

ปฏิบัติการที่ 5

การหาค่าดัชนีหักเหและมุมวิกฤติของแก้ว

บทนำ

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์มาก ถ้าไม่มีแสงโลกจะมีคนมองไม่เห็นสิ่งใดๆ ต้นไม้จะสังเคราะห์แสงไม่ได้ พืชและสัตว์จะอยู่ไม่ได้แสงมีความเร็วในสุญญากาศ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดในจักรวาล แสงเดินทางเป็นเส้นตรง ถ้าแสงผ่านบริเวณที่มีแรงโน้มถ่วงสูงๆ เช่น เข้าใกล้ดวงดาวแสงจะเดินทางเป็นแนวโค้งเข้าหาดวงดาวนั้น การศึกษาธรรมชาติของแสงจะทำให้เราเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายปรากฏการณ์ เช่น การเกิดรุ้งกินน้ำ การเกิดแสงสี ท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน เป็นต้น ปัจจุบันเรานำความรู้เรื่องแสงมาใช้ประดิษฐ์อุปกรณ์ที่มีประโยชน์หลายๆ อย่าง เช่น แว่นตา กล้องถ่ายภาพ กล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น

ตอนที่ 1 การหาค่าดัชนีหักเหของแสง

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าดัชนีหักเหของแก้ว

ทฤษฎี

เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความเร็วมากไปสู่ตัวกลางที่มีความเร็ว น้อย โดยทิศทางเดินของแสงหรือรังสีของแสงไม่ตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลาง รังสีแสงจะเบี่ยงเบนจากแนวเดิมเข้าหาเส้นปกติ โดยความถี่แสงเท่าเดิมแต่ความยาวคลื่นจะน้อยกว่าเดิม ดังรูปที่ 5.1 ก ในตรงข้ามถ้าแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความเร็ว น้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความเร็วมาก โดยทิศทางเดินของแสงหรือรังสีของแสงไม่ตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลาง รังสีแสงจะเบี่ยงเบนจากแนวเดิมออกจากเส้นปกติ โดยความถี่เท่าเดิม แต่ความยาวคลื่นจะมากกว่าเดิม ดังรูปที่ 5.1 ข

การหักเหของแสงทั้งสองกรณี จะเป็นไปตามกฎของสเนลล์ (Snell's Law) ตามสมการ 5.1

$$\frac{\sin \theta}{\sin \beta} = \frac{\lambda_i}{\lambda_r} = \frac{v_i}{v_r} = {}_i n_r \quad (5.1)$$

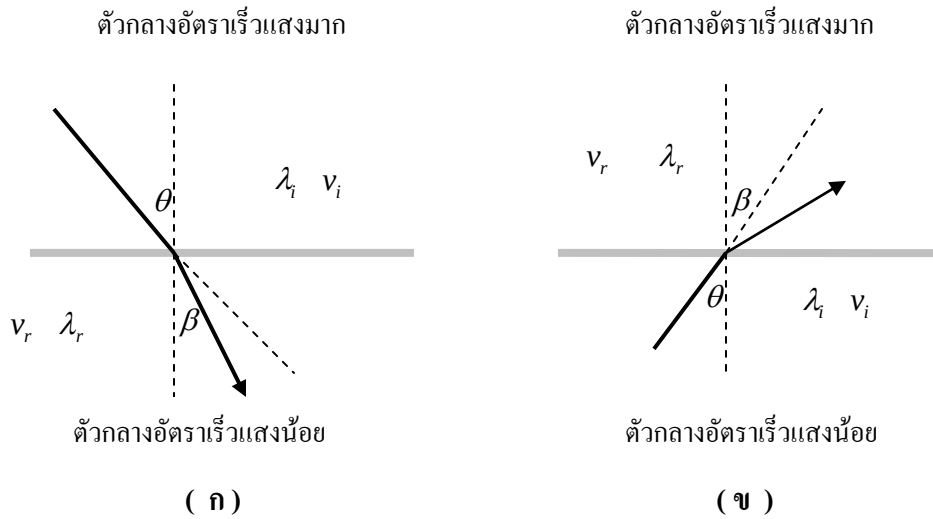
เมื่อ θ คือ มุมตกกระทบ (มุมระหว่างรังสีตกกระทบ กับเส้นปกติ)

