การทดลองที่ 8. ดัชนีหักเหของน้ำ

วัตถุประสงค์

เพื่อหาดัชนีหักเหของน้ำโดยใช้เลนส์นูนและกระจกเงาราบ

ทฤษฎี

เมื่อช่างนำแก้วหรือพลาสติกมาฝนทำเป็นเลนส์ให้มีลักษณะดังรูปที่ 8.1 สมการที่ช่างใช้คำนวณหาความยาวโฟกัสของเลนส์ คือ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \tag{8.1}$$

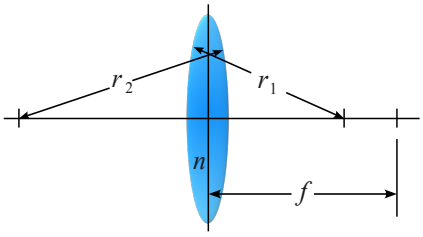
เรียกสมการ (8.1) นี้ว่า **สมการช่างทำเลนส์ (lens maker's equation)**

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์

r_1 คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านที่แสงเดินทางเข้าสู่เลนส์

r_2 คือ รัศมีความโค้งของเลนส์ด้านที่แสงเดินทางออกจากสู่เลนส์

n คือ ดัชนีหักเหของวัตถุที่ใช้ทำเลนส์



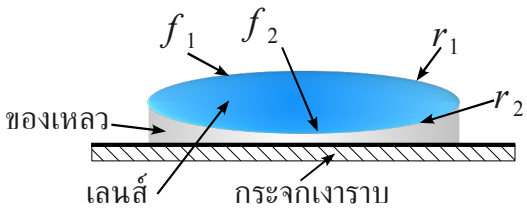
รูปที่ 8.1 เลนส์นูนดัชนีหักเหเท่ากับ n

หลักการกำหนดเครื่องหมาย

1. ความยาวโฟกัส (f)
   (a) f มีเครื่องหมายเป็นบวก สำหรับของเลนส์นูน

(b) f มีเครื่องหมายเป็นลบ สำหรับเลนส์เว้า

2. รัศมีความโค้ง (r)
   (a) r มีเครื่องหมายเป็นบวก ถ้าแสงเดินทางผ่านหน้านูน
   (b) r มีเครื่องหมายเป็นลบ ถ้าแสงเดินทางผ่านหน้าเว้า



รูปที่ 8.2 การวางเลนส์นูนบนของเหลวที่อยู่บนกระจกเงาราบ

จากรูปที่ 8.2 เมื่อวางเลนส์นูนซึ่งมีความยาวโฟกัส f_1 วางทับลงบนของเหลว ซึ่งหยดไว้บนกระจกเงาราบ ของเหลวจะทำหน้าที่เป็นเลนส์เว้าอันหนึ่ง ซึ่งมีรัศมีความโค้งของผิวด้านที่สัมผัสกับเลนส์นูนเท่ากับรัศมีความโค้งด้านที่ 2 ของเลนส์นูน คือ r_2 และรัศมีความโค้งของผิวด้านที่สัมผัสกับกระจกเงาราบเป็นอนันต์ (infinity)

ถ้ากำหนดให้ n **เป็นดัชนีหักเหของของเหลว** และ f_2 **เป็นความยาวโฟกัส** ของเลนส์ซึ่งเกิดจากของเหลว ดังนั้นจากสมการ (8.1) รัศมีความโค้งผิวด้านหน้าของเลนส์เว้า (r_2) จึงหาได้จากสมการ

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{\infty}\right)$$

หรือ

$$n = 1 + \frac{r_2}{f_2} \tag{8.2}$$

ดังนั้นเมื่อทราบค่า r_2 และ f_2 ก็สามารถหาค่า n ได้

การหาค่าความยาวโฟกัสของผิวหักเหด้านที่สองของเลนส์นูน (f_2)

