

มหาวิทยาลัยบูรพา  
ภาคผนวก

Burapha University

มหาวิทยาลัยบูรพา

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดสอบจากชุดทดสอบ

Burapha University

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลองจากชุดทดลอง

ตารางที่ ก-1 การคำนวณผลการทดลองจากชุดการทดลอง

ค่าที่รัดได้	ของเหลว
	น้ำ
$\alpha$	$30^\circ$
$t$ (cm)	6
$L$ (cm)	23.5
$H$ (cm)	32.7
$H - t$ (cm)	26.7
$\frac{L}{H-t}$	0.880
$\tan^{-1} \frac{L}{H-t}$	0.722
$\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)$	0.661
$\sin (90 - 2\alpha)$	0.5
$n$	1.32
%Error	0.75%

### การคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของแสงเหลว

จากผลการทดลอง สามารถคำนวณหาดัชนีหักเหของแสงเหลวของน้ำ ได้ดังนี้

#### วิธีทำ

จากสมการ

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)}{\sin (90 - 2\alpha)}$$

แทนค่าผลการทดลอง

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{23.5}{26.7} \right)}{\sin (90 - 2(30))}$$

ดัชนีน้ำ

$$n_1 = \frac{\sin 0.722}{\sin 30^\circ}$$

หรือ

$$n_1 = \frac{0.661}{0.5} = 1.32$$

หากำลังเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองกับค่ามาตรฐาน  
ค่า  $n$  นำเท่ากับ 1.33

จากสมการ

$$\%Error = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100\%$$

แทนค่า

$$\%Error = \left| \frac{1.32 - 1.33}{1.33} \right| \times 100\%$$

ดัชนีน้ำ

$$\%Error = 0.75\%$$

ตอบ

### ภาคผนวก ๖

- แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อนวัตกรรม ชุดทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสงและคู่มือการใช้งานชุดทดลอง
- แบบการประเมินทักษะในการทดลอง ในการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวของนักเรียน โดยผู้เชี่ยวชาญ
- แบบประเมินทักษะในการทดลอง
- แบบประเมินกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีค่าอนันตกรรม  
ชุดทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสงและค่ามือการใช้งานชุดทดลอง

แบบสอบถามพัฒนาส่วนตัวนักเรียนของวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดลอง  
เพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง (DESIGN AND FABRICATION OF THE  
REFRACTIVE INDEX OF LIQUID BY REFRACTION OF LIGHT)

คำชี้แจง ขอให้ท่านได้กรุณาแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการ  
หักเหแสงและค่ามือการใช้งานชุดทดลอง โดยเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่าน<sup>†</sup>  
พร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาปรับปรุงต่อไป

รายการของความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม	ไม่เกี่ยว	ไม่เหมาะสม	
	1	0	-1	
1. ความสอดคล้องของหน่วยกับหลักสูตร				
2. ความสอดคล้องของหน่วยกับธรรมชาติวิชา				
3. ความสอดคล้องของหน่วยกับข้อของผู้เรียน				
4. ความสอดคล้องของหน่วยกับสภาพปัจจุบันและปัญหา				
5. ความเหมาะสมต่อกระบวนการการพัฒนาผู้เรียน				
6. ความเหมาะสมของปัก				
7. ความเหมาะสมของค่าเฉลี่ย				
8. ความเหมาะสมของค่าทาง				
9. ความเหมาะสมของเม็ดหิน				
10. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษร				
11. ความเหมาะสมของการใช้ภาษา				
12. ความเหมาะสมกับความต้นใจของผู้เรียน				
13. ความเหมาะสมของสำนักพิจารณาทดลอง				
14. ความเหมาะสมของรายงานการทดลอง				
15. ความเหมาะสมของรูปถ่าย				

ข้อเสนอแนะอีก ๑

.....  
.....  
.....  
.....

ขอแสดงความยินดีกับผู้เข้าร่วม

(นางสาวศิริลักษณ์ ทมานนท์)  
คุณโรงเรียนบุรีรัตน์พิทยาคม

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ผู้ทรงคุณวุฒิ

**แบบการประเมินแบบประเมินทักษะในการทดสอบ  
ในการทำค่าดัชนีทักษะของของเหลวของนักเรียนโดยผู้เชี่ยวชาญ**

แบบสอบถามสังกัดว่ามีในส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดทดสอบ  
เพื่อหาค่าดัชนีทักษะของของเหลวจากการหักเหแสง (DESIGN AND FABRICATION OF THE  
REFRACTIVE INDEX OF LIQUID BY REFRACTION OF LIGHT)

**คำชี้แจง** ขอให้ท่านได้กรุณาแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีทักษะของของเหลวด้วยการ  
หักเหแสงและถูกมีการใช้งานชุดทดสอบ โดยเครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่าน  
พร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์สำหรับปรับปรุงต่อไป

รายการของความคิดเห็น	ความคิดเห็น			ข้อเสนอแนะ
	เหมาะสม	ไม่เกี่ยว	ไม่เหมาะสม	
1. การวางแผนและการออกแบบการทดสอบ				
1.1 ชัดเจน				
1.2 ปัญหา				
1.3 ควรตั้งสมมติฐาน				
1.4 ตัวแปรต้น				
1.5 ตัวแปรตาม				
1.6 ตัวแปรควบคุม				
1.7 วิธีการทดสอบ				
2. การดำเนินการทดสอบ				
2.1 การทดสอบ				
2.2 วิธีใช้ปุ่มกด				
2.3 ถูกต้องตามมาตรฐาน				
3. ผลการทดสอบและสรุปผล				
3.1 การจัดกระทำข้อมูล				
3.2 ความถูกต้องของข้อมูล				
3.3 การแปลงค่าของของเหลว				

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

---

---

---

---

ขอแสดงความชื่นชมอย่างยิ่ง

(นางสาวคิวเพ็ง ทมานันท์)

ครูโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

ผู้ทรงคุณวุฒิ

**แบบประเมินทักษะในการทดสอบ**

(เพื่อหาประสิทธิภาพในการทำการทดสอบ)

**ชื่อผู้ประเมิน  
วิทยานิพนธ์ เรื่อง**

นางสาวพิมพ์อร ทมานันท์

การออกแบบและสร้างชุดทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว

**ศักยภาพทางด้าน  
ด้วยการหักเหแสง (DESIGN AND FABRICATION OF THE REFRACTIVE  
INDEX OF LIQUID BY REFRACTION OF LIGHT)**

คำชี้แจง ให้คะแนนคงในช่องคะแนนให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน  
ดังรายละเอียดในหน้า 2

เลข ที่	ชื่อ - สกุล	การวางแผนและการออกแบบ					การดำเนินการ		ผลการทดสอบ			รวม
		การตั้งค่าตัวแปร	ตั้งค่าปรับปรุง	ตัวบ่งคัดกรอง	ร่างกราฟทดสอบ	วิธีการวัด	มาตรฐานที่หล่อหลอม	ทดสอบ (10)	ทดสอบ (10)	และสูปพลอย (10)		
1		2	1	1	8	4	3	3	4	3	5	40
2												
3												
4												
5												

เกณฑ์การตัดสินถูกภาพ

ช่วงคะแนน	ระดับถูกภาพ	ความหมาย
31 – 40	3	ทักษะในการทดสอบอยู่ในระดับคีมาก
21 – 30	2	ทักษะในการทดสอบอยู่ในระดับดี
11 – 22	1	ทักษะในการทดสอบอยู่ในระดับปานกลาง
0 – 10	0	ทักษะในการทดสอบอยู่ในระดับน้อย

### เกณฑ์การให้คะแนน

#### การวางแผนและการออกแบบการทดลอง

##### ชื่อเรื่อง

- ถอดคลื่นส่องกับปัญหา  
ไม่ถอดคลื่นส่องกับปัญหา ให้ 1 คะแนน
- ชื่อเรื่องมีความชัดเจน  
ไม่ชัดเจน ให้ 0 คะแนน

##### ปัญหา

- ถอดคลื่นส่องกับชื่อเรื่อง  
ไม่ถอดคลื่นส่องกับชื่อเรื่อง ให้ 1 คะแนน
- ครอบคลุมเรื่อง  
ไม่ครอบคลุมเรื่อง ให้ 0 คะแนน

##### การตั้งสมมติฐาน

- ตั้งสมมติฐานได้สอดคล้องกับปัญหา  
ถ้าไม่สอดคล้องกับปัญหา ให้ 0 คะแนน
- ตั้งสมมติฐานให้อย่างมีเหตุผล  
ถ้าตั้งสมมติฐานไม่มีเหตุผล ให้ 1 คะแนน

##### ตัวแปรต่างๆ ทั้ง 3 ตัวแปร

- มีตัวแปรต่างๆ และถูกต้อง ให้คะแนนตัวแปรละ 1 คะแนน
- มีตัวแปรต่างๆ แต่ไม่ถูกต้อง หรือไม่มีตัวแปร ให้ 0 คะแนน

##### วิธีการทดลอง

- ระบุอุปกรณ์การทดลองครบถ้วน  
ระบุอุปกรณ์การทดลองไม่ครบถ้วน ให้ 1 คะแนน
- ระบุอุปกรณ์การทดลองเหมาะสม  
ระบุอุปกรณ์การทดลองไม่เหมาะสม ให้ 0 คะแนน
- มีวิธีการทดลองเหมาะสม  
ไม่มีวิธีการทดลองเหมาะสม ให้ 2 คะแนน
- วิธีการทดลองเข้าขั้นตอนหรือลักษณะช้อน  
ไม่วิธีการทดลองไม่เหมาะสม ให้ 1 คะแนน
- มีวิธีการทดลองไม่เหมาะสม  
ให้ 0 คะแนน

### การดำเนินการทดสอบ

#### การทดสอบ

- ดำเนินการทดสอบสอดคล้องกับแผนการทดสอบ ให้ 1 คะแนน
- ดำเนินการทดสอบไม่สอดคล้องกับแผนการทดสอบ ให้ 0 คะแนน

#### วิธีการใช้อุปกรณ์

- การดำเนินการทดสอบมีวิธีการใช้อุปกรณ์ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
- การดำเนินการทดสอบมีวิธีการใช้อุปกรณ์ไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน

#### การเก็บรักษาอุปกรณ์

- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบมีความสะอาด ให้ 1 คะแนน
- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบไม่มีความสะอาด ให้ 0 คะแนน
- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบเป็นระเบียบ ให้ 1 คะแนน
- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบไม่เป็นระเบียบ ให้ 0 คะแนน
- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบไม่ชำรุด ให้ 1 คะแนน
- เก็บรักษาอุปกรณ์การทดสอบชำรุด ให้ 0 คะแนน

### ผลการทดสอบและสรุปผล

#### การจัดกระทำข้อมูล

- นำเสนอยาช้อมูลเพื่อใจจด ให้ 1 คะแนน
- นำเสนอยาช้อมูลให้เหมาะสม ให้ 1 คะแนน
- นำเสนอข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน (ถ้าไม่มีให้ 0 คะแนน ในแต่ละระดับ) ให้ 1 คะแนน

#### ความถูกต้องของข้อมูล

- ข้อมูลที่นำเสนอเป็นข้อมูลถูกต้อง ให้ 2 คะแนน
- ข้อมูลที่นำเสนอไม่ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
- ข้อมูลที่นำเสนอไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน

#### การแปลความหมายข้อมูลและสรุปผลการทดสอบ

- แปลความหมายข้อมูลได้ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
- แปลความหมายข้อมูลไม่ถูกต้อง ให้ 0 คะแนน
- สรุปผลข้อมูลการทดสอบได้สอดคล้อง กับจุดประสงค์การทดสอบ ให้ 1 คะแนน
- สรุปผลข้อมูลการทดสอบไม่สอดคล้อง กับจุดประสงค์การทดสอบ ให้ 0 คะแนน



### ภาคผนวก ค

- รายชื่อผู้เขี่ยวชาญ
- แบบรายงานผลการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา
- แบบสรุปผลค่าความเชื่อมั่นที่มีต่อแนวคิดที่ต้องการทดลอง เพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวและคุ้มครองการใช้งานหุ่นทดลอง
- แบบสรุปผลค่าความเชื่อมั่นที่มีต่อแบบประเมินทักษะในการทดลอง ในการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวของนักเรียน

## รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ

1. นางสุปราณี มงคลลำ  
ครุelmananuay การพิเศษ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม อำเภอเมือง  
จังหวัดบุรีรัมย์  
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาและการสอนพิสิกส์
2. นางประนอม วิริยะ  
ครุelmananuay การพิเศษ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม อำเภอเมือง  
จังหวัดบุรีรัมย์  
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาและการสอนพิสิกส์
3. นายวงศ์ โสภา  
ครุelmananuay การพิเศษ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม อำเภอเมือง  
จังหวัดบุรีรัมย์  
ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิชาและการสอนพิสิกส์
4. นางสาวพิมลพรรรณ ปฐุ่งโพธ  
ครุelmananuay การพิเศษ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม อำเภอเมือง  
จังหวัดบุรีรัมย์  
ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลและประเมินผลการศึกษา
5. นางเยาวลักษณ์ จันตนาสถิต  
ครุelmananuay การพิเศษ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม อำเภอเมือง  
จังหวัดบุรีรัมย์  
ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนวิทยาศาสตร์



ที่ ทบ 04262.28/1712

โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม  
บ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000

10 กันยายน 2555

**เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานการวิชาการ**

เดือน ผู้อำนวยการโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

- |                     |   |
|---------------------|---|
| สัปดาห์ที่ส่งมาด้วย | 1.แบบทดสอบความคิดเห็นด้านคุณภาพและอุดหนุน จำนวน 1 ชุด |
|                     | 2.แบบทดสอบความคิดเห็นด้านคุณภาพและอุดหนุน จำนวน 1 ชุด |
|                     | 3.คู่มือการใช้คุณภาพและอุดหนุน จำนวน 1 ชุด            |