β คือ มุมหักเห (มุมระหว่างรังสีหักเหกับเส้นปกติ)

λ_i, λ_r คือ ความยาวคลื่นแสงในตัวกลางตกกระทบและหักเห ตามลำดับ

v_i, v_r คือ ความเร็วแสงในตัวกลางตกกระทบและหักเห ตามลำดับ

${}_i n_r$ คือ ดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางหักเห เทียบกับตัวกลางตกกระทบ



รูปที่ 5.1 แสดงการหักเหของแสง

ถ้าแสงเดินทางจากอากาศซึ่งมีความเร็ว $(c) = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ผ่านเข้าไปในแก้ว โดยรังสีไม่ตั้งฉากกับรอยต่อตัวกลาง รังสีจะหักเหจากแนวเดิมเข้าหาเส้นปกติเพราะอัตราเร็วแสงในแก้วน้อยกว่าในอากาศ จะได้ความสัมพันธ์ตามกฎของสเนลล์ดังนี้

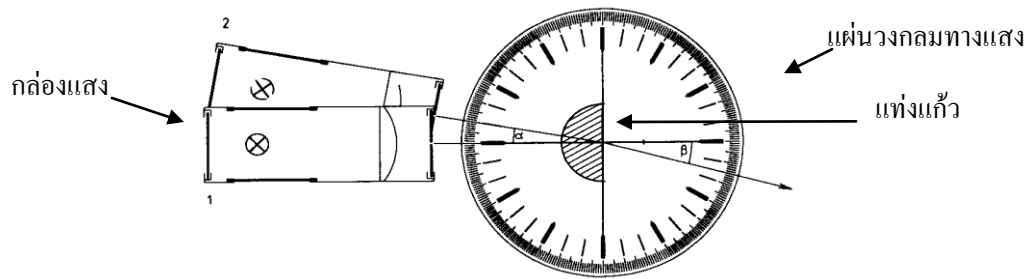
$$\frac{\sin \theta_{\text{air}}}{\sin \beta_{\text{glass}}} = \frac{\lambda_{\text{air}}}{\lambda_{\text{glass}}} = \frac{c}{v_{\text{glass}}} = {}_{\text{air}} n_{\text{glass}} \quad (5.2)$$

เราเรียก ${}_{\text{air}} n_{\text{glass}}$ ว่า “ดัชนีหักเหของแก้วเทียบอากาศ” แต่นิยมเรียกย่อ ๆ ว่า “ดัชนีหักเหของแก้ว” เราสามารถนำหลักการนี้ไปใช้หาดัชนีหักเหของแก้วและวัสดุอื่น ๆ เช่น พลาสติก หรือน้ำ ได้ด้วย ค่าดัชนีหักเหของแสงนี้มีประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือเกี่ยวกับแสง เช่น กล้องถ่ายภาพ กล้องถ่ายวิดีโอ แวนตา กล้องจุลทรรศน์ ฯลฯ ต่อไปจะกล่าวถึงการทดลองหาค่าดัชนีหักเหของแก้ว

อุปกรณ์การทดลอง กล้องแสง แหล่งจ่ายไฟฟ้าโวลต์ต่ำ แผ่นวงกลมทางแสง สลิตเดี่ยว
แท่งแก้วครึ่งวงกลม

