	600099-1122-000 Datenblatt / Data Survey LGK 7608 P	Blatt 1 von 6	
OC	05.02.2010	LASOE	Dokumentnummer / document # 600099-1122-000		
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ers. für	Ers. durch

Achtung !

Nach dem Abschalten des Netzgerätes kann am Modulstecker Restladung (Hochspannung) anliegen, welche durch Kurzschließen der Kontakte beseitigt werden kann.

Caution !

After switch-off of the power supply, residual charge (high voltage) may be present on the modul connector. It can be removed by shorting the connector pins.

1.3 Laserklasse / Laser class

Achtung ! Laserklasse 3R nach DIN EN 60825-1:2008-05

Bestrahlung von Auge oder Haut durch direkte oder Streustrahlung vermeiden.

Attention ! Laser class IIIa according to CDRH

Avoid irradiation of eye or skin by direct or scattered radiation.

1.4 Haftungsausschluß / Limited Liability

Bei Eingriffen in das Gerät erlischt jede Garantie. LASOS lehnt jede Haftung für Schäden ab, die durch Nichtbeachtung der Sicherheitshinweise entstehen.

Guarantee expires by intervention in device. LASOS refuses any liability for damage at non-compliance of safety requirements.

1.5 Warnschilder / Danger signs

- Typenschild / Type Label

↑ AVOID EXPOSURE ↑
Laser radiation is emitted from this aperture ↑

LASOS
Lasertechnik GmbH

Carl-Zeiss-Promenade 10 D-07745 JENA

LGK 7608 P
600009-1122-000
F.Nr. xxxx

TUV
Product Group
NRTL US

DANGER

LASER RADIATION -
AVOID DIRECT EXPOSURE TO BEAM

HELIUM-NEON LASER
5 MILLIWATT MAXIMUM OUTPUT
WAVE LENGTH 633 nm
CLASS IIIa LASER PRODUCT ACCORDING TO CDRH
THIS PRODUCT DOES NOT COMPLY TO
STANDARDS OF 21 CFR 1040.10 AND 1040.11

LASERSTRAHLUNG
NICHT DEM STRAHL AUSSETZEN
LASERKLASSE 3R, DIN EN 60825-1:2008-05
5 mW MAX. AUSGANGSLEISTUNG
WELLENLÄNGE 633 nm
BESTRAHLUNG VERMEIDEN
AUSTRITT VON LASERSTRAHLUNG

- Achtung Laserstrahlung ! / Caution laser beam



<p>unregistrierte Kopie unregistered copy</p>	<p>bearb. 05.02.2010</p> <p>geprüft 31.03.2010</p> <p>freigeg.</p>	<p>Name</p> <p>LASOE</p> <p>LAMLZ</p>	<p>Datum</p> <p>05.02.2010</p> <p>31.03.2010</p>	<p>Hersteller</p> <p>Lasertechnik GmbH</p>	<p>Technische Zeichnung</p> <p>Datenblatt / Data Survey</p> <p>LGK 7608 P</p>	<p>Dokumentnummer / document #</p> <p>600099-1122-000</p>	<p>Blatt</p> <p>2</p>

1.6 Elektromagnetische Verträglichkeit / Electromagnetic Compatibility

Wird das Lasermodul mit dem Netzgerät 314T-1700-4.9-4, 101T-1700-4.9-4, LGN 7461 A oder LGN 7463 betrieben, ist die Einhaltung der Grenzwerte nach DIN EN 61000-6-3 und DIN EN 61000-6-4 nicht gewährleistet.

Zur Einhaltung dieser Grenzwerte ist das Vorschalten eines geeigneten Entstörfilters vor das Netzgerät erforderlich.

When the module is operated with the power supply 314T-1700-4.9-4, 101T-1700-4.9-4, LGN 7461 A or LGN 7463 compliance with the limit values of DIN EN 61000-6-3 and DIN EN 61000-6-4 is not guaranteed.

To meet the limit values the use of a suitable interference suppression element between line voltage and power supply is necessary.

1.7 Das Lasermodul entspricht den zutreffenden sicherheitstechnischen Anforderungen und wurde geprüft nach:

The laser module meets the relevant safety requirements and was tested according to:

