

เอกสารประกอบการเรียน

เรื่อง แสงเงิร้งสี



LIGHT
as rays

ชื่อ.....ห้อง.....เลขที่.....



รายวิชา ฟิสิกส์ 2 (ว30202) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนศึกษานารี

บทที่ 11 แสงเชิงรังสี (ray optics)



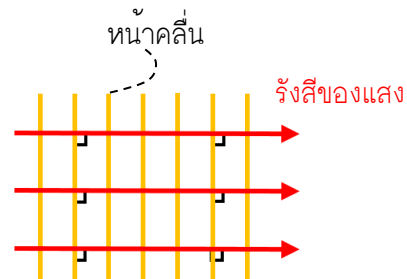
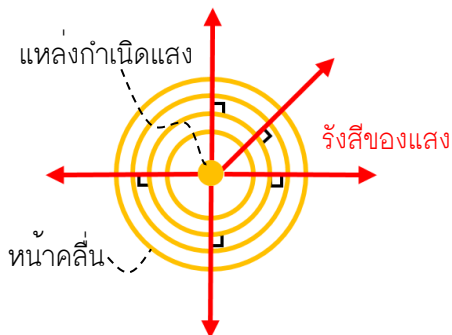
1. แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงรังสี

ในการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆ ที่เกี่ยวกับแสงนั้น นักฟิสิกส์ได้นำแนวคิดและแบบจำลองหลายรูปแบบมาใช้ เช่นการพิจารณาว่าแสงเป็นคลื่น จึงมีสมบัติเหมือนกับคลื่นชนิดอื่น ได้แก่ สมบัติการสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน



สำหรับปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนและการหักเหของแสงจะนิยมใช้มุมมองของ **"แสงเชิงรังสี (ray optics)"** เพราะการมองแสงเชิงรังสีสามารถนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ง่ายด้วยเรขาคณิตวิเคราะห์ ทำให้นิยมเรียกมุมมองของแสงเชิงรังสีอีกชื่อหนึ่งว่า **แสงเชิงเรขาคณิต (geometrical optics)**

สำหรับบทนี้กำหนดให้เส้นตรงที่ลากจากกับหน้าคลื่นแสงและมีลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแสงเรียกว่า **รังสีของแสง (light ray)** หรือเรียกสั้นๆว่า **รังสี (ray)**



น่ารู้

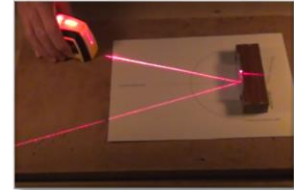
- 1. ตัวกลางโปร่งใส** เป็นตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้หมดหรือเกือบทั้งหมดอย่างเป็นระเบียบ สามารถมองเห็นวัตถุอีกชนิดได้ชัดเจน เช่น กระดาษใส อากาศ น้ำ กระดาษแก้วใส แผ่นพลาสติกใส
- 2. ตัวกลางโปร่งแสง** เป็นตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านได้บ้างและไม่เป็นระเบียบ ทำให้การมองเห็นวัตถุด้านตรงข้ามไม่ชัดเจน เช่น กระดาษฝ้า กระดาษไข แผ่นพลาสติกขุ่น เป็นต้น ตัวกลางนี้นำไปขวางทางเดินของแสงจะทำให้เกิดเงาดำไม่ชัดเจน
- 3. ตัวกลางทึบแสง** เป็นตัวกลางที่ไม่ยอมให้แสงทะลุผ่าน แต่สะท้อนได้หรือบางชนิดดูดกลืนแสงได้ เช่น ไม้ เหล็ก กระเบื้อง สมุด เป็นต้น ตัวกลางนี้นำไปขวางทางเดินของแสงจะทำให้เกิดเงาดำชัดเจน



2. การสะท้อนของแสง

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบกับรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด ในบางครั้งจะพบว่าคลื่นบางส่วนไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังตัวกลางที่สองได้แต่จะเคลื่อนที่ออกมาจากรอยต่อกลับมายังตัวกลางเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสะท้อนของคลื่น โดยคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหารอยต่อของตัวกลางเรียกว่า คลื่นตกกระทบ และคลื่นที่เคลื่อนที่กลับมายังตัวกลางเดิมเรียกว่า คลื่นสะท้อน

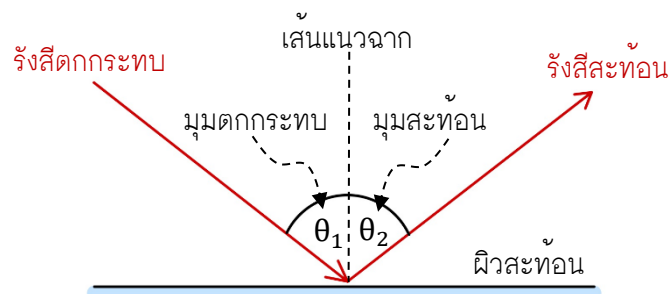
การสะท้อนของแสง (reflection of light) เกิดขึ้นเมื่อแสงเดินทางไปถึงผิวสะท้อนแล้วไม่สามารถเดินทางต่อไปได้จึงสะท้อนกลับมายังตัวกลางเดิม แสงเป็นคลื่นจึงมีรูปแบบการสะท้อนที่ชัดเจนสามารถศึกษาหลักการสะท้อนได้จาก การเขียนรังสีของแสงและหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบกับมุมสะท้อน



ต้องรู้

รังสีตกกระทบ (incident ray)
รังสีสะท้อน (reflected ray)
เส้นปกติหรือเส้นแนวฉาก (normal line)
มุมตกกระทบ (angle of incident)
มุมสะท้อน (angle of reflection)

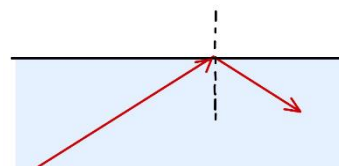
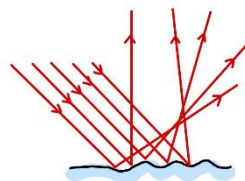
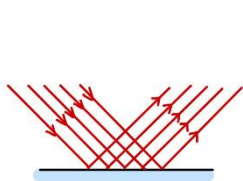
ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ
ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อน
เส้นที่ตั้งฉากกับผิวสะท้อน
- มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำกับแผ่นสะท้อน
- มุมที่รังสีตกกระทบกระทำกับเส้นปกติ
- มุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกระทำกับแผ่นสะท้อน
- มุมที่รังสีสะท้อนกระทำกับเส้นปกติ



จากภาพสามารถสรุปเป็น **กฎการสะท้อนของแสง (The Laws of Reflection)** ได้ว่า

1. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติจะอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน ($\theta_1 = \theta_2$)

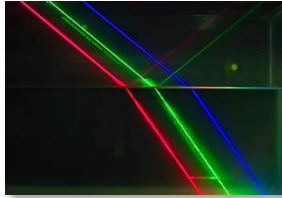
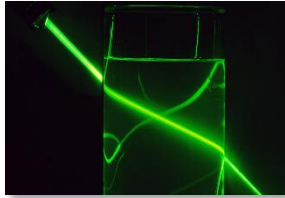
ลักษณะการสะท้อนบนพื้นผิวแบบต่างๆ





3. การหักเหของแสง

เมื่อคลื่นกระทบรอยต่อของตัวกลาง คลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับไปในตัวกลางเดิมอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนที่ผ่านไปในอีกตัวกลางหนึ่งเรียกว่าคลื่นหักเห (refracted waves) การหักเหของคลื่น (refraction) จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของตัวกลางที่มีสมบัติแตกต่างกันเช่น อุณหภูมิต่างกัน ความหนาแน่นต่างกัน น้ำตื้นลึกต่างกัน ฯลฯ เป็นผลทำให้อัตราเร็วของคลื่นเปลี่ยนแปลงไป



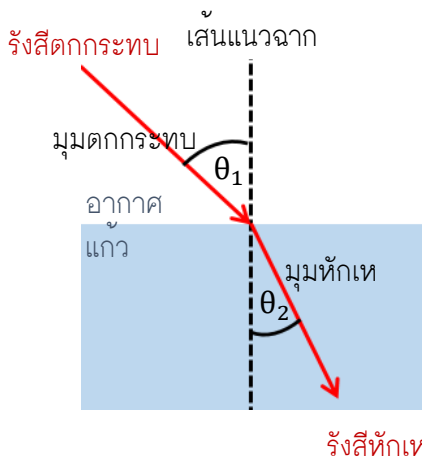
การหักเหของแสง (refraction of light) เป็นปรากฏการณ์ทางแสงที่เห็นได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของทางเดินแสงระหว่างที่เดินทางผ่านรอยต่อของตัวกลาง



ต้องรู้

รังสีหักเห (refracted ray)
เส้นปกติหรือเส้นแนวฉาก (normal line)
มุมหักเห (angle of refraction)

ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห
เส้นที่ตั้งฉากกับรอยต่อ
- มุมที่หน้าคลื่นหักเหกระทำกับรอยต่อ
- มุมที่รังสีหักเหกระทำกับเส้นปกติ



การเคลื่อนที่ของแสงผ่านผิวรอยต่อของตัวกลาง จะเกิดการหักเหของแสง โดยแสงมีการเปลี่ยนอัตราเร็ว และหากรังสีตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อ รังสีหักเหจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่โดยมุมตกกระทบ และมุมหักเหมีความสัมพันธ์เป็นไปตามกฎของสเนลล์

จากภาพสามารถสรุปเป็น **กฎการหักเหของแสง (The Laws of Refraction)** ได้ว่า

1. เส้นรังสีตกกระทบ เส้นรังสีหักเห รอยต่อขอบเขตของตัวกลางและเส้นแนวฉากอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$



นักเรียนคิดว่าถ้ารังสีตกกระทบตั้งฉากกับผิวรอยต่อลักษณะการหักเหของคลื่นจะเป็นอย่างไร

3.1 ดรรชนีหักเห (index of refraction : n)

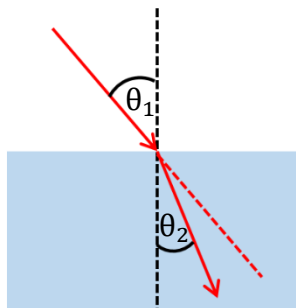
ดรรชนีหักเหของตัวกลาง คือ อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วแสงในสุญญากาศเทียบกับอัตราเร็วแสงในตัวกลางใดๆ (ค่าประมาณอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ $c = 3 \times 10^8$ เมตรต่อวินาที)



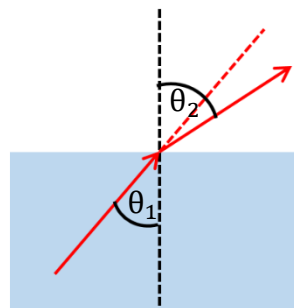
ตารางตัวอย่างดรรชนีหักเหของสารชนิดต่างๆ สำหรับความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร

ของแข็งที่อุณหภูมิ 20°C		ของเหลวที่อุณหภูมิ 20°C		แก๊สที่อุณหภูมิ 20°C (ความดัน 1 บรรยากาศ)	
สาร	ดรรชนีหักเห	สาร	ดรรชนีหักเห	สาร	ดรรชนีหักเห
น้ำแข็ง	1.309	น้ำ	1.333	อากาศ	1.000293
ฟลูออไรต์	1.434	กลีเซอริน	1.473	คาร์บอนไดออกไซด์	1.000450
ซิลิกา	1.458	เอทิลแอลกอฮอล์	1.361		
แก้วคราวน์	1.520	คาร์บอนไดซัลไฟด์	1.628		
โซเดียมคลอไรด์	1.544	เบนซีน	1.501		
แก้วฟลินท์	1.660				

3.2 การหักเหของแสงเมื่อเดินทางผ่านระหว่างน้ำและอากาศ



เมื่อแสงเดินทางจากอากาศไปหาน้ำ
รังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นแนวฉาก



เมื่อแสงเดินทางจากน้ำไปหาอากาศ
รังสีหักเหจะเบนออกจากเส้นแนวฉาก



สำหรับกรณีแสงเดินทางจากน้ำไปหาอากาศ หากเพิ่มขนาดมุมตกกระทบมากขึ้นเรื่อยๆ จะเกิดอะไรขึ้น

3.3 มุมวิกฤติและการสะท้อนกลับหมด

มุมวิกฤติ (critical angle : θ_c) คือมุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหเท่ากับ 90° จะเกิดได้เมื่อมีเงื่อนไขดังนี้

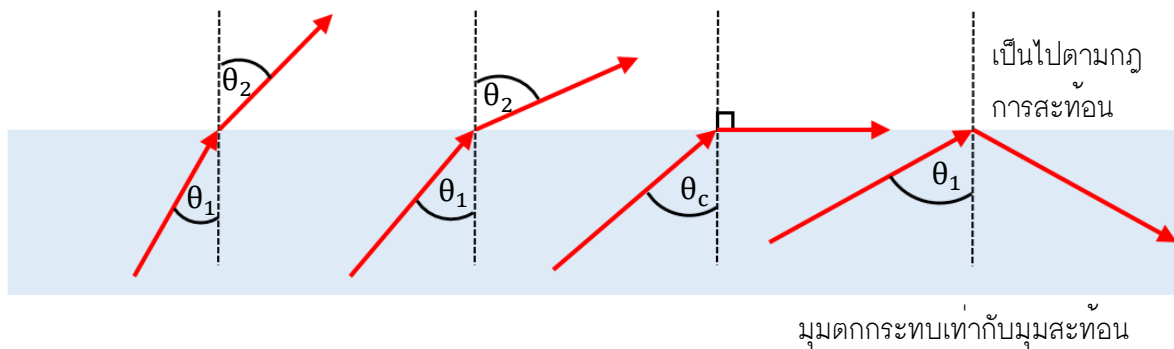
1. แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหมากไปสู่ตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหน้อย
2. แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความเร็วแสงน้อยไปสู่ตัวกลางที่มีความเร็วแสงมาก

เราสามารถหาขนาดของมุมวิกฤตได้จากสมการ



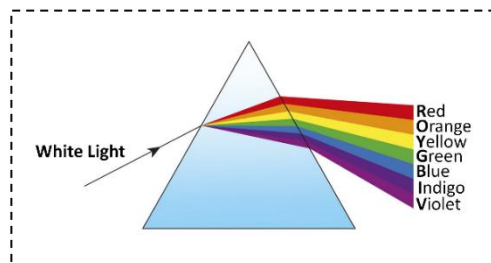
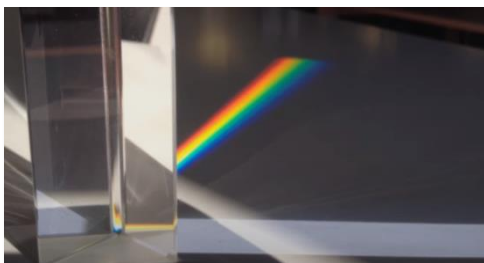
3.4 การสะท้อนกลับหมด (total internal reflection)

จะเกิดขึ้นในกรณีที่มุมตกกระทบใดก็ตามที่มุมวิกฤต ขณะที่เกิดการสะท้อนกลับหมด จะไม่มีแสงผ่านเข้าไปสู่ตัวกลางที่ 2 เลย



3.5 การกระจายแสง (dispersion of light)

เมื่อให้แสงขาวผ่านปริซึมจะพบว่าแสงที่หักเหออกมาไม่เป็นแสงขาว แต่จะมีแสงสีต่างๆปรากฏบนฉาก ดังรูป ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การกระจายแสง (dispersion of light)