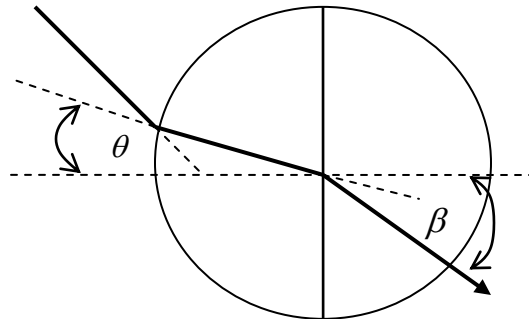
วิธีทดลอง

1. วางแผ่นวงกลมทางแสงไว้บนโต๊ะ แล้ววางแท่งแก้วครึ่งวงกลมซึ่งหาค่าดัชนีหักเหที่ตรงกลาง โดยต้องให้ด้านตรงของแท่งแก้วทาบแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นวงกลมทางแสงพอดี ตามรูป 5.2 มิฉะนั้นจะเกิดความผิดพลาดในการทดลองครั้งต่อไปมาก



รูปที่ 5.2 การจัดเครื่องมือวัดดัชนีหักเหของแท่งแก้ว

2. ใส่สลิตเดี่ยวหน้าหลอดแสง จัดวางหลอดแสงห่างแผ่นวงกลมทางแสง
3. ต่อแหล่งจ่ายไฟ 12 VAC (กระแสสลับ) เข้ากับขั้วหลอดไฟของหลอด จะเกิดลำแสงขาว เส้นเล็กๆ พุ่งออกมาจากหลอดแสง จัดระยะจนเห็นลำแสงผ่านแท่งแก้วชัดเจน
4. ปรับหลอดแสงจนกระทั่งลำแสงผ่านเส้นแกนกลางของแผ่นวงกลมทางแสงพอดี ซึ่งลำแสงจะตกกระทบบนตั้งฉากกับแนวตรงของแท่งแก้ว (มุมตกกระทบบ $\theta = 0^\circ$) โปรดสังเกตว่าแสงที่ผ่านแท่งแก้วแล้วจะวิ่งตรงออกไปด้านหลังแท่งแก้วโดยไม่หักเห (แสงยไม่มีหักเห)
5. ค่อยๆ เลื่อนหลอดแสงขึ้นบนหรือลงล่าง จนแนวลำแสงตกกระทบบนรอยต่อระหว่างแท่งแก้ว ออกสู่อากาศทำมุมตกกระทบบ (θ) เป็น 10° ซึ่งขณะนั้นจะเห็นแนวลำแสงในอากาศเบนไปจากแนวเดิม ตามรูป 5.3 วัดมุมหักเห (β) บันทึกผล



รูปที่ 5.3 แสดงการมุมตกกระทบบและมุมสะท้อน

- 6 เลื่อนหลอดแสงให้มุมตกกระทบบ (θ) เป็น 20, 30, 40, 50, 60 องศา ตามลำดับตาม พร้อมวัดค่ามุมหักเห (β) ของแต่ละมุมตกกระทบบ บันทึกผล

- 7 คำนวณค่าดัชนีหักเหของแก้วจากการทดลองของมุมตกกระทบแต่ละครั้ง โดยแทนค่ามุมตกกระทบ (θ) และมุมหักเห (β) ลงในกฎของสเนลล์ ซึ่งปรับให้เหมาะสมดังนี้
- เนื่องจากการทดลอง เราพิจารณาในช่วงแสงเดินทางจากแท่งแก้ว (อัตราเร็วแสงน้อย) ออกสู่อากาศ (อัตราเร็วแสงมาก) ดังนั้น สมการตามกฎของสเนลล์ที่สอดคล้อง คือ

$$\frac{\sin \theta_{\text{glass}}}{\sin \beta_{\text{air}}} = n_{\text{glass}}$$

แต่ตามความหมาย ดัชนีหักเหของแก้วหมายถึง แสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่แก้ว