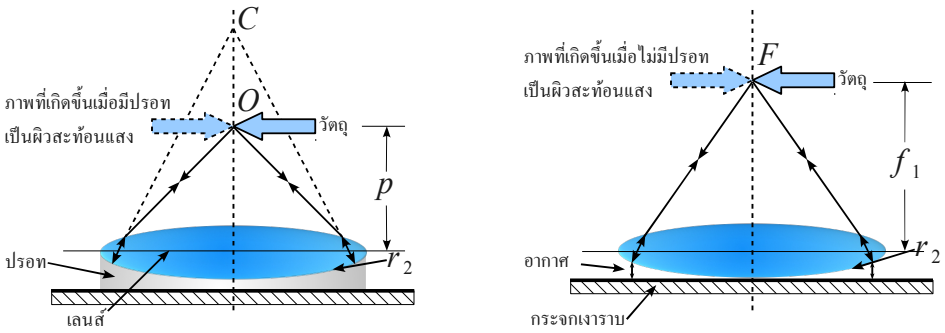
หากทราบความยาวโฟกัสของเลนส์นูน (f_1) และความยาวโฟกัสรวม (f) ที่เกิดจากเลนส์นูนดังกล่าวกับเลนส์ซึ่งเกิดจากของเหลว การหาค่าความยาวโฟกัสของผิวหักเหที่สองของเลนส์นูน (f_2) อาศัยสมการของการหาความยาวโฟกัสของเลนส์ประกอบ ดังสมการ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \tag{8.3}$$

เมื่อ f คือ ความยาวโฟกัสรวม (เลนส์นูนและของเหลว)
f_1 คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน
f_2 คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์เว้าซึ่งเกิดจากของเหลว

ค่าของ f และ f_1 หาได้จากการทดลอง

การหาค่ารัศมีความโค้งด้านที่สองของเลนส์นูน (r_2)



(ก) วางเลนส์ให้ลอยในปรอท (ข) วางเลนส์บนกระจกเงาราบ

รูปที่ 8.3 การหาระยะภาพที่เกิดจากเลนส์นูนโดยวิธีพารัลแลกซ์

จากรูปที่ 8.3ก กรณีเลนส์นูนวางบนโลหะปรอท เมื่อแสงจากวัตถุกระทบผิวหน้าเลนส์ แสงจะหักเหจากเลนส์ไปกระทบผิวปรอทซึ่งทำหน้าที่เป็นกระจกเงาโค้ง ทำให้แสงสะท้อนกลับตามแนวเดิมไปเกิดภาพที่จุด P (ตำแหน่งเดียวกับวัตถุ) การที่แสงสะท้อนกลับทางเดิม แสดงว่าแสงสะท้อนตั้งฉากกับผิวสะท้อนที่เกิดจากปรอท ดังนั้นถ้าแนวแสงสะท้อนนี้ออกไปตรงๆ จะไปตัดกับแกนมุขสำคัญที่จุด C ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางความโค้งของผิวสะท้อนปรอทซึ่งก็คือรัศมีความโค้ง (r_2) ของเลนส์นูนด้านที่สัมผัสกับปรอท จากรูปที่ 8.3ข กรณีเลนส์นูนวางบนกระจกเงาราบ (ไม่มีปรอทกั้นทางเดินแสง) เมื่อวางวัตถุไว้ที่จุดระยะโฟกัส (f_1) ของเลนส์นูน (จุด F) แสงจากวัตถุจะหักเหผ่านเลนส์นูนเป็นแสงขนานตกกระทบกับกระจกเงาราบและสะท้อนกลับไปเกิดภาพที่จุดตำแหน่งเดิมก็คือที่ระยะโฟกัสของเลนส์นูน

จากสมการเลนส์ทั่วไป $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$ และในกรณีนี้ $q = r_2$ ดังนั้น

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p} + \frac{1}{r_2} \tag{8.4}$$

เมื่อ f_1 คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์นูน หาได้โดยพิจารณาในรูปที่ 8.3ข
p คือ ระยะวัตถุ หาได้จากการวัดระยะจากวัตถุปลายแหลมถึงเลนส์ ดังในรูปที่ 8.3ก
r_2 คือ รัศมีความโค้งด้านที่สองที่สัมผัสกับปรอท ดังในรูปที่ 8.3ก