ปรากฏการณ์การกระจายแสงเกิดขึ้นเมื่อแสงขาวประกอบด้วยแสงหลายสีและดรรชนีหักเหของแก้วสำหรับแสงแต่ละสีไม่เท่ากัน ทำให้เมื่อรังสีแสงขาวผ่านปริซึมที่ทำจากแก้วควานซึ่งแสงสีทุกสีตกกระทบปริซึมด้วยมุมตกกระทบเท่ากัน เกิดการหักเหด้วยมุมที่ไม่เท่ากัน แสงสีแต่ละสีจึงแยกออกจากกัน เช่น ถ้าแสงขาวจากอากาศตกกระทบด้วยมุมตกกระทบ 30 องศา แสงสีม่วงจะมีมุมหักเหในปริซึมเท่ากับ 19.1 องศา แสงสีแดงจะมีมุมหักเหในปริซึมเท่ากับ 19.3 องศา



Learn more

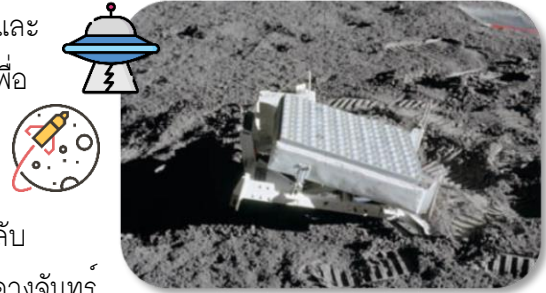
El prisma de Newton

White light through prism



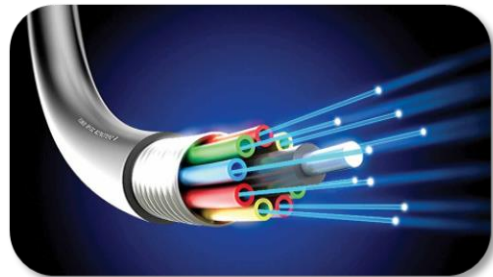
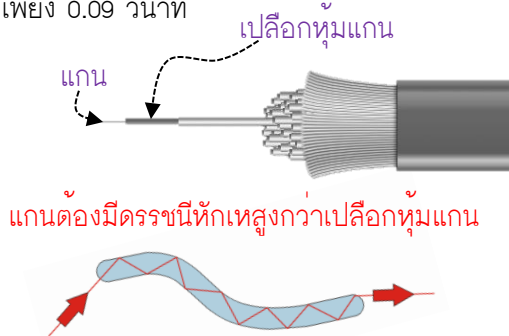
นำรู้

ในการสำรวจดวงจันทร์ในอดีตเช่นยานอพอลโล 11 14 และ 15 ได้มีการนำอุปกรณ์สะท้อนแสงไปวางไว้ที่ดวงจันทร์เพื่อใช้ในการทดลองด้วยการยิงเลเซอร์จากโลกให้สะท้อนที่ดวงจันทร์แล้วกลับมาถึงโลกทำให้สามารถวัดเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางจากโลกไปดวงจันทร์และสะท้อนกลับมาถึงโลกได้ เพื่อนำไปคำนวณระยะห่างระหว่างโลกกับดวงจันทร์นำไปสู่การทดสอบสมมติฐานใหม่ๆ เช่น ระยะทางระหว่างโลกและดวงจันทร์มีค่าคงที่หรือไม่ อย่างไร



นำรู้

สายใยแก้วนำแสง (optical fibers) มีลักษณะเป็นแก้วรูปทรงกระบอกตันขนาดเล็ก มีสมบัติคือสามารถทำให้แสงเดินทางไปตามสายใยได้ด้วยการสะท้อนกลับหมดที่ด้านข้างของใยแก้ว ใยแก้วนำแสงทำจากวัสดุต่างๆได้เช่น แก้ว พลาสติก ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ข้อดีของใยแก้วนำแสงคือสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลภายในเวลาน้อยๆได้ อัตราเร็วแสงในสายใยนำแสงมีค่าประมาณ 2×10^8 เมตรต่อวินาที โดยสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกรุงเทพมหานครและประเทศสหรัฐอเมริกาในเวลาเพียง 0.09 วินาที

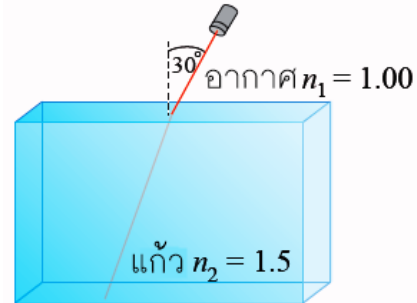


นำรู้

นิวตันค้นพบแถบแสงหลายสีจากการฉายแสงขาวของดวงอาทิตย์ผ่านปริซึม และยังพบอีกว่าถ้านำแถบแสงสีดังกล่าวมารวมกันด้วยเลนส์กลับปริซึมแท่งหนึ่งจะเป็นแสงขาวอีกครั้ง นิวตันได้เรียกแถบสีที่เกิดจากการแยกแสงขาวว่า **สเปกตรัม (spectrum)** การค้นพบดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนมุมมองของแสงจากความเชื่อว่าเป็นแสงบริสุทธิ์ กลายเป็นแสงขาวเกิดจากการผสมกันระหว่างแสงสีอื่นทำให้ นิวตันสามารถสร้างกล้องโทรทรรศน์ที่อาศัยหลักการสะท้อนของแสงแทนการหักเหของแสง เพื่อลดการเกิดภาพที่ไม่คมชัดและมีสีที่คลาดเคลื่อนได้สำเร็จ

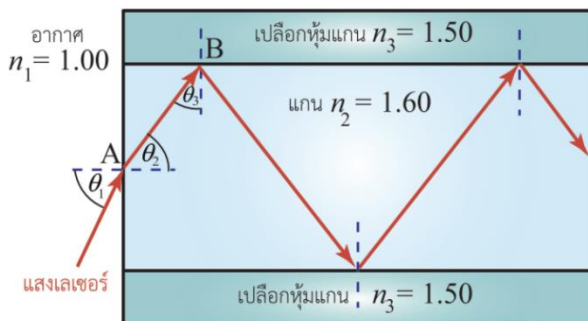
แบบตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าแสงตกกระทบบนแท่งแก้วที่มีดรรชนีหักเห 1.5 ที่มีความหนาสม่ำเสมอด้วยมุมตกกระทบบน 30° ดังรูป แสงจะหักเหออกจากแท่งแก้วด้วยมุมหักเหเท่าใด กำหนดให้แท่งแก้วนี้วางอยู่ในอากาศที่มีดรรชนีหักเห 1.00



2. ถ้าแท่งแก้วอยู่ในน้ำแทนที่จะเป็นอากาศ มุมวิกฤตสำหรับการสะท้อนกลับหมดในแก้วที่รอยต่อระหว่างแก้วกับน้ำจะเท่ากับ 41.8° หรือไม่

3. ถ้าต้องการส่งแสงเลเซอร์เข้าไปในสายใยแก้วนำแสงที่ประกอบด้วยแกนที่มีดรรชนีหักเห 1.60 และเปลือกหุ้มแกนที่มีดรรชนีหักเห 1.50 จะต้องยิงเลเซอร์เข้าไปที่จุด A ด้วยมุมตกกระทบบนที่น้อยกว่ากี่องศา



4. เพราะเหตุใดแสงเลเซอร์ที่เคลื่อนที่จากอากาศไปยังแท่งแก้วและน้ำด้วยมุมตกกระทบบนที่เท่ากันจึงมีมุมหักเหที่ต่างกัน

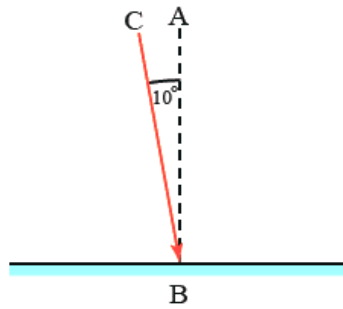
5. เพราะเหตุใดเมื่อให้แสงขาวเคลื่อนที่ผ่านปริซึมจึงเกิดเป็นแถบแสงหลายสี

.....

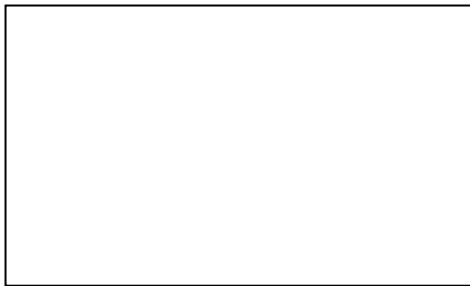
.....

.....

6. รังสีของแสง CB ตกกระทบบนกระจกเงาราบทำมุม 10 องศา กับเส้น AB ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับกระจก ดังรูป เมื่อปิดกระจกเงาราบทำมุม 10 องศา กับแนวเดิมของกระจกเงาราบ รังสีสะท้อนจะทำมุมเท่าใดกับเส้น AB ถ้า



ก. ปิดกระจกในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาการรอบจุด B
วาดภาพประกอบ



ตอบ องศา

ข. ปิดกระจกในทิศทางตามเข็มนาฬิกาการรอบจุด B
วาดภาพประกอบ



ตอบ องศา

7. แสงความยาวคลื่น 589 นาโนเมตร เดินทางจากสุญญากาศเข้าสู่ซิลิกาโดยมีอัตราเร็วของแสงในซิลิกาเป็น 2.06×10^8 เมตรต่อวินาที ดรรชนีหักเหของซิลิกาเป็นเท่าใด กำหนดอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศเท่ากับ 3.00×10^8 เมตรต่อวินาที

.....

.....

.....

8. จงหามุมวิกฤตของเพชรเมื่อแสงผ่านจากเพชรไปยังน้ำ กำหนดดรรชนีหักเหของเพชรและน้ำเท่ากับ 2.42 และ 1.33 ตามลำดับ

.....

.....

.....

.....



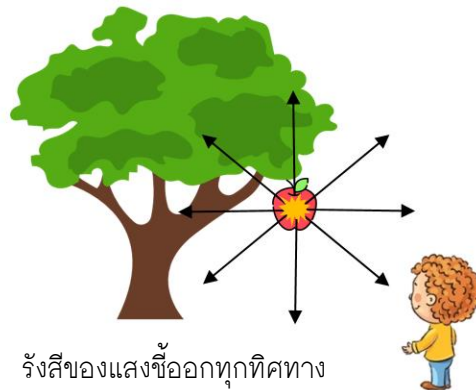
4. การมองเห็นและการเกิดภาพ

แสงคือพลังงานรูปหนึ่งที่ไม่มีความตึงเครียดแต่สามารถทำงานได้ แสงช่วยให้เรามองเห็นสิ่งต่าง ๆ รอบตัวในขณะที่เรามองจะตัดสินว่าสิ่งที่เรามองเห็นมีลักษณะ สี รูปร่าง เป็นอย่างไร

4.1 การมองเห็น

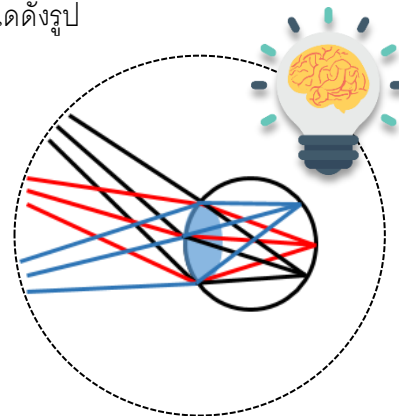
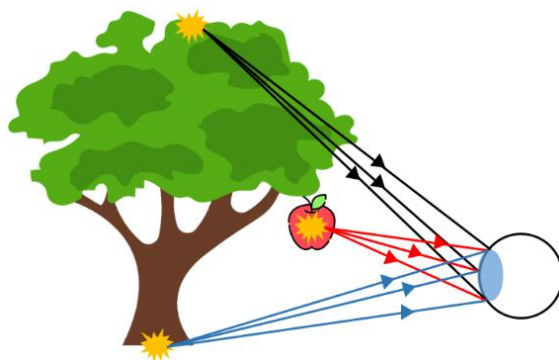
หลักการพื้นฐานของการมองเห็น คือ **"เราจะมองเห็นวัตถุใดได้จะต้องมีแสงจากวัตถุนั้นมาเข้าตาเรา"** ซึ่งวัตถุนั้นอาจเป็นวัตถุที่มีแสงในตัวเองหรือวัตถุนั้นสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดอื่นมาเข้าตาเรา

ตัวอย่างเช่น การมองเห็นผลแอปเปิ้ลที่อยู่บนต้นไม้ แสดงว่ามีแสงจากผลแอปเปิ้ลมาเข้าตาเราและถ้าเราขยับตัวไปทางด้านขวาเราก็ยังคงมองเห็นแอปเปิ้ลได้แม้ว่าผลแอปเปิ้ลจะยังอยู่ที่เดิมแสดงว่าแสงที่ออกมาจากผลแอปเปิ้ล นั้นไม่ได้มีเพียงทิศทางใดทิศทางหนึ่งแต่จะออกได้ทุกทิศทางดังรูป



รังสีของแสงออกทุกทิศทาง

ในการมองเห็นของมนุษย์ไม่ได้เห็นเฉพาะผลแอปเปิ้ลเท่านั้น เรายังเห็นส่วนอื่น ๆ ของต้นไม้ด้วย แสดงว่ามีแสงจากส่วนอื่น ๆ เช่นยอดต้นไม้หรือโคนต้นไม้ออกมาเข้าตาเรา หากพิจารณาเฉพาะรังสีของแสงที่มาเข้าตาเราเท่านั้น อาจจะเขียนรังสีของแสงที่ออกจากส่วนต่างๆของต้นไม้ได้ดังรูป



นอกจากนี้ตาของมนุษย์ยังสามารถแยกได้ว่าแสงมาจากส่วนไหนของต้นไม้ เนื่องจากแสงแต่ละจุดบนวัตถุที่มาเข้าตาเรานั้นเป็นแสงที่บานออก เมื่อรังสีของแสงบางส่วนเข้าตาเลนส์ตาจะทำหน้าที่ช่วยให้แสงเหล่านี้ไปตกกระทบบนจอตา (retina) บนตำแหน่งที่ต่างกัน การรับรู้บนจอตาจะส่งสัญญาณให้สมองแปลความหมาย จึงทำให้เราเห็นต้นไม้เป็นรูปร่างได้



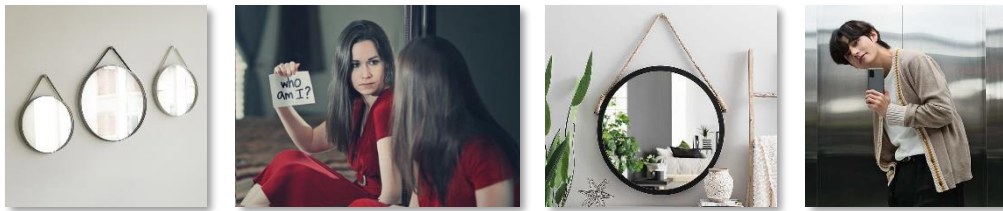
นักเรียนจะมองเห็นภาพเพื่อนที่นั่งอยู่ข้างๆ กลับหัวหรือไม่ อย่างไร

4.2 การเกิดภาพ

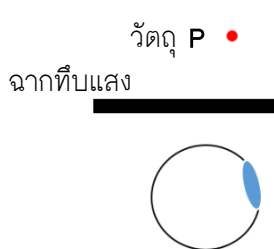
การมองเห็นเกิดจากที่แสงจากวัตถุเข้าสู่ตาของเราทำให้สมองแปลความหมายให้สามารถมองเห็นวัตถุได้ ในกรณีที่แสงเข้าสู่ตาเราเป็นแสงที่มาจากการสะท้อนและการหักเหของแสง จะทำให้เรามองเห็นวัตถุในลักษณะที่ต่างออกไป

ภาพที่เกิดจากการสะท้อน

กระจกเงาราบเป็นวัตถุที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี เราจึงนิยมใช้กระจกเงาราบในการส่องมองดูตัวเอง เราเรียกสิ่งที่มองเห็นว่า **ภาพ (image)** ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีบางสิ่งมาเปลี่ยนเส้นทางเดินของแสงที่ออกจากวัตถุมาเข้าตาเรา ทำให้เราเห็นภาพตรงตำแหน่งที่แนวรังสีเข้าตาเราตัดกัน แม้เราอาจไม่พบวัตถุจริงนะตำแหน่งที่เรามองเห็นภาพ