หรือ หมายถึง n_{glass} ดังนั้นดัชนีหักเหของแก้วจึงหาได้จากสมการ 5.3

$$\text{ดัชนีหักเหของแก้ว} \quad ; \quad n_{\text{glass}} = \frac{1}{n_{\text{air}}} = \frac{\sin \theta_{\text{air}}}{\sin \theta_{\text{glass}}} \quad (5.3)$$

ซึ่งจะพบว่าค่าดัชนีหักเหของแก้วจากการทดลองมุมตกกระทบแต่ละค่าจะมีค่า

ใกล้เคียงกัน และควรใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน (หาจากตารางฟิสิกส์ทั่วไป หรือ Website)

ถ้าแตกต่างกันมากให้ตรวจสอบหาสาเหตุความผิดพลาด

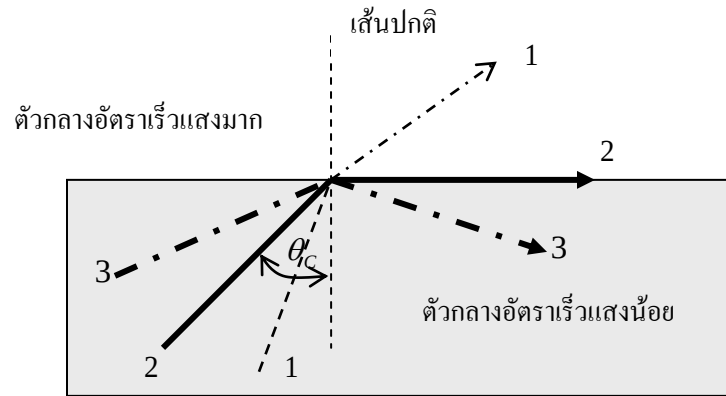
- 8 หาค่าเฉลี่ยของดัชนีหักเห และ % ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ แท่งแก้วแต่ละชิ้น มักจะมีส่วนประกอบภายในเนื้อไม่เหมือนกัน ค่าดัชนีหักเหจึงแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามสำหรับแท่งแก้วใสจะมีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกัน

ตอนที่ 2 การสะท้อนกลับหมดและมุมวิกฤติ

วัตถุประสงค์ ศึกษาการสะท้อนกลับหมดและหามุมวิกฤติของแก้ว

กรณีแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีอัตราเร็วช้า เช่น แท่งแก้ว ไปสู่อากาศซึ่งมีอัตราเร็วมากกว่า โดยรังสีแสงไม่ตั้งฉากกับกับบริเวณรอยต่อระหว่างตัวกลาง รังสีแสงในอากาศจะเบี่ยงเบนจากแนวเดิมออกจากเส้นปกติ มุมตกกระทบในตัวกลางที่มีอัตราเร็วช้า (แท่งแก้ว) ที่ทำให้มุมหักเหในตัวกลางอัตราเร็วมาก (อากาศ) เท่ากับ 90° องศา เรียกว่า “มุมวิกฤติ; (θ_c)” (Critical Angle) ตามรูป 5.4 และถ้ารังสีทำมุมตกกระทบในตัวกลางอัตราเร็วช้าโตมากกว่ามุมวิกฤติ แสงจะไม่หักเหออกสู่ตัวกลางอัตราเร็วมาก แต่จะสะท้อนกลับสู่ตัวกลางที่มีอัตราเร็วช้าตามกฎของการสะท้อน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “เกิดการสะท้อนกลับหมด”