EN 60 950-1/A11: 2004

EN 61010-1 :2001

EN 60825-1 :2007

UL 60950-1:2003

UL 61010-1:2001

CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1: 2003

CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1: 2004

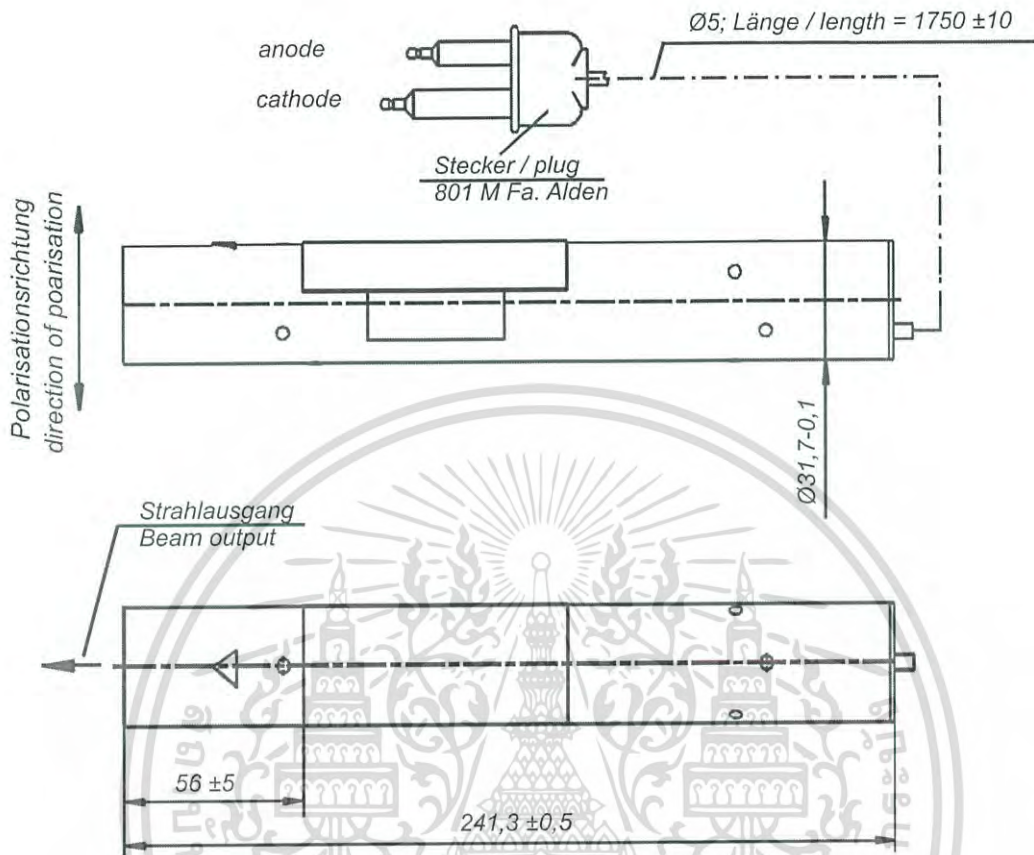
2 Kenndaten/Characteristics

2.1	Wellenlänge Wavelength	632,8	nm	
2.2	Ausgangsleistung nach Einlaufen Power output after warm-up period	≥ 1,5	mW	
2.3	Startleistung innerhalb 5s Power 5s after turn on	≥ 80	%	
2.4	Leistungsänderung während 8 h nach dem Einlaufen Power drift during 8 h operation after warm-up period	≤ ± 2,5	%	1
2.5	Einlaufzeit für Nennleistung Warm-up period for nominal power	10	min	
2.6	Modenreinheit TEM ₀₀ Mode purity TEM ₀₀	≥ 95	%	
2.7	Strahldurchmesser (1/e ²) Beam diameter (1/e ²)	0,63 ± 0,03	mm	

¹ Bei konstanten Umgebungsbedingungen / under constant ambient conditions

 unregistrierte Kopie unregistered copy		Datum bearb. 05.02.2010 Name LASOE geprüft 31.03.2010 Name LAMLZ freigeg.	Datenummer / document # 600099-1122-000	Blatt 3 von 6
OC	05.02.2010	LASOE	Dokumentnummer / document # 600099-1122-000	
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ers. für
				Ers. durch

6 **Massbild**
Outline drawing



alle Maße in mm / all dimensions in mm

		bearb. 05.02.2010 geprüf. 31.03.2010 freigeg.	Datum Name LASOE LAMLZ	600099-1122-000	6 6
unregistrierte Kopie unregistered copy				Dokumentnummer / document # 600099-1122-000	Blatt 6 von 6
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ers. für	Ers. durch
OC		05.02.2010	LASOE		

THORLABS

DET36A(/M) Si Biased Detector

User Guide



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

















Table of Contents

Chapter 1	Warning Symbol Definitions	2
Chapter 2	Description	3
Chapter 3	Setup	4
Chapter 4	Operation	5
4.1.	<i>Theory of Operation</i>	5
4.2.	<i>Responsivity</i>	5
4.3.	<i>Modes of Operation</i>	5
4.4.	<i>Dark Current</i>	6
4.5.	<i>Junction Capacitance</i>	7
4.6.	<i>Bandwidth and Response</i>	7
4.7.	<i>Terminating Resistance</i>	8
4.8.	<i>Shunt Resistance</i>	8
4.9.	<i>Series Resistance</i>	8
4.10.	<i>Battery Check</i>	8
4.11.	<i>Battery Replacement</i>	9
Chapter 5	Common Operating Circuits	10
Chapter 6	Troubleshooting.....	12
Chapter 7	Specifications	13
7.1.	<i>Response Curve</i>	14
7.2.	<i>Mechanical Drawing</i>	15
Chapter 8	Certificate of Conformance.....	16
Chapter 9	Regulatory	17
Chapter 10	Thorlabs Worldwide Contacts	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 1 Warning Symbol Definitions

Below is a list of warning symbols you may encounter in this manual or on your device.

Symbol	Description
	Direct Current
	Alternating Current
	Both Direct and Alternating Current
	Earth Ground Terminal
	Protective Conductor Terminal
	Frame or chassis Terminal
	Equipotentiality
	On (Supply)
	Off (Supply)
	In Position of a Bi-Stable Push Control
	Out Position of a Bi-Stable Push Control
	Caution, Risk of Electric Shock
	Caution, Hot Surface
	Caution, Risk of Danger
	Warning, Laser Radiation
	Caution, Spinning Blades May Cause Harm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 2 Description

The Thorlabs DET36A is a biased, Silicon (Si) detector designed for detection of light signals over 350 to 1100 nm range. The unit comes complete with a photodiode and internal 12 V bias battery enclosed in rugged aluminum housing. The DET36A includes a removable 1" optical coupler (SM1T1), providing easy mounting of ND filters, spectral filters, fiber adapters (SMA, FC and ST style), and other Thorlabs 1" stackable lens mount accessories.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 3 Setup

The detector can be set up in many different ways using our extensive line of adapters. However, the detector should always be mounted and secured for best operation. Step 1 in the setup instructions below outline how to mount the detector onto a post.