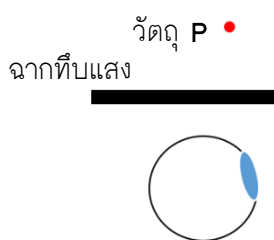


พิจารณาทดลองการมองเห็นภาพจากการสะท้อนโดยมีวัตถุประสงค์อยู่หน้ากระจกที่จุด P และในขณะที่ผู้สังเกตมองวัตถุผ่านกระจกโดยมีฉากทึบแสงกั้นระหว่างวัตถุกับผู้สังเกต

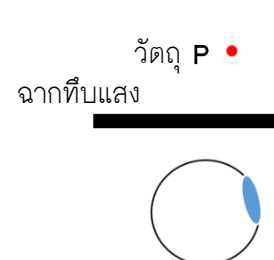


ฉากกั้นแสงที่กั้นอยู่ระหว่างตากับวัตถุ ทำให้ไม่มีรังสีมาถึงตาเราได้โดยตรงแต่รังสีที่สะท้อนกระจกสามารถมาถึงตาเราได้ โดยเป็นไปตามกฎการสะท้อน คือ

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน



เนื่องจากวัตถุเป็นจุด แสงที่ออกจากวัตถุจะมีลักษณะบานออกทุกทิศทางแต่เราจะเลือกพิจารณาเฉพาะส่วนของรังสีที่มาเข้าตาเราและเขียนแทนด้วยรังสีเพียง 3 เส้น



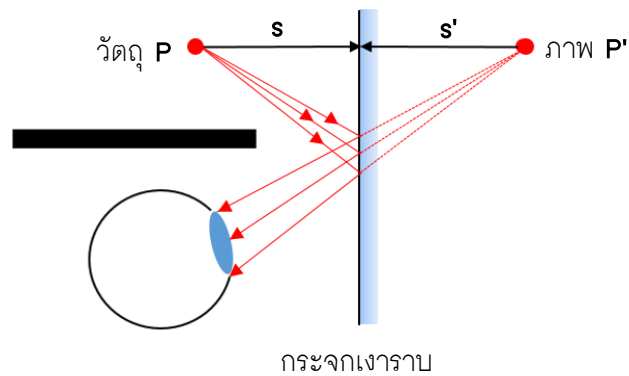
ภาพ P'



ถ้ามีรังสีของแสงจากวัตถุ P สะท้อนจากกระจกมาเข้าตา และสมองของเราก็จะบอกว่าแสงทั้งหมดที่มาเข้าตานั้นนั้นเสมือนออกมาจากจุด P' เราเรียกกระบวนการทั้งหมดนี้ว่า **การเกิดภาพ (image formation)**



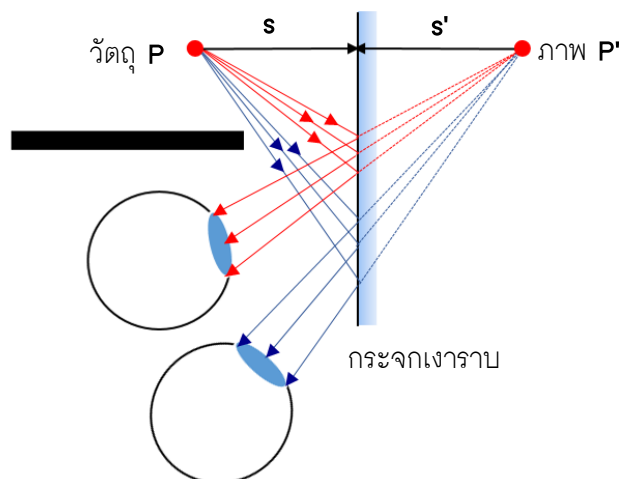
ลองวาดภาพรังสีของแสงแล้วพิจารณาความสัมพันธ์ของระยะภาพกับระยะวัตถุ



จากการเขียนภาพทางเดินแสง เราสามารถแสดงได้ว่าตำแหน่งของภาพบนกระจกเงาราบอยู่อย่างสมมาตรกับตำแหน่งของวัตถุ คืออยู่ตรงข้ามกันแต่อยู่คนละด้านของกระจก โดยระยะห่างระหว่างตำแหน่งของภาพกับกระจกเรียกว่า **ระยะภาพ (s')** จะมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัตถุกับกระจกที่เรียกว่า **ระยะวัตถุ (s)**



หากเราวางวัตถุไว้ที่ตำแหน่งเดิมและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกต ก็จะมีการเปลี่ยนจุดสะท้อนแต่ตำแหน่งภาพที่ได้คงเดิม นั่นคือการย้ายตำแหน่งผู้สังเกตไม่มีผลกับตำแหน่งภาพนั่นเอง



ทดลองเอานิ้วแตะไว้ที่กระจกเงาราบ จากนั้นเคลื่อนที่เข้าออกจากกระจก
เปรียบเทียบความชัดเจนของภาพใบหน้าและนิ้วที่เห็นในกระจก



ภาพที่เกิดจากการหักเห

เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเหไม่เท่ากันโดยมีมุมตกกระทบไม่เป็น 0 องศา จะพบว่ารังสีของแสงมีการเปลี่ยนทิศทาง ดังนั้นภาพที่เกิดจากการหักเหในบางกรณีจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากภาพเดิม ศึกษาปรากฏการณ์ดังกล่าวได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม ศึกษาการเกิดภาพจากการหักเหของแสง

วิธีทำ

1. นำเหรียญวางไว้ในแก้วน้ำที่มีลักษณะทึบแสง
2. ให้ผู้สังเกตยืนห่างจากแก้วมากพอที่จะมองไม่เห็นเหรียญที่อยู่ในแก้ว
3. เติมน้ำลงในแก้วแล้วให้ผู้สังเกตที่ตำแหน่งเดิมสังเกตใหม่อีกครั้ง
4. บันทึกผลโดยวาดภาพที่ผู้สังเกตสังเกตได้ก่อนและหลังเติมน้ำ

ก่อนเติมน้ำ

หลังเติมน้ำ

คำถามท้ายกิจกรรม

ก่อนและหลังเติมน้ำนักเรียนสังเกตเห็นเหรียญที่อยู่ในแก้วหรือไม่และถ้าผลที่ได้แตกต่างกันนักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด

.....

.....

.....

ลึกจริงลึกปรากฏ

เมื่อแสงเดินทางจากน้ำซึ่งมีดัชนีหักเหมากกว่าไปยังอากาศซึ่งมีดัชนีหักเหต่ำกว่ารังสีหักเหเบน.....
 เส้นแนวฉาก ทำให้เมื่อเราย้อนเส้นทางของแสงที่เข้าตาเราไปเป็นเส้นตรงเราจะพบว่าภาพที่เกิดขึ้นอยู่ตื้นกว่าวัตถุจริง หรือกล่าวได้ว่าความลึกที่ปรากฏต่อสายตาเรานั้นน้อยกว่าความลึกจริงของวัตถุ

.....

.....

.....

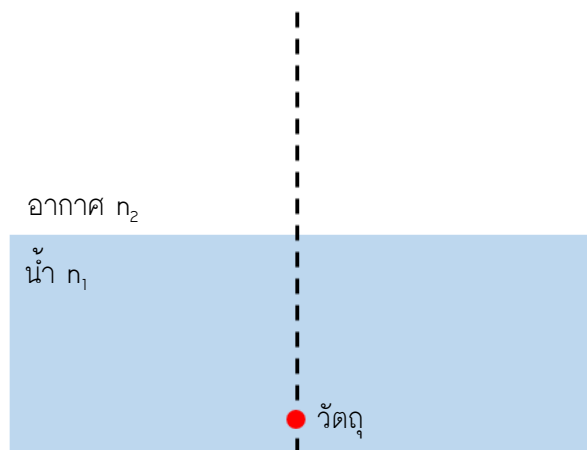
.....

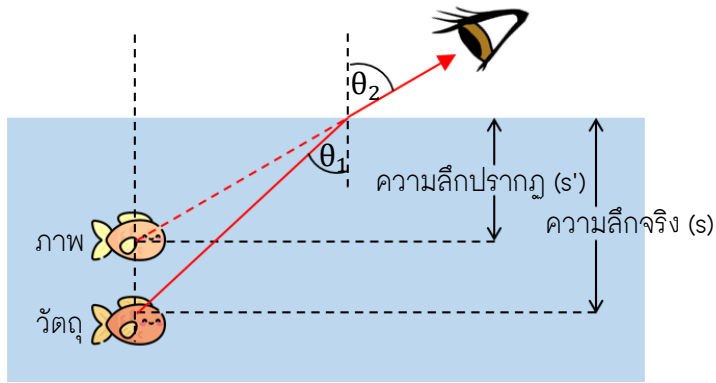
.....

จะได้สมการสำหรับคำนวณหาระยะลึกปรากฏดังนี้

.....

กรณีมองตรง





กรณีมองเอียง

$$\frac{s'}{s} = \frac{n_{\text{eye}} \cos \theta_2}{n_{\text{obj}} \cos \theta_1}$$



แบบตรวจสอบความเข้าใจ

1. หญิงคนหนึ่งสูง h ยืนอยู่หน้ากระจกตั้งรูป จงหาขนาดความสูงของกระจกที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผู้หญิงคนนี้สามารถมองเห็นตัวเองได้เต็มตัวและต้องติดตั้งกระจกสูงจากพื้นเท่าไร



.....

.....

.....

.....

.....

2. ปลาอยู่ในน้ำที่ระดับความลึกจากผิวน้ำ 0.20 เมตร ความลึกปรากฏของปลาเป็นเท่าใด เมื่อผู้สังเกตมองปลาในแนวตั้งตรงตัวปลา กำหนดให้ดัชนีหักเหของอากาศเท่ากับ 1.00 และดัชนีหักเหของน้ำเท่ากับ 1.33

.....

.....

.....

3. ถ้าปลาตัวหนึ่งมองนกอินทรีที่บินอยู่ในอากาศสูงจากผิวน้ำ 20.00 เมตร ปลาจะเห็นนกอินทรีสูงจากผิวน้ำเท่าใด กำหนดให้น้ำมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.33 และอากาศมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.00

.....

.....

.....



5. การเกิดภาพจากกระจกโค้งทรงกลมและเลนส์บาง

กระจกโค้ง (curved mirror) คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนเส้นทางของแสงก่อนเข้าตาเราแล้วทำให้เกิดภาพในตำแหน่งที่เปลี่ยนไปจากตำแหน่งวัตถุหรือมีขนาดที่แตกต่างจากขนาดวัตถุ ทำมาจากวัสดุที่สะท้อนแสงได้ดี เช่นเดียวกับกระจกเงาราบแต่มีผิวโค้ง โดยเราจะพิจารณาเฉพาะกระจกโค้งทรงกลม (spherical mirror) แบ่งตามลักษณะของผิวได้เป็น กระจกโค้งนูน (convex mirror) และกระจกโค้งเว้า (concave mirror)

5.1 ภาพที่เกิดจากกระจกโค้งเว้า

เราสามารถหาตำแหน่งและลักษณะของภาพที่สะท้อนจากกระจกเว้าได้จากการเขียนแผนภาพรังสีของแสงหรือที่เรียกว่า การเขียนทางเดินแสง โดย "ตำแหน่งที่รังสีสะท้อนของแสงตัดกันอย่างน้อย 2 เส้นคือตำแหน่งที่เกิดภาพจริง" โดยในการเขียนทางเดินแสง มีส่วนประกอบสำคัญที่จำเป็นต้องทราบ คือ

- เส้นแกนमुखสำคัญ (Principal axis) คือ เส้นตรงสมมติที่ลากผ่านกึ่งกลางของกระจกและจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก

- จุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก (Center of Curvature : C)

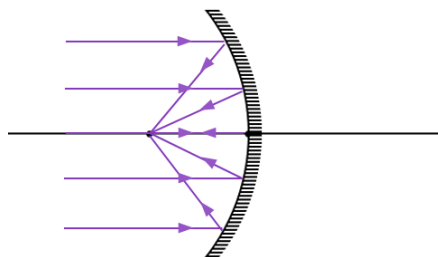
- จุดโฟกัส (Focus : F) ทำหน้าที่เป็นจุดรวมแสงที่เกิดจากการสะท้อนของกระจก **จุดโฟกัสของกระจก**

เว้าเป็นจุดโฟกัสจริงและอยู่หน้ากระจก

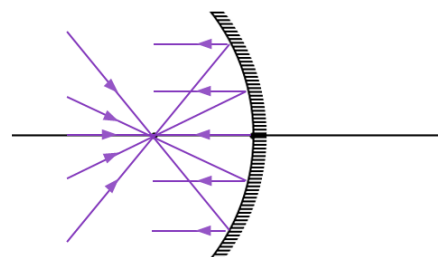
- รัศมีความโค้งของกระจก (Radius : R) คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจกถึงกระจก

- ความยาวโฟกัสหรือระยะโฟกัส (f) คือ ระยะจากจุดโฟกัสถึงกระจก

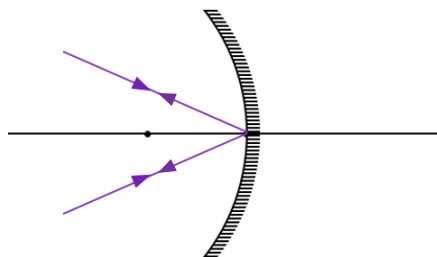
การเขียนทางเดินแสงสำหรับกระจกโค้งเว้าจะเป็นไปตามกฎการสะท้อนเช่นเดียวกันกับการสะท้อนโดยวัตถุอื่นๆ คือ มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน แต่ลักษณะเฉพาะของกระจกโค้งทรงกลมทำให้เราสามารถเขียนทางเดินแสงที่สะท้อนจากกระจกเว้าได้ง่ายขึ้น โดยเลือกเขียนเฉพาะทางเดินแสงที่สำคัญดังต่อไปนี้



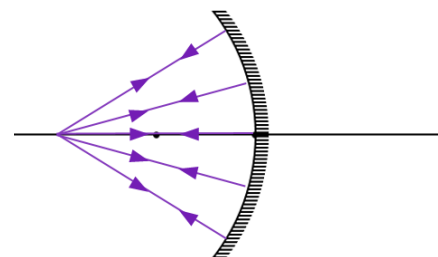
รังสีตกกระทบของแสงที่ขนานแกนमुखสำคัญ
จะสะท้อนโดยมีแนวผ่านจุดโฟกัส



รังสีตกกระทบของแสงที่มีแนวผ่านจุดโฟกัสจะ
สะท้อนโดยขนานแกนमुखสำคัญ



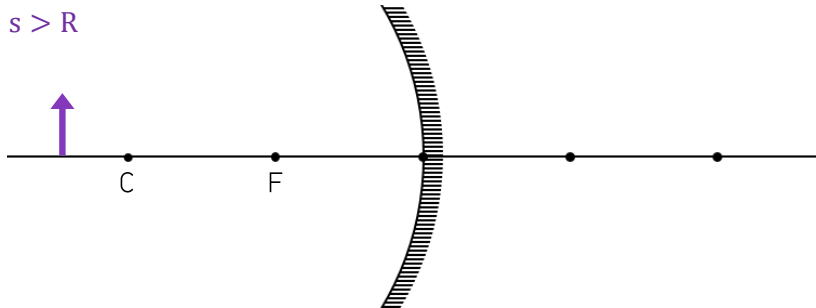
รังสีของแสงที่ตกกระทบกึ่งกลางกระจกพอดี
จะสะท้อนไปยังอีกด้านของเส้นแกนमुखสำคัญ
โดยมีเส้นแกนमुखสำคัญเป็นเส้นแนวฉาก