รูปที่ 5.4 แสดงมุมวิกฤติและการสะท้อนกลับหมด

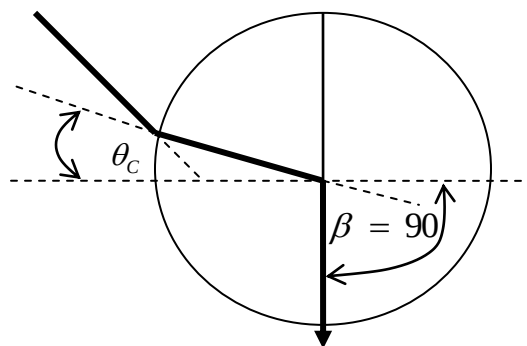
เมื่อเราหามุมวิกฤติของวัตถุต่างๆ หรือตัวกลางต่างๆ จะพบว่ามีความแตกต่างกัน การศึกษาเกี่ยวกับมุมวิกฤติมีประโยชน์มากต่อการประดิษฐ์อุปกรณ์ทางแสง เช่น นำไปสู่เทคโนโลยีการส่งข้อมูลด้วยแสงผ่านสายใยแก้วนำแสง ซึ่งสามารถขนส่งข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก รวดเร็ว และถูก สัญญาณรบกวนน้อยมาก

อุปกรณ์การทดลอง กล้องแสง แหล่งจ่ายไฟฟ้าโวลต์ต่ำ แผ่นวงกลมทางแสง สลิตเดี่ยว
แท่งแก้วครึ่งวงกลม

การทดลอง

1 ใช้กฎของสเนลส์คำนวณหาค่ามุมวิกฤติของแท่งแก้วที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1 ดังนี้

ถ้าให้ θ_c เป็นมุมวิกฤติของแท่งแก้ว ขณะแสงทำมุมตกกระทบในแท่งแก้วเท่ากับ θ_c มุมหักเหของแสงที่ออกสู่อากาศจะเท่ากับ 90° องศา ซึ่งขณะนั้นลำแสงหักเหจะทาปไปตามรอยต่อระหว่างตัวกลางแก้วกับอากาศ หรือ ขอบแท่งแก้วด้านตรง พอดี ดังรูป 6.5



รูปที่ 5.5 แสดงการเกิดมุมวิกฤติของแท่งแก้ว

เมื่อแทนค่าในสมการของสเนลล์จะได้

$$\frac{\sin \theta_C}{\sin 90} = {}_{glass}n_{air} = \frac{1}{{}_{air}n_{glass}} \quad (5.4)$$

เนื่องจาก $\sin 90 = 1$ สมการ 6.4 จึงเป็น

$$\sin \theta_C = {}_{glass}n_{air} = \frac{1}{{}_{air}n_{glass}} \quad (5.5)$$

$$\text{หรือ } \theta_C = \sin^{-1}({}_{glass}n_{air}) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{{}_{air}n_{glass}}\right) \quad (5.6)$$

เมื่อนิสิตแทนค่าเฉลี่ย ${}_{glass}n_{air}$ หรือ ${}_{air}n_{glass}$ ซึ่งได้จากการทดลองตอนที่ 1

ลงในสมการ 5.6 จะหามุมวิกฤติของแท่งแก้วที่ใช้ในการทดลองได้ บันทึกผล

- 2 จัดอุปกรณ์เหมือนการทดลองตอนที่ 1 ค่อยๆ เลื่อนกล่องแสงขึ้นหรือลง พร้อมสังเกตแนวแสงตกกระทบบนรอยต่อ ขณะลำแสงพุ่งจากแท่งแก้วออกสู่อากาศอากาศกับแก้วพยายามเลื่อนกล่องแสงจนลำแสงนี้ تابไปตามขอบแท่งแก้วด้านตรงพอดี (ขณะนั้นลำแสงหักเหทำมุมหักเห 90 องศา) ตามรูปที่ 5.5 วัตถุมตกกระทบบนแท่งแก้ว ซึ่งมุมนี้ก็คือมุมวิกฤติ (θ_C) นั่นเอง

โปรดสังเกตว่า ถ้าลำแสงตกกระทบบนทำมุมโตกว่ามุมวิกฤติ ลำแสงจะไม่หักเหออกจากแท่งแก้วออกสู่อากาศ แต่จะสะท้อนกลับหมดเป็นไปตามกฎการสะท้อนกลับหมด

- 3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 2 โดยเลื่อนกล่องแสงไปไว้ที่ต่างๆ กัน บันทึกผลมุมวิกฤติที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้ง
- 4 นำมุมวิกฤติที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้ง ไปหาค่าเฉลี่ยของมุมวิกฤติ
- 5 นำมุมวิกฤติเฉลี่ยของแท่งแก้วจากข้อ 4 เปรียบเทียบกับมุมวิกฤติที่คำนวณได้ตามข้อ 1 ซึ่งควรจะมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้าแตกต่างกันมากแสดงว่ามีความผิดพลาด ณ ขั้นตอนหนึ่งขั้นตอนใด ให้หาสาเหตุ แล้วทดลองหรือคำนวณใหม่
- 6 หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของมุมวิกฤติระหว่างการคำนวณกับการทดลอง
- 7 หาค่ามาตรฐานมุมวิกฤติของแก้วจากตำราฟิสิกส์หรือ Website แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้และค่าที่ทดลองได้ พร้อมวิเคราะห์สาเหตุของความแตกต่าง

บันทึกผลปฏิบัติการที่ 5

การหาค่าดัชนีหักเหและมุมวิกฤติของแก้ว

ชื่อ สกุล รหัส คณะ

วันที่ เดือน พ.ศ. 25..... กลุ่มที่ ทดลองครั้งที่

ผู้ร่วมงาน รหัส

ผู้ร่วมงาน รหัส

ผู้ร่วมงาน รหัส

ตอนที่ 1 การหาค่าดัชนีหักเหของแก้ว

มุมตกกระทบ ในแก้ว(θ)	มุมหักเห ในอากาศ (β)	ค่าดัชนีหักเห ของแก้ว (n)
10°		
20°		
30°		
40°		
50		
60		

สรุปผลการทดลอง

จงแสดงวิธีคำนวณ หาค่าดัชนีหักเหของแก้ว กรณีมุมตกกระทบ 20 องศา

.....

.....

.....

ค่าเฉลี่ยดัชนีหักเหของแก้ว =

แสดงการคำนวณ

.....

.....

.....
 ค่าดัชนีหักเหมาตรฐานของแก้ว เท่ากับ

% คลาดเคลื่อนระหว่างดัชนีหักเหจากการทดลองกับค่ามาตรฐาน เท่ากับ

.....
 แสดงวิธีคำนวณ % คลาดเคลื่อน

ตอนที่ 2 การสะท้อนกลับหมดและมุมวิกฤติของแท่งแก้ว

มุมวิกฤติของแท่งแก้วจากการคำนวณ =(.....)

แสดงวิธีการคำนวณ

ทดลองครั้งที่	มุมวิกฤติที่ทดลองได้ (องศา)
1	
2	
3	
4	
5	
6	

สรุปผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยมุมวิกฤติจากการทดลอง =

แสดงวิธีคำนวณ

.....
 % ความแตกต่างของมุมวิกฤติระหว่างคำนวณและทดลอง =

แสดงวิธีคำนวณ

.....

.....

ค่ามุมวิกฤติมาตรฐานของแก้ว เท่ากับ

% คลาดเคลื่อนมุมวิกฤติระหว่างค่าจากการทดลองเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เท่ากับ

.....

แสดงวิธีคำนวณ

.....

.....

.....

วิเคราะห์ผลการทดลอง (ทั้งตอน 1 และตอน 2)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

- 1 ถ้าเราจะหาดัชนีหักเห และมุมวิกฤติของของเหลว เช่น น้ำ จะมีวิธีหาอย่างไร
- 2 ของเหลวชนิดหนึ่งมีดัชนีหักเห 1.63 อัตราเร็วแสงในของเหลวชนิดนี้เท่าใด
- 3 จงยกตัวอย่างการนำคุณสมบัติของการสะท้อนกลับหมดของแสงไปประยุกต์ใช้