อุปกรณ์การทดลอง

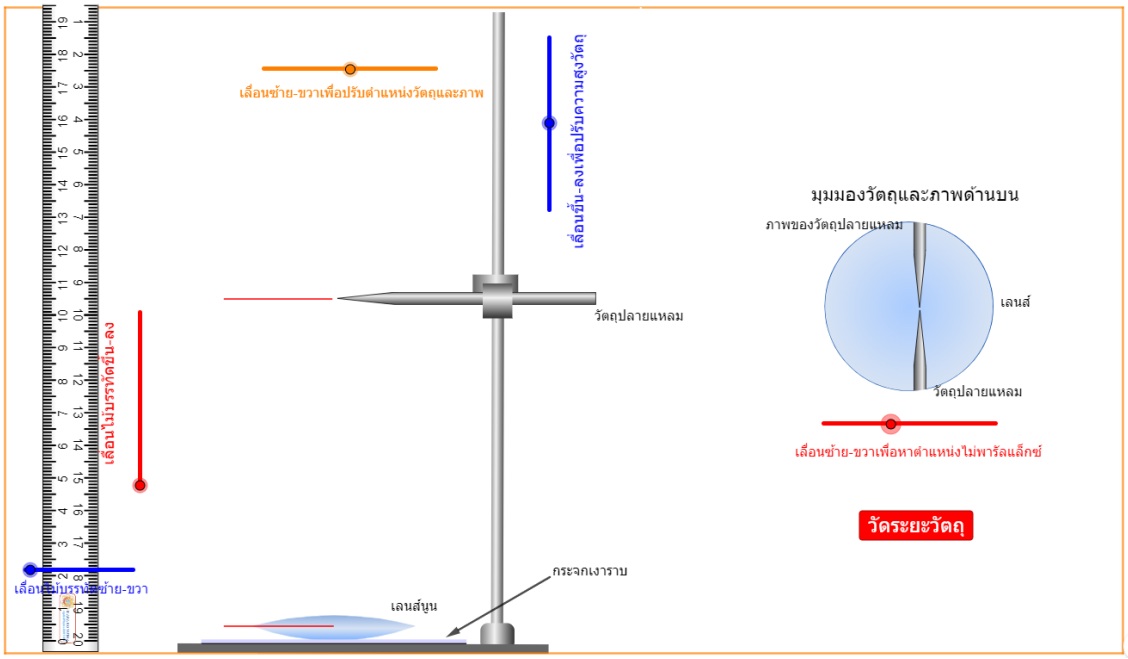
1. เลนส์นูน
2. กระจกเงาราบ

3. วัตถุปลายแหลม
4. ปรอท
5. น้ำ

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1. หาความยาวโฟกัสของเลนส์นูน (f_1)

1. คลิ๊กลิงค์ https://www.geogebra.org/m/rcwcaemd เพื่อใช้ปฏิบัติการเสมือนหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนโดยวางเลนส์นูนบนแผ่นกระจกเงาราบ
2. ใช้วิธีพารัลแลกซ์เพื่อหาระยะโฟกัสของเลนส์โดยการเลื่อนวัตถุปลายแหลมขึ้น-ลงช้า ๆ จนกระทั่งเห็นภาพวัตถุปลายแหลมและภาพของวัตถุมีตำแหน่งตรงกัน อาจเลื่อนวัตถุปลายแหลมซ้าย-ขวาเพื่อให้ปลายแหลมของวัตถุกับภาพชนกันพอดีเพื่อให้การสังเกตง่ายขึ้น หากระยะความสูงของวัตถุปลายแหลมเหมาะสม เมื่อเลื่อนการมองภาพไปด้านซ้ายหรือขวา วัตถุหลายแหลมและภาพของวัตถุจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ไม่เคลื่อนที่สวนทางกัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่เกิดพารัลแลกซ์ ดังรูปที่ 8.4