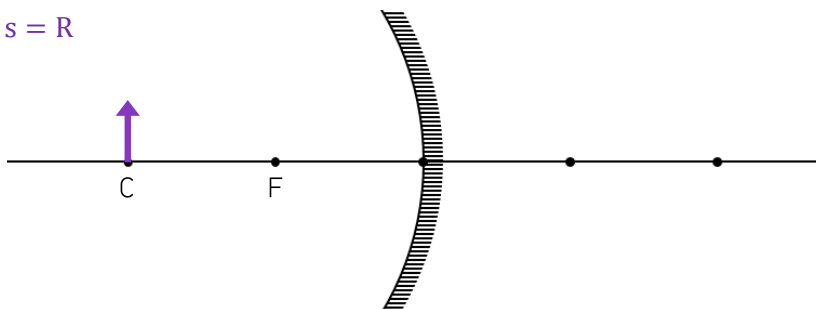
รังสีตกกระทบของแสงที่มีแนวผ่านศูนย์กลาง
ความโค้งจะสะท้อนกลับทางเดิม

แบบตรวจสอบความเข้าใจ

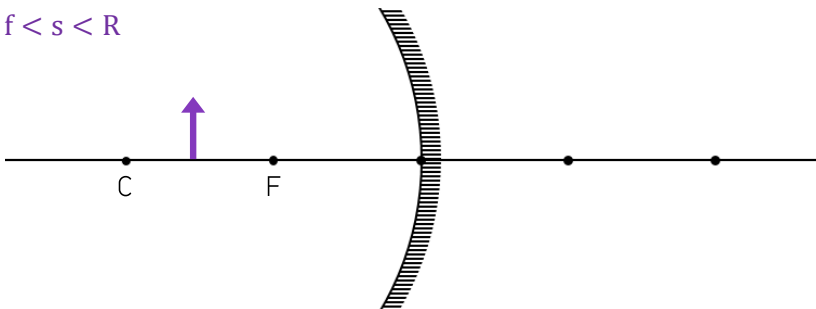
จงเขียนทางเดินแสงเพื่อหาดำแหน่งของภาพเมื่อกำหนดตำแหน่งวัตถุดังต่อไปนี้ พร้อมทั้งบอกชนิดของภาพ ลักษณะของภาพ ขนาดภาพเมื่อเทียบกับขนาดวัตถุและตำแหน่งที่เกิดภาพ

1. $s > R$ 

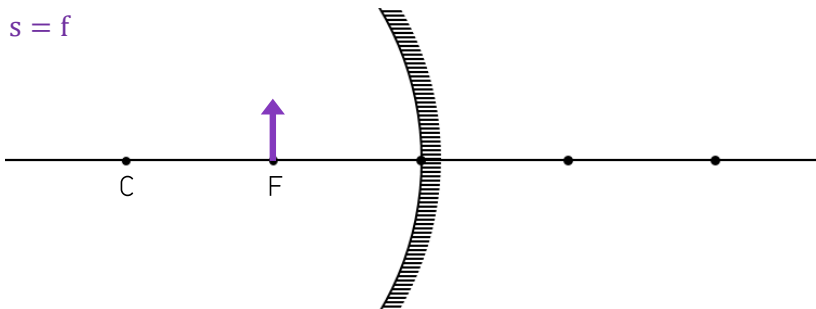
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

2. $s = R$ 

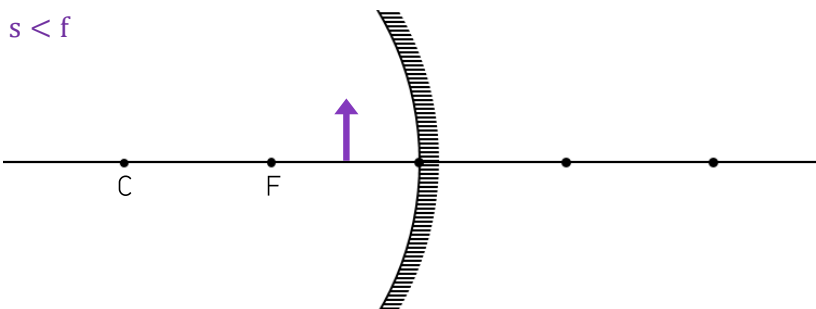
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

3. $f < s < R$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

4. $s = f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

5. $s < f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....



Learn more

Image formation by convex lens using Laser beams II

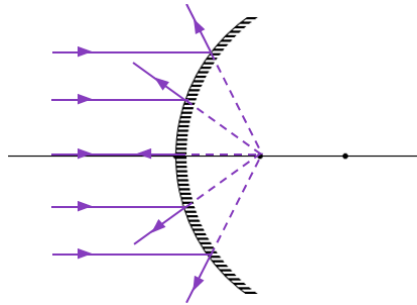


การเกิดภาพเสมือนแตกต่างจากการเกิดภาพจริงหรือไม่ อย่างไร

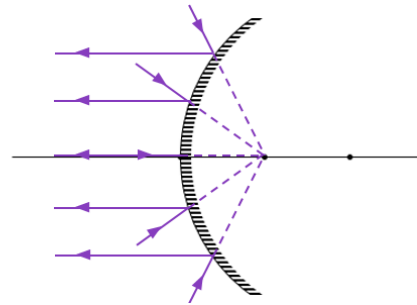
5.2 ภาพที่เกิดจากกระจกโค้งนูน

กระจกโค้งนูนมีส่วนประกอบเช่นเดียวกับกับกระจกโค้งเว้า แต่มีตำแหน่งของจุดศูนย์กลางความโค้งและจุดโฟกัสอยู่หลังกระจก จากกฎการสะท้อนพบว่ากระจกนูนมีลักษณะการสะท้อนที่กระจายแสง เราสามารถหาตำแหน่งและลักษณะของภาพที่สะท้อนจากกระจกโค้งนูนได้จากการเขียนทางเดินแสงเช่นเดียวกัน

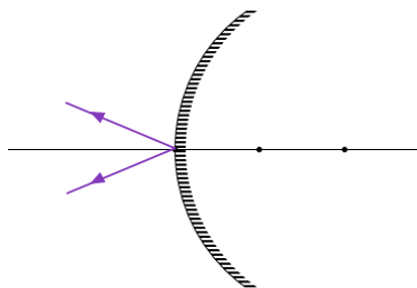
ลักษณะเฉพาะของกระจกโค้งทรงกลมทำให้เราสามารถเขียนทางเดินแสงที่สะท้อนจากกระจกนูนได้ง่ายขึ้นโดยเลือกเขียนเฉพาะทางเดินแสงที่สำคัญดังต่อไปนี้



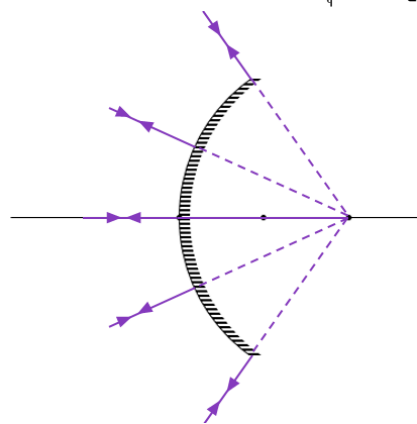
แนวรังสีตกกระทบของแสงที่ขนานแกนमुख
สำคัญจะสะท้อนโดยเสมือนว่าผ่านจุดโฟกัส



รังสีตกกระทบของแสงที่มีแนวเสมือนว่าผ่านจุด
โฟกัสจะสะท้อนโดยขนานแกนमुखสำคัญ



รังสีของแสงที่ตกกระทบกึ่งกลางกระจกพอดี
จะสะท้อนไปยังอีกด้านของเส้นแกนमुखสำคัญ
โดยมีเส้นแกนमुखสำคัญเป็นเส้นแนวฉาก



รังสีตกกระทบของแสงที่มีแนวเสมือนว่าผ่าน
ศูนย์กลางความโค้งจะสะท้อนกลับทางเดิม

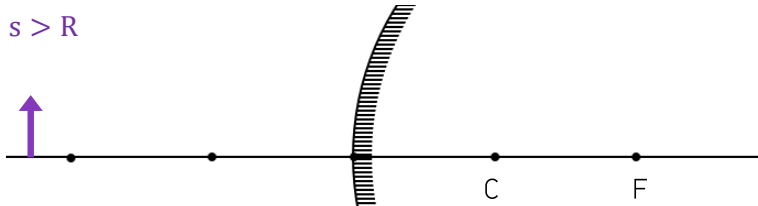
สรุปลักษณะการสะท้อน

กระจกโค้งเว้า : สะท้อนให้แสงรวมกัน

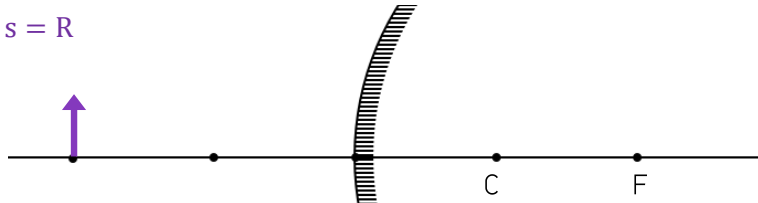
กระจกโค้งนูน : สะท้อนให้แสง

กระจายออกจากกัน

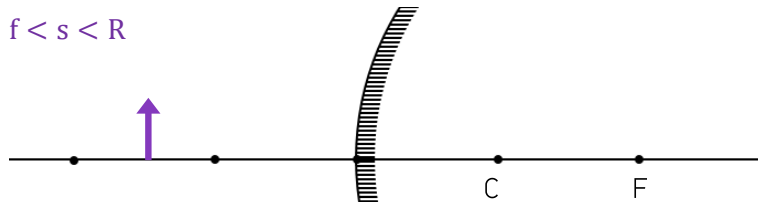


1. $s > R$ 

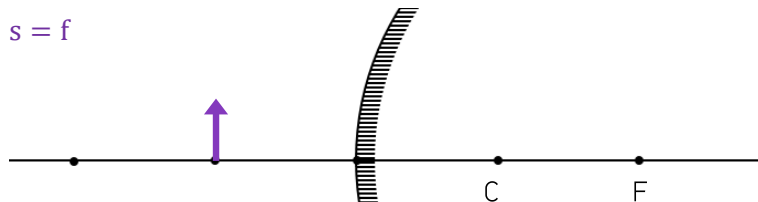
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

2. $s = R$ 

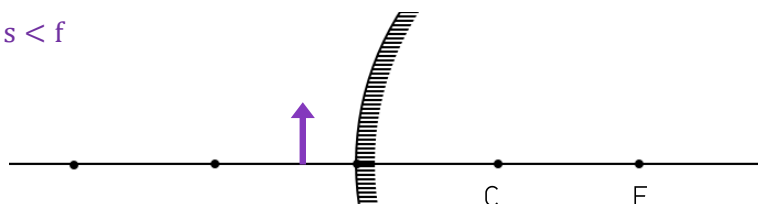
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

3. $f < s < R$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

4. $s = f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

5. $s < f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....



นอกจากการเขียนทางเดินแสงแล้วนักเรียนคิดว่ามีวิธีอื่นในการหาดำแหน่งของภาพอีกหรือไม่

นอกจากการเขียนแผนภาพรังสีของแสงเพื่อหาดำแหน่งของภาพที่เกิดจากกระจกโค้งทรงกลมแล้ว เรายังสามารถใช้กฎการสะท้อนในการพิสูจน์สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะภาพ ระยะวัตถุ ความยาวโฟกัส และกำลังขยายได้ โดยจะได้สมการและเงื่อนไขการใช้สมการดังต่อไปนี้

$$f = \frac{R}{2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$m = \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

$$m = \frac{f}{s - f}$$

$$m = \frac{s' - f}{f}$$

การกำหนดตัวแปร

R	คือ	รัศมีความโค้ง
f	คือ	ความยาวโฟกัส
s	คือ	ระยะวัตถุ (วัดจากกระจกถึงวัตถุ)
s'	คือ	ระยะภาพ (วัดจากกระจกถึงภาพ)
y	คือ	ขนาดวัตถุ (ในที่นี้คือความสูง)
y'	คือ	ขนาดภาพ (ในที่นี้คือความสูง)
m	คือ	กำลังขยาย

เงื่อนไขการใช้สมการ

- หากเป็นกระจกโค้งเว้า f มีค่าเป็นบวก (+)
- หากเป็นกระจกโค้งนูน f มีค่าเป็นลบ (-)
- หากเป็นภาพจริง s', y', m มีค่าเป็นบวก (+)
- หากเป็นภาพเสมือน s', y', m มีค่าเป็นลบ (-)

แบบตรวจสอบความเข้าใจ

1. เพราะเหตุใดกระจกติดรถยนต์สำหรับใช้ดูยานพาหนะที่อยู่ข้างหลังมักเป็นกระจกโค้งนูน

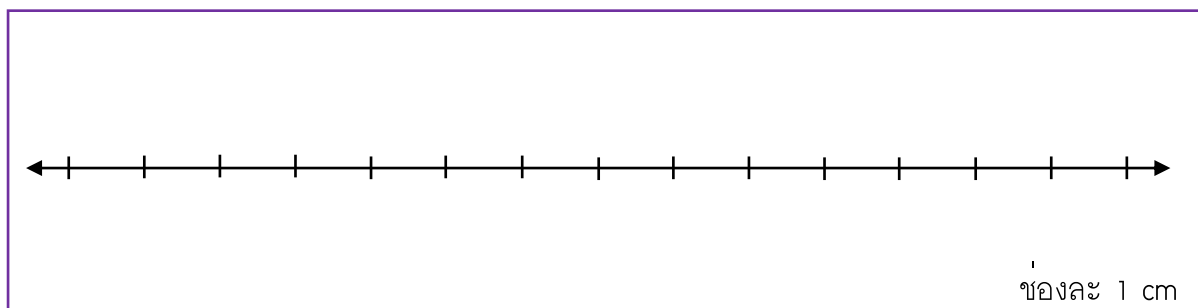
.....

2. เพราะเหตุใดทันตแพทย์จึงใช้กระจกโค้งเว้าส่องดูฟันคนไข้

.....

3. วางวัตถุไว้หน้ากระจกโค้งนูนที่มีรัศมีความโค้ง 6 เซนติเมตร ให้ห่างจากกระจกโค้งนูน 5 เซนติเมตร จงหา ระยะภาพ ชนิดของภาพ และกำลังขยาย ด้วยวิธีดังนี้

ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



ข. การคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

4. เทียนไขสูง 4 เซนติเมตร ตั้งอยู่บนเส้นแกนสำคัญของกระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัส 10 เซนติเมตรทำให้เกิดภาพหน้ากระจกโค้งเว้าห่างจากกระจกโค้งเว้า 15 เซนติเมตร เทียนไขอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้ากี่เซนติเมตร และภาพเทียนไขสูงกี่เซนติเมตร

.....

.....

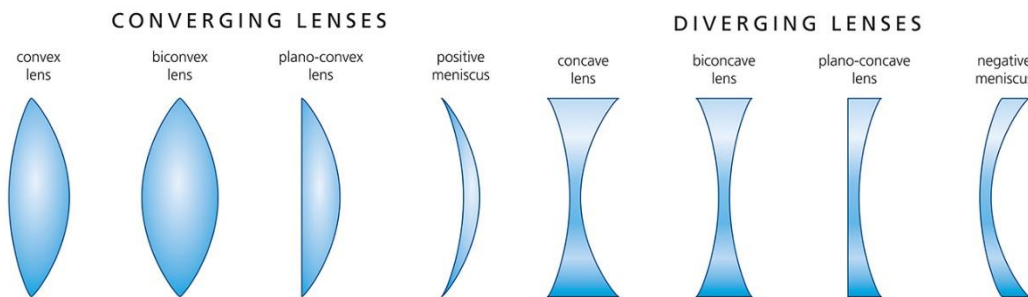
.....

.....

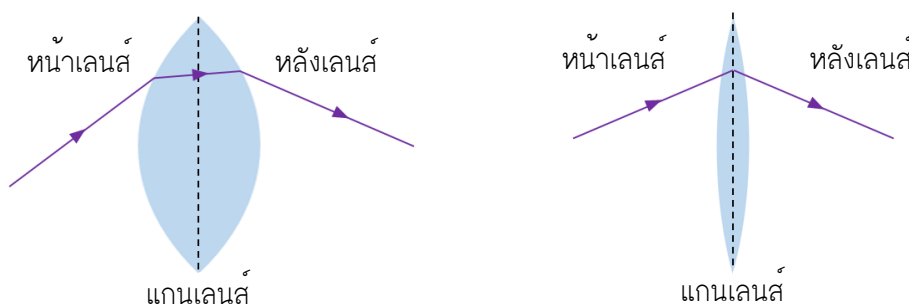
.....

5.3 ภาพที่เกิดจากเลนส์นูน

เลนส์บางเป็นอุปกรณ์ทางแสงที่ทำงานโดยใช้หลักการหักเหของแสง ทำจากแก้วหรือพลาสติกโปร่งใสที่มีผิวโค้งทรงกลมทั้งสองข้างไม่ขนานกันมี 2 ชนิดคือ เลนส์นูน (convex lens) และเลนส์เว้า (concave lens)



เลนส์นูนเป็นเลนส์ที่มีลักษณะตรงกลางหนากว่าที่ขอบเลนส์ โดยทั่วไปจะมีผิวนูนทั้งสองด้าน ถ้าฉายแสงผ่านเลนส์นูนจะพบว่าเกิดการหักเหสองครั้ง ผลการหักเหทำให้แนวรังสีของแสงมีทิศทางที่เปลี่ยนไป แต่ในระดับนี้เราจะพิจารณาเฉพาะเลนส์ที่บางมาก ๆ และถือว่ามีการหักเหของแสงเพียงครั้งเดียวที่แกนเลนส์



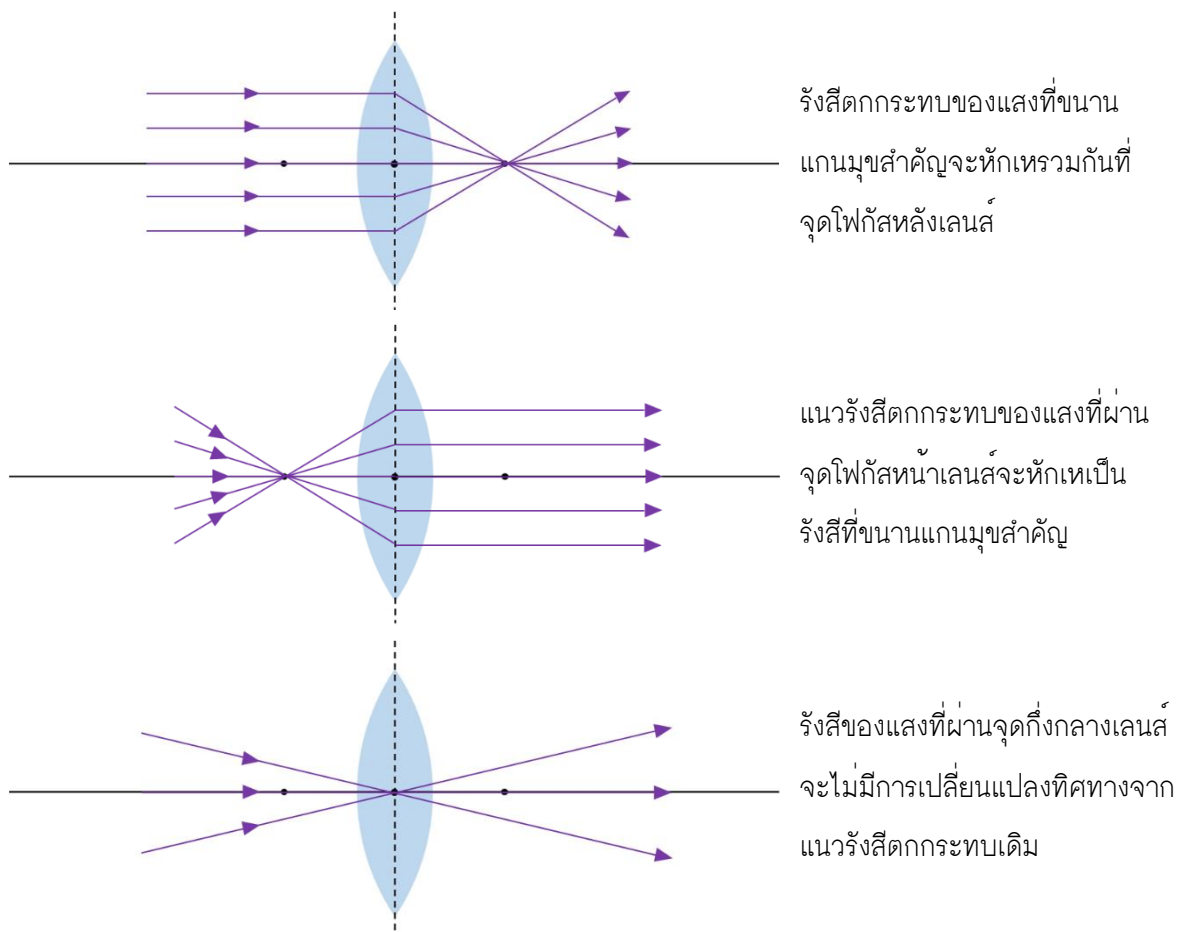
เราสามารถหาดำแหน่งและลักษณะของภาพที่หักเหผ่านเลนส์นูนได้จากการเขียนแผนภาพรังสีของแสง หรือที่เรียกว่า **การเขียนทางเดินแสง** โดย **"ตำแหน่งที่รังสีหักเหของแสงตัดกันอย่างน้อย 2 เส้นคือตำแหน่งที่เกิดภาพจริง"** โดยในการเขียนทางเดินแสง มีส่วนประกอบสำคัญที่จำเป็นต้องทราบ คือ

- แกนमुखสำคัญ (Principal axis) คือ เส้นตรงสมมติที่ลากผ่านกึ่งกลางเลนส์และตั้งฉากกับแกนเลนส์
- จุดโฟกัส (Focus : F) ทำหน้าที่เป็นจุดรวมแสงที่เกิดจากการหักเหของเลนส์ **จุดโฟกัสของเลนส์นูน**

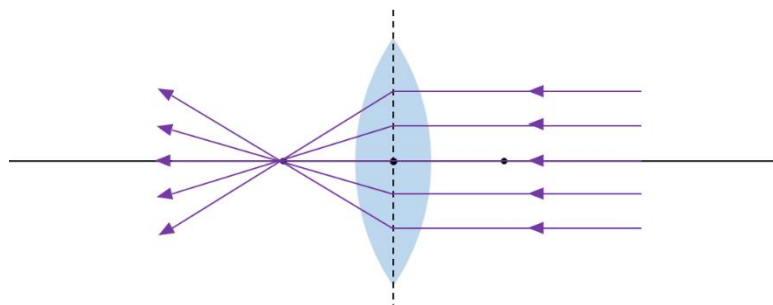
เป็นจุดโฟกัสจริงและอยู่หลังเลนส์

- ความยาวโฟกัสหรือระยะโฟกัส (f) คือ ระยะจากจุดโฟกัสถึงจุดกึ่งกลางเลนส์

ในการเขียนทางเดินแสงสำหรับเลนส์นูน เราจะเลือกเขียนเฉพาะทางเดินแสงที่สำคัญดังต่อไปนี้

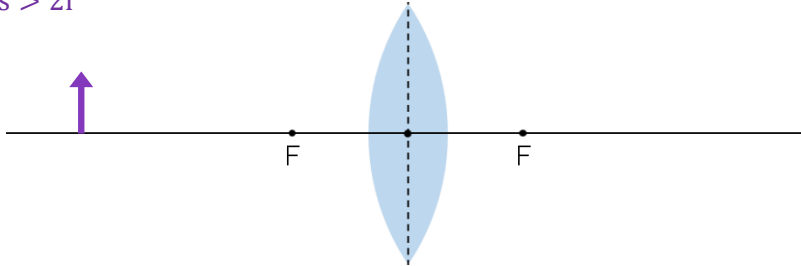


การที่เลนส์นูนหักเหให้แสงขนานลู่เข้าหากันทำให้บางครั้งเราเรียกเลนส์นูนว่า **เลนส์รวมแสง (converging lens)** และสำหรับเลนส์นูนบางจะมีความสมมาตรของเลนส์ คือ ถ้ามีแสงขนานเข้ามาจากทางขวามือของเลนส์ก็จะตัดกันที่โฟกัสด้านซ้ายของเลนส์ เราจึงเขียนจุดโฟกัสของเลนส์นูนไว้ทั้งสองด้าน ดังรูป

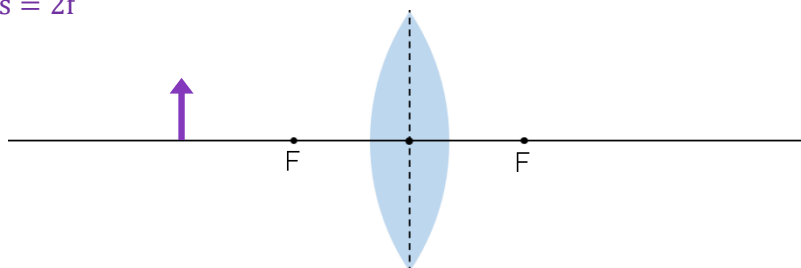


แบบตรวจสอบความเข้าใจ

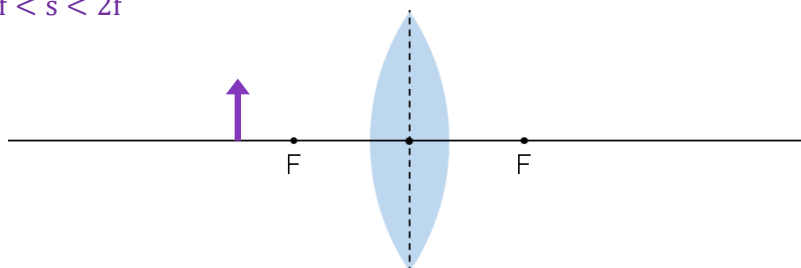
จงเขียนทางเดินแสงเพื่อหาดำแหน่งของภาพเมื่อกำหนดตำแหน่งวัตถุดังต่อไปนี้ พร้อมทั้งบอกชนิดของภาพ ลักษณะของภาพ ขนาดภาพเมื่อเทียบกับขนาดวัตถุและตำแหน่งที่เกิดภาพ

1. $s > 2f$ 

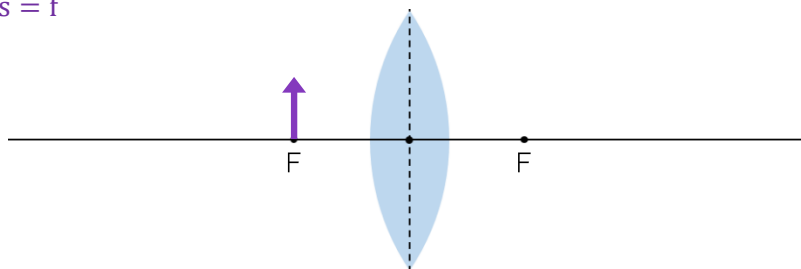
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

2. $s = 2f$ 

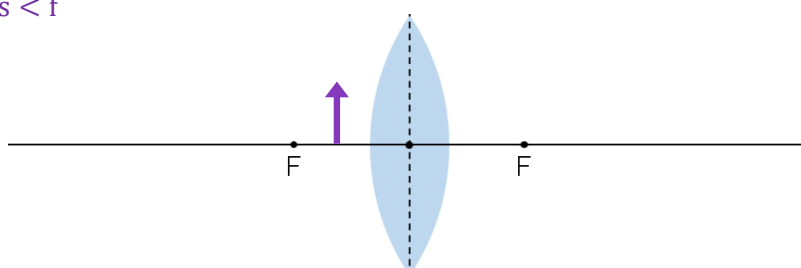
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

3. $f < s < 2f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

4. $s = f$ 

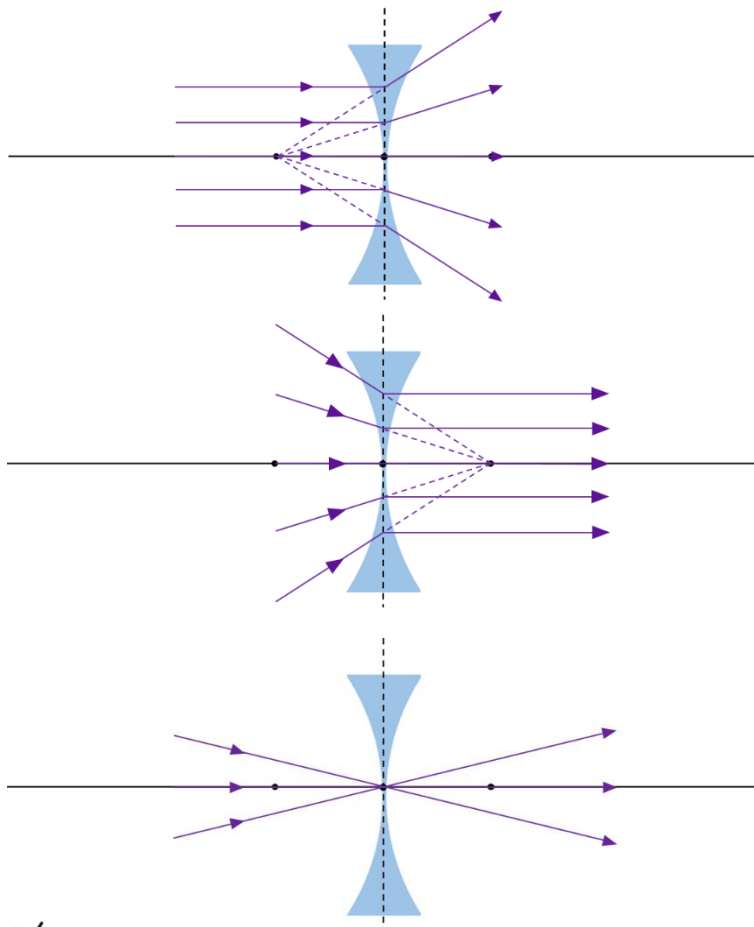
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

5. $s < f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

5.4 ภาพที่เกิดจากเลนส์เว้า

เลนส์เว้าเป็นเลนส์ที่มีลักษณะตรงกลางบางกว่าที่ขอบเลนส์ โดยลักษณะสำคัญในการหักเหของแสงผ่านเลนส์เว้า เป็นดังภาพ



รังสีตกกระทบของแสงที่ขนาน

แกนमुखสำคัญจะหักเหบานออกเสมือนว่าแนวรังสีผ่านจุดโฟกัสหน้าเลนส์

แนวรังสีตกกระทบของแสงที่เสมือนว่าผ่านจุดโฟกัสหลังเลนส์จะหักเหเป็นรังสีที่ขนานแกนमुखสำคัญ

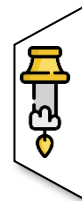
รังสีของแสงที่ผ่านจุดกึ่งกลางเลนส์ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางจากแนวรังสีตกกระทบเดิม



นารู้

ฉากรับภาพกับชนิดของภาพ

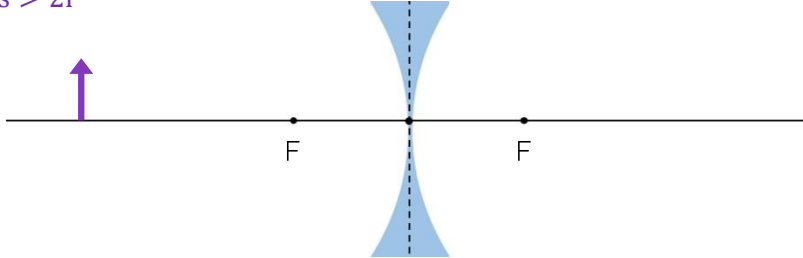
การมองเห็นภาพโดยการนำตาไปรับแสงที่หักเหผ่านเลนส์โดยตรง มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถจำแนกได้ว่าเป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน เพราะตาของมนุษย์มองเห็นภาพทั้งสองชนิดได้เหมือนกัน



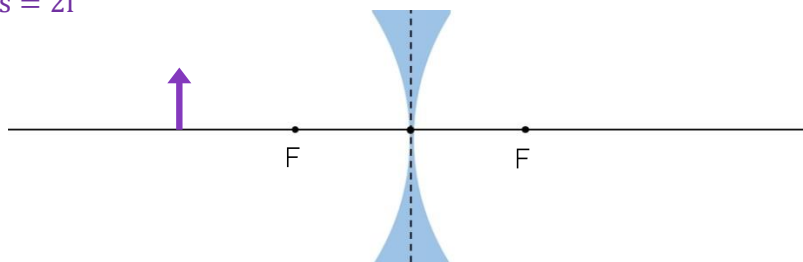
- หากเรานำฉากไปวางบริเวณที่เกิดภาพจริง ภาพของวัตถุจะปรากฏบนฉากดังภาพ
- หากนำฉากออกไปแล้วมองจากด้านข้างหรือด้านอื่นๆ แสงที่หักเหผ่านเลนส์จะไม่เข้าตาเราโดยตรง ทำให้ไม่เห็นภาพเกิดขึ้นที่ตำแหน่งนั้น
- หากเรานำฉากไปวางบริเวณที่เกิดภาพเสมือน จะไม่ปรากฏภาพบนฉากเพราะเราไม่ได้มีรังสีของแสงไปตัดกันจริงๆ

แบบตรวจสอบความเข้าใจ

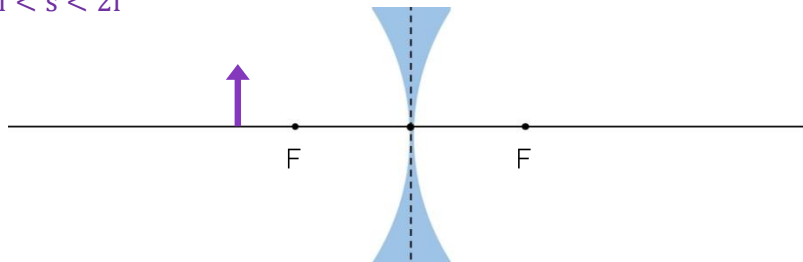
จงเขียนทางเดินแสงเพื่อหาดำแหน่งของภาพเมื่อกำหนดตำแหน่งวัตถุดังต่อไปนี้ พร้อมทั้งบอกชนิดของภาพ
ลักษณะของภาพ ขนาดภาพเมื่อเทียบกับขนาดวัตถุและตำแหน่งที่เกิดภาพ

1. $s > 2f$ 

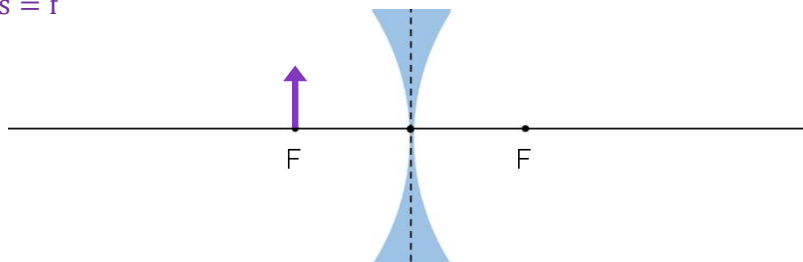
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

2. $s = 2f$ 

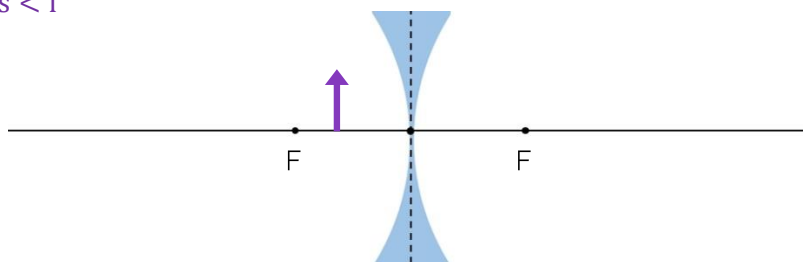
เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

3. $f < s < 2f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

4. $s = f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

5. $s < f$ 

เกิดภาพ.....หัว.....
ขนาด.....
ที่.....

นอกจากการเขียนแผนภาพรังสีของแสงเพื่อหาดำแหน่งของภาพที่เกิดจากเลนส์แล้ว เรายังสามารถใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะภาพ ระยะวัตถุ ความยาวโฟกัสและกำลังขยาย ในการหาดำแหน่งของภาพได้ โดยมีเงื่อนไขการใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

$$m = \frac{s'}{s} = \frac{y'}{y}$$

$$m = \frac{f}{s - f}$$

$$m = \frac{s' - f}{f}$$

การกำหนดตัวแปร

- f คือ ความยาวโฟกัส
s คือ ระยะวัตถุ (วัดจากกึ่งกลางเลนส์ถึงวัตถุ)
s' คือ ระยะภาพ (วัดจากกึ่งกลางเลนส์ถึงภาพ)
y คือ ขนาดวัตถุ (ในที่นี้คือความสูง)
y' คือ ขนาดภาพ (ในที่นี้คือความสูง)
m คือ กำลังขยาย

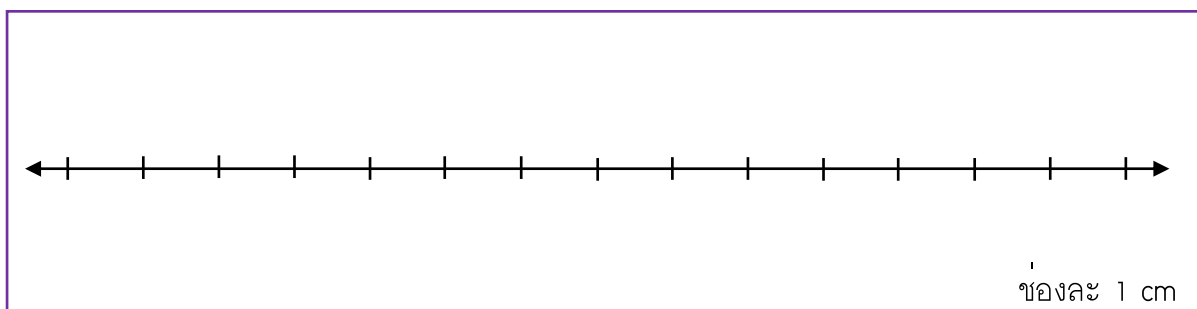
เงื่อนไขการใช้สมการ

- หากเป็นเลนส์นูน f มีค่าเป็นบวก (+)
- หากเป็นเลนส์เว้า f มีค่าเป็นลบ (-)
- หากเป็นภาพจริง s', y', m มีค่าเป็นบวก (+)
- หากเป็นภาพเสมือน s', y', m มีค่าเป็นลบ (-)

แบบตรวจสอบความเข้าใจ

1. วางวัตถุหน้าเลนส์นูนที่มีความยาวโฟกัส 2 เซนติเมตร ให้ห่างจากเลนส์นูน 6 เซนติเมตรจงหาระยะภาพ ชนิดของภาพและกำลังขยายด้วยวิธีดังนี้

ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



ข. การคำนวณ

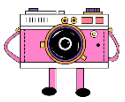
.....

.....

.....

.....

.....

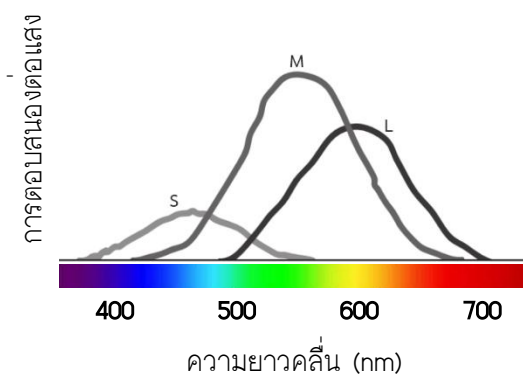


6. แสงสีและการมองเห็นแสงสี

การเห็นสีของมนุษย์แต่ละคนมีความแตกต่างกัน ในการผลิตสิ่งของที่มีสี เช่น เสื้อผ้า เครื่องมือเครื่องใช้ ยานพาหนะ สีทาบ้าน จึงไม่ใช่ตาของมนุษย์ในการระบุสีแต่จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ในการ จำแนกและผสมสีได้อย่างแม่นยำ โดยใช้รหัสการผสมและจำแนกสีเช่นใช้ **RGB code** ในงานผสมแสงสีและใช้ **CMYK code** ในงานผสมสารสี

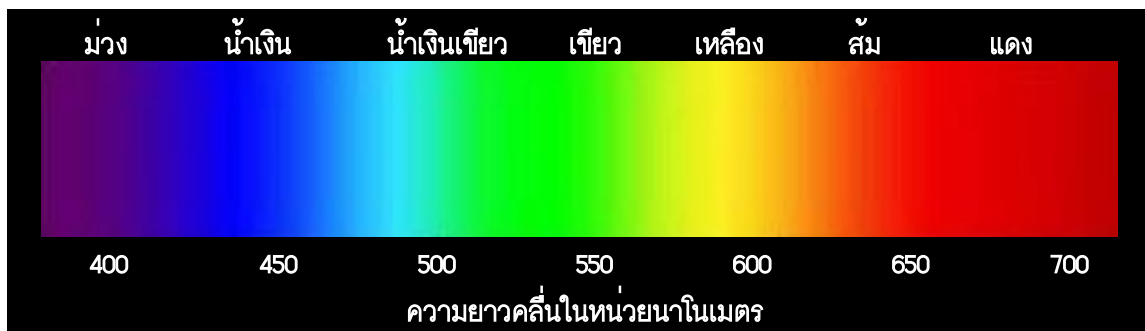
6.1 การมองเห็นสีของมนุษย์

มนุษย์มองเห็นสีต่างๆได้เพราะมีแสงสีตกกระทบบนจอตาซึ่งมีเซลล์รูปกรวย (cone cell) 3 ชนิดที่ตอบสนองต่อสีที่มีช่วงความยาวคลื่นต่างๆที่แตกต่างกันไป



ชนิดเซลล์	ช่วงความยาวคลื่นที่เซลล์ตอบสนอง
S	ความยาวคลื่นสั้น (Short wavelength)
M	ความยาวคลื่นกลาง (Medium wavelength)
L	ความยาวคลื่นยาว (Long wavelength)

โดยตาสามารถมองเห็นได้จำนวนมากมายจากการทำงานร่วมกันของเซลล์รูปกรวยในตามนุษย์ทั้ง 3 ชนิด ทำให้ การมองเห็นคลื่นแสงเป็นสีต่างๆตั้งแต่สีม่วงไปจนถึงสีแดง สามารถพิจารณาสเปกตรัมของแสงในช่วงที่ตา มองเห็นซึ่งเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร ดังรูป



ถ้าแสงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรมากระทบจอตา จะทำให้เซลล์รูปกรวยชนิดใดบ้างตอบสนอง

6.2 การผสมแสงสี

แสงที่สะท้อนหรือทะลุผ่านวัตถุต่าง ๆ มักไม่เป็นแสงเพียงสีเดียว การเห็นสีของแสงอาจเกิดจากการผสมแสงสีต่างๆ เข้าด้วยกันโดย **แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน** เป็นแสงสีที่สามารถทำให้เซลล์รูปกรวยตอบสนองและผสมกันให้เราเห็นเป็นสีต่างๆ ได้ เรียกว่า **แสงสีปฐมภูมิ (primary colours of light)**

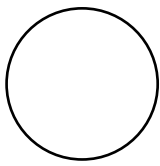


กิจกรรม ศึกษาการผสมแสงสีบนฉากราว

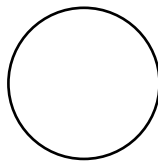
วิธีทำ

1. ใช้ไฟฉายแสงขาวส่องผ่านแผ่นอะคริลิคสีต่างๆ ลงบนฉากราว สังเกตสีที่ปรากฏ

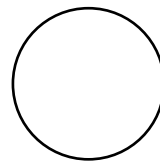
แผ่นอะคริลิคสีแดง



แผ่นอะคริลิคสีเขียว

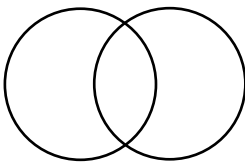


แผ่นอะคริลิคสีน้ำเงิน

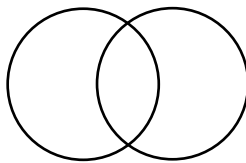


2. ปรับแสงจากไฟฉายทั้ง 3 สีให้ซ้อนกันบางส่วน ดังภาพ สังเกตสีที่ปรากฏ

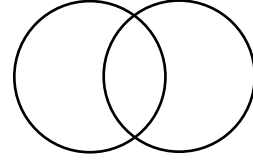
แผ่นอะคริลิคสีแดงและเขียว



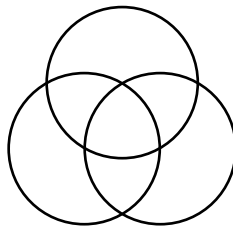
แผ่นอะคริลิคสีแดงและน้ำเงิน



แผ่นอะคริลิคสีเขียวและน้ำเงิน



3. ปรับแสงจากไฟฉายทั้ง 3 สีให้ซ้อนกันบางส่วน ดังภาพ สังเกตสีที่ปรากฏ



คำถามท้ายการทดลอง

1. แสงสีแดงกับแสงสีเขียวผสมกันจะได้เป็นแสงสีใด

.....

2. แสงสีน้ำเงินกับแสงสีเขียวผสมกันจะได้เป็นแสงสีใด

.....

3. แสงสีแดงกับแสงสีน้ำเงินผสมกันจะได้เป็นแสงสีใด

.....

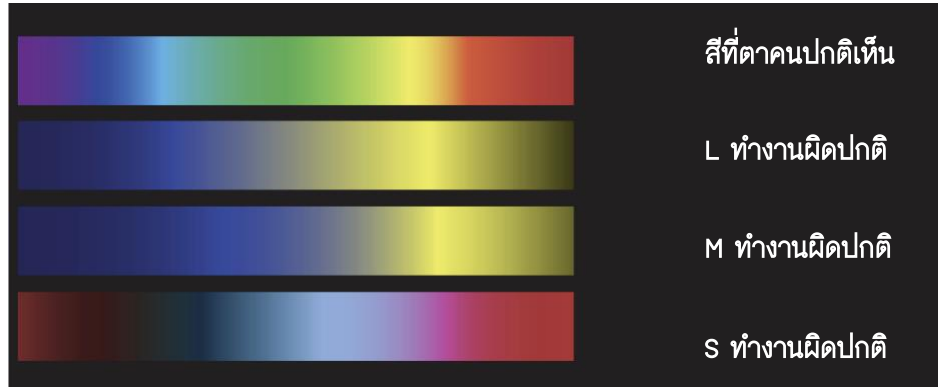
4. แสงสีปฐมภูมิทั้ง 3 สี เมื่อผสมกันจะเป็นสีใด

.....