Unpack the optical head, install a Thorlabs TR-series 1/2" diameter post into one of the #8-32 (M4 on /M version) tapped holes, located on the bottom and side of the sensor, and mount into a PH-series post holder.

Attach a 50 Ω coax cable (i.e. RG-58U) to the output of the DET. Select and install a terminating resistor to the remaining end of the cable and connect to a voltage measurement device. See Chapter 4, page 5 to determine resistor values. Thorlabs sells a 50 Ω terminator (T4119) for best frequency performance and a variable terminator (VT1) for output voltage flexibility. Note the input impedance of your measurement device since this will act as a terminating resistor. A load resistor is not necessary when using current measurement devices.

Power the DET on using the power switch. To check battery voltage, see the Battery Check section on page 8.

Install any desired filters, optics, adapters, or fiber adapters to the input aperture.

Caution!

The DET36A was designed to allow maximum accessibility to the photodetector by having the front surface of the diode flush with the outside of the DET housing. When using fiber adapters, make sure that the fiber ferrule does not crash into the detector. Failure to do so may cause damage to the diode and or the fiber. An easy way to accomplish this is to install a SM1RR retaining ring (included with the DET10C) inside the 1" threaded coupler before installing the fiber adapter

Apply a light source to the detector.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 4 Operation

1. Theory of Operation

A junction photodiode is an intrinsic device which behaves similarly to an ordinary signal diode, but it generates a photocurrent when light is absorbed in the depleted region of the junction semiconductor. A photodiode is a fast, highly linear device that exhibits high quantum efficiency based upon the application and may be used in a variety of different applications.

It is necessary to be able to correctly determine the level of the output current to expect and the responsivity based upon the incident light. Depicted in Figure 1 is a junction photodiode model with basic discrete components to help visualize the main characteristics and gain a better understanding of the operation of Thorlabs' photodiodes.

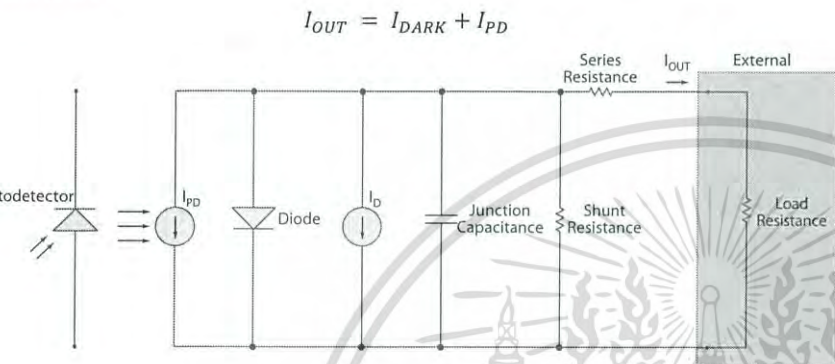


Figure 1 Photodiode Model

2. Responsivity

The responsivity of a photodiode can be defined as a ratio of generated photocurrent (I_{PD}) to the incident light power (P) at a given wavelength:

$$R(\lambda) = \frac{I_{PD}}{P}$$

3. Modes of Operation

A photodiode can be operated in one of two modes: photoconductive (reverse bias) or photovoltaic (zero-bias). Mode selection depends upon the applications needed requirements and the amount of tolerable dark current (leakage current).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photoconductive

In photoconductive mode, an external reverse bias is applied, which is the basis for our DET series detectors. The current measured through the circuit indicates illumination of the device; the measured output current is linearly proportional to the input optical power. Applying a reverse bias increases the width of the depletion junction producing an increased responsivity with a decrease in junction capacitance and produces a very linear response. Operating under these conditions does tend to produce a larger dark current but this can be mitigated based upon the photodiode material. (Note: The DET detectors are reverse biased and cannot be operated under a forward bias.)

Note

The DET detectors are reverse biased and cannot be operated under forward bias conditions.

Photovoltaic

In photovoltaic mode the photodiode is zero biased. The flow of current out of the device is restricted and a voltage builds up. This mode of operation exploits the photovoltaic effect which is the basis for solar cells. The amount of dark current is kept at a minimum when operating in photovoltaic mode.

4. Dark Current

Dark current is leakage current which flows when a bias voltage is applied to a photodiode. Photoconductive mode tends to generate a higher dark current that varies directly with temperature. It can be inferred that dark current can approximately double for every 10 °C increase in temperature, and shunt resistance can double for every 6 °C rise. Of course, applying a higher bias will increase the junction capacitance but will increase the amount of dark current present.

The dark current present is also affected by the photodiode material and the size of the active area. Silicon devices generally produce low dark current compared to germanium devices which have high dark currents. The table below lists several photodiode materials and their relative dark currents, speeds, sensitivity, and costs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The table below gives some advantages to each common type of detector material.

Material	Dark Current	Speed	Sensitivity ¹ (nm)	Cost
Silicon (Si)	Low	High	400 – 1000	Low
Germanium (Ge)	High	Low	900 – 1600	Low
Gallium Phosphide (GaP)	Low	High	150 – 550	Med
Indium Gallium Arsenide (InGaAs)	Low	High	800 – 1800	Med
Extended Range: Indium Gallium Arsenide (InGaAs)	High	High	1200 – 2600	High

5. Junction Capacitance

Junction capacitance (C_j) is an important property of a photodiode as this can have a profound impact on the bandwidth and the response of a photodiode. It could be noted that larger diode areas encompass a greater junction volume with increased charge capacity. In a reverse bias application, the depletion width of the junction is increased, thus effectively reducing the junction capacitance and increasing the response speed.

6. Bandwidth and Response

A load resistor will react with the photodetector junction capacitance to limit the bandwidth. For best frequency response, a 50Ω terminator should be used in conjunction with a 50Ω coaxial cable. The bandwidth (f_{BW}) and the rise time (t_r) can be approximated using the junction capacitance and the load resistance (R_{LOAD}):

$$f_{BW} = \frac{1}{(2\pi R_{LOAD} \times C_j)}$$

$$t_r = \frac{0.35}{f_{BW}}$$

Approximate values, actual wavelength values will vary from unit to unit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Terminating Resistance

Load resistance is used to convert the generated photocurrent into a voltage (V_{OUT}) for viewing on an oscilloscope:

$$V_{OUT} = I_{OUT} \times R_{LOAD}$$

Depending on the type of the photodiode, load resistance can affect the response speed. For maximum bandwidth, we recommend using a 50 Ω coaxial cable with a 50 Ω terminating resistor at the opposite end of the cable. This will minimize ringing by matching the cable with its characteristic impedance. If bandwidth is not important, you may increase the amount of voltage for a given current level by increasing R_{LOAD} . In an unmatched termination the length of the coaxial cable can have a profound impact on the response, so it is recommended to keep the cable as short as possible.

8. Shunt Resistance

Shunt resistance represents the resistance of the zero-biased photodiode junction. An ideal photodiode will have an infinite shunt resistance, but actual values may range from the order of ten Ω to thousands of $M\Omega$ and is dependent on the photodiode material. For example, an InGaAs detector has a shunt resistance on the order of 10 $M\Omega$ while a Ge detector is in the $k\Omega$ range. This can significantly impact the noise current on the photodiode. For most applications, however, the high resistance produces little effect and can be ignored.

9. Series Resistance

Series resistance models the resistance of the semiconductor material, and this series resistance can generally be ignored. The series resistance arises from the contacts and the wire bonds of the photodiode and is used to mainly determine the linearity of the photodiode under zero bias conditions.

10. Battery Check

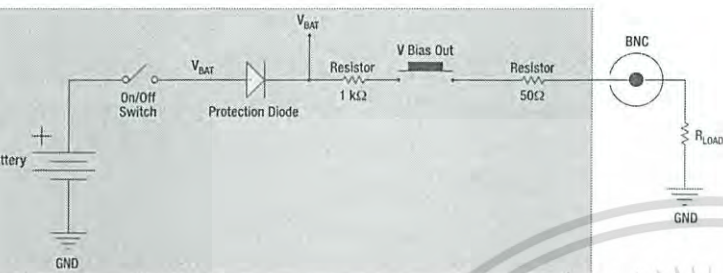
The DET series includes a battery check feature that will allow the user to monitor the bias voltage on the output BNC. Simply hold down the "V Bias Out" button located on the bottom edge of the unit. The bias voltage will be output to the BNC. If a high impedance load is used ($>10\text{ k}\Omega$), the output will be equal to the bias voltage. This feature includes a 1.05 $k\Omega$ current limiting resistor (RCL) to prevent excessive loading of the battery if using small terminating resistors. For example, a 50 Ω load resistor with a 10 V bias will produce a 200 mA current through this resistor. This will significantly decrease lifetime of the battery.

The output bias voltage will be dependent on the load resistor as described below. The A23 battery voltage characteristics show that the charge level is most depleted as the voltage drops below 10 V. For this calculation we assume 9 V since $V_{BAT} = \text{low battery voltage} - \text{one diode drop (0.6 V)} = \sim 9 \text{ V}$. The detector will continue to operate until the battery charge is completely drained, however these numbers provide a reference point at which the battery should be replaced.

$$V_{OUT} = V_{BAT} * \left[\frac{R_{LOAD}}{R_{LOAD} + R_{CL}} \right]$$

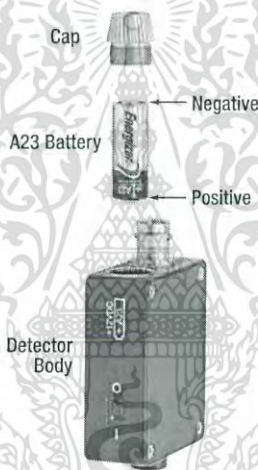
Example: $V_{BAT} = 9\text{V}, R_{LOAD} = 50\Omega, R_{CL} = 1050\Omega$

$V_{out} = 410 \text{ mV}$



11. Battery Replacement

Thorlabs delivers each DET with an A23 12 V battery installed. This battery is readily available at most retail stores, as well as through Thorlabs. Please note that due to slight physical variations of the positive terminal from manufacturer to manufacturer, Thorlabs only recommends using an Energizer battery in our DET series of photodetectors. The battery supplied will deliver about 40 hours with a 1 mA load, roughly equivalent to a continuous 1.5 mW light source at peak wavelength. The supply current when the unit is on and light is applied is very small and should not significantly degrade the battery. The battery can be replaced with a DET1B power adapter when the detector is being used in applications where a small increase in the signal noise due to noise in the line stage is permissible or the finite lifetime of a battery is not acceptable.



Rotate the battery cap directly above the output BNC. Unthread the cap and remove the battery. Install the new battery into the cap, negative side in, and thread back into the DET. Be careful not to cross thread the cap into the housing. The DET includes a protection diode to prevent damage if the battery is installed backwards. The battery direction is located on the housing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 5 Common Operating Circuits

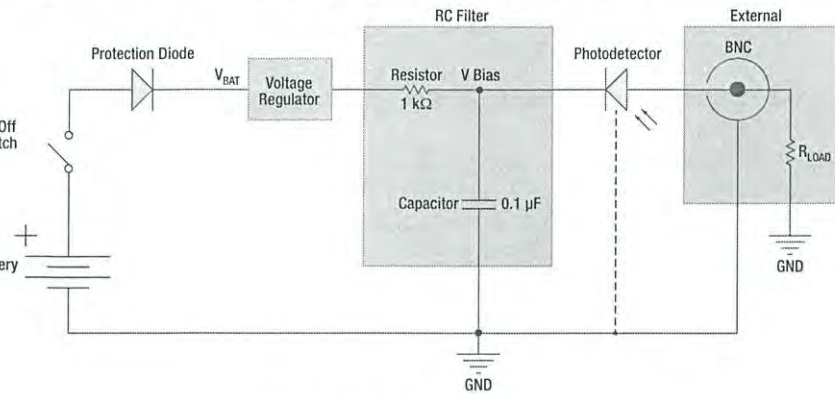


Figure 2 Basic DET Circuit

DET Series Detectors are designed according to the circuit depicted above. The detector is reverse biased to produce a linear response with applied input light. The photocurrent generated is based upon the incident light intensity and wavelength and can be viewed on the oscilloscope by attaching a load resistance to the output. The function of the RC Filter is to filter any high frequency noise from the input supply which may contribute to a noisy output.

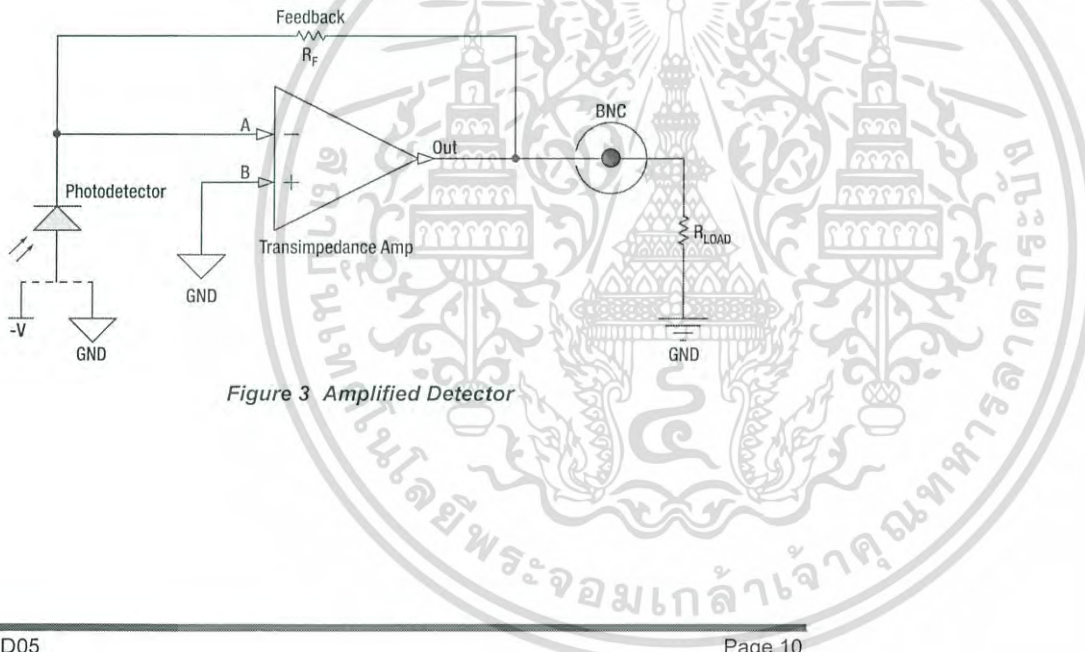


Figure 3 Amplified Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

one can also use a photodetector with an amplifier for the purpose of achieving high gain. The user can choose whether to operate in Photovoltaic or photoconductive modes. There are a few benefits of choosing this active circuit:

- Photovoltaic Mode: The circuit is held at zero volts across the photodiode, since point A is held at the same potential as point B by the operational amplifier. This eliminates the possibility of dark current.
- Photoconductive mode: The photodiode is reversed biased, thus improving the bandwidth while lowering the junction capacitance. The gain of the detector is dependent on the feedback element (R_F). The bandwidth of the detector can be calculated using the following:

$$f(-3dB) = \sqrt{\frac{GBP}{4\pi R_f \times C_D}}$$

where GBP is the amplifier gain bandwidth product and C_D is the sum of the junction capacitance, amplifier capacitance, and feedback capacitance.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 6 Troubleshooting

Problem	Suggested Solutions
There is no signal response.	<p>Verify that the power is switched on and all connections are secure.</p> <p>Verify the proper terminating resistor is installed if using a Voltage measurement device.</p> <p>Verify that the optical signal wavelength is within the specified wavelength range.</p> <p>Verify that the optical signal is illuminating the detector active area.</p> <p>Connect the DET to an oscilloscope without a terminating resistor installed. Most general purpose oscilloscopes will have a 10 MΩ input impedance. Point the detector toward a fluorescent light and verify that a 60 Hz (50 Hz outside the US) signal appears on the scope. If so the device should be operating properly and the problem may be with the light source or alignment.</p>
There is an AC signal present when the unit is turned off.	The detector has an AC path to ground even with the switch in the OFF position. It is normal to see an output response to an AC signal with the switch in this state. However, because the detector is unbiased, operation in this mode is not recommended.
The output appears AC coupled with long rise times and the power switch ON.	This is usually an indication that the battery level is low and needs to be changed. See the Battery Check and Replacement Section.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 7 Specifications

measurements performed with a 50 Ω load unless stated otherwise.

Electrical Specifications ¹		
Detector		Silicon PIN
Active Area		3.6 x 3.6 mm (13 mm ²)
Wavelength Range	λ	350 to 1100 nm
Peak Wavelength	λ_p	970 nm
Peak Response ²	$\Re(\lambda_p)$	0.65 A/W
Shunt Resistance	R_{sh}	1 G Ω
Diode Capacitance	C_J	40 pF
Rise Time (632 nm) ^{2,3}	t_r	14 ns
NEP (λ_p)		1.6×10^{-14} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Bias Voltage	V_R	10 V
Dark Current ² (with 1 M Ω Load)	I_D	0.35 nA (Typ) 6.0 nA (Max)
Output Voltage	V_{OUT}	0 to 10 V
General		
On/Off Switch		Slide
Battery Check Switch		Momentary Pushbutton
Output		BNC (DC Coupled)
Package Size		2.8" x 1.9" x 0.83" (70 mm x 48 mm x 21 mm)
PD Surface Depth		0.13" (3.4 mm)
Weight		0.2 kg
Accessories		SM1T1 Coupler SM1RR Retainer Ring
Storage Temp		-20 to 70 °C
Operating Temp		10 to 50 °C
Battery		A23, 12 V _{DC} , 40 mAh
Low Battery Voltage ⁴		(See Battery Check)
V_{OUT} (Hi-Z)		~9 V
V_{OUT} (50 Ω)		~400 mV

¹Unless otherwise noted, all measurements are performed at 25 °C ambient temperature.

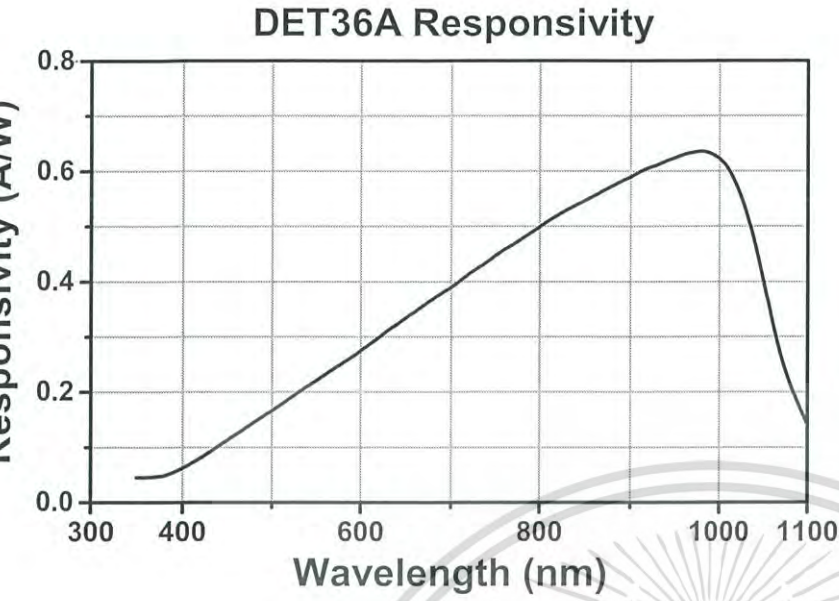
²Measured with specified bias voltage of 10.0 V

³Low battery voltage will result in slower rise times and decreased bandwidth.

⁴Assumes the battery voltage drops below 9.6 V. The reverse protection diode generates a 0.6 V drop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

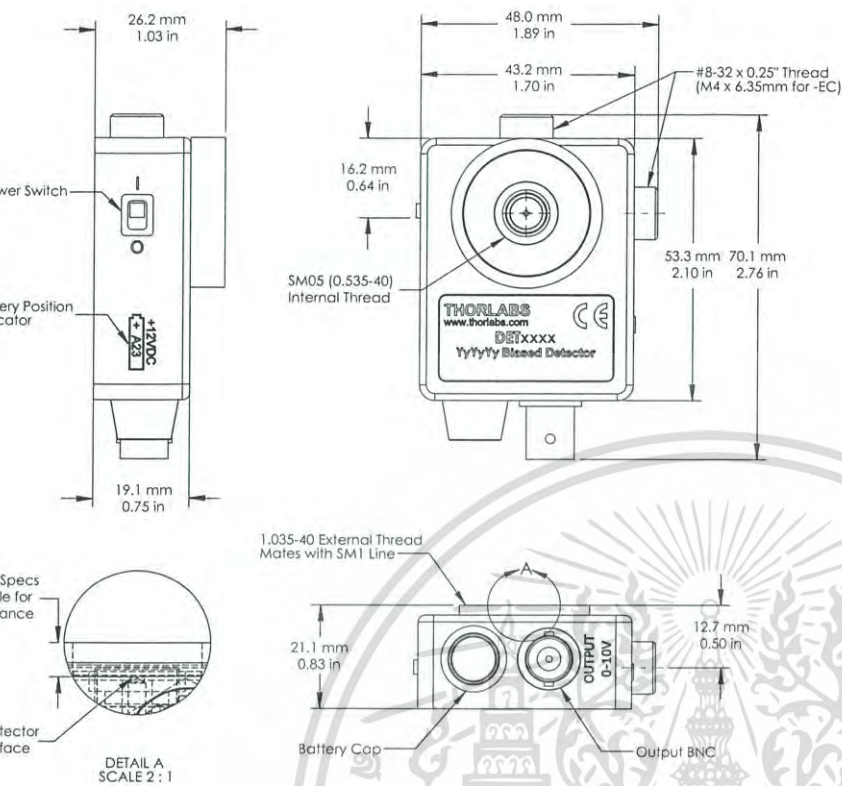
1. Response Curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Mechanical Drawing

Visit the web for a more detailed mechanical drawing.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 8 Certificate of Conformance

Konformitätserklärung
Declaration of Conformity
Déclaration de Conformité

Thorlabs Inc
56 Sparta Ave.
Newton, NJ
USA

erklärt in alleiniger Verantwortung, dass das Produkt:
declares under it's own responsibility, that the product:
déclare sous notre seule responsabilité, que le produit:

PDA10A, PDA8A, PDF10A, PDA36A, PDA100A, PDA8A/M, PDF10A/M, PDA36A-EC,
PDA10AEC, PDA100A-EC, PDA10CF, PDA10CS, PDF10C, PDA10D, PDA10CF-EC,
PDA10CS-EC, PDF10C/M, PDA10D-EC, PDA50B, PDA50B-EC, PDA30G, PDA20H,
PDA30G-EC, PDA20H-EC, PDA25K, PDA25K-EC, DET25K, DET25K/M, DET10A,
DET36A, DET100A, DET100A/M, DET10A/M, DET36A/M, DET50B, DET50B/M, DET20C,
DET20C/M, DET30B, DET30B/M, PDA30B, PDA30B-EC, DET10D, DET10D/M, PDA20C,
PDA20C/M, PDA20CS, PDA20CS-EC, DET01CFC, DET01CFC/M, DET02AFC,
DET02AFC/M

mit den Anforderungen der Normen
fulfills the requirements of the standard
satisfait aux exigences des normes

2006/95 EC
EMC 2004/108/EC
EN 61010-1:2001
EN 61326-1:2006
CISPR 11 Edition 4:2003
CISPR 11 Edition 4:2003
IEC 61000-3-2,
IEC 61000-3-3
IEC 61000-4-2
IEC 61000-4-3
IEC 61000-4-4
IEC 61000-4-4
IEC 61000-4-5
IEC 61000-4-6
IEC 61000-4-6
IEC 61000-4-11

Low Voltage Directive 12.Dec. 2006
Electromagnetic Compatibility Directive
Safety of Test and Measurement Equipment
EMC of Test and Measurement Equipment
Conducted Emissions
Radiated Emissions
Harmonics
Voltage Fluctuation and Flicker
Electrostatic Discharge
Radiated Immunity
Electrical Fast Transient/Burst, Power Leads
Electrical Fast Transient/Burst, I/O Leads
Surge Immunity, Power Leads
Conducted Immunity, Power Leads
Conducted Immunity, I/O Leads
Voltage Dips, Interrupts and Variations

übereinstimmt und damit den Bedingungen entspricht.
and therefore corresponds to the regulations of the directive.
et répond ainsi aux dispositions de la directive.

Dachau, 27. Februar 2012

Ort und Datum der Ausstellung
Place and date of issue
Lieu et date d'établissement


Name und Unterschrift des Befugten
Name and signature of authorized person
Nom et signature de la personne autorisée

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 9 Regulatory

As required by the WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive) of the European Community and the corresponding national laws, Thorlabs offers end users in the EC the possibility to return "end of life" units without incurring disposal charges.

- This offer is valid for Thorlabs electrical and electronic equipment:
- Sold after August 13, 2005
- Marked correspondingly with the crossed out "wheelie bin" logo (see right)
- Sold to a company or institute within the EC
- Currently owned by a company or institute within the EC
- Still complete, not disassembled and not contaminated



Wheelie Bin Logo

As the WEEE directive applies to self contained operational electrical and electronic products, this end of life take back service does not refer to other Thorlabs products, such as:

- Pure OEM products, that means assemblies to be built into a unit by the user (e.g. OEM laser driver cards)
- Components
- Mechanics and optics
- Left over parts of units disassembled by the user (PCB's, housings etc.).

If you wish to return a Thorlabs unit for waste recovery, please contact Thorlabs or your nearest dealer for further information.

1. Waste Treatment is Your Own Responsibility

If you do not return an "end of life" unit to Thorlabs, you must hand it to a company specialized in waste recovery. Do not dispose of the unit in a litter bin or at a public waste disposal site.

2. Ecological Background

As is well known that WEEE pollutes the environment by releasing toxic products during decomposition. The aim of the European RoHS directive is to reduce the content of toxic substances in electronic products in the future.

The intent of the WEEE directive is to enforce the recycling of WEEE. A controlled recycling of end of life products will thereby avoid negative impacts on the environment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chapter 10 Thorlabs Worldwide Contacts

USA, Canada, and South America

Thorlabs, Inc.
56 Sparta Avenue
Newton, NJ 07860
USA
Tel: 973-300-3000
Fax: 973-300-3600
www.thorlabs.com
www.thorlabs.us (West Coast)
Email: sales@thorlabs.com
Support: techsupport@thorlabs.com

UK and Ireland

Thorlabs Ltd.
1 Saint Thomas Place, Ely
Cambridgeshire CB7 4EX
Great Britain
Tel: +44 (0)1353-654440
Fax: +44 (0)1353-654444
www.thorlabs.com
Email: sales.uk@thorlabs.com
Support: techsupport.uk@thorlabs.com

Europe

Thorlabs GmbH
Hans-Böckler-Str. 6
35221 Dachau
Germany
Tel: +49-(0)8131-5956-0
Fax: +49-(0)8131-5956-99
www.thorlabs.de
Email: europe@thorlabs.com

Scandinavia

Thorlabs Sweden AB
Bergfotsgatan 7
431 35 Mölndal
Sweden
Tel: +46-31-733-30-00
Fax: +46-31-703-40-45
www.thorlabs.com
Email: scandinavia@thorlabs.com

France

Thorlabs SAS
109, rue des Côtes
78600 Maisons-Laffitte
France
Tel: +33 (0) 970 444 844
Fax: +33 (0) 825 744 800
www.thorlabs.com
Email: sales.fr@thorlabs.com

Brazil

Thorlabs Vendas de Fotônicos Ltda.
Rua Riachuelo, 171
São Carlos, SP 13560-110
Brazil
Tel: +55-16-3413 7062
Fax: +55-16-3413 7064
www.thorlabs.com
Email: brasil@thorlabs.com

Japan

Thorlabs Japan, Inc.
Higashi-Ikebukuro Q Building 2F
2-23-2, Higashi-Ikebukuro,
Toshima-ku, Tokyo 170-0013
Japan
Tel: +81-3-5979-8889
Fax: +81-3-5979-7285
www.thorlabs.jp
Email: sales@thorlabs.jp

China

Thorlabs China
Room A101, No. 100
Lane 2891, South Qilianshan Road
Putuo District
Shanghai
China
Tel: +86 (0) 21-60561122
Fax: +86 (0)21-32513480
www.thorlabschina.cn
Email: chinasales@thorlabs.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

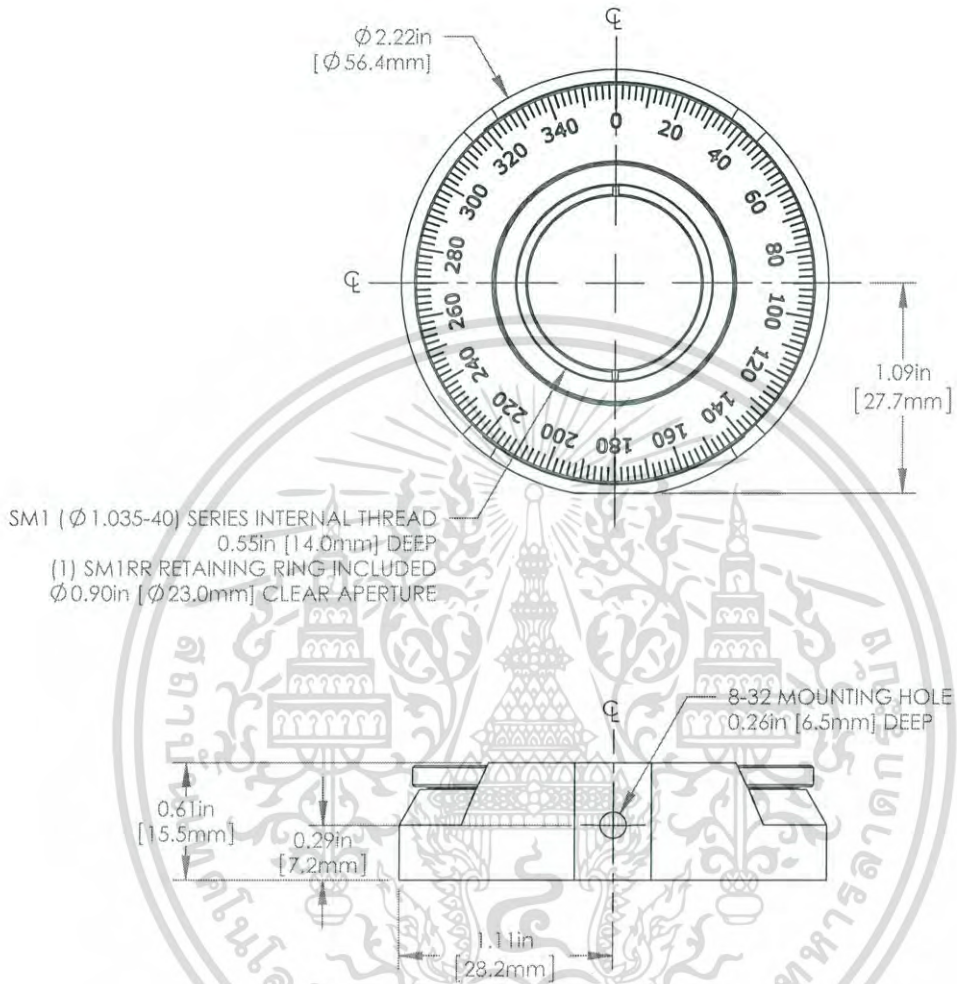
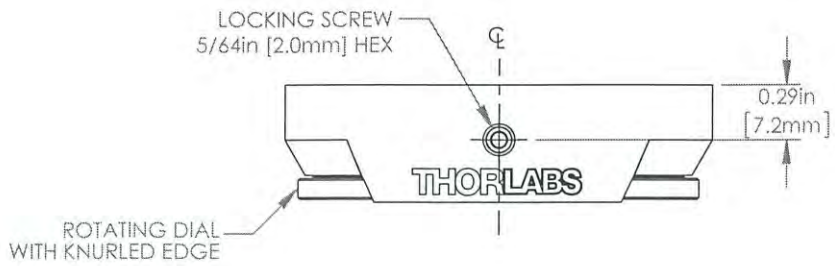


THORLABS

www.thorlabs.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



FOR INFORMATION ONLY
NOT FOR MANUFACTURING PURPOSES

DRAWING PROJECTION		
	NAME	
REDRAWN	CG	03/
APPROVAL	AK	12/
COPYRIGHT © 2014 BY THORLABS		
VALUES IN PARENTHESIS ARE CONVERSIONS AND MAY CONTAIN ROUNDING		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้