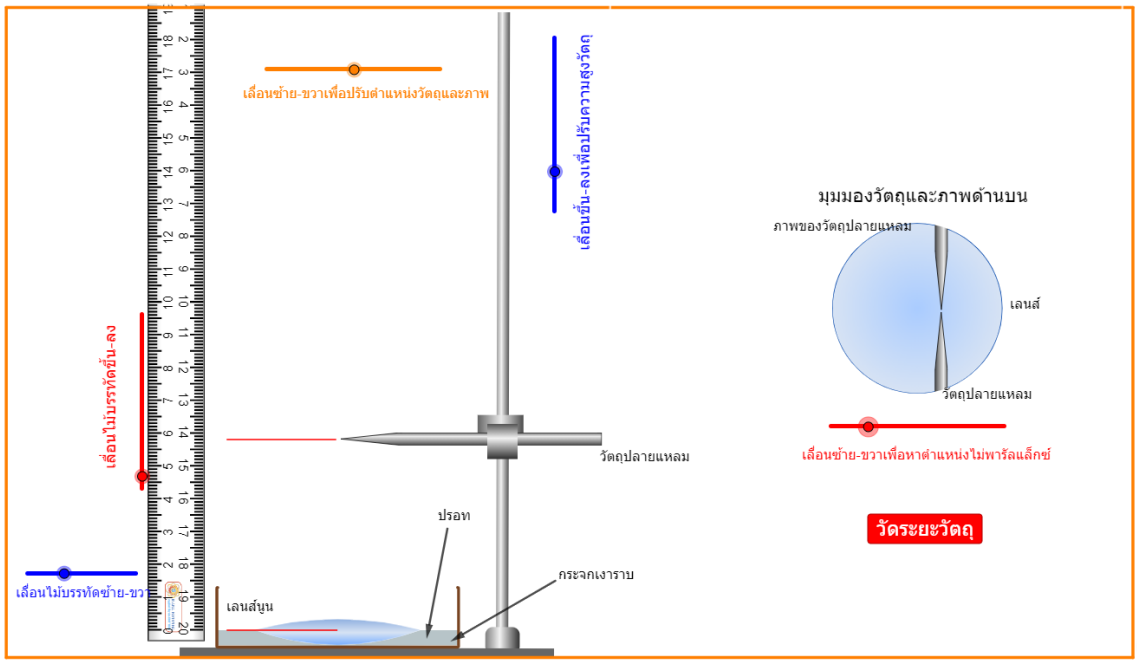


รูปที่ 8.4 การวางเลนส์นูนบนของเหลวที่อยู่บนกระจกเงาราบ

3. คลิ๊กปุ่ม **วัดระยะวัตถุ** เพื่อใช้ไม้บรรทัดวัดระยะจากเลนส์นูนถึงวัตถุปลายแหลมซึ่งเป็นความยาวโฟกัส f_1 ของเลนส์นูน บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลอง
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของ f_1

ตอนที่ 2. หารัศมีความโค้งของเลนส์ด้านที่สองของเลนส์นูน (r_2)

1. คลิ๊กลิงค์ https://www.geogebra.org/m/xt45sk7s เพื่อหารัศมีความโค้งด้านที่ 2 ของเลนส์โดยใช้เลนส์นูนลอยบนโลหะปรอท
2. ใช้วิธีพารัลแลกซ์เพื่อหารัศมีความโค้งด้านที่ 2 ของเลนส์นูนโดยการเลื่อนวัตถุปลายแหลมขึ้น-ลงช้า ๆ จนกระทั่งเห็นภาพวัตถุปลายแหลมและภาพของวัตถุมีตำแหน่งตรงกัน อาจเลื่อนวัตถุปลายแหลมซ้าย-ขวาเพื่อให้ปลายแหลมของวัตถุกับภาพชนกันพอดีเพื่อให้การสังเกตง่ายขึ้น หากระยะความสูงของวัตถุปลายแหลมเหมาะสม เมื่อเลื่อนการมองภาพไปด้านซ้ายหรือขวา วัตถุหลายแหลมและภาพของวัตถุจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ไม่เคลื่อนที่สวนทางกัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่เกิดพารัลแลกซ์ ดังรูปที่ 8.5