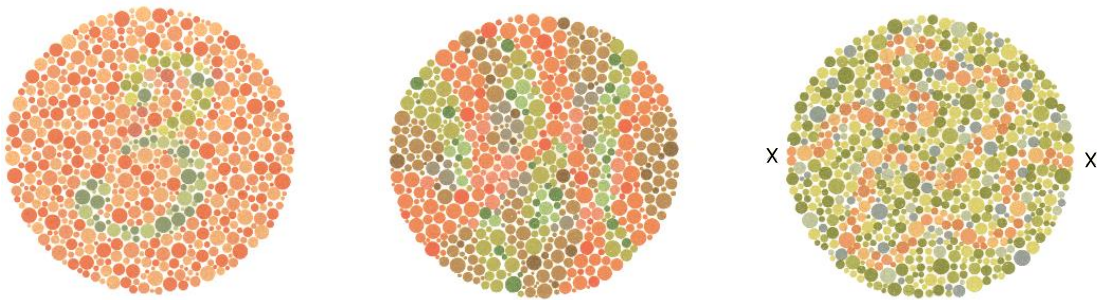


น่ารู้

อาการตาบอดสี (colour blindness) คือ อาการของคนที่มีเซลล์รูปกรวยบางชนิดทำงานบกพร่อง ทำให้การมองเห็นสีมีความผิดเพี้ยนไปจากคนปกติ

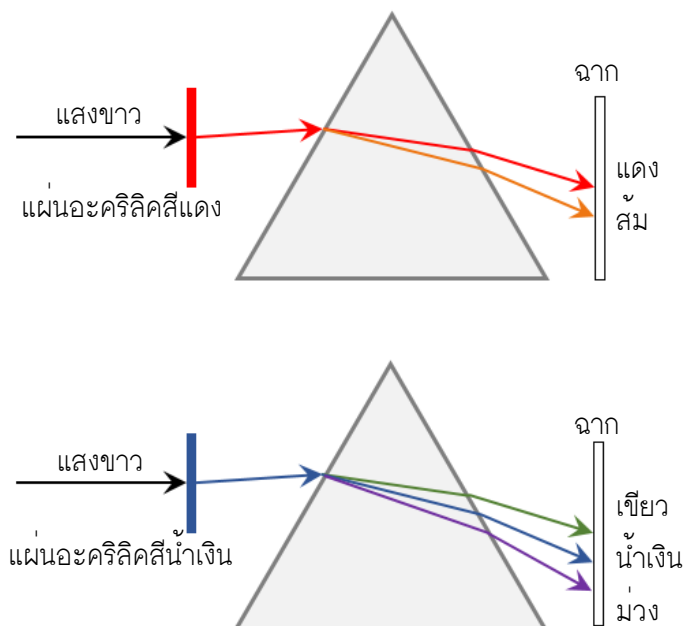


ตัวอย่างการทดสอบตาบอดสี

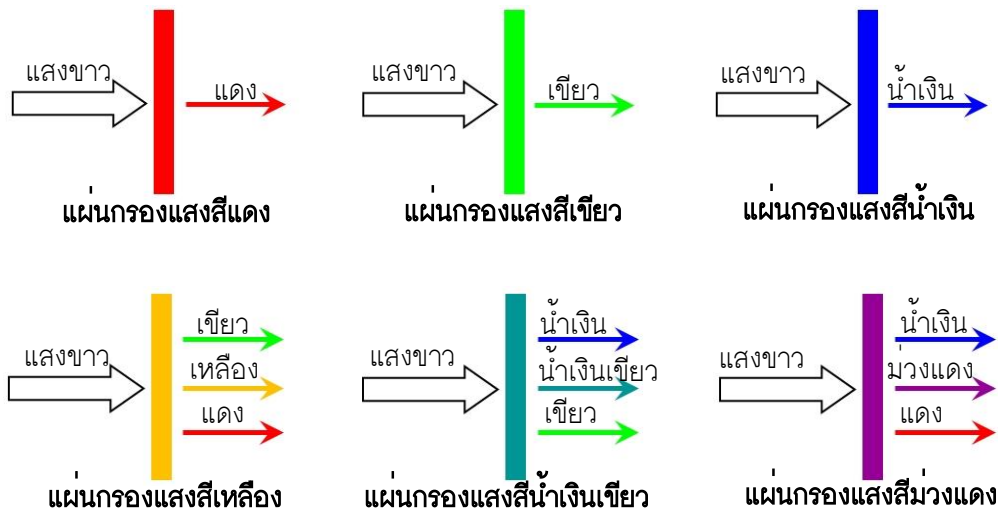


เมื่อให้แสงขาวซึ่งประกอบด้วยแสง 7 สี
กระทบบนแผ่นอะคริลิคสีต่างๆจะมองเห็นแสงสี
ที่เคลื่อนที่ผ่านเป็นสีตามแผ่นอะคริลิคนั้น เช่น

- ทดลองส่องแสงขาวผ่านแผ่นอะคริลิคสีแดงจะเห็น
แถบสีที่ส่องผ่านไปได้เป็นสีแดงและเมื่อไขปริซึม
สามเหลี่ยมกระจายแสง จะเห็นแถบสีกระจายแสง
เป็นแสงสีแดงซึ่งอาจมีแสงสีส้มปนอยู่
- ทดลองส่องแสงขาวผ่านแผ่นอะคริลิคสีน้ำเงิน
จะเห็นแถบสีที่ส่องผ่านไปได้เป็นสีน้ำเงินและเมื่อไข
ปริซึมสามเหลี่ยมกระจายแสง จะเห็นแถบสีกระจาย
แสงเป็นแสงสีน้ำเงินซึ่งอาจมีแสงสีเขียวและ
สีม่วงปนอยู่

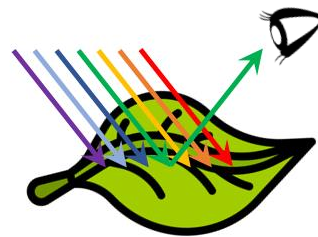
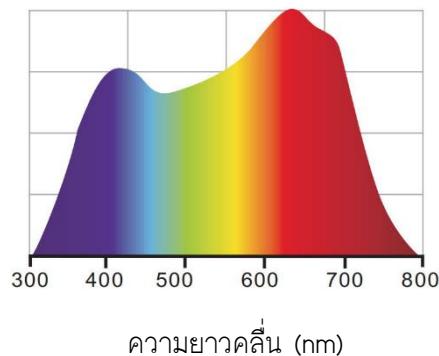


แผ่นกรองแสงสี (colour filter) คือ วัสดุที่โปร่งแสงซึ่งกันแสงสีบางสีไว้และยอมให้แสงสีบางสีผ่านไปได้ ดังภาพ



6.3 การผสมสารสี

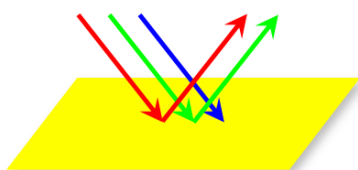
การมองเห็นสีของวัตถุเกิดจากการที่แสงขาวตกกระทบวัตถุที่บดแสง ซึ่งมีสารที่ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงแต่ละสีที่ประกอบเป็นแสงขาวนั้นไว้ในปริมาณต่างกัน และสะท้อนแสงส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนกลับเข้าตาทำให้เราเห็นวัตถุเป็นสีเดียวกับแสงที่สะท้อนมาเข้าตามากที่สุด เช่น การมองเห็นสีเขียวของใบไม้



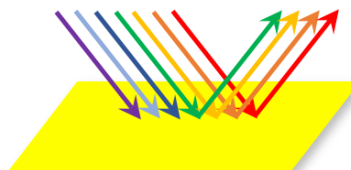
สารในวัตถุที่ทำหน้าที่ดังกล่าวเรียกว่า **สารสี (pigment)** โดยวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีสารสีต่างกัน สารสีที่ไม่สามารถสร้างขึ้นจากการผสมสารสีต่างๆ เข้าด้วยกันได้เรียกว่า **สารสีปฐมภูมิ (primary colours of pigment)** มีอยู่ 3 สี ได้แก่ **สารสีน้ำเงินเขียว (Cyan)** **สารสีเหลือง (Yellow)** และ **สารสีแดงม่วง (Magenta)**



การอธิบายการผสมสารสีสามารถพิจารณาได้จากแสงสีที่ถูกดูดกลืนและสะท้อนออกจากสารสีแต่ละสี เช่น ฉายแสงขาวลงบนกระดาษที่มีสารสีเหลืองอยู่ สารสีเหลืองจะดูดกลืนแสงส่วนที่เป็นสีน้ำเงินและสะท้อนแสงสีอื่นๆ ออกมา ทำให้ตาเรามองเห็นกระดาษเป็นสีเหลือง



พิจารณาเฉพาะแสงสีปฐมภูมิ

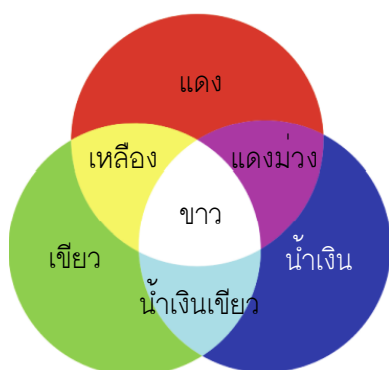


พิจารณาแสงสีทั้งหมด

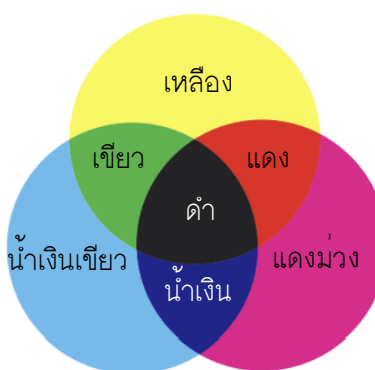
การดูดกลืนและสะท้อนแสงสีต่างๆโดยสารสีปฐมภูมิสรุปได้ดังตาราง

สารสีปฐมภูมิ	แสงสีที่ดูดกลืน	แสงสีที่สะท้อน
สารสีเหลือง	แสงสีน้ำเงิน	แสงสีแดงและแสงสีเขียว
สารสีน้ำเงินเขียว	แสงสีแดง	แสงสีน้ำเงินและแสงสีเขียว
สารสีแดงม่วง	แสงสีเขียว	แสงสีน้ำเงินและแสงสีแดง

สรุปการผสมแสงสีและสารสีปฐมภูมิ



การผสมแสงสีปฐมภูมิ



การผสมสารสีปฐมภูมิ

แบบตรวจสอบความเข้าใจ

1. หากฉายแสงขาวไปตกกระทบบัวตึกที่มีสีดำนั่นแสงสีใดบ้างที่จะถูกดูดกลืนโดยสารสีของวัตถุนั้นและแสงสีใดบ้างจะสะท้อนโดยสารสีของวัตถุนั้นกลับเข้าสู่ตาผู้สังเกต

.....

.....

2. จงอธิบายสีที่เกิดจากการผสมสารสีน้ำเงินเขียวและสารสีแดงม่วง โดยอาศัยความรู้เรื่องการดูดกลืนและการสะท้อนแสงสีของสารสี

.....

.....

3. เหตุใด หมึกของเครื่องพิมพ์เอกสารส่วนใหญ่จึงมีเพียงแค่ 4 สี คือ สีน้ำเงินเขียว (Cyan) สีเหลือง (Yellow) สีแดงม่วง (Magenta) และสีดำ (Black)

.....

.....

4. เมื่อฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงสีน้ำเงินไปบนวัตถุสีแดง เรามองเห็นเป็นสีอะไร เพราะเหตุใด

.....

.....

5. จากภาพการผสมแสงสีและสารสีปฐมภูมิ มีความเชื่อมโยงกันอย่างไร

.....

.....

.....

.....



ถ้าเราฉายแสงสีต่างๆ ไปตกกระทบบ
วัตถุสีต่างๆ จะเห็นเป็นสีใด เรามาฝึกกันเถอะ



Learn more

Simulation

What color does it look?

แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถาม

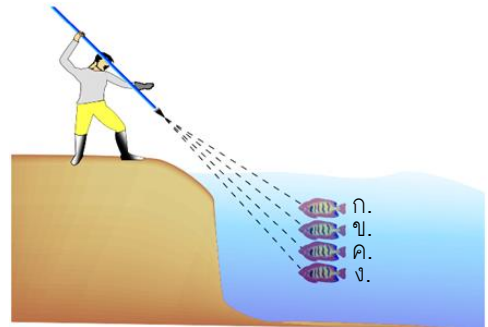
1. ชายคนหนึ่งกำลังล่าปลาโดยใช้ไม้ปลายแหลม ถ้าเขามองเห็นปลาที่ตำแหน่ง ค. เขาต้องพุ่งไม้ไปที่ตำแหน่งใดจึงมีโอกาสถูกตัวปลา

.....

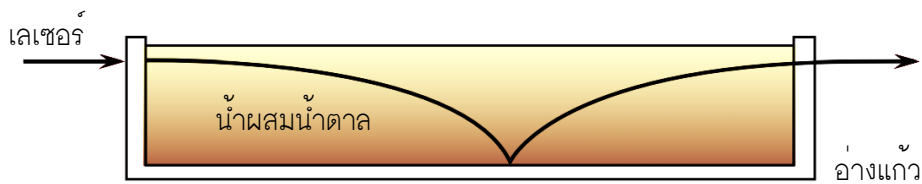
.....

.....

.....



2. เมื่อฉายแสงเลเซอร์เข้าไปในน้ำที่ผสมน้ำตาล ปรากฏว่าแนวของลำแสงเบนด์รูป จงอธิบายว่าเพราะเหตุใด



.....

.....

.....

.....

3. ในตอนเช้าขณะดวงอาทิตย์ยังไม่ขึ้นจากขอบฟ้า และในตอนเย็นขณะที่ดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไปแล้ว เราสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

.....

4. กระดาษกราบทำให้เกิดภาพจริงได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

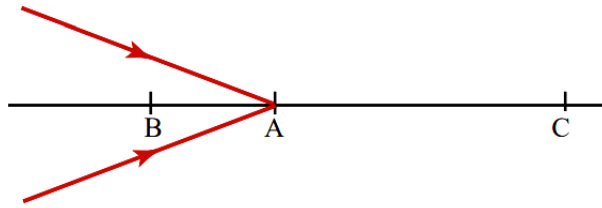
.....

5. ฉายแสงขนานผ่านเลนส์นูนบางในน้ำทำให้แสงรวมกันที่โฟกัส ความยาวโฟกัสของเลนส์นูนที่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากการฉายแสงขนานผ่านเลนส์นูนบางในอากาศหรือไม่ อย่างไร

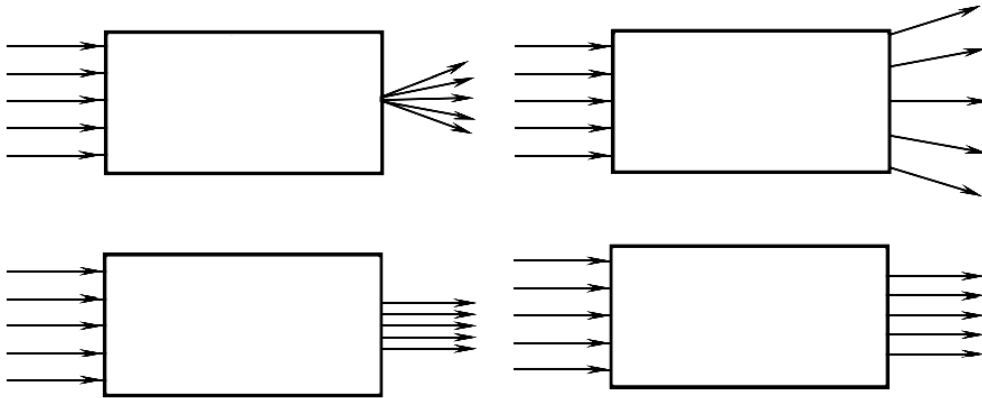
.....

.....

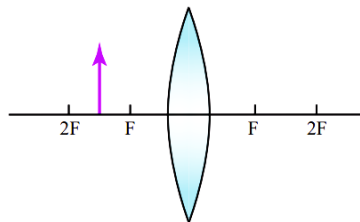
6. รังสีของแสงเบนเข้าหากันที่จุด A ถ้านำเลนส์ไปวางไว้ที่จุด B รังสีของแสงคู่นี้จะเบนไปพบกันที่จุด C เลนส์ที่นำไปวางเป็นเลนส์ชนิดใด จงอธิบาย



7. ถ้าต้องการให้ลำแสงสีแดงส่องขนานเข้าไปในกล่องที่ภายในมีเลนส์บรรจุอยู่แล้วทำให้รังสีที่สะท้อนออกมา มีลักษณะต่างๆ ดังรูป จงวาดภาพชนิดของเลนส์ที่อยู่ในกล่องแต่ละกล่อง โดยในแต่ละกล่องอาจมีเลนส์มากกว่า 1 อันก็ได้



8. นำวัตถุไปวางที่ตำแหน่งระหว่าง F กับ $2F$ ของเลนส์นูนบาง ภาพที่เกิดโดยเลนส์นี้มีลักษณะอย่างไร กำหนดให้ F เป็นโฟกัสของเลนส์



9. เมื่อแสงผ่านละอองฝนและปริซึมจะเกิดสเปกตรัมของแสง การเกิดสเปกตรัมของแสงทั้งสองกรณีเป็นเพราะสมบัติใดของแสง

10. สุธาพรผู้หนึ่งยืนหน้ากระจกโค้งเว้าที่มีความยาวโฟกัส 30 เซนติเมตร เธอจะต้องทำอย่างไรจึงจะเห็นภาพ
ใบหน้าขยายขนาดขึ้นกว่าปกติและภาพใบหน้าของเธอจะปรากฏอยู่ที่ไหน

.....

.....

11. แหล่งกำเนิดแสงเป็นจุดเล็กๆ วางห่างหน้ากระจกโค้งเว้า 15 เซนติเมตร แสงจากแหล่งกำเนิดนี้เมื่อกระทบ
กระจกจะสะท้อนออกจากกระจกและขนานกัน ความยาวโฟกัสของกระจกเป็นเท่าไร

.....

.....

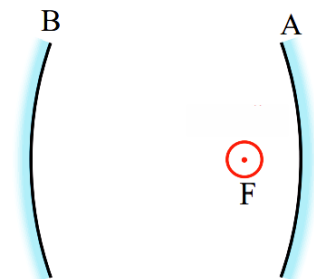
12. กระจกในข้อใดต่อไปนี้สามารถทำให้เกิดภาพเสมือนที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุ

☐ กระจกเงาราบ

☐ กระจกโค้งนูน

☐ กระจกโค้งเว้า

13. วางหลอดไฟที่โฟกัส F ของกระจกโค้งเว้า A แล้วนำกระจกโค้งเว้า B มารับ
แสงจากกระจกโค้งเว้า A ดังรูปภาพของหลอดไฟนี้ที่เกิดจากกระจกโค้งเว้า B
จะเกิด ณ ตำแหน่งใดบ้างและเป็นภาพจริงหรือภาพเสมือน จงวาดภาพประกอบ



14. สารสีปฐมภูมิประกอบด้วยสารสีใดบ้าง เมื่อผสมสารสีปฐมภูมิที่ละคู่จะได้สารสีใดบ้าง

.....

.....

15. ถ้าฉายแสงเหลืองไปที่วัตถุสีขาว จะมองเห็นวัตถุเป็นสีอะไร

.....

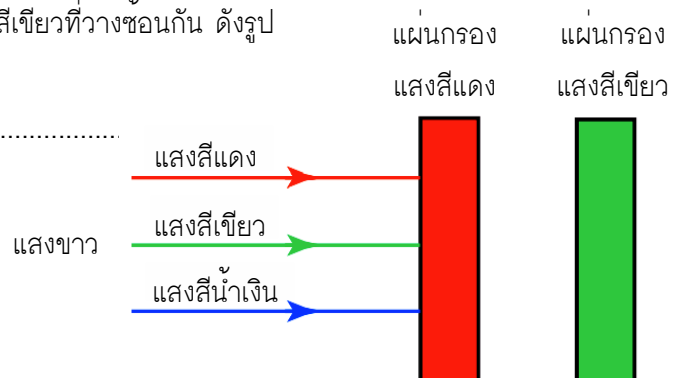
.....

16. ถ้าให้แสงสีต่างๆ ตกกระทบวัตถุทึบแสง จะเห็นสีของวัตถุต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

.....

.....

17. ถ้ามองแสงขาวผ่านแผ่นกรองแสงสีแดงและสีเขียวที่วางซ้อนกัน ดังรูป
แสงสีแดงจะผ่านแผ่นกรองแสงสีมาเข้าตา



18. เมื่อฉายวัตถุด้วยแสงขาว เห็นวัตถุ A มีสีขาวและวัตถุ B มีสีเขียว โดยที่วัตถุทั้งสองเป็นวัตถุทึบแสง ถ้าฉายวัตถุด้วยแสงสีแดงจะเห็นวัตถุ A และ B เป็นสีอะไร

19. รถ 4 คัน เมื่อมองในแสงขาวจะเห็นเป็นสีดำ สีเหลือง สีแดงและสีน้ำเงิน ถ้านำรถทั้ง 4 คันนี้ไปจอดในบริเวณที่มีแสงไฟสีเหลือง จะเห็นรถเป็นสีอะไร ตามลำดับ

20. ถ้านำสารสีเหลืองมาผสมกับสารสีน้ำเงินเขียว และฉายแสงสีแดงลงไปจะเห็นเป็นสีอะไร

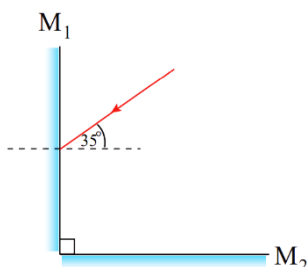
21. วัตถุชิ้นหนึ่งอยู่ในที่มืด เมื่อฉายแสงสีแดงไปยังวัตถุนั้นเห็นวัตถุมีสีแดง เมื่อฉายแสงสีเขียวไปยังวัตถุนั้นเห็นวัตถุมีสีเขียว เมื่อนำวัตถุนั้นออกมาในห้องที่มีแสงขาว จะเห็นวัตถุนั้นมีสีอะไร

22. เพราะเหตุใดไฟสัญญาณเตือนอันตรายจึงนิยมใช้แสงสีแดง

ปัญหา

1. ถ้ายืนส่องกระจกเงาราบในแนวตั้งฉากกับกระจกเงาราบเป็นระยะ 1.0 เมตร จากนั้นถอยห่างจากกระจกเงาราบไปในแนวตั้งฉากกับกระจกเงาราบอีก 0.5 เมตร จะสังเกตเห็นภาพของตัวเองในกระจกเงาราบห่างจากตัวเป็นระยะเท่าใด

2. กระจกเงาราบ M_1 และ M_2 วางทำมุมฉากกัน มีรังสีตกกระทบบนที่กระจก M_1 ทำมุมตกกระทบเป็น 35 องศา รังสีสะท้อนจากกระจกเงาราบ M_2 ทำมุมสะท้อนเท่าใด



3. กระจกเงาราบสองบานหันหน้าเข้าหากันทำมุม 70° องศา ถ้ารังสีของแสงตกกระทบบนกระจกบานแรกเป็นมุม 30° องศา กับกระจก รังสีของแสงที่สะท้อนออกจากกระจกบานที่สองทำ มุมกี่องศา กับกระจกบานที่สอง

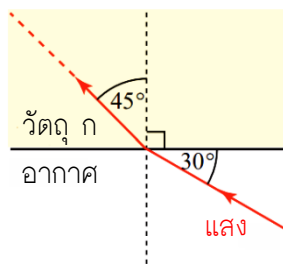
4. ชายคนหนึ่งสูง 1.80 เมตร ต้องการกระจกเงาราบเพื่อจะใช้ส่องมองเห็นได้ตลอดตัว จงหา

ก. ความสูงน้อยที่สุดของกระจกเงาราบ

ข. ระยะที่ชายคนนี้ต้องยืนห่างจากกระจกเงาราบ

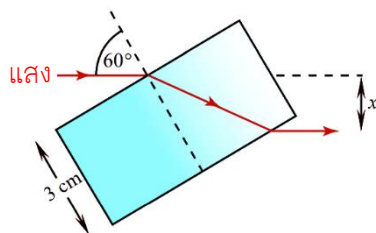
ค. หากชายคนนี้ ยืนห่างจากกระจกเงาราบมากกว่าระยะในข้อ ข. ภาพที่ปรากฏบนกระจกเงาราบจะมีขนาดเป็นอย่างไร

5. แสงเดินทางจากอากาศเข้าสู่วัตถุโปร่งแสง ดังรูป จงหาอัตราหักเหของวัตถุนี้



6. รังสีของแสงในอากาศตกกระทบบนผิวน้ำ ทำ มุมตกกระทบบ 43° องศา จงหา มุมสะท้อนและมุมหักเห

7. นำแท่งพลาสติกสี่เหลี่ยมกว้าง 3 เซนติเมตร ขวางทางเดินของแสง ทำให้แสงมีการหักเห ดังรูป จงหา ระยะ x ถ้าพลาสติกมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1.50



8. จงหามุมวิกฤตของน้ำ เมื่อแสงเคลื่อนที่จากน้ำไปยังอากาศ ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของน้ำและอากาศ เท่ากับ 1.33 และ 1.00 ตามลำดับ

9. จงหามุมวิกฤตของเพชรเมื่อแสงเคลื่อนที่จากเพชรไปยังน้ำ ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของเพชรและน้ำเท่ากับ 2.42 และ 1.33 ตามลำดับ

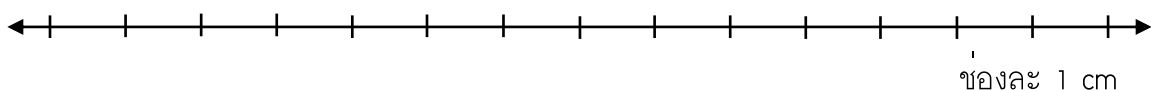
10. ถังน้ำสูง 1.00 เมตร เมื่อบรรจุน้ำเต็มถึงแล้วมองลงไปตรงๆ จะเห็นก้นถังมีความลึกจากผิวน้ำเท่าใด ถ้ากำหนดให้ดรรชนีหักเหของน้ำ เท่ากับ 1.33

11. ต้องการให้แว่นขยายความยาวโฟกัส 12 เซนติเมตร ทำให้ตัวหนังสือมีขนาดขยาย 4 เท่า ต้องให้แว่นขยาย ห่างจากตัวหนังสือเป็นระยะเท่าใด

12. วัตถุสูง 2.0 เซนติเมตร อยู่ห่างจากเลนส์นูน 4.0 เซนติเมตร เกิดภาพจริงห่างจากเลนส์ 2.0 เซนติเมตร จงหาความยาวโฟกัสของเลนส์นูนและขนาดภาพ ด้วยวิธีดังนี้

ก. การคำนวณ

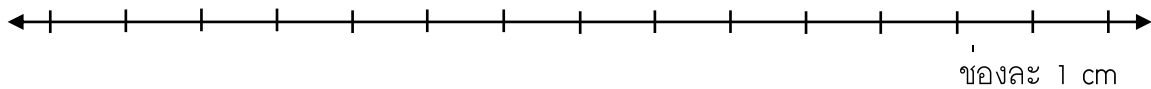
ข. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



13. วัตถุสูง 3.0 เซนติเมตร อยู่ห่างจากเลนส์เว้า 15.0 เซนติเมตร เกิดภาพห่างจากเลนส์ 5.0 เซนติเมตร จงหาความยาวโฟกัสของเลนส์เว้าและขนาดภาพ ด้วยวิธีดังนี้

ก. การคำนวณ

ข. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง



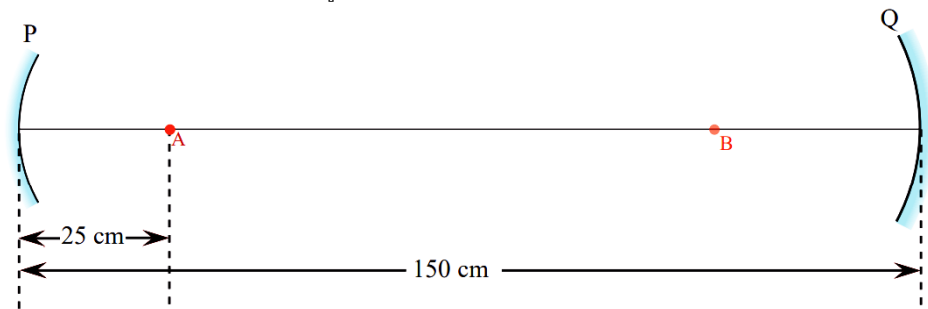
14. วางวัตถุหน้าเลนส์ 10 เซนติเมตร ได้ภาพขนาด $\frac{3}{4}$ เท่าของวัตถุและอยู่ด้านเดียวกับวัตถุเลนส์ที่ใช้เป็นเลนส์ชนิดใดและมีความยาวโฟกัสเท่าใด

15. วัตถุสูง 5 เซนติเมตร วางอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า 10 เซนติเมตร ถ้ากระจกโค้งเว้ามีความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตร จงหาระยะภาพ ชนิดของภาพ และขนาดของภาพ ด้วยวิธีดังนี้

ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง

ข. การคำนวณ

16. กระจกโค้งเว้า P ความยาวโฟกัส 25 เซนติเมตรและกระจกโค้งเว้า Q ความยาวโฟกัส 34 เซนติเมตร วางหันหน้าเข้าหากันและห่างกัน 150 เซนติเมตร โดยมีเส้นแกนमुखสำคัญร่วมกันถ้า นำวัตถุขนาดเล็กไปวางที่จุด A ซึ่งเป็นตำแหน่งโฟกัสของกระจกโค้งเว้า P ดังรูป



พิจารณาแสงจากวัตถุที่จุด A ไปตกกระทบบนกระจกโค้งเว้า P แล้วสะท้อนกลับไปที่กระจกโค้งเว้า Q จากนั้นสะท้อนกลับมาพบกันที่จุด B จะพบว่าจุด B อยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า P เป็นระยะเท่าใด

17. ถ้าวัตถุอยู่ห่างจากกระจกโค้งเว้า 36.4 เซนติเมตร จะเกิดภาพจริงที่มีความสูงเท่ากับวัตถุกระจกโค้งเว้านี้มีรัศมีความโค้งเท่าใด

18. กระจกโค้งนูนมีความยาวโฟกัส 24 เซนติเมตร จงหากำลังขยายเมื่อ

ก. ระยะวัตถุเท่ากับ 8 เซนติเมตร

ข. ระยะวัตถุเท่ากับ 16 เซนติเมตร

19. ถ้าจะทำให้เกิดภาพหลังกระจกโค้งนูนและอยู่ห่างจากกระจกโค้งนูน 20 เซนติเมตร โดยที่กระจกโค้งนูนมีรัศมีความโค้ง 60 เซนติเมตร จงหาตำแหน่งที่ต้องวางวัตถุด้วยวิธีดังนี้

ก. การเขียนแผนภาพรังสีของแสง

ข. การคำนวณ

20. วางวัตถุห่างจากกระจกโค้งนูนเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความยาวโฟกัส ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพชนิดใดและมีกำลังขยายเท่าใด

21. กระจกมองด้านข้างของรถยนต์เป็นกระจกโค้งนูนที่มีความยาวโฟกัส 6 เมตร ถ้าวัดมอเตอร์ไซด์คันที่วิ่งตามหลังอยู่ห่างออกไป 10 เมตร จะเกิดภาพที่กระจกเป็นระยะทางเท่าใดและมีกำลังขยายเท่าใด

22. วัตถุต้นทำจากวัสดุโปร่งใสทรงลูกบาศก์ยาวด้านละ 20.0 เซนติเมตร ภายในมีเม็ดทรายเล็กๆ 1 เม็ด เมื่อมองด้านหนึ่งเห็นเม็ดทรายที่ระยะ 7.5 เซนติเมตร จากผิว แต่เมื่อมองด้านตรงข้ามจะเห็นที่ระยะ 5.0 เซนติเมตรจากผิวด้านตรงข้าม จงหาว่าเม็ดทรายอยู่ที่ตำแหน่งใดจากผิวด้านแรกที่ยังมองและวัสดุโปร่งใสนี้มีดัชนีหักเหเท่าใด