ด้วย นางสาววิภาดา พลพันธ์ อายุ 35 ปี ให้เชื่อถือผลงานการวิชาการเป็นเอกสารประกอบการสอน ต่อไปนี้เป็นการเรียนรู้ วิชาภาษาไทย ปีชั้นอนุบาลปีที่ 5 เพื่อประกอบการท่องเที่ยวท่องเที่ยว รายวิชาภาษาไทย ที่สำคัญที่สุด ให้กับเด็กที่หลงเหลือในวัยชราภรณ์เป็นไปได้ตามมาตรฐานคุณภาพมาตรฐานระดับประเทศ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม ได้ตรวจสอบแล้วพบว่า นางอุปราชี มงคลดี อายุ 35 ปี วิทยฐานะ ชำนาญการพิเศษ เป็นผู้มี คุณวุฒิ ความสามารถและมีประสบการณ์ในการสอนเป็นอย่างมาก จึงได้ขอความอนุเคราะห์ท่าน เนื่องด้วยความต้องการที่จะร่วมศึกษา ตรวจสอบเกี่ยวกับเรื่องนี้ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จึงได้ติดต่อทางโทรศัพท์ 044-612888 ให้ทราบ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและขอทราบ ขอขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมศักดิ์ แฉมโนทัยสูร)

ผู้อำนวยการโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

ผู้อำนวยการท่องเที่ยว

โทร. 044-612888



ที่ ๘๘ ๐๔๒๖.๒๘/๗๗๑

โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาลัย

อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ ๓๑๐๐๐

๑๐ กันยายน ๒๕๕๓

**แบบ ๑ ขอความอภัยคราประหารชื่อสกุลของตนทางวิชาการ**

**ผู้สอน ผู้อำนวยการ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาลัย**

- |                      |  |             |
|----------------------|--|-------------|
| ผู้เรียนที่ลงนามด้วย | ๑. แบบแสดงความคิดเห็นด้วยชุดทดสอบและตีตื้น | จำนวน ๑ ชุด |
|                      | ๒. แบบแสดงความคิดเห็นด้วยแบบทดสอบตาม       | จำนวน ๑ ชุด |
|                      | ๓. คู่มือการใช้ชุดทดสอบและตีตื้น           | จำนวน ๑ ชุด |

ด้วย นางสาวพิยว่อง พมานันท์ ตำแหน่งครุภัณฑ์ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาลัย สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๓๙ ได้ด้วยตนเองทางวิชาการเป็นเอกสารประจำสอน กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา ใน

ต่อไปนี้ ดังที่ระบุไว้ด้านบนทางวิชาการเป็นไปด้วยความเชิงรือดและน่ารุ้ว ลักษณะของเอกสารนี้ เป็นแบบ  
แบบทดสอบ ที่ผู้สอนได้จัดทำขึ้น นับว่า นางประนียน พิยว่อง ตำแหน่งครุภัณฑ์ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาลัย  
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ ได้รับการฝึกหัดและได้ประสาทการณ์ในเรื่องนี้เป็นอย่างดี ดังที่ระบุไว้ด้านบนทางวิชาการ  
ดังนั้น จึงขอแสดงความเสียใจที่ได้ใช้ในการจัดทำเพื่อความทุกข์ทางบุคคลของบุคคลท่านที่ได้รับ ท่านผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ ได้รับความเสียหาย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและพิจารณา ขอขอบคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(นายสมศักดิ์ แม่ไม้ โภคสูง)

ผู้อำนวยการ โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาลัย

ฝ่ายบริการทั่วไป

โทร. ๐๔๔-๖๑๒๘๘๘



Digitized by srujanika@gmail.com

ใบเรียบผู้รับที่ก่ออาชญากรรม  
คดีที่ ๔๙๖๒๘ ๓๑๐๐๐

10 กันยายน 2555

ก่อตั้งขึ้นตามอุดมการณ์ที่จะสร้างเป็นมาตรฐานทางวิชาการ

### เรียน ที่อ่านว่าการ โรงเรียนปริญัติพิทักษณ์

- หัวข้อที่ต้องมาเข้าชิง 1. แผนผังแสดงความคิดเห็นต่อชุดทดสอบและคู่มือ จำนวน 1 หน้า  
 2. แผนผังแสดงความคิดเห็นต่อแบบทดสอบตาม จำนวน 1 หน้า  
 3. คู่มือการใช้ชุดทดสอบและแบบทดสอบ จำนวน 1 หน้า

ด้วย นางสาวศิริพัชรา ภานุนท์ ลักษณะ ใจเรียนญี่รีรัมพ์พิจิราคม ลังกัสต้าบ้านภูเม็ตตี้บุรี  
การศึกษาขั้นเบื้องต้น ชั้น 32 ใจเด็กทางด้านความรู้วิชาการเป็นผลการประกอบการสอน กลุ่มสาระภาษาไทย  
วิชาภาษาไทย ชั้นนี้ของเด็กนักเรียน เพื่อปั้นประกอบการที่กว้างขันที่นักเรียน ระดับปฐมวัย ให้  
เพื่อให้เกิดจิตวิญญาณทางวิชาการที่น่าสนใจ ให้เด็กสามารถเรียนรู้อย่างง่ายดาย ไม่ใช่เรื่อง  
ที่ยากจนเกินไป เพื่อแสดงให้เห็นว่า นางสาวศิริพัชรา ภานุนท์ ใจดี สำแดงบ่คุ้น วิจัยภาษาไทยอย่างมีความสนุกสนาน เป็นผู้นำ  
ภาษาไทย ผ่านความสามารถและประสบการณ์ในเรื่องนี้เป็นอย่างมาก ใจดีที่จะดูแลดูแลเด็กๆ ที่ห้าม ให้เป็นผู้ที่ร่วมงาน  
ทางภาษาไทยครั้งนี้ที่ใช้ในการจัดทำผลงานภาษาไทยที่ดี นางสาวศิริพัชรา ภานุนท์ ใจดีที่สุด ภานุนท์ ใจเรียน

จึงเรียนมาเพื่อไปประชุมทางภาคใต้ที่กรุงเทพฯ ขอขอบคุณอธิการบดีและคณาจารย์ที่ให้การต้อนรับ

แผนกต่อต้านน้ำมันดิบ

(ນາງຊັມເຕີກຕີ ນັດ້ນໄກໂຄງຫວາງ)

ເປົ້າມາດວກໃຈເອົນໄຫວ່ງນິກການ

ผู้ดูแลร้านที่ว่าไช  
โทร. 044-612888



97-04262-38/1717

ໃຈເຕັມບໍລິສັດທີ່ການ

0.004 0.155m 31000

10 กันยายน 2555

เรื่อง ข้อความอ่อนแกร่งที่ควรส่งเสริมงานการวิชาการ

เป็น ผู้อำนวยการโรงเรียนบริรัตน์พิทยาคม

- ก. ต่อไปนี้คือความต้องการของผู้คนในสังคมที่ดี ระบุตัวเลขอารบิกที่ต้องการให้เป็นจริง

  1. ทางประเทศควรมีความมั่นคงและมีความสงบเรียบร้อย จำนวน ๑ ตัว
  2. แผนนยการศึกษาควรมีคุณภาพดีและมีมาตรฐาน จำนวน ๑ ตัว
  3. ผู้มีอิทธิพลต้องไม่ใช้อำนาจในการบังคับบัญชา จำนวน ๑ ตัว

ด้วย นางสาวศิริเพ็ญ ภานุวนันท์ อัจฉราวดี โรงเรียนบูรีรัมย์พิทยาคม ได้ขอตัวเข้ารับการแต่งตั้งเป็น  
การศึกษาเมืองพิษณุโลก เขต 32 หลักที่ก่อตั้งเมืองพิษณุโลกเป็นอดีตการปกครองของอาณาจักรล้านช้าง  
วิเชียรมาศครั้งที่ ๑ ซึ่งมีอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แห่งประเทศไทยการตั้งเป็นเขตการศึกษาในปัจจุบัน

๙๑๖ ๒๕๖๓ หนังสือที่ออกโดย จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับผู้เดินทาง ท่องเที่ยว

ความสำนึกระหว่างประเทศที่มีต่อประเทศไทย ที่สำคัญคือความอุตสาหกรรมที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ไม่ใช่แค่การค้าและลงทุน แต่เป็นการสนับสนุนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ช่วยให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันในเวทีโลกได้มากยิ่งขึ้น นักวิเคราะห์เชื่อว่า ประเทศไทยกำลังเดินทางไปสู่การเป็นศูนย์กลางด้านนวัตกรรมและนวัตกรรมทางเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดแห่งหนึ่งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ชั้นเรียนมานี้เป็นไปอย่างน่าเบื่อพิตรณาฯขอขอบคุณอย่างสูงไว้ก่อน โอกาสหนึ่ง

卷之三

### (ນາຍເຈັນສັກພິ້ວ (ເລີນໄກດູຈຸ))

## ผู้อื่นที่มีส่วนได้เสียในกระบวนการตัดสินใจ

เพิ่มเติม

Inv. 044-612888



ที่ สด 04262.28/7717

โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000

10 กันยายน 2555

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ตรวจสอบผลงานทางวิชาการ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

- สังกัดสำนักงานศึกษาฯ 1. แบบทดสอบความคิดเห็นค่าอุปนิสัยและคุณลักษณะ ชั้นม. 1 ชุด  
 2. แบบทดสอบความคิดเห็นค่าแบบสอบถาม ชั้นม. 1 ชุด  
 3. ภาระการใช้ชุดทดสอบและตัวตั้ง ชั้นม. 1 ชุด

ด้วย นางสาวศิริพร ทุมานนท์ พัฒนา โทร. โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม ห้องคำสั่งงานเบ็ดเตล็ดที่ 1  
 กองบริการนักเรียนศึกษาฯ ตึก 32 ได้ขอให้ลงนามรับวิชาการเป็นเอกสารประจำฉบับการสอน ณ ผู้อำนวยการโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม เพื่อประกอบการทำวิชาการนิพนธ์ ระดับปริญญาโท ใน

เพื่อให้ก่อตัวให้ดูตามห้องเรียนวิชาการเป็นไปด้วยความเรียบเรื่องและบรรยายถูกต้องและดี ไว้ก่อน  
 ดำเนินการโดย อาจารย์และผู้ที่สนใจ ทางสาขาวิชาการและนิพนธ์ ชั้นสูงของ จ.บุรีรัมย์ ชั้นนำในประเทศไทย  
 ที่มีความเชี่ยวชาญด้านนี้ ทางสาขาวิชาการและนิพนธ์ในเรื่องนี้เป็นอย่างมากที่สุด จึงได้ขอความอนุเคราะห์ท่าน  
 ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์และศักดิ์รองมีเดลี่ริชาร์ด ในการเข้ามาทดสอบทางวิชาการให้ด้วย นางสาวศิริพร ทุมานนท์  
 ในครั้งนี้ ทางอักษรร่วมส่งมาให้ด้วย

ขอเรียนมาเพื่อโปรดทราบและห่วงใยของขอนถมอย่างดูแล ไว้ก่อน

ขอบเขตความมั่นใจ

(นายศิริพร พัฒนา ไกคสุจ)  
 ผู้อำนวยการโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

ผู้เขียนรับทราบแล้ว

โทร. 044-612888



**แบบรายงานผลการพิจารณาจดหมายขอรับรองการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา**

**๑. ชื่อวิทยานิพนธ์**

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ (ภาษาไทย)

การออกแบบและทำกรอบของน้ำท่าสำหรับน้ำมันกันเหงื่อในสภาวะ  
ต่างๆ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ (ภาษาอังกฤษ)

Design and fabrication of the refractive index of liquid  
by refraction of light

**๒. ชื่อนิสิต (นาย,นาง,นางสาว):**

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

น้ำมันกันเหงื่อ หมายเหตุ

สาขาวิชาเคมีศาสตร์

ภาคบ่าย

นบ.วิจัยที่ส่งตัว:

ภาคบ่าย

๔. ผลการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจดหมายขอรับรองการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา:

คณะกรรมการการวิจัยและนวัตกรรม ได้พิจารณาของเรื่องที่ได้รับการติดต่อ เนื่องจากผู้เข้าร่วมดำเนินการที่ได้รับการติดต่อ ในการประเมินค่าความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

(๑) การสำรวจฟังเสียงผู้เชี่ยวชาญ และลักษณะของมนุษย์ที่เข้าเป็นตัวอย่างในการวิจัย

(๒) ผู้เชี่ยวชาญและนักวิจัยในการให้รับความเห็นชอบของนักวิจัยที่ได้รับการติดต่อ รวมทั้งการประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

(๓) การดำเนินการวิจัยอย่างมีความรับผิดชอบ ไม่ใช่การทดลองที่ไม่ได้รับการติดต่อ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะใด ก็ตามที่เข้าใจ

คณะกรรมการพิจารณาจดหมายขอรับรองการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา:  
มีมติเห็นชอบ ดังนี้

ข้ารับรองว่าได้รับ  
การติดต่อ

๔. วันที่ได้ทำการรับรอง: ๙๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๖๒

ลงนาม \_\_\_\_\_

(ผู้รับรองคณาจารย์เอกอัคร ศรีสุข)

ประธานคณะกรรมการพิจารณาจดหมายขอรับรองการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ตารางที่ ค-1 แบบสรุปผลค่าความซึ่งกันนั้นที่มีต่อเวทกรรม ชุดทดสอบเพื่อหาค่าดัชนีทักษะของเหตุการณ์ทางแรง  
และรู้สึกของการใช้งานชุดทดสอบ

รายการประเมิน	ค่าคะแนนตามคิตติที่ร่วมบูรณาธิชัยชาญ					$\sum R$	$\bar{X}$	สรุปผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
1. ความต้องการลื้อของหน้าตากล้าสัตร	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
2. ความต้องการลื้อของหน้าตากับบรรณาธิคิริยา	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
3. ความต้องการลื้อของหน้าตากับวัยผู้เรียน	+1	0	+1	+1	+1	4	0.8	ย่อมรู้
4. ความต้องการลื้อของหน้าตากับสภาพปัจจุบัน และปัญหา	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
5. ความหน้างานสมต่อกระบวนการพัฒนาผู้เรียน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
6. ความหน้างานสมของปก	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
7. ความหน้างานสมของคำใช้เจาะจง	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ย่อมรู้
8. ความหน้างานสมของภาษา	+1	0	+1	+1	+1	4	0.8	ย่อมรู้

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

รายการประเมิน	คะแนนความต้องการของผู้เรียนวิชาชีพ					$\sum R$	$\bar{X}$	สูงสุด
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
9. ความหมายสอนของน่าดึงดูด	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ยอดรวม
10. ความหมายสอนของน่าดึงดูด	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ยอดรวม
11. ความหมายสอนของน่าดึงดูด	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ยอดรวม
12. ความหมายสอนของน่าดึงดูด	0	+1	+1	+1	+1	4	0.8	ยอดรวม
13. ความหมายสอนของน่าดึงดูดกิจกรรมการทดลอง	+1	+1	+1	+1	+1	5	1	ยอดรวม
14. ความหมายสอนของร่วมงานการทดลอง	0	+1	+1	+1	+1	4	0.8	ยอดรวม

ตารางที่ ค-1 (ต่อ)

ตารางน้ำหนักความติดเนื้อนของผู้เข้าเยี่ยมชม						
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	$\sum R$
	+1	+1	+1	+1	5	$\bar{X}$
<b>15. ความหมายถึงของรูปเล่ม</b>						
รวม	13	13	15	15	71	14.2
เฉลี่ย	0.87	0.87	1.00	1.00	1.00	0.95

ตารางที่ ค-2 แบบสรุปผลคำความรู้นั่นที่มีต่อบนประภินทักษะในการทดสอบ ในการหาค่าตัวชี้วัดทักษะของเหลวตัวบทกราฟิกบนสังข์ของเรียน

คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ								
รายการประเมิน	คณฑ์ 1	คณฑ์ 2	คณฑ์ 3	คณฑ์ 4	คณฑ์ 5	$\sum R$	$\bar{X}$	สรุปผล
<b>1. การวางแผนและการออกนโยบายการทดสอบ</b>								
1.1 ชื่อเรื่อง	0	+1	+1	0	+1	3	0.60	ใช่ครับ
1.2 ปัญหา	-1	+1	+1	+1	+1	3	0.60	ใช่ครับ
1.3 การตั้งสมมติฐาน	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช่ครับ
1.4 ตัวแปรต้น	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช่ครับ
1.5 ตัวแปรตาม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช่ครับ
1.6 ตัวแปรควบคุม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช่ครับ
1.7 วิธีการทดสอบ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช่ครับ

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

ค่าคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ								
รายการประเมิน	คันที่ 1	คันที่ 2	คันที่ 3	คันที่ 4	คันที่ 5	$\sum R$	$\bar{X}$	สรุปผล
<b>2. การดำเนินการทดสอบ</b>								
2.1 การทดสอบ	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช่
2.2 วัสดุอุปกรณ์	+1	+1	+1	0	0	4	0.80	ใช่
2.3 การเงินรักษาภาระ	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช่
<b>3. ผลการทดสอบและสรุปผล</b>								
3.1 การจัดระบบทำข้อมูล	+1	0	+1	+1	+1	4	0.80	ใช่

ตารางที่ ค-2 (ต่อ)

รายการประเมิน	คะแนนความคิดเห็นของผู้เรียนสาขาฯ					$\sum R$	$\bar{X}$	สรุปผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5			
3.2 ความถูกต้องของข้อมูล	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00	ใช่ครับ
3.3 การประมวลผลและสรุป	+1	+1	0	+1	+1	4	0.80	ใช่ครับ
รวม	10	11	10	12	12	55	11	ใช่ครับ
เฉลี่ย	0.77	0.85	0.77	0.92	0.92	3.31	0.85	

### **ภาคผนวก ๑**

- ผลการประเมินทักษะในการทำการทดลอง
- ผลการประเมินสภาพการเรียนรู้ของนักเรียนในการทดลอง

ตารางที่ ง-1 ผลการประเมินทักษะในการทดลอง

องค์ประกอบและ คะแนนเต็ม	การวางแผนและการ ออกแบบการทดลอง			ผลการทดลอง และสรุปผล	รวม
	การดำเนินการ ทดลอง				
นักเรียนคนที่	20	10	10	40	
1	19	8	10	37	
2	18	8	9	35	
3	18	7	7	32	
4	17	8	9	34	
5	18	9	8	35	
6	16	8	8	32	
7	20	9	10	39	
8	18	7	9	34	
9	19	7	8	34	
10	15	8	8	31	
11	15	8	9	32	
12	19	7	8	34	
13	18	9	8	35	
14	16	8	7	31	
15	17	9	8	34	
16	14	7	7	28	
17	18	8	6	32	
18	17	8	8	33	
19	18	6	7	31	
20	19	7	6	32	
21	20	8	8	36	
22	17	6	8	31	
23	18	8	7	33	

ตารางที่ ง-1 (ต่อ)

นักเรียนคนที่	องค์ประกอบและ				รวม
	คะแนนเต็ม	การวางแผนและการ ออกแบบการทดลอง	การดำเนินการ ทดลอง	ผลการทดลอง และสรุปผล	
24	18	8	7	33	
25	19	7	8	34	
26	16	7	8	31	
27	17	8	8	33	
28	18	8	7	33	
29	18	9	8	35	
30	16	8	7	31	
31	18	8	7	33	
32	19	9	9	37	
33	19	10	9	38	
34	17	8	8	33	
35	18	8	9	35	
36	18	9	8	35	
37	17	7	7	31	
38	19	10	8	37	
39	19	9	8	36	

ตารางที่ ง-2 ผลการประเมินกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนในการทำการทดลอง

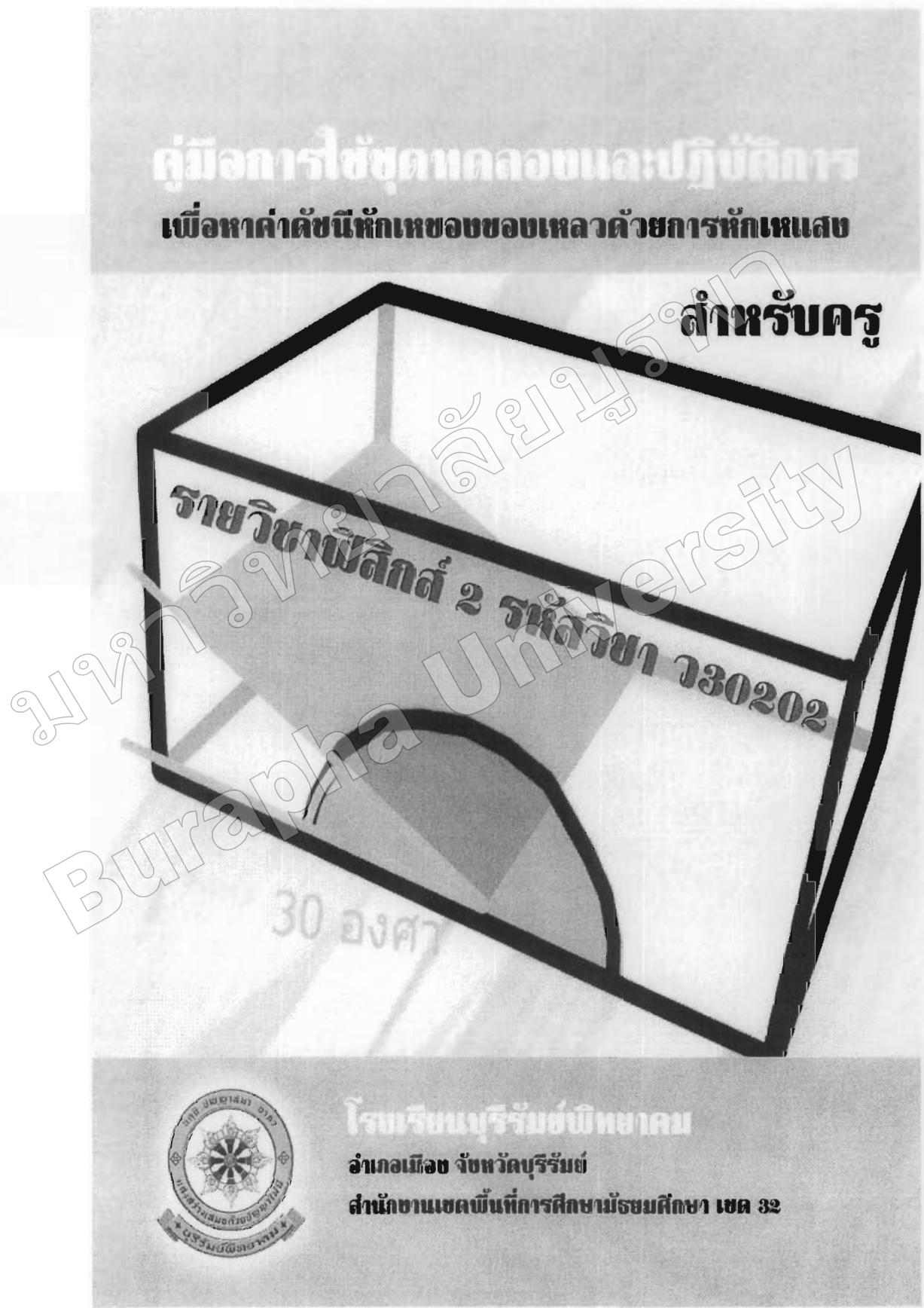
องค์ประกอบและ คะแนนเต็ม	มีความกระตือ รือร้นในการ แสวงหาความรู้	ชักถาม เพื่อหา คำตอบ	สนใจเรียนรู้ เพิ่มเติม	ทำงาน เสร็จตาม กำหนด	ช่วยเหลือ เพื่อน	รวม
นักเรียนคนที่	2	2	2	2	2	10
1	2	2	1	2	2	9
2	2	2	2	1	1	8
3	1	2	2	2	2	9
4	1	1	2	2	2	8
5	2	1	1	2	2	8
6	2	2	2	1	2	9
7	2	2	2	1	2	9
8	1	1	2	2	2	8
9	2	1	2	1	2	8
10	2	2	2	2	2	10
11	1	2	2	2	2	9
12	1	1	2	2	2	8
13	2	2	1	1	2	8
14	2	2	1	1	2	8
15	1	1	1	2	2	7
16	2	2	2	1	1	8
17	2	2	2	1	1	8
18	2	2	2	2	1	9
19	2	1	2	1	2	8
20	2	2	2	2	2	10
21	1	1	2	2	2	8
22	1	2	2	1	2	8
23	2	2	1	2	2	9

ตารางที่ ง-2 (ต่อ)

องค์ประกอบและ คะแนนเต็ม	มีความกระตือ รือร้นในการ แสวงหาความรู้	ชักดาม เพื่อหา คำตอบ	สนใจเรียนรู้ เพิ่มเติม	ทำงาน สร้างตาม กำหนด	ช่วยเหลือ เพื่อน	รวม
นักเรียนคนที่	2	2	2	2	2	10
24	2	2	2	1	2	9
25	2	1	1	2	2	8
26	2	2	2	1	1	8
27	2	2	2	1	2	9
28	2	1	1	2	2	8
29	2	2	1	1	2	8
30	2	1	2	2	2	9
31	2	2	2	2	1	9
32	1	2	2	2	1	8
33	2	1	2	2	2	9
34	2	2	1	1	2	8
35	2	2	2	2	2	10
36	2	1	2	2	2	9
37	2	2	1	1	2	8
38	1	2	1	2	2	8
39	2	1	2	2	2	9

ภาคผนวก ช

กิจกรรมใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของเหลว  
ด้วยการหักเหแสง ฉบับครุภัณฑ์สอน



## คำชี้แจง

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของเหลวด้วยการหักเหแสง ฉบับครุพัสดอนนี้ ใช้สำหรับประกอบการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ 3 (ว30202) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อศึกษาค่านิ่วของน้ำกับเรื่อง การหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของเหลว เพื่อศึกษาค่าดัชนีหักเหของเหลว จากชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของเหลวด้วยการหักเหแสง โดยทำการทดลองกับของเหลว 3 ชนิด คือ น้ำ กลีเซอรีน และเอทิลแอลกอฮอล์ และคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของเหลว โดยใช้ความสัมพันธ์จากกฎของสเนลล์ โดยคู่มือชุดนี้จะประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ เอกสารประกอบการทำการทดลอง แนวทางของผลการทดลองและคำถามในการทดลอง สำหรับครุพัสดอนานาไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพต่อไป

ผู้จัดทำหวังว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการสอนในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี

นางสาวผิวผ่อง ทมานนท์  
ครุโภร์เรียนบูรีรัมย์พิทยาคม

ผู้จัดทำ

## แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ชื่อวิชา ฟิสิกส์

รหัสวิชา ว 30202

เรื่อง การหักเหของแสง

จำนวน 4 ชั่วโมง

ผู้สอน นางสาวพิวผ่อง ทมานนท์

โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม

**มาตรฐานการเรียนรู้ ว.5.1 :** เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูป พลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

**มาตรฐานการเรียนรู้ ว.8.1 :** ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าประภากลไส์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลาหนึ่น ๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสังคม และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

### ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

ทดลอง วิเคราะห์ อภิปราย และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการหักเหของแสง ได้

### สาระสำคัญ

เมื่อแสงเคลื่อนที่ไปพบสิ่งกีดขวางที่มีโครงสร้างหักเหต่างกัน แล้วสามารถผ่านสิ่งกีดขวางไปได้ จะมีผลทำให้แนวการเคลื่อนที่ของแสงเปลี่ยนไปจากเดิม เราเรียกประภากลไส์การณ์นี้ว่า การหักเหของแสง และเป็นไปตามกฎการหักเหของแสง ดังนี้ 1) รังสีหักเหอยู่ในระนาบเดียวกันกับรังสีต้นฉบับ แต่เส้นทางจาก ณ จุดกระแทบ 2) สำหรับตัวกลางคู่หนึ่ง ๆ อัตราส่วนระหว่างที่ส่องจะมีค่าคงตัวเสมอ ของมุมตัดกระแทบในตัวกลางที่หนึ่งกับใช้น์ของมุมหักเหในตัวกลางที่สองจะมีค่าคงตัวเสมอ

### การบูรณาการ

ส่งเสริมให้นักเรียนรู้ข้อคิดแก้ปัญหา และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

## พฤติกรรมที่ต้องการจะเน้น (คุณลักษณะที่พึงประสงค์)

1. มีระเบียบวินัย
2. ใฝ่รู้/ใฝ่เรียน

## กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

### ขั้นตอนที่ 1-2

1. ครูให้นักเรียนให้นักเรียนดูภาพแท่งดินสอดำในแก้วน้ำใส และสังเกตผลที่เกิดขึ้น พร้อมอภิปรายเกี่ยวกับสิ่งที่เกิดขึ้น
2. ให้นักเรียนที่เป็นตัวแทนของกลุ่มอธิบายวิธีการทดลอง การหักเหแสง ตามที่ได้ค้นคว้ามา
3. ให้ตัวแทนนักเรียนอธิบายอุปกรณ์ วิธีการทดลอง การบันทึกผลและข้อควรระวัง ในการทำการทดลอง
4. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองการหักเหแสง บันทึกและสรุปผลการทดลองในแบบรายงานการทดลอง
5. ให้นักเรียนที่เป็นตัวแทนกลุ่มน้ำเส้นอพลการทดลอง แล้วอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการหักเหแสง
6. ให้นักเรียนทำใบงานเรื่อง การหักเหของแสง และให้นักเรียนนำเสนอผลที่ได้
7. ให้ตัวแทนนักเรียนอภิปรายสรุปเกี่ยวกับการหักเหของแสง

### ขั้นตอนที่ 3-4

1. ครูให้ตัวแทนนักเรียนอภิปรายความทวนเกี่ยวกับการหักเหของแสง ที่เรียนไปจากครั้งก่อน
2. ครูอธิบายเนื้อหาค่าดัชนีหักเหบนกระดาษ และมองหมายให้นักเรียนศึกษาการทดลองเรื่องการหาค่าดัชนีหักเหของแสงของเหลวด้วยการหักเหแสง
3. ครูอธิบายวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ วิธีการทดลอง การบันทึกผลและข้อควรระวังในการทำการทดลอง
4. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองกิจกรรมการใช้ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของแสงเหลวด้วยการหักเหแสง บันทึกและสรุปผลการทดลองในแบบรายงานการทดลอง
5. ให้นักเรียนที่เป็นตัวแทนกลุ่มน้ำเส้นอพลการทดลอง แล้วอภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุปเกี่ยวกับการทดสอบหาค่าดัชนีหักเหของแสงเหลวด้วยการหักเหแสง

6. ให้นักเรียนทำใบงานเรื่องค่าดัชนีหักเหของแสง แล้วให้นักเรียนนำเสนอผลที่ได้หน้าห้องเรียน
7. ครุและนักเรียนร่วมกันอภิปรายสรุปเกี่ยวกับค่าดัชนีหักเหของแสง

### สื่อการเรียนรู้

1. หนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์2
2. ชุดทดลองการหักเหแสง
3. ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง
4. ใบงานเรื่อง การหักเหแสง
5. ใบงานเรื่อง ค่าดัชนีหักเหของแสง

### แหล่งการเรียนรู้

1. ห้องสมุดโรงเรียน
2. ศูนย์คอมพิวเตอร์ (อินเตอร์เน็ต)

### กระบวนการวัดผล-ประเมินผล

#### 1. การวัดผล-ประเมินผลตามชุดประสงค์การเรียนรู้

ตัวที่ต้องการวัดผล	วิธีการวัดผล	เครื่องมือวัดผล	เกณฑ์การประเมินผล
1. องค์ความรู้	1. การตรวจใบงาน	แบบประเมินผลตามชุดประสงค์การเรียนรู้	ระดับ ดีมาก (80-100 คะแนน) ระดับ ดี (70-79 คะแนน)
2. กระบวนการในการทดลอง	2. สังเกตจากพฤติกรรมในการทำการทดลอง และ การตรวจ ผลรายงาน การทดลอง	แบบประเมินความสามารถในการทดลองและแบบประเมินกระบวนการกลุ่ม	ระดับ ดีพอใช้ (60-69 คะแนน) ระดับ พอใช้ (50-59 คะแนน) ระดับ ปรับปรุง (น้อยกว่า 50 คะแนน)

2. การวัดผล-ประเมินผลตามพฤติกรรมที่ต้องการเน้น (คุณลักษณะที่พึงประสงค์)

สิ่งที่ต้องการวัดผล	วิธีการวัดผล	เครื่องมือวัดผล	เกณฑ์การประเมินผล
1. มีระเบียบวินัย 2. ไฟรู้ไฟเรียน	การตรวจใบงาน และสังเกตพฤติกรรม จากการเรียน และ การมี ส่วนร่วมในชั้นเรียน	ประเมินแบบสอบถาม สภาพการเรียนรู้	ระดับดีมาก (71-100 คะแนน) ระดับดี (51-70 คะแนน) ระดับปรับปรุง (0-50 คะแนน)

## เอกสารประกอบการทำทดลอง

### การปฏิบัติการโดยใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

#### 1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. นักเรียนสามารถอธิบายการหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของของเหลว และคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง

#### 2. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง

1. นักเรียนสามารถใช้ชุดการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสงได้
2. นักเรียนมีความรู้ (K) ทักษะกระบวนการ (P) และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (A)
3. นักเรียนรู้จักกิด แก้ปัญหา และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

#### 3. เทオราและทฤษฎี

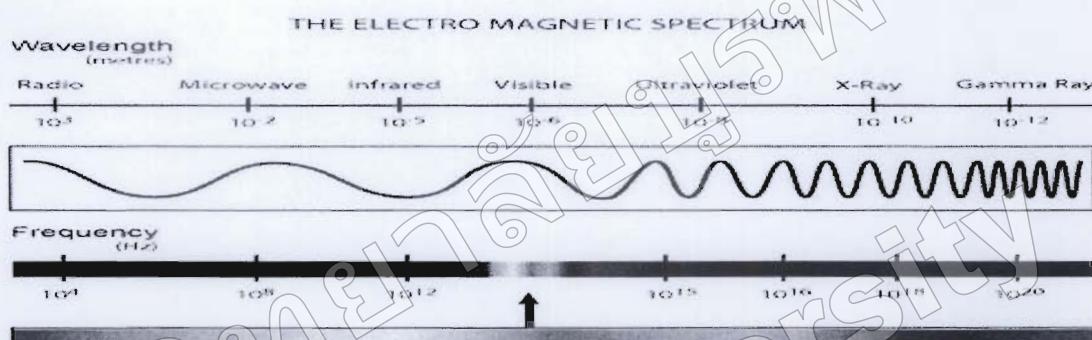
##### แสง (Light)

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เดินทางในรูปคลื่น ด้วยอัตราเร็วเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  แหล่งกำเนิดแสงมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แสงจากหลอดไฟ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควันหรือฝุ่นละอองจะเห็นลำแสงเด่นตรง และสามารถทำลูปผ่านวัตถุได้ วัตถุที่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเป็นเด่นตรงไปได้นั้นเรียกวัตถุนี้ว่า วัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชิ้นแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไปโดยรอบทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเด่นตรงเรียกวัตถุนั้นว่าวัตถุโปร่งแสง เช่น กระจกผ้า กระดาษ ไวน์ พลาสติกผ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไปได้เรียกว่า วัตถุทึบแสง เช่น พนังคอนกรีต กระดาษแข็งหนา ๆ เป็นต้น วัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูกลืนแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น

แสงคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่สามัญมักมองเห็น แสงจะแสดงสมบัติเป็นทวิภาคคือเป็นทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particle) ในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ

1. แสงเป็นคลื่น ในศตวรรษที่ 18 แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ค้นพบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ รังสีอิเล็กตรอน และรังสี

แกนมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ความยาวคลื่น และเรียกแทนความยาวคลื่น หัวหนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าว่า แอนสเปคตรัม โดยที่ระบุการเปลี่ยนแปลงของ สนามแม่เหล็กตั้งจากกับระยะการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และตั้งจากกับทิศทางการ เคลื่อนที่ของคลื่น และแสดงกีมการเดี่ยวเบนด้วย ซึ่งการเดี่ยวเบนกีแสดงสมบัติของคลื่น แสงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงของสเปคตรัมที่สามารถมองเห็นได้ซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง ประมาณ 400 – 750 nm ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 1 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สมบัติที่สำคัญของคลื่น คือ ความยาวคลื่น (wavelength) แอมปลิจูด (amplitude) และเฟส (phase) ซึ่งทำให้คลื่นสามารถแสดงสมบัติที่สำคัญคือการหักเห (reflection) การสะท้อน (refraction) การแทรกสอด (interference) และการเดี่ยวเบน (diffraction)

2. แสงเป็นอนุภาค ไอน์สไตน์ (A. Einstein) เป็นบุคคลแรกที่สามารถอธิบาย ปรากฏการณ์โฟโตอิเลคทริก (photoelectric effects) ได้ โดยพิจารณาว่าแสงมีลักษณะเป็นก้อน ๆ เรียกว่าโฟตอน (photon) วิ่งมาชนผิวของโลหะแล้วถ่ายทอดโน้มนต์ให้กับอิเลคตรอน ซึ่ง พลังงานของแสงที่ชนจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแสง นั่นคือโฟตอนของแสงสีม่วงมีพลังงานมากกว่าโฟตอนของแสงสีแดง

แสงเป็นก้อนพลังงานมีค่าพลังงาน  $E = hf$  โดยที่  $h$  คือค่าคงตัวของพลังค์ และ  $f$  คือความถี่ของแสง เรียกอนุภาคแสงว่าโฟตอน เมื่อขยายแสงไปตกกระทบที่ผิวของโลหะแล้วทำให้อิเลคตรอนหลุดออกม來 โดยที่พลังงานจนน์ของอิเลคตรอนที่หลุดออกมจะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้ม (แอมปลิจูด) ของแสง แต่จะขึ้นอยู่กับความถี่ เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า “ปรากฏการณ์โฟโตอิเลคทริก”

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงสเปกตรัม ที่สามารถมองเห็นได้ คือ อยู่ในย่านความถี่  $380 \text{ THz}$  ( $3.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ) ถึง  $750 \text{ THz}$  ( $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ) จากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ( $v$ ) ความถี่ ( $\nu$ ) และ ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ของแสง และ ความเร็วของแสงในสุญญาภานมีค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณความยาวคลื่นได้ โดยแสงที่เรามองเห็นได้ข้างต้นนั้นจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง  $400 \text{ nm}$  และ  $800 \text{ nm}$  (ในสุญญาภาน)

### สมบัติของแสง

1. การสะท้อนของแสง เมื่อแสงตกกระทบผิวของวัตถุใด ๆ โดยที่พื้นที่ผิวของวัตถุไม่ลisciplined ผลลัพธ์งานแสงทั้งหมด พลังงานที่เหลือจะสะท้อนออกมากจากผิวของวัตถุนั้น ๆ ไม่ว่าวัตถุจะมีผิวอย่างไร การสะท้อนของแสงจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง คือ รังสีตัดกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่บนระนาบเดียวกัน และมุมตัดกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เมื่อรังสีของแสงตกกระทบผิววัตถุที่ลisciplined ถ้าเราลากเส้นตั้งฉากกับผิววัตถุนั้น เส้นตั้งฉากที่ลากนี้ เรียกว่าเส้นแนวฉาก และเรียกมุมที่รังสีตัดกระทบทำกับเส้นแนวฉากว่า มุมตัดกระทบ มุมที่รังสีสะท้อนทำกับแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน วัตถุที่สะท้อนแสงได้ดีจะต้องมีผิวเรียบและเป็นมัน เช่น กระจกเงา จะทำให้เกิดการสะท้อนอย่างมีระเบียน แต่ถ้าวัตถุที่มีผิวไม่เรียบจะเกิดการสะท้อนไม่มีระเบียน แต่การสะท้อนของแสงเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง

2. การหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางพบรอยต่อระหว่างตัวกลางหรือแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันจะทำให้ทางเดินของแสงเปลี่ยนไปและเกิดการหักเห การหักเหจะเกิดขึ้นเฉพาะผิวรอยต่อของตัวกลางเท่านั้น เนื่องจากของการหักเห คือ แสงผ่านตัวกลางสองชนิด แสงผ่านผิวรอยต่อของตัวกลาง และแนวทางเดินของแสงต้องไม่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลางคู่แสง ซึ่งจะเกิดการหักเหขึ้น

3. การแทรกสอดของแสง เกิดได้ต่อเมื่อคลื่นแสง 2 ขบวนเคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการรวมตัวกันและแทรกสอดกันเกิดเป็นแอบมีดและแบบสว่างบนคลาด โดยแหล่งกำเนิดแสงจะต้องเป็นแหล่งกำเนิดอาพาหัน (Coherent Source) คือเป็นแหล่งกำเนิดที่ให้คลื่นแสงที่มีความถี่ความยาวคลื่น และแอนพลิจูดเท่ากัน แอบสว่างบนคลาดจากการแทรกสอดแบบเสริมและแอบมีดเกิดจากการแทรกสอดแบบหักล้าง

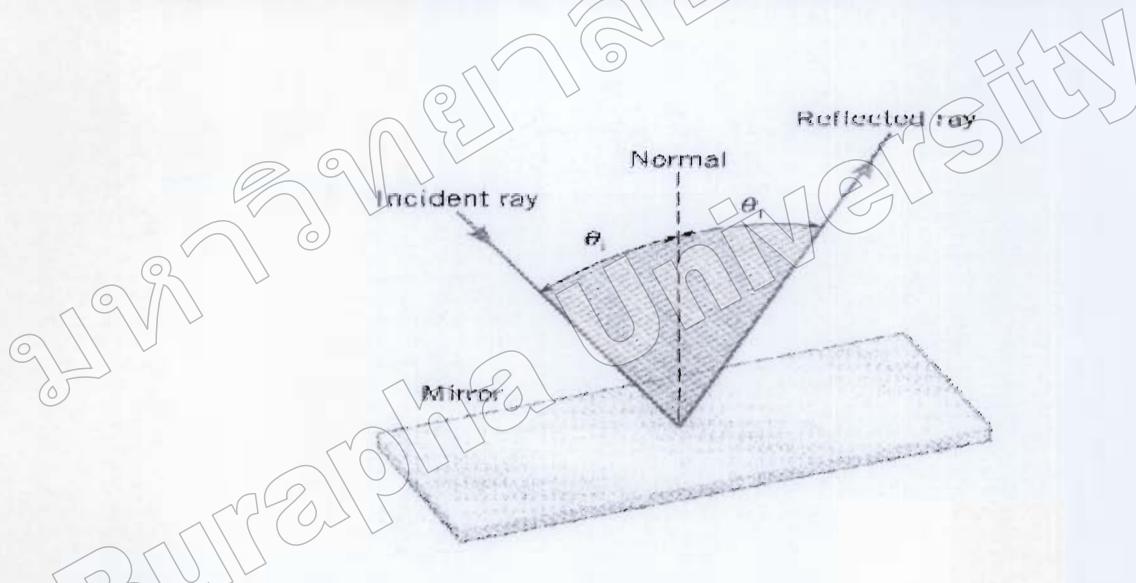
4. การเลี้ยวเบนของแสง การเลี้ยวเบนแสงเป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเปลี่ยนเส้นทางการเคลื่อนที่ เมื่อผ่านสิ่งกีดขวางขนาดเล็กหรือที่ทึบหรือช่องเปิดขนาดเล็ก การเลี้ยวเบนสามารถเกิดได้เมื่อสิ่งกีดขวางหรือช่องเปิดมีขนาดเท่ากับหรือน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบถ้าสลัดเดี่ยวมีความหวังใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ จะเกิดการแทรกสอดเป็น

แบบมีค่าและແດນສ່ວງສລັບກັນ ສ່ວນກາຣເລີ້ວບນຜ່ານສລິຕຸ່ງ ເມື່ອຄົ່ນເລີ້ວບນຜ່ານສລິຕຸ່ງໄປຈະເກີດກາຣແທຣກສອດກັນ ແລະເປັນໄປຕາມເຈື່ອນໄຂກາຣແທຣກສອດ

### ກາຣສະຫຼອນຂອງແສງ

ກາຣສະຫຼອນຂອງແສງ ຄື່ອ ກາຣທີ່ຮັງສືຂອງແສງທົກກະທບກັນສິ່ງກີດຂວາງ ແລ້ວຈະເກີດກາຣສະຫຼອນກັບ ຕາມກຸງຂອງກາຣສະຫຼອນດັ່ງນີ້

1. ຮັງສືທົກກະທບນ ຮັງສືສະຫຼອນ ແລະເຕັ້ນປົກຕິດຂອງຍູ້ໃນຮະນາມເດີຍກັນ
2. ມຸນທົກກະທບນ (incident angle) ມີນາຄາເທົ່າກັນມຸນສະຫຼອນ (reflected angle) ເມື່ອແສງຈາກແຫລ່ງກຳນົດທົກກະທບນພິວຂອງວັດຖຸຈະເກີດກາຣສະຫຼອນແສງ ແລະກາຣສະຫຼອນຈະເກີດຂຶ້ນໄໄດ້ດີ້ກ້າວຕຸ້ນນັ້ນມີພິວເຮັບ ເປັນມັນ ເຫັນ ພິວຂອງຢືນຮັບມັນ ຜິວກະຈົກເງົາຮະນານ ເປັນດັ່ນ



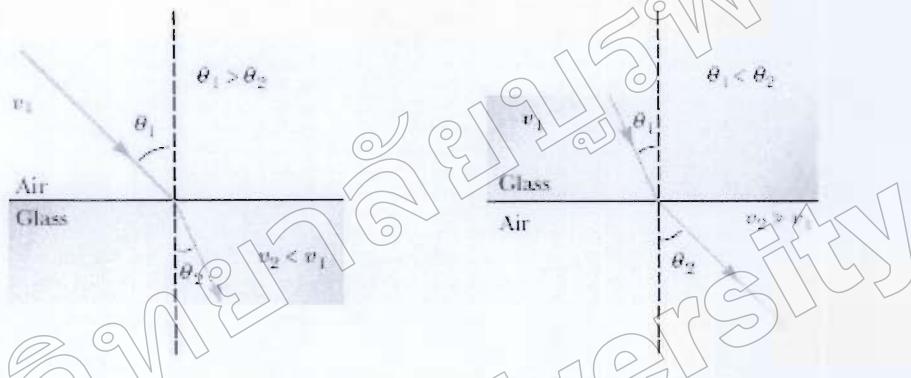
ລາංພື້ 2 ກາຣສະຫຼອນຂອງແສງບນກະຈາກເງົາຮານ

### ກາຣຫັກເຫຼອງແສງ

ກາຣຫັກເຫຼອງແສງ ຄື່ອ ກາຣທີ່ຮັງສືຂອງແສງທົກກະທບນແລະເຂົ້າສູ່ຕົວລາງໃໝ່ໂດຍກຳນົມມຸນທີ່ນີ້ ໂດຍຮັງສືຂອງແສງນີ້ເມື່ອປັບປຸງຕົວລາງ ຄວາມເຮົວແທກທີ່ກາທຈະປັບປຸງ ຮັງສືທີ່ຫັກເຫຼອກມາຈະເຮີຍກວ່າ ຮັງສືຫັກເຫຼ (refracted ray) ກາຣຫັກເຫຼອງແສງນີ້ແປ່ງອອກຕາມກາເນື່ອງແບນຂອງຮັງສືຫັກເຫຼ ໄດ້ເປັນ 2 ພັບ ຄື່ອ

1. การหักเหเข้า คือ การที่รังสีหักเหบนเข้าหาเส้นปกติ เกิดจากการที่รังสีของแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น เดินทางจากอากาศไปสู่น้ำ เป็นต้น

2. การหักเหออก คือ การที่รังสีหักเบนออกจากเส้นปกติ เกิดจากการที่รังสีของแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่ความหนาแน่นน้อยกว่า เช่น เดินทางจากน้ำไปสู่อากาศ เป็นต้น



ภาพที่ 3 การหักเหเข้าและหักเหออกของแสง จากแกนตั้งฉาก (ปวีณา ธารรักษ์, 2551)

โดยการหักเหที่มีการเชื่อมต่อของตัวกลางนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากมีค่าดัชนีแสงเดินทางกระแทบทะเข้าสู่ตัวกลางใหม่ มันจะเปลี่ยนความเร็วและความยาวคลื่น แต่ความถี่ของแสงยังคงเดิมซึ่งการหักเหจะเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (1)$$

โดยที่  $n_1$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1

$n_2$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

$\theta_1$  คือ มุมตัดกระแทบที่ตัวกลางที่ 1

$\theta_2$  คือ มุมหักเหในตัวกลางที่ 2

## ค่าดัชนีการหักเห

ค่าดัชนีหักเห (refractive index) คือ อัตราส่วนของอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ c ซึ่งมีค่าคงตัวประมาณ  $2.99792458 \times 10^8$  m/s กับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ ตัวเลขค่าดัชนีหักเหนี้ โดยทั่วไปมีค่ามากกว่าหนึ่ง โดยยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากกว่าเท่าไหร่ แสงก็จะเดินทางได้ช้าลงเท่านั้น ดังนั้นค่าดัชนีในวัตถุหนึ่ง ๆ คือ ค่าที่บ่งบอกว่ารังสีของแสงมีการเบี่ยงเบนไปมากหรือน้อย เมื่อแสงผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ค่าดัชนีหักเหยิ่งสูง แสงยิ่งเบนมาก ตัวอย่างเช่น แสงจะเบนในตัวกลางที่เป็นแก้วมากกว่าในตัวกลางที่เป็นอากาศ หรือในน้ำ เพราะว่าแก้วหักเหแสงได้ดีกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าแก้วมีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าอากาศหรือน้ำ ซึ่งหากำได้ดังสมการ

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

โดยที่  $n$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

$c$  คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ (m/s)

$v$  คือ อัตราเร็วของแสงในตัวกลาง (m/s)

### ปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเห

#### 1. ความยาวคลื่นแสง

ความยาวคลื่นแสงมีความสำคัญกับค่าดัชนีหักเห เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางตกกระทบเข้าสู่ตัวกลางใหม่ มันจะเปลี่ยนอัตราเร็วและความยาวคลื่น แต่ความถี่ของแสงยังคงเดิม ซึ่งจะเกิดการหักเหขึ้น

#### 2. อุณหภูมิของตัวกลาง

อุณหภูมิของตัวกลางเป็นปัจจัยที่สำคัญ อันเนื่องมาจากการที่ตัวกลางหนึ่งได้รับความร้อนมากขึ้น มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้โมเลกุลเกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่มากขึ้น จึงเกิดการขยายตัวของตัวกลางทำให้ความหนาแน่นของตัวกลางลดลง ดังนั้นแสงจะเดินทางในตัวกลางได้เร็วขึ้น จะเกิดการเบี่ยงเบนแสงน้อยกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก

#### 3. ชนิดของตัวกลาง

แสงเดินทางในตัวกลางใด ๆ ด้วยความเร็วที่ต่างกัน และในตัวกลางที่มีสถานะก้าช แสงจะเดินทางได้เร็วที่สุด และในตัวกลางที่มีสถานะเป็นของแข็ง แสงจะเดินทางได้ช้าที่สุด จึงเป็นผลให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางต่างชนิดกันมีค่าต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 1

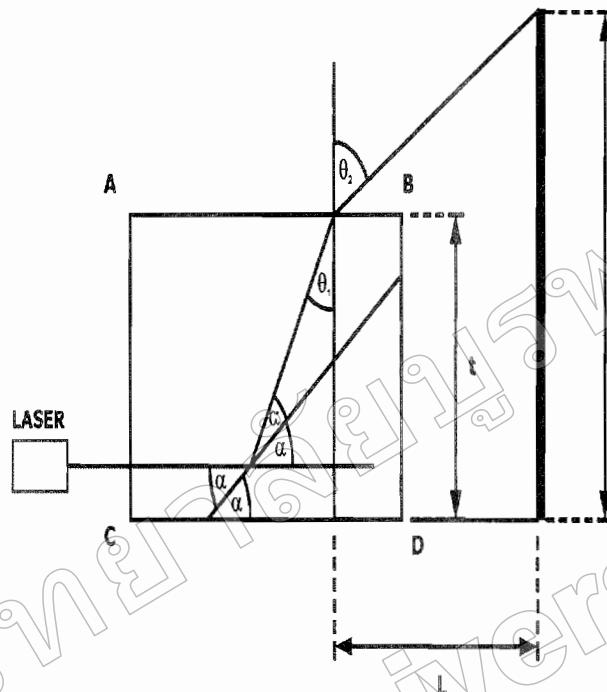
ตารางที่ 1 ค่าดัชนีหักเหของสารต่างชนิดต่าง ๆ (วัชระ รอดสัมฤทธิ์, 2553)

ชื่อสาร	ค่าดัชนีหักเห
สูญญากาศ	1.0
อากาศ	1.00029
คาร์บอนไดออกไซด์	1.00045
ไฮเดรน	1.000034
น้ำ ( $20^{\circ}\text{C}$ )	1.3330
กลีเซอรีน	1.4700
เอทิลแอลกอฮอล์	1.3617
เมทิลแอลกอฮอล์	1.3292
เบนซิน	1.5014
คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำเข้ม 50%	1.6279 1.4200
แก้ว, light crown	1.517
แก้ว, dense crown	1.588
แก้ว, heavy crown	1.579
ฟลูออไรท์	1.434
เพชร	2.417

#### 4. ความเข้มข้นของตัวกลาง (ความหนาแน่นของตัวกลาง)

ถ้าความหนาแน่นของตัวกลางลดลง แสงจะเดินทางในตัวกลางได้เร็วขึ้น และเกิดการเปี่ยงเบนแสงน้อยกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า

#### 4. หลักการทำงานของชุดทดลอง



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของชุดทดลอง

จากภาพที่ 4 แสดงลักษณะของตัวชี้เลเซอร์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ต้องเข้าไปในกล่องกระดาษที่บรรจุของเหลวความสูง  $t$  ที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเห (ตัวกลางที่ 1) ในแนวระนาบตากกระดาษจากเงาราบที่วางทับมุม  $\alpha$  กับแนวทางเดินของแสงเลเซอร์ ซึ่งจะสะท้อนขึ้นด้านบนของกล่องกระดาษไปตอกกระดาษรอยต่อของตัวกลางที่ 1(ของเหลว) ทำมุม  $\theta_1$  และหักเหผ่านออกสู่ตัวกลางที่ 2 (อากาศ) ทำมุม  $\theta_2$  ไปตอกกระดาษบนฉากริ้วตามแน่นความสูง  $H$  โดยฉากริ้วแสงนี้วางห่างเป็นระยะ  $L$  จากตำแหน่งจุดหักเหของแสงเลเซอร์จากตัวกลางที่ 1 สู่ตัวกลางที่ 2 วัดระยะต่าง ๆ และนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของเหลวด้วยการหักเหแสงจากสมการความสัมพันธ์ (4-2)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)}{\sin (90 - 2\alpha)} \quad (3)$$

โดยที่

- $n_1$  คือ ค่าดัชนีหักเหของของเหลว
- $n_2$  คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ
- $\alpha$  คือ นุ่มระห่วงกระจักกับแสงเดเชอร์
- $t$  คือ ความสูงของของเหลว (m)
- $H$  คือ ความสูงของเดเชอร์ที่กระทบจาก (m)
- $L$  คือ ระยะจากจุดหักเหที่ผิวของเหลวถึงปาก (m)

## 5. วัสดุ – อุปกรณ์ ในการทดลอง

ชุดทดลองที่นำมาใช้ มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

### 1. ส่วนของตัวชุดทดลอง

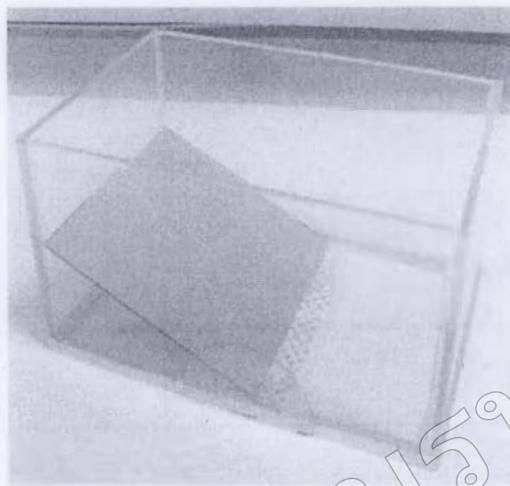
- 1.1 โครงไม้เป็นฐานสำหรับวางกล่องกระจักใส ขนาด  $20 \times 80 \times 30$  cm
- 1.2 ชามรับแสง ขนาด  $20 \times 100$  cm



ภาพที่ 5 ส่วนตัวชุดทดลอง

### 2. ส่วนของกล้องการจากสำหรับใส่ของเหลว

- 2.1 กระถางชนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $15 \times 30$  cm หนา 6 mm
- 2.2 กระถางชนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $15 \times 18.8$  cm หนา 6 mm
- 2.3 กระถางชนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $18.8 \times 28.8$  cm หนา 6 mm
- 2.4 กระถางเธรรับ ขนาด  $18 \times 20$  cm หนา 3 mm



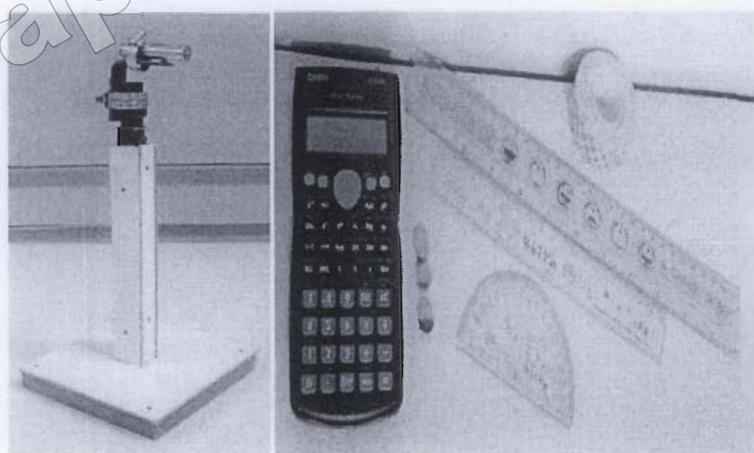
ภาพที่ 6 กล่องกระดาษสำหรับรักษาอุณหภูมิในชุดทดลอง

3. ส่วนของวัสดุ – อุปกรณ์ ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง

3.1 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ ( $\lambda = 650 \pm 10 \text{ nm}$ ) พร้อมชุดจับและขาตั้งตัวชี้เลเซอร์ (laser pointer)

3.2 ชุดเครื่องมือวัด ได้แก่ ไมโครทรัคแบบบัวดุม ใบบานรัหดแบบบัวดุม วัดความยาว และเครื่องคิดเลขแบบวิทยาศาสตร์

3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 7 ส่วนของวัสดุ – อุปกรณ์ ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง

## 6. วิธีดำเนินการทดลอง

1. ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลจากชุดทดลอง มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

1.1 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1.1.1 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย กล่องกระดาษสำหรับบรรจุของเหลว กระเจาเงาราม ลาก แหล่งกำเนิดแสง (เลเซอร์)

1.1.2 ของเหลวที่ใช้ทดลอง คือ น้ำ ก๊าซเชอร์ริน และเอทิลแอลกอฮอล์

1.1.3 ชุดเครื่องมือวัด ได้แก่ ไม้บรรทัด เครื่องคิดเลขแบบวิทยาศาสตร์

1.1.4 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสีทวิภาคสูงใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

1.2 ดำเนินการทดลอง ตามขั้นตอนดังนี้

1.2.1 ติดตั้งชุดทดลองการหาค่าคงที่กoefficient ของของเหลวด้วยการหักเหแสง ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อทดลอง

บันทึกค่าไว้

1.2.2 กำหนดมุมระหว่างกระดาษกับแสงเลเซอร์ ( $\alpha$ ) คือ 30 องศา

1.2.3 วัดความสูงของของเหลวในกล่องกระดาษสำหรับใส่ของเหลว ( $t$ )

จำนวน 3 ครั้ง

1.2.4 วัดระยะจากชุดหักเหที่ผิวของของเหลวถึงปาก ( $L$ ) บันทึกค่าไว้

1.2.5 วัดความสูงของแสงเลเซอร์ที่กระแทกจาก ( $H$ ) บันทึกค่าไว้

1.2.6 ทำการทดลองข้อ 1.2.2 – 1.2.5 ข้าม กับของเหลวชนิดเดียวกัน

จำนวน 3 ครั้ง

1.2.7 เมล็ดินของเหลวที่ใช้ทดลองเป็นก๊าซเชอร์ริน และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยแต่ละชนิดให้ทำการทดลองตามข้อ 1.2.2 – 1.2.6

### 1.3 การทดลองและคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแต่ละชนิด

1.3.1 คำนวณค่าดัชนีหักเหของของเหลวแต่ละชนิด ( $n_1$ ) จากสมการ (3)

1.3.2 หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ (Relative Error) หรือ Percent Error (%Error) คือ ค่าเบอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าจริง

$$\%Error = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่  $\%Error$  คือค่าเบอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$X_t$  คือค่าที่ยอมรับได้หรือค่าจริง

$X_m$  คือค่าที่ได้จากการทดลอง

### 1.3.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

**รายงานการทดลอง เรื่องค่าดัชนีหักเหของของเหลว**

**กิจกรรม การใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง**

ชื่อผู้ทดลอง.....	ระดับชั้น.....	เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....	ระดับชั้น.....	เลขที่.....

**วัตถุประสงค์ของการทดลอง**

1. นักเรียนสามารถอธิบายการหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของของเหลว และภาระทางปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง

**คำถามก่อนการทดลอง**

ให้นักเรียนบอกตัวแปรที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของของเหลว

.....

.....

.....

.....

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ค่าที่วัดได้	ของเหลว
$\alpha$	.....
$t$ (cm)	.....
$L$ (cm)	.....
$H$ (cm)	.....
$H - t$ (cm)	.....
$\frac{L}{H-t}$	.....
$\tan^{-1} \frac{L}{H-t}$	.....
$\sin\left(\tan^{-1} \frac{L}{H-t}\right)$	.....
$\sin(90^\circ - 2\alpha)$	.....
$n$	.....
%Error	.....

### คำตามระหว่างการทดลอง

นักเรียนคิดว่าค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างชนิดกัน เหมือนหรือต่างกันอย่างไร และ  
ปัจจัยใดที่ส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างกัน

.....

.....

.....

.....

.....

### คำถ้ามหลังการทดลอง

การใช้ชุดทดลองทางค่าดัชนีหักเหของของเหลว มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด นี่  
สาเหตุจากอะไรบ้าง

### อภิปรายผลการทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

### ข้อเสนอแนะจากการทดลอง

### แนวทางของผลการทดลองและคำถานในการทดลอง

#### ตัวอย่างการบันทึกผล

ค่าที่รัดได้	ของเหลว		
	น้ำ	กลีเซอรีน	เอทิล เมอลิกอัลกออล์
$\alpha$	30°	30°	30°
$t$ (cm)	6	6	6
$L$ (cm)	23.5	22.5	24.3
$H$ (cm)	32.7	26.1	35.4
$H - t$ (cm)	26.7	20.1	29.4
$\tan^{-1} \frac{L}{H-t}$	0.880	1.119	0.827
$\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)$	0.722	0.842	0.691
$\sin (90 - 2\alpha)$	0.661	0.746	0.637
$n$	0.5	0.5	0.5
%Error	1.32	1.49	1.27
	0.75%	1.36%	6.62%

#### การคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว

จากผลการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวของน้ำ ได้ดังนี้

#### วิธีทำ

$$\text{จากสมการ} \quad \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)}{\sin (90 - 2\alpha)}$$

แทนค่าผลการทดลอง

$$\frac{n_l}{1} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{23.5}{26.7} \right)}{\sin (90 - 2(30))}$$

ดังนั้น

$$n_l = \frac{\sin 0.722}{\sin 30^\circ}$$

หรือ

$$n_l = \frac{0.661}{0.5} = 1.32$$

หาค่าเบอร์เช็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองกับค่ามาตรฐาน  
ค่า  $n$  น้ำเท่ากับ 1.33

จากสมการ

$$\%Error = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100\%$$

แทนค่า

$$\%Error = \left| \frac{1.32 - 1.33}{1.33} \right| \times 100\%$$

ดังนั้น

$$\%Error = 0.75\% \quad \underline{\text{ตอบ}}$$

ลักษณะการตอบคำถามก่อน ระหว่าง และหลังการทำทดลอง

### คำถามก่อนการทำทดลอง

ให้นักเรียนบอกตัวแปรที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของเหลว

#### แนวคำตอบ

ชนิดของของเหลว ความหนาแน่น อุณหภูมิ

### คำถามระหว่างการทำทดลอง

นักเรียนคิดว่าค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างชนิดกัน เนื่องจากต่างกันอย่างไร และปัจจัยใดที่ส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างกัน

#### แนวคำตอบ

ตามทฤษฎีค่าดัชนีหักเหของของเหลวจะต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว ความหนาแน่นของของเหลว อุณหภูมิของของเหลวขณะทดลอง

### คำถามหลังการทำทดลอง

การใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวนี้ความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง

#### แนวคำตอบ

ให้นักเรียนระบุค่าเบอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่คำนวณ จากการทำทดลองของเหลวชนิดต่างๆ และสูงเหตุของความคลาดเคลื่อน ได้แก่ จากกระบวนการทดลอง ความแม่นยำของชุดทดลอง วิธีการวัด และประสบการณ์ของผู้ทำการวิจัย เป็นต้น

ภาคผนวก ๙

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาดัชนีหักเหของของเหลว  
ด้วยการหักเหแสง ฉบับนักเรียน

**คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการ  
เพื่อหาค่าดัชนีหักเหของขอบเหลวด้วยการหักเหแสง**

**สำหรับนักเรียน**

**รายวิชาฟิสิกส์ 2 รหัสวิชา ว30202**

30 cm

20 cm

15 cm



**โรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม**

อําเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต ๓๒

### คำชี้แจง

คู่มือการใช้ชุดทดลองและปฏิบัติการเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง ฉบับครุภู่สอนนี้ ใช้สำหรับประกอบการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ 3 (ว30202) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่อง การหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของของเหลว เพื่อศึกษาค่าดัชนีหักเหของของเหลว จากชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง โดยทำการทดลองกับของเหลว 3 ชนิด คือ น้ำ กลีเซอรีน และเอทิลเออลกอฮอล์ และคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว โดยใช้ความสัมพันธ์จากกฎของสเนลล์ โดยคู่มือชุดนี้จะประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ เอกสารประกอบการทำการทดลอง แนวทางของผลการทดลองและคำตามในการทดลอง สำหรับครุภู่สอนสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพต่อไป

ผู้จัดทำหวังว่าคู่มือชุดนี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการสอนในเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี

นางสาวพิวผ่อง ทมานนท์  
ครุโภร์เรียนบุรีรัมย์พิทยาคม  
ผู้จัดทำ

## เอกสารประกอบการทำทดลอง การปฏิบัติการโดยใช้ชุดทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ

### 1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. นักเรียนสามารถอธิบายการหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของของเหลว และคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง

### 2. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลอง

1. นักเรียนสามารถใช้ชุดการทดลองเพื่อหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสงได้
2. นักเรียนมีความรู้ (K) ทักษะกระบวนการ (P) และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (A)
3. นักเรียนรู้จักคิด แก้ปัญหา และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

### 3. เนื้อหาและทฤษฎี

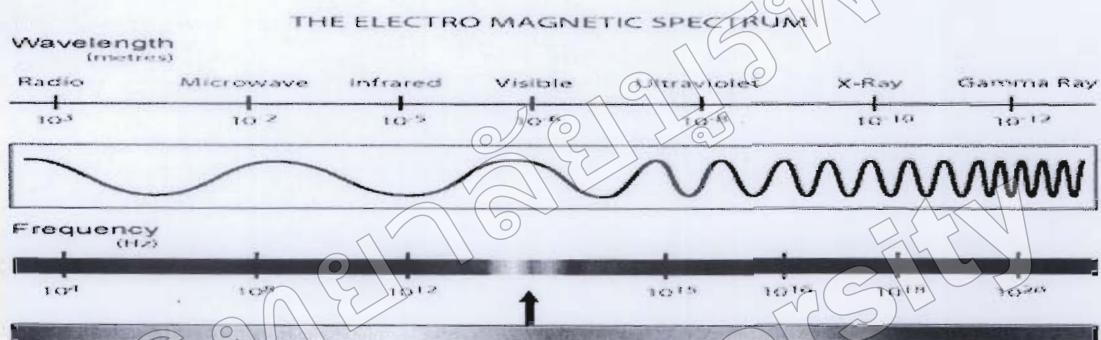
#### แสง (Light)

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เดินทางในรูปคลื่นด้วยอัตราเร็วเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  แหล่งกำเนิดแสงมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ดวงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แสงจากหลอดไฟ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควันหรือฝุ่นละอองจะเห็นลำแสงสีนตร ความสามารถของผ่านวัตถุได้ วัตถุที่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านเป็นเส้นตรงไปได้นั้นเรียกวัตถุนี้ว่า วัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชนิดแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไปโดยรอบทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรงเรียกวัตถุนี้ว่า วัตถุโปร่งแสง เช่น กระจกฝ้า กระดาษไข พลาสติกฝ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไปได้เรียกว่า วัตถุทึบแสง เช่น ผนังคอนกรีต กระดาษแข็งหนา ๆ เป็นต้น วัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูคลื่นแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น

แสงคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุญช์มองเห็น แสงจะแสดงสมบัติเป็นทวิภาคคือเป็นทั้งคลื่น (wave) และอนุภาค (particle) ในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ

1. แสงเป็นคลื่น ในศตวรรษที่ 18 แมกซ์เวลล์ (James C. Maxwell) ค้นพบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับคลื่นไมโครเวฟ คลื่นวิทยุ รังสีญี่วี รังสีเอกซ์เรย์และรังสี

แกรมมา คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดแตกต่างกันที่ความยาวคลื่น และเรียกแบบความยาวคลื่น หัวหนอดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าว่า แบบสเปคตรัม โดยที่กระบวนการเปลี่ยนแปลงของ สนามแม่เหล็กตั้งจากกับกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และตั้งจากกับทิศทางการ เคลื่อนที่ของคลื่น และแสดงว่ามีการเลี้ยวเบนด้วย ซึ่งการเลี้ยวเบนก็แสดงสมบัติของคลื่น แสดงเป็น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงของสเปคตรัมที่สามารถมองเห็นได้ซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง ประมาณ  $400 - 750 \text{ nm}$  ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 1 สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สมบัติที่สำคัญของคลื่น คือ ความยาวคลื่น (wavelength) แอมปลิจูด (amplitude) และเฟส (phase) ซึ่งทำให้คลื่นสามารถแสดงสมบัติที่สำคัญคือการหักเห (reflection) การสะท้อน (refraction) การ干涉 (interference) และการเลี้ยวเบน (diffraction)

2. แสงเป็นอนุภาค ไอน์สไตน์ (A. Einstein) เป็นบุคคลแรกที่สามารถอธิบาย ปรากฏการณ์โฟโตอิเลคทริก (photoelectric effects) ได้ โดยพิจารณาว่าแสงมีลักษณะเป็นก้อน ๆ เรียกว่า โฟตอน (photon) วิ่งมาชนผิวของโลหะแล้วถ่ายทอด โน้มนต์ให้กับอิเลคตรอน ซึ่ง พลังงานของแสงที่ชนจะเข้าอยู่กับความถี่ของแสง นั่นคือ โฟตอนของแสงสีม่วงมีพลังงานมากกว่า โฟตอนของแสงสีแดง

แสงเป็นก้อนพลังงานมีค่าพลังงาน  $E = hf$  โดยที่  $h$  คือค่าคงตัวของพลังค์ และ  $f$  คือความถี่ของแสง เรียกอนุภาคแสงว่า โฟตอน เมื่อฉายแสงไปตกกระทบที่ผิวของโลหะแล้วทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมานะ โดยที่พลังงานจนของอิเลคตรอนที่หลุดออกมานะจะไม่เข้าอยู่กับความเข้ม (แอมปลิจูด) ของแสง แต่จะเข้าอยู่กับความถี่ เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า “ปรากฏการณ์โฟโตอิเลคทริก”

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงสเปกตรัม ที่สามารถมองเห็นได้ คือ อยู่ใน ย่านความถี่  $380 \text{ THz}$  ( $3.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ) ถึง  $750 \text{ THz}$  ( $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ) จากความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็ว ( $v$ ) ความถี่ ( $f$ ) และ ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ของแสง และ ความเร็วของแสงในสุญญากาศมี ค่าคงที่ ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณแสงโดยใช้ตามความยาวคลื่นได้ โดยแสงที่เรามองเห็นได้ ข้างต้นนี้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง  $400 \text{ nm}$  และ  $800 \text{ nm}$  (ในสุญญากาศ)

### สมบัติของแสง

1. การสะท้อนของแสง เมื่อแสงตกกระทบผิวของวัตถุใด ๆ โดยที่พื้นที่ผิวของวัตถุไม่ ดูดกลืนพลังงานแสงทั้งหมด พลังงานที่เหลือจะสะท้อนกลับมาจากผิวของวัตถุนั้น ๆ ไม่ว่าวัตถุจะ มีผิวย่างไร การสะท้อนของแสงจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง คือ รังสีที่กระทบ สะท้อน และเส้นแนวฉาก อยู่บนระนาบเดียวกัน และมุมตัดกระทบเท่ากับมุมสะท้อน เมื่อรังสี ของแสงตกกระทบผิววัตถุที่ถูกดูด ถ้าเราลากเส้นตั้งฉากกับผิววัตถุนั้น เส้นตั้งฉากที่ลากนี้ เรียกว่า เส้นแนวฉาก และเรียกมุมที่รังสีที่กระทบทำกับเส้นแนวฉากว่า มุมตัดกระทบ มุมที่รังสีสะท้อน ทำกับแนวฉาก เรียกว่า มุมสะท้อน วัตถุที่สะท้อนแสงได้จะต้องมีผิวเรียบและเป็นมัน เช่น กระจกเงา จะทำให้เกิดการสะท้อนอย่างมีระเบียบ แต่ถ้าวัตถุที่มีผิวไม่เรียบจะเกิดการสะท้อนไม่มี ระเบียบ แต่การสะท้อนของแสงเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง

2. การหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางพบรอยต่อระหว่างตัวกลางหรือแสงเคลื่อนที่ผ่าน ตัวกลางต่างชนิดกันจะทำให้ทางเดินของแสงเปลี่ยนไปและเกิดการหักเห การหักเหจะเกิดขึ้น เนื่องจากความไม่เท่ากันของตัวกลาง เช่น แสงผ่านตัวกลางสองชนิด แสง ผ่านผิวรอยต่อของตัวกลาง และแนวทางเดินของแสงต้องไม่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อของตัวกลางคู่แสง จึงจะเกิดการหักเหขึ้น

3. การแทรกสอดของแสง เกิดได้ต่อเมื่อคลื่นแสง 2 ขบวนเคลื่อนที่มาบรรจบกัน จะเกิด การรวมตัวกันและแทรกสอดกันเกิดเป็นแบบมีดและแบบสว่างบนฉาก โดยแหล่งกำเนิดแสง จะต้องเป็นแหล่งกำเนิดอาพาห์ (Coherent Source) คือเป็นแหล่งกำเนิดที่ให้คลื่นแสงที่มีความถี่ ความยาวคลื่น และแอมพลิจูดเท่ากัน แบบสว่างบนฉากจากการแทรกสอดแบบเสริมและแทน มีดเกิดจากการแทรกสอดแบบหักล้าง

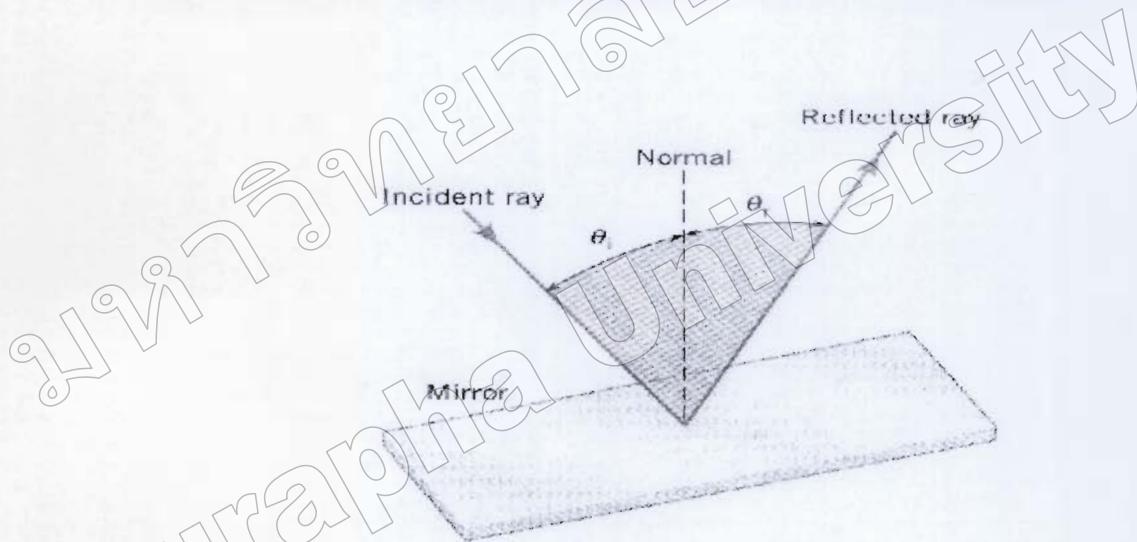
4. การเลี้ยวเบนของแสง การเลี้ยวเบนแสงเป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นเปลี่ยนเส้นทางการ เคลื่อนที่ เมื่อผ่านสิ่งกีดขวางขนาดเล็กหรือที่ใหญ่หรือของปิดขนาดเล็ก การเลี้ยวเบนสามารถเกิด ได้เมื่อสิ่งกีดขวางหรือของปิดมีขนาดเท่ากับหรือน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ตัดกระทบ ถ้าสิ่งกีดขวางมีความกว้างใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงที่ตัดกระทบ จะเกิดการแทรกสอดเป็น

แบบมีดและแบบสว่างสลับกัน ส่วนการเลี้ยวเบนผ่านสิลิตคู่ เมื่อคลื่นเลี้ยวเบนผ่านสิลิตคู่ไปจะเกิด การแทรกสอดกัน และเป็นไปตามเงื่อนไขการแทรกสอด

### การสะท้อนของแสง

การสะท้อนของแสง คือ การที่รังสีของแสงตัดกับระบทันทีสิ่งกีดขวาง แล้วจะเกิดการ สะท้อนกลับ ตามกฎของการสะท้อนดังนี้

1. รังสีตัดกับระบทันที รังสีสะท้อน และเส้นปกติต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตัดกับระบทันที (incident angle) มีขนาดเท่ากับมุมสะท้อน (reflected angle) เมื่อ แสงจากแหล่งกำเนิดตัดกับระบทันทีของวัตถุจะเกิดการสะท้อนแสง และการสะท้อนจะเกิดขึ้นได้ ถ้าวัตถุนั้นมีผิวเรียบ เป็นมัน หรือ ผิวของโลหะขึ้มนั้น ผิวกรอบเจาะระนาบ เป็นต้น



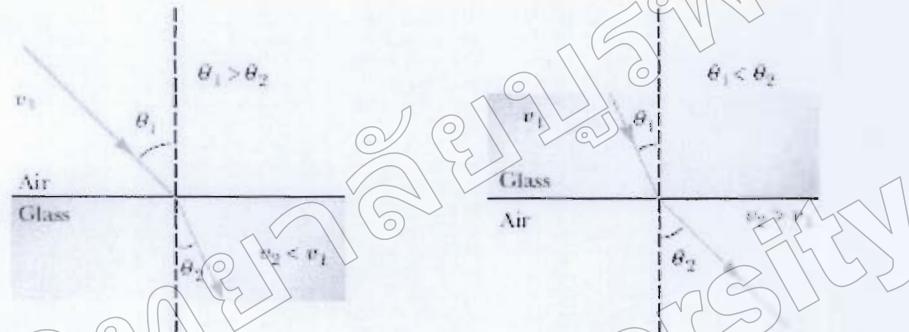
ภาพที่ 2 การสะท้อนของแสงบนกระดาษเจาะรู

### การหักเหของแสง

การหักเหของแสง คือ การที่รังสีของแสงตัดกับระบทันทีและเข้าสู่ตัวกลางใหม่โดยทำมุมมุ่ง หนึ่ง โดยรังสีของแสงนี้เมื่อเปลี่ยนตัวกลาง ความเร็วและทิศทางจะเปลี่ยน รังสีที่หักเหออกมากจะ เรียกว่า รังสีหักเห (refracted ray) การหักเหของแสงนั้นแบ่งออกตามการเปลี่ยนของรังสีหักเห ได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การหักเหเข้า คือ การที่รังสีหักเหบนเข้าหาเส้นปกติ เกิดจากการที่รังสีของแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า เช่น เดินทางจากอากาศไปสู่น้ำ เป็นต้น

2. การหักเหออก คือ การที่รังสีหักเบนออกจากสันปกติ เกิดจากการที่รังสีของแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่ความหนาแน่นน้อยกว่า เช่น เดินทางจากน้ำไปสู่อากาศ เป็นต้น



ภาพที่ 3 การหักเหเข้าและหักเหออกของแสง จากเคนตั้งคลาก (ปวีณา ธรรมรักษ์, 2551)

โดยการหักเหที่มีการเชื่อมต่อของตัวกลางนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อคลื่นแสงเดินทางกระแทบที่ตัวกลางใหม่ มันจะเปลี่ยนความเร็วและความยาวคลื่น แต่ความถี่ของแสงยังคงเดิม ซึ่งการหักเหจะเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's law)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (1)$$

โดยที่  $n_1$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 1

$n_2$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ 2

$\theta_1$  คือ มุมตัดกระแทบในตัวกลางที่ 1

$\theta_2$  คือ มุมหักเหในตัวกลางที่ 2

### ค่าดัชนีการหักเห

ค่าดัชนีหักเห (refractive index) คือ อัตราส่วนของอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ c ซึ่งมีค่าคงตัวประมาณ  $2.99792458 \times 10^8$  m/s กับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางใด ๆ ตัวเลขค่าดัชนีหักเหนั้น โดยทั่วไปมีค่ามากกว่าหนึ่ง โดยยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นมากกว่าเท่าไหร่ แสงก็จะเดินทางได้ช้าลงเท่านั้น ดังนั้นค่าดัชนีในวัตถุนั้น ๆ คือ ค่าที่บ่งบอกว่ารังสีของแสงมีการเบี่ยงเบนไปมากหรือน้อย เมื่อแสงผ่านเข้าไปในวัตถุนั้น ค่าดัชนีหักเหยิ่งสูง แสงยิ่งเบนมาก ตัวอย่างเช่น แสงจะเบนในตัวกลางที่เป็นแก้วมากกว่าในตัวกลางที่เป็นอากาศ หรือในน้ำ เพราะว่าแก้วหักเหแสงได้ดีกว่า หรืออาจกล่าวได้ว่าแก้วมีค่าดัชนีหักเหสูงกว่าอากาศหรือน้ำ ซึ่งหากค่าได้ดังสมการ

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

โดยที่  $n$  คือ ค่าดัชนีหักเหของตัวกลาง

$c$  คือ อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ (m/s)

$v$  คือ อัตราเร็วของแสงในตัวกลาง (m/s)

### ปัจจัยที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเห

#### 1. ความยาวคลื่นแสง

ความยาวคลื่นแสงมีความสำคัญกับค่าดัชนีหักเห เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางตกกระทบเข้าสู่ตัวกลางใหม่ มันจะเปลี่ยนอัตราเร็วและความยาวคลื่น แต่ความถี่ของแสงยังคงเดิม ซึ่งจะเกิดการหักเหขึ้น

#### 2. อุณหภูมิของตัวกลาง

อุณหภูมิของตัวกลางเป็นปัจจัยที่สำคัญ อันเนื่องมาจากการที่ตัวกลางหนึ่งได้รับความร้อนมากขึ้น มีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ไม่เลกฤทธิ์เกิดการสั่นสะเทือนและเคลื่อนที่มากขึ้น จึงเกิดการขยายตัวของตัวกลางทำให้ความหนาแน่นของตัวกลางลดลง ดังนั้นแสงจะเดินทางในตัวกลางได้เร็วขึ้น จะเกิดการเบี่ยงเบนแสงน้อยกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก

#### 3. ชนิดของตัวกลาง

แสงเดินทางในตัวกลางใด ๆ ด้วยความเร็วที่ต่างกัน และในตัวกลางที่มีสถานะก้าชแสงจะเดินทางได้เร็วที่สุด และในตัวกลางที่มีสถานะเป็นของแข็ง แสงจะเดินทางได้ช้าที่สุด จึงเป็นผลให้ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางต่างชนิดกันมีค่าต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 1

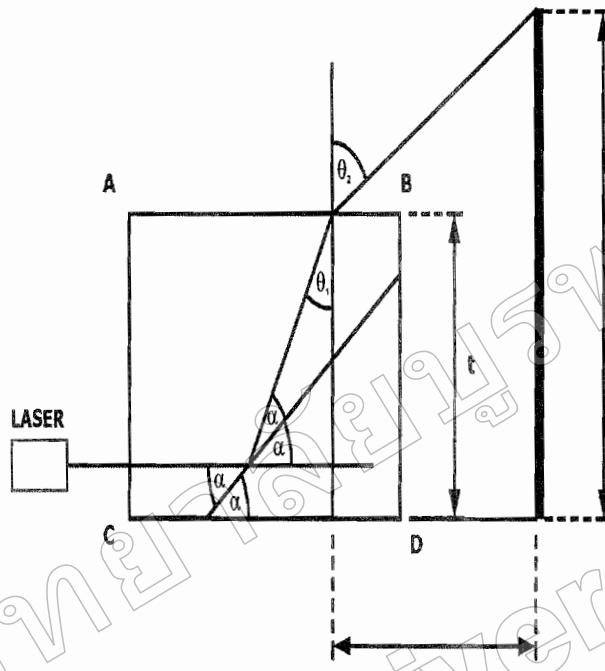
ตารางที่ 1 ค่าดัชนีหักเหของสารต่างชนิดต่าง ๆ (วัชระ รอดสัมฤทธิ์, 2553)

ชื่อสาร	ค่าดัชนีหักเห
สุญญากาศ	1.0
อากาศ	1.00029
การบอนไดออกไซด์	1.00045
ไฮเดรน	1.000034
น้ำ ( $20^{\circ}\text{C}$ )	1.3330
กลีเซอรีน	1.4700
เอทิลแอลกอฮอล์	1.3617
เมทิลแอลกอฮอล์	1.3292
เบนซิน	1.5014
การบอนไดซัลไฟฟ์	1.6279
น้ำเชื่อม 50%	1.4200
แก้ว, light crown	1.517
แก้ว, dense crown	1.588
แก้ว, heavy crown	1.579
ฟลูออไรด์	1.434
เพชร	2.417

#### 4. ความเข้มข้นของตัวกลาง (ความหนาแน่นของตัวกลาง)

ถ้าความหนาแน่นของตัวกลางลดลง แสงจะเดินทางในตัวกลางได้เร็วขึ้น และเกิดการเบี่ยงเบนแสงน้อยกว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่า

#### 4. หลักการทำงานของชุดทดลอง



ภาพที่ 4 หลักการทำงานของชุดทดลอง

จากการที่ 4 แสงเลเซอร์จากตัวเรืองแสงที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง ส่องเข้าไปในกล่องกระเจิงสีทึบบรรจุของเหลวความสูง  $t$  ที่ต้องการหาค่าดัชนีหักเห ตัวกลางที่ 1) ในแนวระนาบต่อกำลังกระเจิงทราบที่ว่างทัมมุน  $\alpha$  กับแนวทางเดินของแสงเลเซอร์ ซึ่งจะสะท้อนขึ้นด้านบนของกล่องกระเจิงไปตกกระเทบอยต่อของตัวกลางที่ 1(ของเหลว) ทัมมุน  $\theta_1$  แล้วหักเหผ่านออกสู่ตัวกลางที่ 2 (อากาศ) ทัมมุน  $\theta_2$  ไปตกกระเทบบนฉากริบตัวหักเหที่ทำแห่งความสูง  $H$  โดยหากรับแสงนี้ว่างห่างเป็นระยะ  $L$  จากตำแหน่งจุดหักเหของแสงเลเซอร์จากตัวกลางที่ 1 ถึงตัวกลางที่ 2 วัดระยะต่าง ๆ และนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสงจากสมการความสัมพันธ์ (4-2)

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \left( \tan^{-1} \frac{L}{H-t} \right)}{\sin (90 - 2\alpha)} \quad (3)$$

โดยที่

- $n_1$  คือ ค่าดัชนีหักเหของเหลว
- $n_2$  คือ ค่าดัชนีหักเหของอากาศ
- $\alpha$  คือ มุนระหัวงกระจากกับแสงเลเซอร์
- $t$  คือ ความสูงของเหลว (m)
- $H$  คือ ความสูงของเลเซอร์ที่กระแทบจาก (m)
- $L$  คือ ระยะจากจุดหักเหที่ผิวของเหลวถึงฉาก (m)

## 5. วัสดุ – อุปกรณ์ ในการทดลอง

ชุดทดลองที่นำไปใช้ มีส่วนประกอบดังนี้

### 1. ส่วนของตัวชุดทดลอง

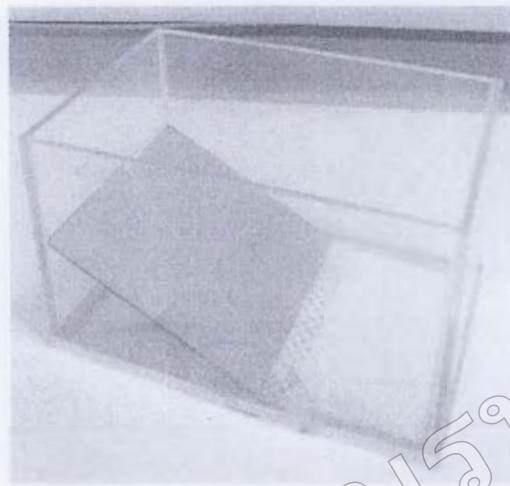
- 1.1 โครงไม้เป็นฐานสำหรับวางกล้องกระจาก ขนาด  $20 \times 80 \times 30$  cm
- 1.2 หัวครับแสง ขนาด  $20 \times 100$  cm



ภาพที่ 5 ส่วนตัวชุดทดลอง

### 2. ส่วนของกล้องกระจากสำหรับใส่ของเหลว

- 2.1 กระจากนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $15 \times 30$  cm หนา 6 mm
- 2.2 กระจากนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $15 \times 18.8$  cm หนา 6 mm
- 2.3 กระจากนิดไสพิเศษ (Low Iron Glass) ขนาด  $18.8 \times 28.8$  cm หนา 6 mm
- 2.4 กระจากเจาะรู ขนาด  $18 \times 20$  cm หนา 3 mm



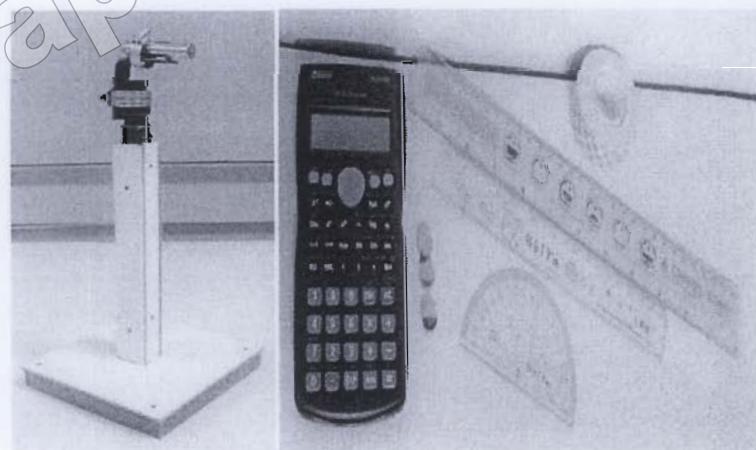
ภาพที่ 6 กล่องกระดาษสำหรับรักษาความปลอดภัยในชุดทดลอง

3. ส่วนของวัสดุ - อุปกรณ์ ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง

3.2 แสงกำเนิดแสงเลเซอร์ ( $\lambda = 650 \pm 10 \text{ nm}$  ( พร้อมชุดขับและขาตั้งตัวชี้เลเซอร์ (laser pointer) )

3.2 ชุดเครื่องมือวัด ได้แก่ ไม้บรรทัดแบบวัดมุม ไม้บรรทัดแบบวัดความยาว และ เครื่องคิดเลขแบบวิทยาศาสตร์

3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 7 ส่วนของวัสดุ - อุปกรณ์ ที่ใช้ร่วมกับชุดทดลอง

## 6. วิธีดำเนินการทดลอง

1. ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูลจากชุดทดลอง มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

1.1 จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่

1.1.1 ชุดทดลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย กล่องกระชากใส่สำหรับบรรจุของเหลว กระจะกเงาะรับ ฉาก แหล่งกำเนิดแสง (เลเซอร์)

1.1.2 ของเหลวที่ใช้ทดลอง คือ น้ำ ก๊าซเชอร์วิน และเอทิลแอลกอฮอล์

1.1.3 ชุดเครื่องมือวัด ได้แก่ ไม้บรรทัด เครื่องคิดเลขแบบวิทยาศาสตร์

1.1.4 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล

1.2 ดำเนินการทดลอง ตามขั้นตอนดังนี้

1.2.1 ติดตั้งชุดทดลองการหาค่าคงที่ของของเหลวด้วยการหักเหแสง ดัง

ภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ติดตั้งชุดทดลองการหาค่าคงที่ของของเหลวด้วยการหักเหแสง

1.2.2 กำหนดมุมระหว่างกระชากกับแสงเลเซอร์ ( $\alpha$ ) คือ 30 องศา

1.2.3 วัดความสูงของของเหลวในกล่องกระชากใส่สำหรับใส่ของเหลว ( $l$ )

บันทึกค่าໄວ

1.2.4 วัดระยะจากจุดหักเหที่ผิวของของเหลวถึงจุด ( $L$ ) บันทึกค่าໄວ

1.2.5 วัดความสูงของแสงเลเซอร์ที่กระแทกจาก ( $H$ ) บันทึกค่าໄວ

1.2.6 ทำการทดลองข้อ 1.2.2 – 1.2.5 ซ้ำ กับของเหลวนิดเดียวทัน

จำนวน 3 ครั้ง

1.2.7 เปลี่ยนของเหลวที่ใช้ทดลองเป็นก๊าซเชอร์วิน และเอทิลแอลกอฮอล์ โดยแต่ละชนิดให้ทำการทดลองตามข้อ 1.2.2 – 1.2.6

### 1.3 การทดลองและคำนวณหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวแต่ละชนิด

1.3.1 คำนวณค่าดัชนีหักเหของของเหลวแต่ละชนิด ( $\eta_i$ ) จากสมการ (3)

1.3.2 หาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ (Relative Error) หรือ Percent Error (%Error) คือ ค่าเบอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้จากค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง

$$\%Error = \left| \frac{X_t - X_m}{X_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่  $\%Error$  คือค่าเบอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

$X_t$  คือค่าที่ยอมรับได้หรือค่าจริง

$X_m$  คือค่าที่ได้จากการทดลอง

### 1.3.3 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

**รายงานการทดลอง เรื่องค่าดัชนีหักเหของของเหลว**

**กิจกรรม การใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง**

ชื่อผู้ทดลอง.....	ระดับชั้น.....	เลขที่.....
ชื่อผู้ร่วมทดลอง.....	ระดับชั้น.....	เลขที่.....

**วัตถุประสงค์ของการทดลอง**

1. นักเรียนสามารถอธิบายการหักเหแสง ค่าดัชนีหักเหของของเหลว และคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้
2. นักเรียนสามารถใช้ชุดทดลองการหาค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการหักเหแสง

**ค่าตามก่อนการทดลอง**

ให้นักเรียนบอกตัวแปรที่มีผลต่อค่าดัชนีหักเหของของเหลว

.....

.....

.....

.....

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ค่าที่ได้	ของเหลว
$\alpha$	.....
$t$ (cm)	.....
$L$ (cm)	.....
$H$ (cm)	.....
$H - t$ (cm)	.....
$\frac{L}{H-t}$	.....
$\tan^{-1} \frac{L}{H-t}$	.....
$\sin\left(\tan^{-1} \frac{L}{H-t}\right)$	.....
$\sin(90^\circ - 2\alpha)$	.....
$n$	.....
%Error	.....

คำแนะนำการทดลอง

นักเรียนคิดว่าค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างชนิดกัน เหมือนหรือต่างกันอย่างไร และปัจจัยใดที่ส่งผลให้ค่าดัชนีหักเหของของเหลวต่างกัน

.....

.....

.....

.....

### คำถ้ามหลังการทดลอง

การใช้ชุดทดลองหาค่าดัชนีหักเหของของเหลว มีความคาดเดาล่วงมากน้อยเพียงใด มีสาเหตุจากอะไรบ้าง

### อภิปรายผลการทดลอง

### สรุปผลการทดลอง

### ข้อเสนอแนะจากการทดลอง