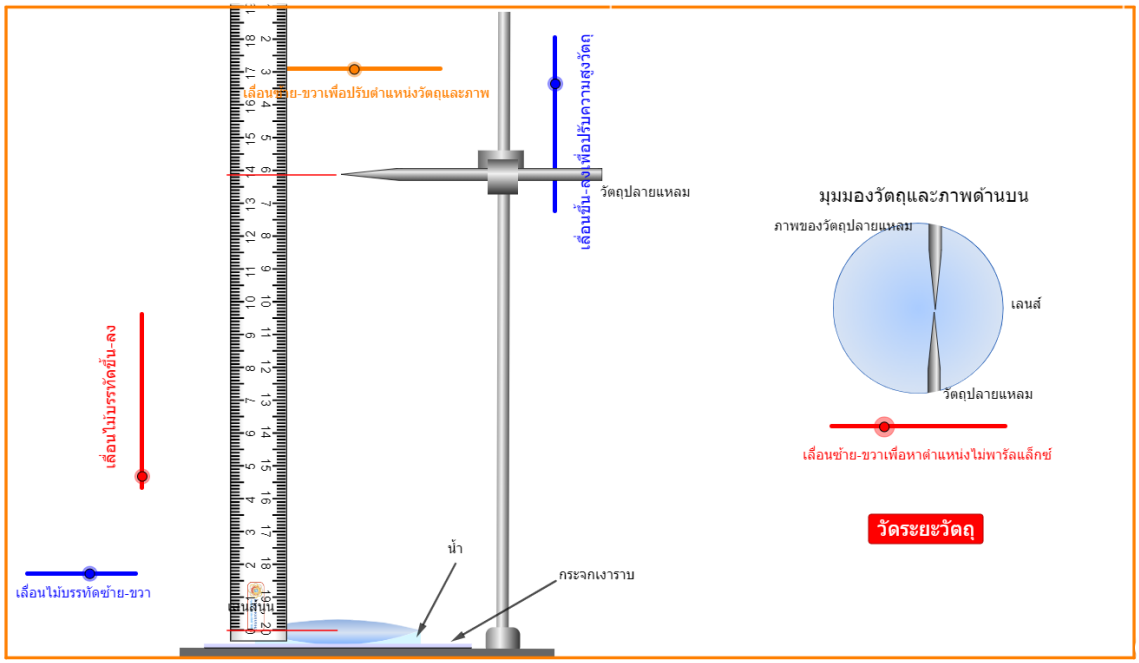
รูปที่ 8.5 การวางเลนส์นูนบนของเหลวที่อยู่บนกระจกเงาราบ

3. คลิ๊กปุ่ม **วัดระยะวัตถุ** เพื่อใช้ไม้บรรทัดวัดระยะจากเลนส์นูนถึงวัตถุปลายแหลมซึ่งกำหนดให้เป็นค่า p
4. คำนวณรัศมีความโค้ง r_2 ของเลนส์นูนด้านที่สัมผัสโลหะปรอท ด้านหลังของเลนส์นูนซึ่งสัมผัสกับโลหะปรอท โดยใช้สมการ (8.4) บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลอง
5. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของ r_2

ตอนที่ 3. หาค่าดัชนีหักเหของน้ำ

1. คลิ๊กลิงค์ https://www.geogebra.org/m/rcwcaemd เพื่อใช้ปฏิบัติการเสมือนหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนโดยวางเลนส์นูนบนแผ่นกระจกเงาราบ
2. ใช้วิธีพารัลแลกซ์เพื่อหาระยะโฟกัสของเลนส์โดยการเลื่อนวัตถุปลายแหลมขึ้น-ลงช้า ๆ จนกระทั่งเห็นภาพวัตถุปลายแหลมและภาพของวัตถุมีตำแหน่งตรงกัน อาจเลื่อนวัตถุปลายแหลมซ้าย-ขวา

เพื่อให้ปลายแหลมของวัตถุกับภาพชนกันพอดีเพื่อให้การสังเกตง่ายขึ้น หากระยะความสูงของวัตถุปลายแหลมเหมาะสม เมื่อเลื่อนการมองภาพไปด้านซ้ายหรือขวา วัตถุหลายแหลมและภาพของวัตถุจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ไม่เคลื่อนที่สวนทางกัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่เกิดพารัลแลกซ์ ดังรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 การวางเลนส์นูนบนของเหลวที่อยู่บนกระจกเงาราบ

3. คลิ๊กปุ่ม **วัดระยะวัตถุ** เพื่อใช้ไม้บรรทัดวัดระยะจากเลนส์นูนถึงวัตถุปลายแหลมซึ่งเป็นความยาวโฟกัส f ของเลนส์ประกอบซึ่งเกิดจากการรวมกันขนองเลนส์นูนและเลนส์เว้าของน้ำ บันทึกในตารางบันทึกผลการทดลอง
4. คำนวณความยาวโฟกัสของเลนส์เว้าของน้ำ (f_2) โดยใช้สมการ (8.3)
5. คำนวณดัชนีหักเหของน้ำ โดยใช้สมการ (8.2)
6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง