

ตรงตามหลักสูตรแกนกลาง
การศึกษาขั้นพื้นฐาน
พุทธศักราช 2551
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วิทยาศาสตร์

ม.2 เล่ม 2

เนื้อหากระชับ เข้าใจง่าย มั่นใจในทุกการสอบ

- ปูพื้นฐานความเข้าใจด้วย "Mind Map"
- สรุปเนื้อหาที่สำคัญตามบทเรียน
- เพิ่มเกร็ดความรู้พิเศษในกรอบเนื้อหา
- เสริมทักษะด้วยแบบฝึกหัด พร้อมเฉลย
- เช็กความพร้อมด้วย "สิ่งที่ควรรู้ก่อนสอบ"

อุดมเดช ไหมเอี่ยม

วศ.บ.

สุรยศ สุทธิธรรม

วศ.บ., กจ.ม. (การจัดการ)

กุล อภิวัฒน์เจริญกุล

วศ.บ., กจ.ม. (การจัดการ)

ชื่อหนังสือ วิทยาศาสตร์ ม.2 เล่ม 2

ผู้เขียน อุดมเดช ใหม่เอี่ยม, สุรยศ สุทธิธรรม, กุล อภิวัฒน์เจริญกุล

สำนักพิมพ์ฟรีมายด์

พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม 2558

ราคา 150 บาท

ISBN 978-616-7115-94-8



สงวนลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558 โดย บริษัท ฟรีมายด์ จำกัด
ห้ามลอกเลียนแบบไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้
นอกจากจะได้รับอนุญาตจากผู้จัดพิมพ์

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

อุดมเดช ใหม่เอี่ยม.

วิทยาศาสตร์ ม.2 เล่ม 2.-- กรุงเทพฯ : ฟรีมายด์, 2558.

184 หน้า.

1. วิทยาศาสตร์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. สุรยศ สุทธิธรรม, ผู้แต่งร่วม.
- II. กุล อภิวัฒน์เจริญกุล, ผู้แต่งร่วม. IV. ไพบูลย์ วณิชยวรรณ์, ผู้วาดภาพประกอบ.
- V. ชื่อเรื่อง.

510.76

ISBN 978-616-7115-94-8

บรรณาธิการที่ปรึกษา

บรรณาธิการบริหาร

บรรณาธิการ

พิสูจน์อักษร

ศิลปกรรม

ออกแบบปก

กฤษฎาพร ชุมสาย ณ อยุธยา

सानุพันธ์ ชุมสาย ณ อยุธยา

อิศวเรศ ตโมหนู

ศศรัณย์ พิพัฒน์นรพงศ์

ณัฐเดช พูลสวัสดิ์

thinkingboxstudio, ไพบูลย์ วณิชยวรรณ์

จัดทำโดย

บริษัท ฟรีมายด์ พับลิชชิง จำกัด

27/33 ซอยศรีป่าเพ็ญ ถนนพระราม 4 แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

โทรศัพท์ 0-2286-2414 โทรสาร 0-2286-2417 www.freemindbook.com

 facebook.com/freemindbook

พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์

45/12-14, 33 หมู่ 4 ต.บางขุน อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

โทรศัพท์ 0-2879-9154 โทรสาร 0-2879-9153

จัดจำหน่ายโดย

ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์ 0-2218-9872 โทรสาร 0-2254-9495

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทรศัพท์ 0-2255-4433 www.chulabook.com

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สาขาโรตารีเบียร์ (แยกแคราย) โทรศัพท์ 0-2950-5408-9

โทรสาร 0-2950-5405



หากพบว่าหนังสือมีข้อผิดพลาดหรือไม่ได้มาตรฐาน
โปรดส่งหนังสือกลับมาที่สำนักพิมพ์ (ทางไปรษณีย์)
ทางเรายินดีเปลี่ยนเล่มใหม่ให้ท่านทันที

หนังสือเล่มนี้พิมพ์ด้วยหมึก Soy Ink ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
และเลือกใช้กระดาษที่ผลิตจากไม้ปลูก ลดการบุกรุกพื้นที่ป่าของโลก

E

SAMPLE

SAMP

PLE

SAMPLE

SAM

AMPLE

SAMPLE

S

คำนำ

หนังสือ วิทยาศาสตร์ ม.2 เล่ม 2 นี้ นำเสนอเนื้อหาตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา
ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สารการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
บทเรียนในแต่ละบทจะมี “แผนผังความคิด” (Mind Map) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างยิ่ง
สำหรับการเรียนการสอนในยุคปัจจุบัน สำหรับการปูพื้นฐานความเข้าใจในบทเรียนให้กับนักเรียน
ตามด้วยเนื้อหาที่ครบถ้วนตามหลักสูตร ซึ่งผู้เขียนได้สรุปให้อยู่ในรูปแบบที่กระชับและเข้าใจง่าย
พร้อมด้วยภาพประกอบที่ชัดเจน

โดยในส่วนของเนื้อหาในแต่ละเรื่องนั้น ผู้เขียนได้เพิ่มเติมสาระสำคัญหรือเกร็ดความรู้
ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนไว้ในกรอบเนื้อหาด้วย และจบท้ายแต่ละเรื่อง แต่ละบทด้วยแบบฝึกหัด
เสริมทักษะที่มีการเพิ่มระดับความยากเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทำก่อนสอบ โดยได้จัดทำเฉลย
แบบฝึกหัดไว้อย่างครบถ้วน

นอกเหนือจากนั้นทางผู้เขียนได้เพิ่มหัวข้อ “สิ่งที่ควรรู้ก่อนสอบ” เพื่อให้นักเรียนได้ตรวจเช็ค
ความพร้อมของตนเองก่อนสอบ และเพื่อให้ผู้ปกครองได้ใช้เป็นแนวทางในการช่วยทบทวนความรู้
ในเนื้อหาแต่ละบทก่อนสอบให้แก่ลูกหลานได้เป็นอย่างดี

ทางผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการ
เรียนรู้ของนักเรียน และเพิ่มความมั่นใจให้กับทุกการสอบของนักเรียน โดยหากมีสิ่งใดบกพร่อง
ผู้เขียนขอน้อมรับคำแนะนำเพื่อนำมาปรับปรุงในโอกาสต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี

คณะผู้เขียน

	หน้า
บทที่ 1 แสงและการมองเห็น	11
Mind Map เรื่องแสงและการมองเห็น	12
Mind Map เรื่องแสง	13
Mind Map เรื่องทัศนูปกรณ์	14
Mind Map เรื่องนัยน์ตา	15
Mind Map เรื่องความสว่างของแสงและการมองเห็น	16
1. แสง	17
• ธรรมชาติของแสง	17
• ภาพ	18
• การสะท้อนของแสง	18
• การหักเหของแสง	33
• เลนส์	39
2. ทัศนูปกรณ์	50
• แว่นขยาย	50
• กล้องจุลทรรศน์	50
• กล้องโทรทรรศน์	52
• กล้องสองตา	53
• เส้นใยนํ้าแสง	54
3. นัยน์ตา	56
• สายตาสั้น	57
• สายตายาว	58
• สายตาเอียง	59
4. ความสว่างของแสงและการมองเห็น	61
• ความสว่างของแสง	61
• แสงและการมองเห็นสีของวัตถุ	62
สิ่งที่ควรรู้ก่อนสอบ	64
แบบทดสอบท้ายบท	66
เฉลยแบบทดสอบ	78

	หน้า
บทที่ 2 แรงและแรงลัพธ์	87
Mind Map เรื่องแรงและแรงลัพธ์	88
1. แรง	89
2. ขนาดและทิศทางของแรง	91
3. การรวมแรง	92
• แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศทางเดียวกันและขนานกัน	92
• แรงที่กระทำต่อวัตถุมีทิศทางตรงข้ามกันและขนานกัน	92
• แรงที่กระทำต่อวัตถุ กรณีที่แรงสองแรงทำมุมต่อกัน	92
4. แรงโน้มถ่วงของโลก	94
• ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	94
5. แรงเสียดทาน	96
• แรงเสียดทานสถิต	96
• แรงเสียดทานจลน์	96
• สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน	97
6. งานและกำลัง	99
7. โมเมนต์ของแรง	101
• อันดับของคาน	103
• ผลของแรงต่อความเร่งของวัตถุ	104
สิ่งที่ควรรู้ก่อนสอบ	106
แบบทดสอบท้ายบท	108
เฉลยแบบทดสอบ	112
บทที่ 3 โลกและการเปลี่ยนแปลง	115
Mind Map เรื่องโลกและการเปลี่ยนแปลง	116
Mind Map เรื่องส่วนประกอบของโลก	117
Mind Map เรื่องการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก	118

	หน้า
Mind Map เรื่องดิน	119
Mind Map เรื่องหิน	120
Mind Map เรื่องแร่	121
Mind Map เรื่องน้ำ	122
1. ส่วนประกอบของโลก	123
• ทฤษฎีการกำเนิดระบบสุริยะและการเกิดโลก	123
• โครงสร้างของโลก	123
2. การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก	124
• ทฤษฎีการเลื่อนไหลของทวีป	124
• การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก	125
• แผ่นดินไหว	126
• ภูเขาไฟ	127
• ภูเขา	127
• การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกเนื่องจากการกร่อน	127
• แบบทดสอบ เรื่องส่วนประกอบของโลกและการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก	129
3. ดิน	132
• กระบวนการการเกิดดิน	132
• ปัจจัยการเกิดดิน	132
• ส่วนประกอบของดิน	133
• ชั้นของดิน	133
• สมบัติทั่วไปของดิน	134
• การอนุรักษ์และพัฒนาที่ดิน	136
• แบบทดสอบ เรื่องดิน	137
4. หิน	140
• ลักษณะทั่วไปของหิน	140
• ประเภทของหิน	140
• วัฏจักรของหิน	147
• แบบทดสอบ เรื่องหิน	148

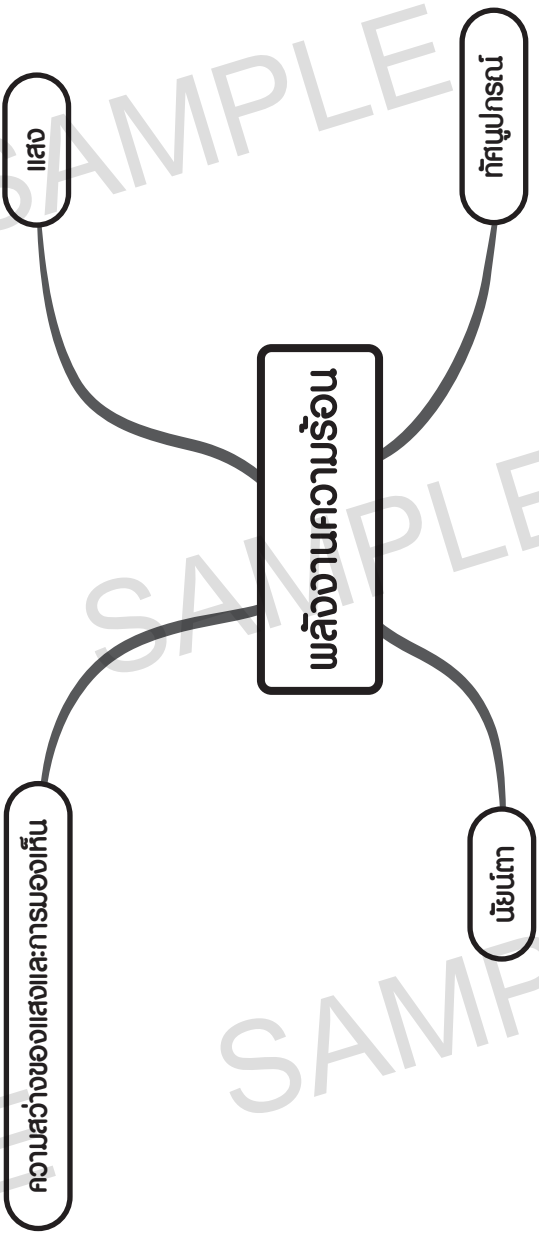
	หน้า
5. แร่	151
• ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของแร่	151
• ชนิดของแร่	153
• แบบทดสอบ เรื่องแร่	158
6. แหล่งน้ำ	160
• ประเภทของแหล่งน้ำ	160
• วัฏจักรของน้ำ	161
• ประเภทของแหล่งน้ำบนโลก	161
• การใช้ทรัพยากรจากแหล่งน้ำในประเทศไทย	162
• ปัญหาแหล่งน้ำในประเทศไทย	163
• แบบทดสอบ เรื่องน้ำ	165
สิ่งที่ควรรู้ก่อนสอบ	166
แบบทดสอบท้ายบท	167
เฉลยแบบทดสอบท้ายบท	176

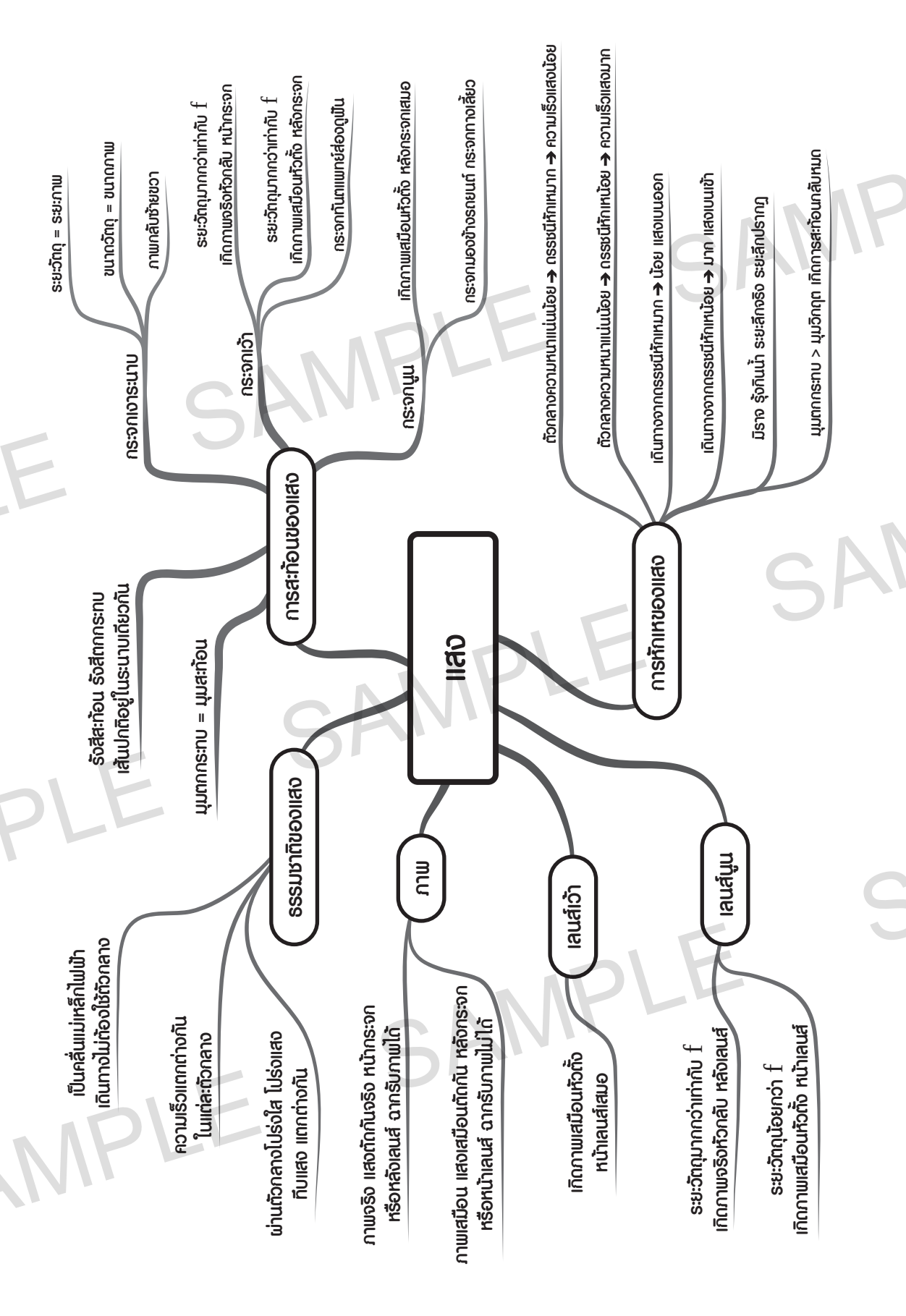


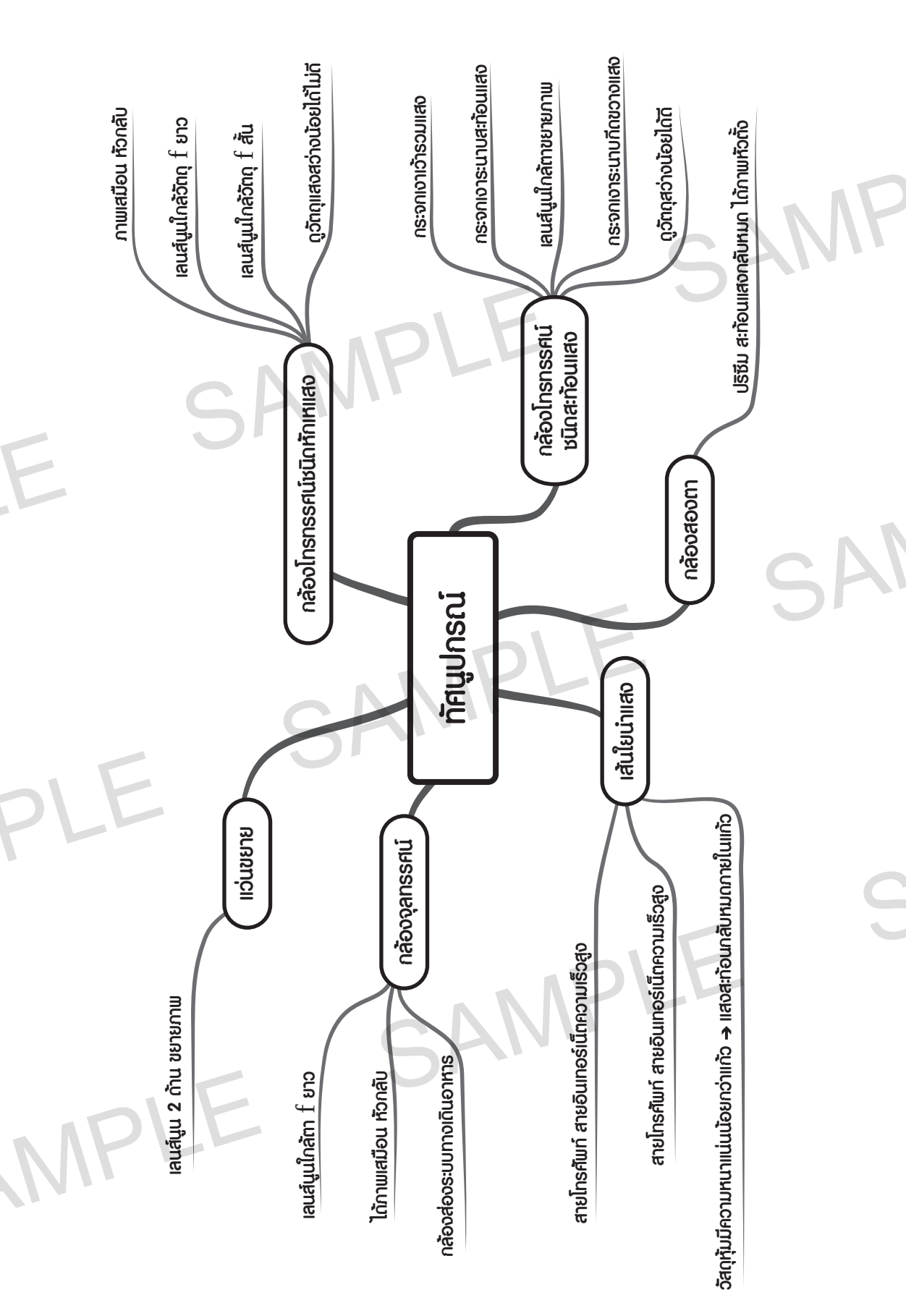
บทที่ 1

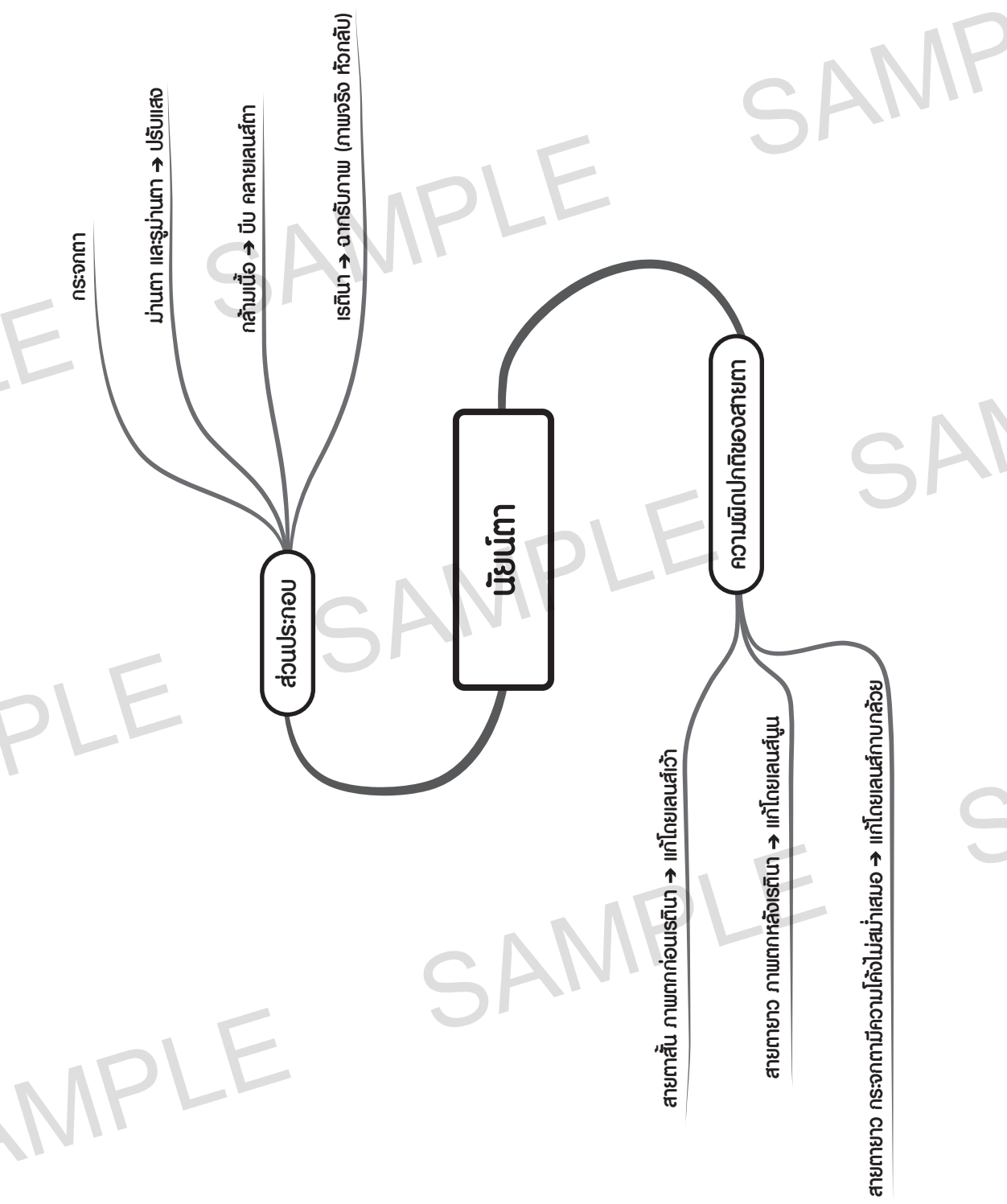
แสงและการมองเห็น

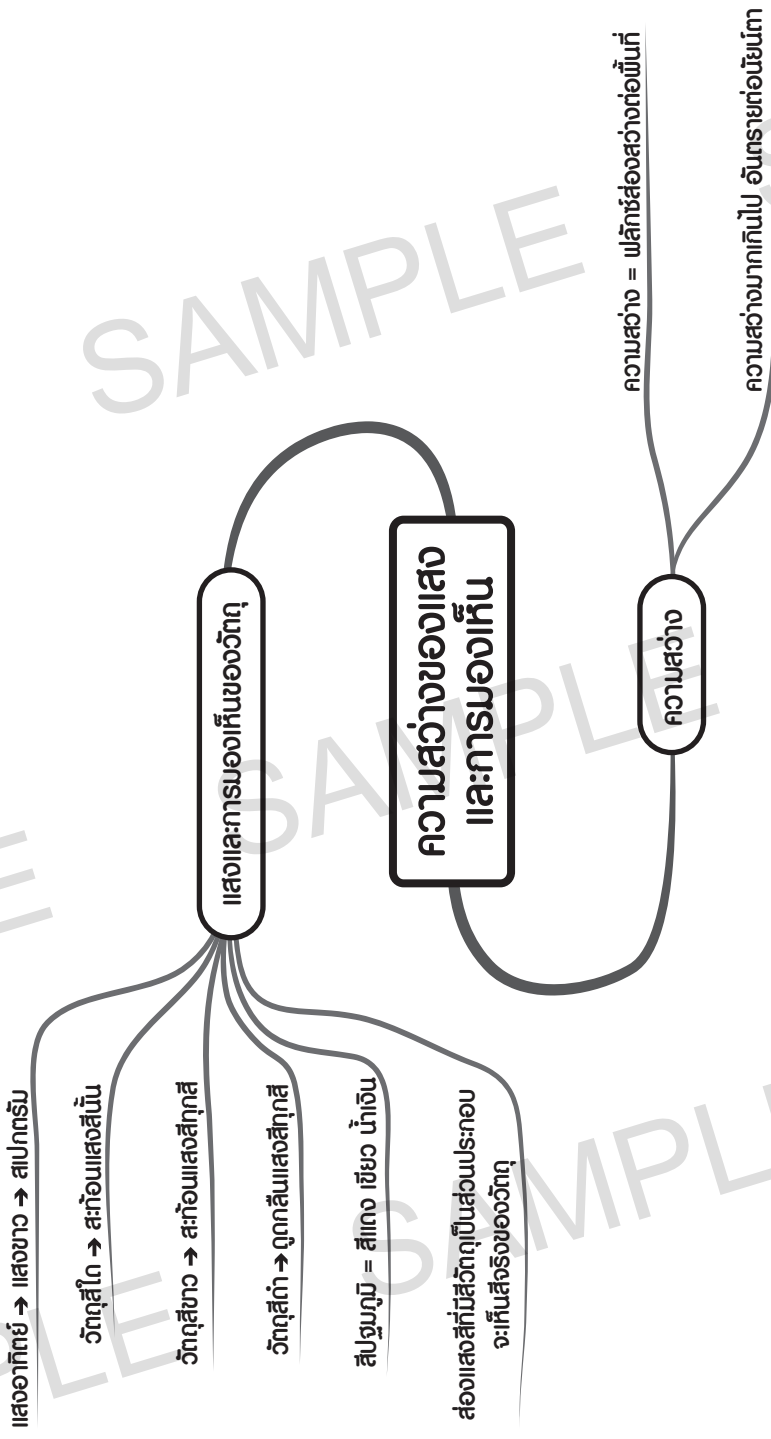
- แสง
- ทิศนूपกรณ์
- นิยน์ตา
- ความสว่างของแสงและการมองเห็น
- สิ่งที่ต้องรรู้ก่อนสอบ







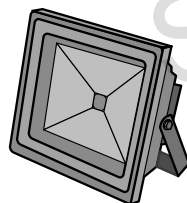
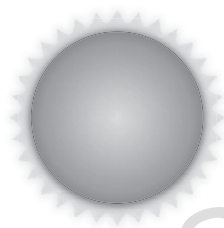




1. แสง (light)

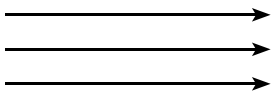
ธรรมชาติของแสง

1. แสงเป็นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave) ชนิดคลื่นตามขวาง เกิดจากการเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องกันไป ดังนั้นแสงจึงเดินทางโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง หรือสามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้
2. แสงเดินทางเป็นเส้นตรงในตัวกลางชนิดเดียวกัน และจะเกิดการหักเหเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่ต่างกัน
3. อัตราเร็วของแสง ขึ้นกับค่าความหนาแน่นของตัวกลาง สำหรับอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศคือ 3×10^8 เมตรต่อวินาที
4. แสงมีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติ ได้แก่ ดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ นอกจากนี้แสงยังมาจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล เป็นต้น



แหล่งกำเนิดแสงรูปแบบต่างๆ

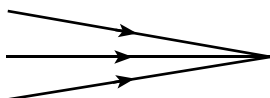
5. แนวทางการเดินทางของแสงเรียกว่า “รังสีของแสง” มีอยู่ 3 ลักษณะ ได้แก่
 - 5.1 รังสีขนาน คือ รังสีของแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ไกลมาก และแสงมีความเข้มเท่ากันทุกตำแหน่ง



- 5.2 รังสีกระจาย คือ รังสีของแสงมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นจุด และแสงมีความเข้มลดลงเรื่อย ๆ



- 5.3 รังสีรวมแสง คือ รังสีของแสงที่มีความเข้มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยความเข้มมากที่สุดที่จุดที่รังสีของแสงรวมกัน



6. ถึงแม้แสงสามารถเดินทางได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง แต่มีตัวกลางหรือวัตถุบางชนิดที่สามารถขวางทางเดินแสงได้ เช่น เราสามารถนำร่มมาบังแดดได้ เพราะแสงไม่สามารถเดินทางผ่านร่มได้ หรือเดินทางผ่านได้เล็กน้อย เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถแยกตัวกลางหรือวัตถุตามลักษณะแสงที่ผ่านเป็น 3 ชนิด ดังนี้

6.1 ตัวกลางโปร่งใส (transparent medium) หมายถึง ตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านไปได้อย่างหมดหรือเกือบทั้งหมด เช่น แก้วใส อากาศ กระจกใส พลาสติกใส เป็นต้น

6.2 ตัวกลางโปร่งแสง (translucent medium) หมายถึง ตัวกลางที่ยอมให้แสงผ่านไปได้บ้าง เช่น กระดาษลอกลาย กระจกฝ้า ควัน เป็นต้น

6.3 ตัวกลางทึบแสง (opaque medium) หมายถึง ตัวกลางที่ไม่ยอมให้แสงผ่านได้เลย เช่น โลหะ คอนกรีต ไม้ กระจกเงา เป็นต้น

ภาพ (image)

ภาพ เกิดจากการตัดกัน หรือเสมือนตัดกันของรังสีของแสง ซึ่งสะท้อนมาจากกระจกหรือหักเหผ่านเลนส์ ภาพแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

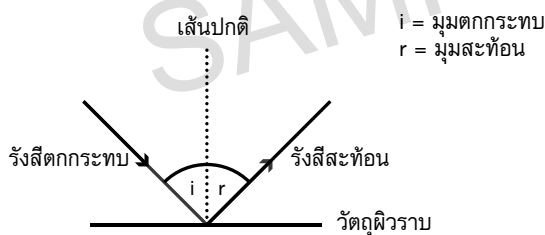
1. ภาพจริง (real image) เกิดจากแสงสะท้อนหรือแสงหักเหมาตัดกันจริง ณ จุดที่เกิดภาพจริง และภาพเกิดขึ้นที่หน้ากระจกหรือหลังเลนส์ จะต้องมีฉากรับภาพ และมีลักษณะหัวกลับเสมอ
2. ภาพเสมือน (virtual image) เกิดจากการต่อแนวรังสีของแสงสะท้อนหรือหักเห ซึ่งเรียกว่ารังสีของแสงเสมือนออกไปตัดกัน และภาพเสมือนเกิดขึ้นที่หลังกระจกหรือหน้าเลนส์ สามารถมองเห็นได้ด้วยตา แต่ไม่สามารถใช้ฉากรับภาพได้ และมีหัวตั้งเหมือนกับวัตถุเสมอ

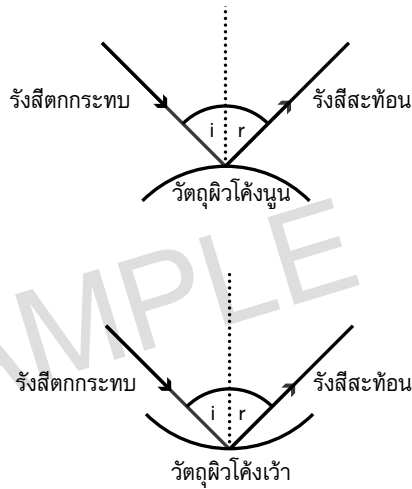
การสะท้อนของแสง (reflection of light)

เมื่อรังสีของแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง แต่บางกรณีแสงอาจจะสะท้อนกลับทั้งหมด ถ้าตัวกลางใหม่นั้นมีผิวเรียบ และมีความทึบแสงหรือมีความมันเงา

กฎการสะท้อนของแสง (the laws of reflection) มี 2 ข้อ คือ

1. รังสีตกกระทบ (incident ray) รังสีสะท้อน (reflected ray) และเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวหรือเรียกว่า เส้นปกติ (normal line) จะอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบ (angle of incidence) = มุมสะท้อน (angle of reflection) ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ





โดยที่

รังสีตกกระทบ คือ รังสีของแสงที่พุ่งเข้าหาพื้นผิวของวัตถุ

รังสีสะท้อน คือ รังสีของแสงที่พุ่งออกจากพื้นผิวของวัตถุ

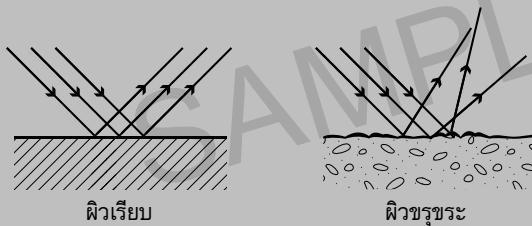
เส้นปกติ คือ เส้นตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุ ณ จุดที่รังสีของแสงตกกระทบ

มุมตกกระทบ คือ มุมระหว่างรังสีตกกระทบกับเส้นปกติ

มุมสะท้อน คือ มุมระหว่างรังสีสะท้อนกับเส้นปกติ

กฎการสะท้อนของแสงใช้ได้กับการสะท้อนบนพื้นผิวขรุขระได้หรือไม่

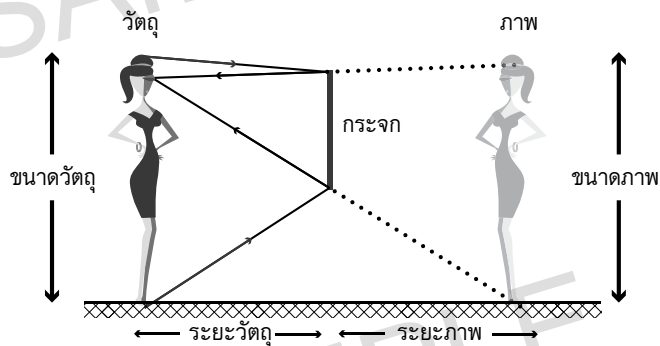
การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวเรียบตรงหรือเรียบโค้ง จะสะท้อนอย่างเป็นระเบียบและเป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง คือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติ อยู่ในระนาบเดียวกัน แต่การสะท้อนของแสงบนพื้นผิวขรุขระจะสะท้อนอย่างไม่เป็นระเบียบ มีทิศทางของการสะท้อนไม่แน่นอน และไม่เป็นไปตามกฎการสะท้อนของแสง



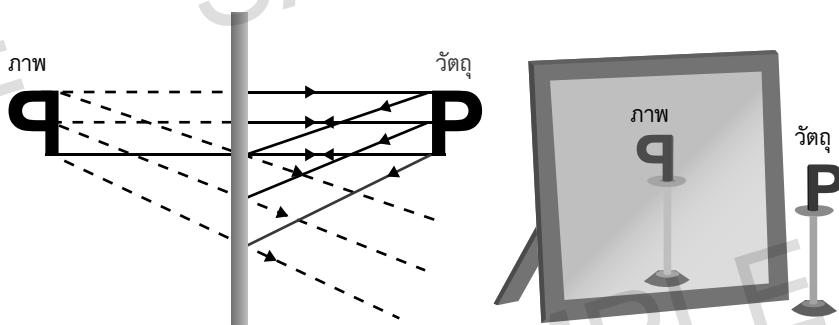
การสะท้อนแสงบนกระจกเงาระนาบ

กระจกเงาระนาบ (plane mirror) คือ กระจกแบนราบ ซึ่งมีด้านหนึ่งสะท้อนแสงโดยอีกด้านหนึ่งฉาบด้วยเงินหรือปรอทเอาไว้ ภาพที่เกิดจากการสะท้อนแสงบนกระจกเงาระนาบ มีลักษณะดังนี้

1. เป็นภาพเสมือน กลับซ้ายเป็นขวา ขวายเป็นซ้ายกับวัตถุ หรือเรียกว่า ภาพปรัศวภาควิโลม (lateral inversion) อยู่หลังกระจก
2. มีระยะวัตถุ (s) = ระยะภาพ (s')
3. ขนาดของวัตถุ (O) = ขนาดภาพ (I)



การเกิดภาพจากการสะท้อนบนกระจกเงาระนาบ

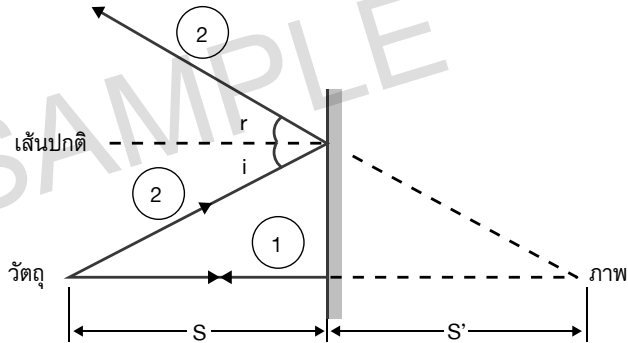


การเกิดภาพกลับซ้ายเป็นขวา ขวายเป็นซ้าย จากการสะท้อนบนกระจกเงาระนาบ

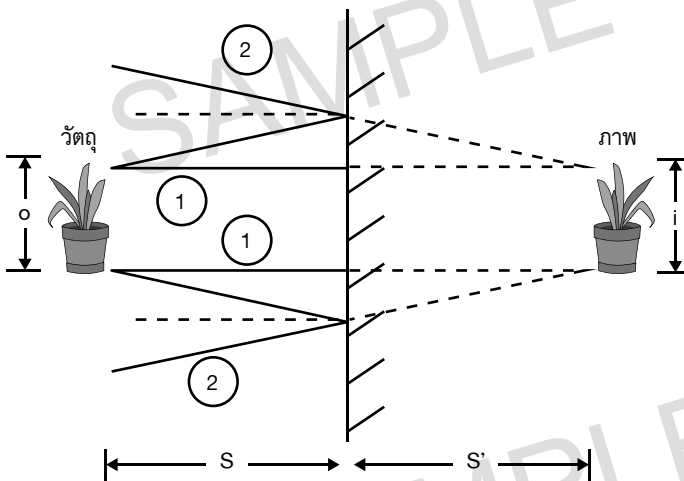
การหาตำแหน่งภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบ

เขียนแผนภาพของรังสีของแสง โดยใช้หลักการดังนี้

1. ลากรังสีตกกระทบจากวัตถุตั้งฉากกับกระจก แล้วสะท้อนกลับตามแนวเดิม
2. ลากรังสีตกกระทบจากวัตถุเอียงทำมุมกับกระจก แล้วสะท้อนออกมา โดยมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



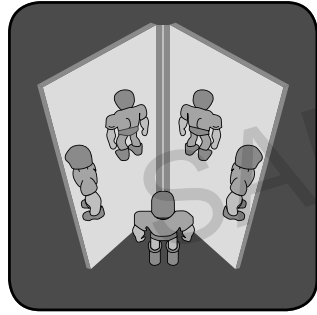
การหาตำแหน่งของภาพที่มีลักษณะเป็นจุด ที่เกิดจากกระจกเงาระนาบ



การหาตำแหน่งของภาพที่มีขนาดส่วนสูง ที่เกิดจากกระจกเงาระนาบ

การหาจำนวนภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบวางทำมุมกัน

ถ้ากระจกเงาระนาบ 2 บานวางทำมุมกัน ภาพเสมือนที่เกิดจากกระจกบานแรก และอยู่ในแนวของกระจกบานที่สอง ภาพเสมือนนั้นจะเป็นวัตถุทำให้เกิดการสะท้อนกับกระจกบานที่สอง และเกิดภาพเสมือนที่กระจกบานที่สอง โดยระยะภาพเท่ากับระยะวัตถุ และถ้าภาพนั้นยังอยู่ในแนวของกระจกบานแรก ภาพเสมือนในกระจกบานที่สองจะเป็นวัตถุทำให้เกิดการสะท้อนกับกระจกบานแรกอีกครั้ง ภาพจะสะท้อนไปมาจนกว่าภาพจะไม่อยู่ในแนวของกระจกอีกบาน



ภาพที่เกิดจากกระจกเงาระนาบ
ทำมุมกัน

เราสามารถหาจำนวนภาพที่เกิดจากการสะท้อนบนกระจกเงาระนาบสองบานที่ทำมุมต่อกันได้จาก

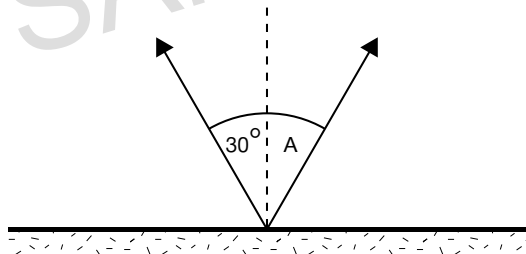
$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$

เมื่อ n = จำนวนภาพที่ปรากฏแก่ตา

θ = มุมที่กระจกเงาระนาบ 2 บาน วางทำมุมกัน

ถ้าค่า n ที่คำนวณได้มีค่าไม่ลงตัว ให้ปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนเต็ม

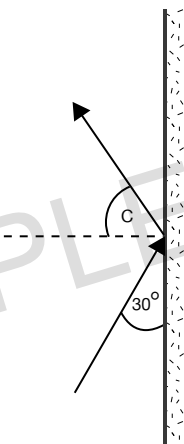
ตัวอย่างที่ 1 จากรูป รังสีของแสงสะท้อนบนกระจกเงาระนาบ มุม A มีค่าเท่ากับเท่าไร



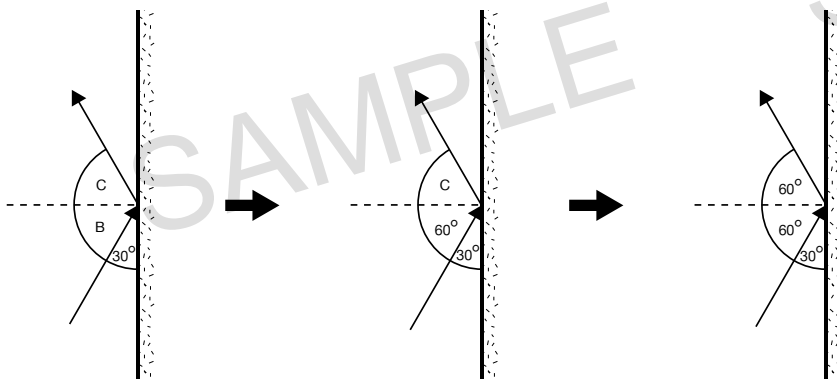
วิธีทำ

ในรูป มุมตกกระทบเท่ากับ 30° และจากกฎการสะท้อนของแสง มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน ณ ตำแหน่งที่แสงตกกระทบ ซึ่งมุม A คือ มุมสะท้อน ดังนั้น มุม A จึงเท่ากับ 30° ด้วย

ตัวอย่างที่ 2 จากรูป รังสีของแสงสะท้อนบนกระจกเงาระนาบ มุม C มีค่าเท่ากับเท่าไร



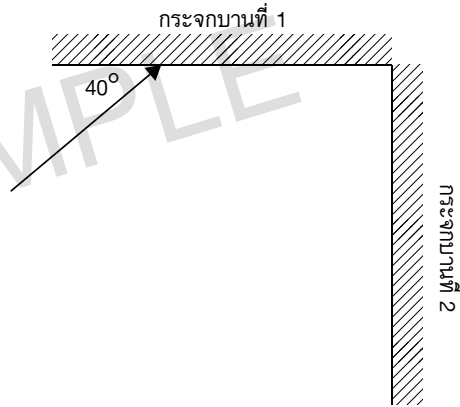
วิธีทำ เนื่องจากมุม C เป็นมุมสะท้อน ซึ่งเท่ากับมุมตกกระทบตามกฎการสะท้อนของแสง ดังนั้นจึงต้องหามุมตกกระทบก่อน ซึ่งคือมุม B นั่นเอง



มุม B กับมุม 30° เป็นมุมประกอบมุมฉาก ซึ่งมุมฉากมีค่าเท่ากับ 90° มุม B และมุม 30° ต้องรวมกันเท่ากับ 90° ดังนั้น มุม B จึงเท่ากับ $90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ และมุม C = มุม B = 60°

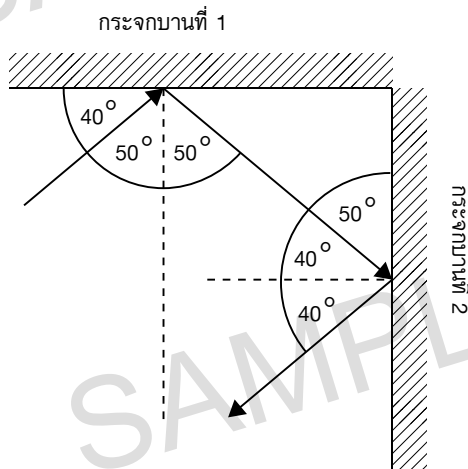
ตัวอย่างที่ 3

กระจกเงาระนาบ 2 บาน วางตั้งฉากกันดังรูป มีรังสีของแสงตกกระทบบนกระจกเงาระนาบบานที่ 1 รังสีทำมุม 40° กับกระจกบานที่ 1 ดังรูป เมื่อรังสีของแสงสะท้อนมาตกกระทบบนกระจกบานที่ 2 จะเกิดมุมสะท้อนที่กระจกบานที่ 2 มีค่าเท่าไร

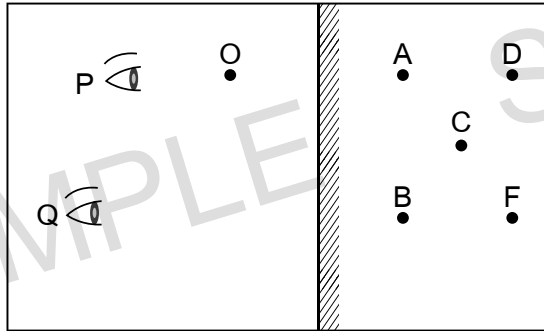


วิธีทำ

จากรูป มุมตกกระทบบนกระจกบานที่ 1 เท่ากับ 50° เนื่องจากเป็นมุมประกอบมุมฉากกับมุม 40° และทำให้มุมสะท้อนของกระจกบานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 50° ด้วย ทำให้มุมตกกระทบบนกระจกบานที่ 2 เท่ากับ 40° ส่งผลให้มุมสะท้อนที่กระจกบานที่ 2 เท่ากับ 40° (มุมตกกระทบบน = มุมสะท้อน)



ตัวอย่างที่ 4 ถ้ามีวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง O หน้ากระจกเงาระนาบ ถ้ายืนมองที่ตำแหน่ง P และ Q จะเห็นภาพที่ตำแหน่งใด ตามลำดับ



วิธีทำ เนื่องจาก ระยะภาพ = ระยะวัตถุ ไม่ว่าจะมองจากตำแหน่งใด ถ้าวัตถุอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ภาพที่ปรากฏจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกันด้วย และอยู่ในตำแหน่งเท่ากับระยะวัตถุ ดังนั้น จะเห็นภาพที่ตำแหน่ง A เหมือนกัน ไม่ว่าจะยืนมองที่ตำแหน่ง P หรือ Q

ตัวอย่างที่ 5 กระจกเงาระนาบ 2 บาน วางทำมุม 50° ต่อกัน จำนวนภาพที่เกิดขึ้นเท่ากับเท่าไร

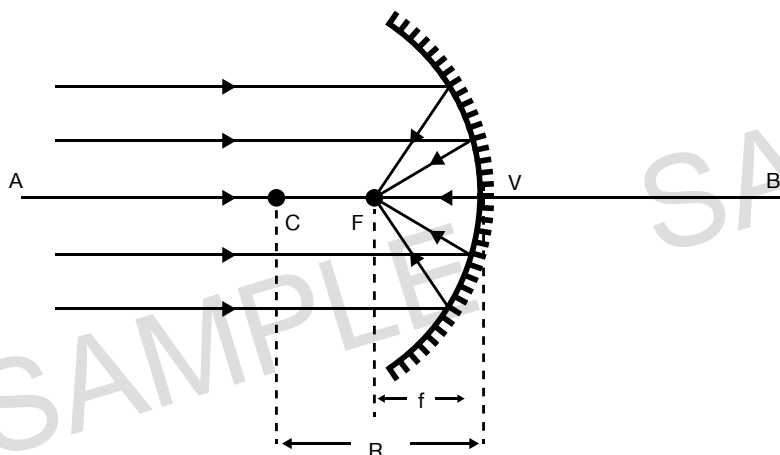
วิธีทำ จากสูตร จำนวนภาพ
$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - 1$$
$$n = \frac{360^\circ}{50^\circ} - 1$$
$$= 6.2$$
$$= 7 \text{ ภาพ (ปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนเต็ม)}$$

การสะท้อนแสงบนกระจกโค้งทรงกลม

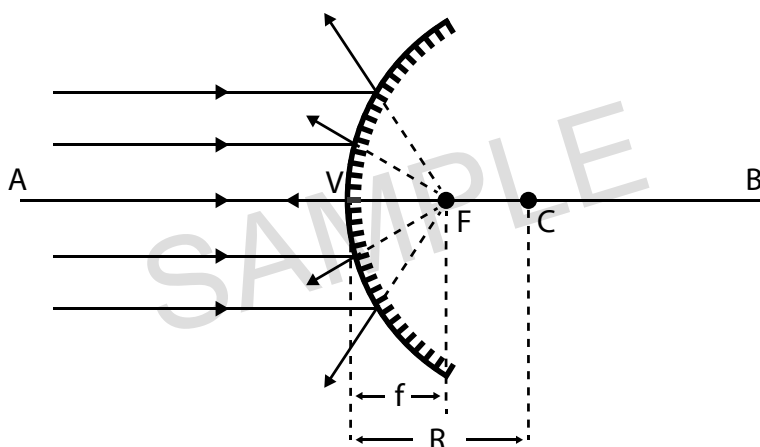
กระจกโค้งทรงกลม คือ กระจกที่มีผิวสะท้อนแสงเป็นผิวโค้งของทรงกลม และการสะท้อนแสงบนกระจกโค้งทรงกลมเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสง

กระจกโค้งทรงกลมแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. **กระจกเว้า (concave mirror)** คือ กระจกโค้งทรงกลมที่มีด้านเว้า (ด้านในของส่วนโค้ง) เป็นพื้นสะท้อนแสงอยู่ทางด้านหน้า และด้านหลัง (ด้านนอกของส่วนโค้ง) เป็นด้านหลัง
2. **กระจกนูน (convex mirror)** คือ กระจกโค้งทรงกลมที่มีด้านหลังเป็นพื้นสะท้อนแสงอยู่ทางด้านหน้า และด้านเว้าเป็นด้านหลัง



การสะท้อนแสงบนกระจกเว้า



การสะท้อนแสงบนกระจกนูน

ส่วนประกอบของกระจกโค้ง

- C คือ จุดศูนย์กลางความโค้ง (center of curvature)
- R คือ รัศมีความโค้ง (radius of curvature) เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางความโค้งไปยังผิวกระจกจะตั้งฉากกับผิวกระจกเสมอ
- F คือ จุดโฟกัส (principal focus) อยู่บนเส้นแกนमुखสำคัญ เป็นจุดรวมของรังสีสะท้อนเมื่อรังสีขนานตกระทบกระจกเว้า และเป็นจุดรวมของรังสีสะท้อนเสมือนเมื่อรังสีขนานตกระทบกระจกนูน
- V คือ ขั้วกระจก (vertex) อยู่จุดกึ่งกลางของผิวกระจกโค้งหรือจุดยอดของกระจกโค้ง

เส้น AB คือ เส้นแกนमुखสำคัญ (principal axis) เป็นเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์กลางความโค้ง และขั้วกระจก

f คือ ความยาวโฟกัส (focal length) เป็นระยะจากจุดโฟกัสถึงขั้วกระจก ความยาวโฟกัสมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้งเสมอ $R = 2f$

การเขียนภาพที่เกิดจากกระจกโค้ง

1. เส้นที่หนึ่ง ลากเส้นขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญเพื่อตกกระทบกระจกแล้วสะท้อนผ่านจุดโฟกัส (จุด F ด้านหน้ากระจก) สำหรับกระจกเว้าหรือเสมือนผ่านจุดโฟกัส (จุด F ด้านหลังกระจก) สำหรับกระจกนูน
2. เส้นที่สอง ลากเส้นผ่านจุดศูนย์กลางความโค้งของกระจก เมื่อตกกระทบกระจกแล้วจะสะท้อนกลับมาแนวเดิมของเส้นที่ลากไป
3. จุดที่เส้นทั้งสองตัดกันจะเกิดเป็นภาพ ซึ่งถ้าสองเส้นตัดกันจริง ภาพที่ได้จะเป็นภาพจริง แต่ถ้าเส้นตัดกันไม่จริง ภาพที่ได้จะเป็นภาพเสมือน

กระจกเว้า

ภาพที่เกิดจากกระจกเว้า เมื่อวางวัตถุในตำแหน่งต่าง ๆ

ตำแหน่งวัตถุ	ชนิดของภาพ	ขนาดของภาพ	ตำแหน่งของภาพ	รูปทางเดินแสง
อยู่ไกลมากหรือระยะอนันต์	ภาพจริง หัวกลับ	ขนาดเล็กมาก	หน้ากระจกอยู่ที่จุด F	
อยู่หน้าจุด C แต่ไม่ถึงระยะอนันต์	ภาพจริง หัวกลับ	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หน้ากระจกอยู่ระหว่างจุด C กับ F	
อยู่ที่จุด C	ภาพจริง หัวกลับ	ขนาดเท่ากับวัตถุ	หน้ากระจกอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งวัตถุ	
อยู่ระหว่างจุด C กับ F	ภาพจริง หัวกลับ	ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ	หน้ากระจกอยู่ด้านหน้าจุด C	

ตำแหน่งวัตถุ	ชนิดของภาพ	ขนาดของภาพ	ตำแหน่งของภาพ	รูปร่างเส้นทางแสง
อยู่ที่จุด F	ภาพจริง หัวกลับ	ขนาดใหญ่กว่าวัตถุมาก	หน้ากระจกอยู่ที่ระยะอนันต์หรือตำแหน่งที่ไกลมาก	
อยู่ระหว่างจุด F กับขั้วกระจก	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ	หลังกระจก	

สรุป สำหรับกระจกเว้า ถ้าวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่มากกว่าหรือเท่ากับความยาวโฟกัส ภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพจริง หัวกลับ ซึ่งอาจจะมีขนาดเล็กกว่า เท่ากับ หรือใหญ่กว่าวัตถุก็ได้ และอยู่ข้างหน้ากระจก ยกเว้นวัตถุอยู่ในตำแหน่งที่น้อยกว่าความยาวโฟกัส ภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพเสมือน หัวตั้ง ขนาดใหญ่กว่าวัตถุ และอยู่ข้างหลังกระจก

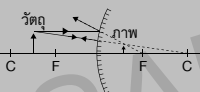
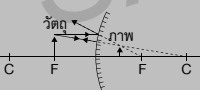
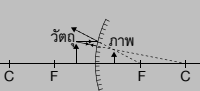
ประโยชน์ของกระจกเว้า

1. เป็นกระจกรวมแสง
2. เป็นส่วนประกอบในกล้องโทรทรรศน์ เพื่อรวมแสงที่มากตกกระทบ
3. เป็นส่วนประกอบในกล้องจุลทรรศน์ เพื่อรวมแสงให้ตกที่แผ่นสไลด์ ทำให้เห็นภาพชัดขึ้น
4. ใช้ทำกระจกเพื่อทันตแพทย์ส่องดูฟันผู้ป่วย

กระจกนูน

ภาพที่เกิดจากกระจกนูน เมื่อวางวัตถุในตำแหน่งต่างๆ

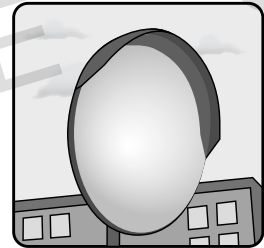
ตำแหน่งวัตถุ	ชนิดของภาพ	ขนาดของภาพ	ตำแหน่งของภาพ	รูปร่างเส้นทางแสง
อยู่ไกลมากหรือระยะอนันต์	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กมาก	หลังกระจกอยู่ที่จุด F	
อยู่หน้าจุด C แต่ไม่ถึงระยะอนันต์	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หลังกระจกอยู่ระหว่างกระจกกับจุด F	
อยู่ที่จุด C	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หลังกระจกอยู่ระหว่างกระจกกับจุด F	

ตำแหน่งวัตถุ	ชนิดของภาพ	ขนาดของภาพ	ตำแหน่งของภาพ	รูปร่างและแสง
อยู่ระหว่างจุด C กับ F	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หลังกระจกอยู่ระหว่างกระจกกับจุด F	
อยู่ที่จุด F	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หลังกระจกอยู่ระหว่างกระจกกับจุด F	
อยู่ระหว่างจุด F กับช่วงกระจก	ภาพเสมือน หัวตั้ง	ขนาดเล็กกว่าวัตถุ	หลังกระจกอยู่ระหว่างกระจกกับจุด F	

สรุป สำหรับกระจกนูน ไม่ว่าวัตถุจะอยู่ตำแหน่งใด ภาพที่ปรากฏจะเป็นภาพเสมือน หัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ อยู่ข้างหลังกระจก และอยู่ระหว่างกระจกกับจุดโฟกัสเสมอ

ประโยชน์ของกระจกนูน

1. เป็นกระจกกระจายแสง
2. นำมาใช้ทำกระจกมองข้างของรถยนต์ โดยส่วนใหญ่มักทำให้กระจกนูนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพื่อให้เห็นมุมมองภาพที่กว้าง แต่ระยะของภาพยังคงใกล้เคียงกับความเป็นจริง
3. นำมาใช้ติดตั้งบริเวณทางเลี้ยวเพื่อช่วยให้เห็นรถที่วิ่งสวนทางมา เนื่องจากช่วยให้เห็นมุมมองภาพที่กว้างขึ้น



กระจกนูนติดตั้งบริเวณทางเลี้ยว

การคำนวณหาตำแหน่งและขนาดของภาพของกระจกโค้ง

มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

สูตรที่ 1

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad \text{หรือ} \quad \frac{2}{R} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

สูตรที่ 2

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

สูตรที่ 3

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

เมื่อ f =	ความยาวโฟกัส	R =	รัศมีความโค้งของกระจกโค้ง
s =	ระยะวัตถุ	m =	กำลังขยายของกระจกโค้ง
s' =	ระยะภาพ	I =	ขนาดหรือความสูงของภาพ
		O =	ขนาดหรือความสูงวัตถุ

การคิดเครื่องหมายของค่าตัวแปรต่างๆ ในสูตร

ตัวแปร	ค่าบวก (+)	ค่าลบ (-)
ความยาวโฟกัส (f)	กระจกเว้า	กระจกนูน
รัศมีความโค้งของกระจก (R)	กระจกเว้า	กระจกนูน
ระยะวัตถุ (s)	วัตถุจริง	วัตถุเสมือน
ระยะภาพ (s')	ภาพจริง	ภาพเสมือน
กำลังขยาย (m)	ภาพจริง	ภาพเสมือน
ขนาดภาพ (I)	ภาพจริง	ภาพเสมือน
ขนาดวัตถุ (O)	ค่าบวกเสมอ	

หมายเหตุ

1. การแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในสูตร ถ้าตัวแปรใดโจทย์กำหนดค่าตัวเลขให้มา ให้แทนค่านั้น พร้อมเครื่องหมายบวกหรือลบตามตารางข้างต้น แต่ตัวแปรใดที่โจทย์ให้คำนวณหา ไม่ต้องใส่เครื่องหมายตามตารางข้างต้นลงในสูตร เครื่องหมายบวกหรือลบของตัวแปรที่โจทย์ให้หาจะปรากฏหลังจากที่คำนวณออกมาแล้ว
2. วัตถุจริง คือ วัตถุที่วางอยู่หน้ากระจก/วัตถุเสมือน คือ วัตถุที่วางอยู่หลังกระจก
3. ภาพจริง คือ ภาพที่ปรากฏอยู่หน้ากระจก/ภาพเสมือน คือ ภาพที่ปรากฏอยู่หลังกระจก

กำลังขยายของกระจกโค้ง (m) มีความหมายว่าอย่างไร

กำลังขยายของกระจกโค้ง คือ ค่าตัวเลขที่บอกถึงขนาดของภาพว่ามีขนาดหรือความสูงเป็นกี่เท่าของขนาดหรือความสูงของวัตถุ เช่น ถ้าความสูงของภาพสูงเป็น 2 เท่า ของความสูงของวัตถุ กำลังขยายของกระจกโค้ง (m) จะเท่ากับ 2 แต่ถ้าความสูงของภาพเล็กกว่าความสูงของวัตถุเป็น 4 เท่า กำลังขยายของกระจกโค้ง (m) เท่ากับ $\frac{1}{4}$

ตัวอย่างที่ 6 วางวัตถุหน้ากระจกเว้าห่างจากกระจก 10 ซม. จงหาชนิดและตำแหน่งของภาพที่เกิดขึ้น ถ้ากระจกมีความยาวโฟกัส 20 ซม.

วิธีทำ ค่าตัวแปรที่โจทย์ให้มาคือ

ระยะวัตถุ (s) = 10 ซม. มีค่าเป็นบวก เนื่องจากเป็นวัตถุจริง (วางอยู่หน้ากระจก)
ความยาวโฟกัส (f) = 20 ซม. มีค่าเป็นบวก เนื่องจากเป็นกระจกเว้า

จากสูตร

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

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{10} + \frac{1}{s'}$$

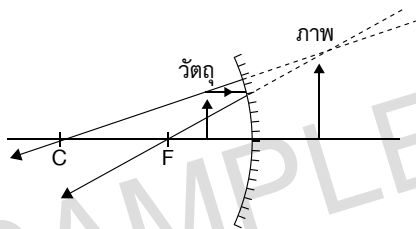
$$\frac{1}{s'} = \frac{1}{20} - \frac{1}{10}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{1-2}{20}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{20}$$

$$s' = -20$$

ดังนั้น ภาพที่ได้เป็นภาพเสมือน (เนื่องจากระยะภาพมีค่าเป็นลบ) เป็นภาพหัวตั้ง ระยะภาพเท่ากับ 20 ซม. อยู่หลังกระจก



ตัวอย่างที่ 7

วิธีทำ

วางวัตถุหน้ากระจกนูนห่างกระจก 15 ซม. กระจกมีรัศมีความโค้ง 20 ซม.

จงหาตำแหน่งและชนิดของภาพที่เกิดขึ้น

ค่าตัวแปรที่โจทย์ให้มาคือ

ระยะวัตถุ (s) = 15 ซม. มีค่าเป็นบวก เนื่องจากเป็นวัตถุจริง (วางอยู่หน้ากระจก)

รัศมีความโค้ง (R) = 20 ซม. มีค่าเป็นลบ เนื่องจากเป็นกระจกนูน

หรือความยาวโฟกัส (f) = $\frac{20}{2} = 10$ ซม. มีค่าเป็นลบเช่นเดียวกัน

จากสูตร

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

$$-\frac{1}{10} = \frac{1}{15} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{10} - \frac{1}{15}$$

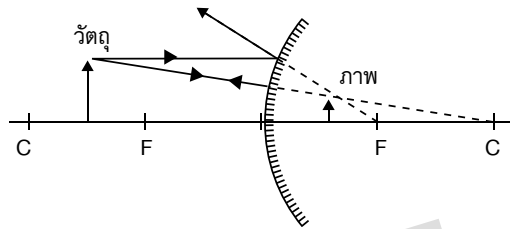
$$\frac{1}{s'} = \frac{-3 - 2}{30}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{-5}{30}$$

$$\frac{1}{s'} = -\frac{1}{6}$$

$$s' = -6$$

ดังนั้น ภาพที่ได้เป็นภาพเสมือน (เนื่องจากระยะภาพมีค่าเป็นลบ)
เป็นภาพหัวตั้ง ระยะภาพเท่ากับ 6 ซม. อยู่หลังกระจก



ตัวอย่างที่ 8

วัตถุมีความสูง 3 ซม. อยู่ด้านหน้ากระจกนูน ห่างจากกระจก 6 ซม. กระจกมีความยาวโฟกัส 12 ซม. จงหาตำแหน่ง ขนาด และลักษณะของภาพที่เกิดขึ้น

วิธีทำ

ค่าตัวแปรที่โจทย์ให้มาคือ

ขนาดวัตถุ (l) = 3 ซม. มีค่าเป็นบวก

ระยะวัตถุ (s) = 6 ซม. มีค่าเป็นบวก เนื่องจากเป็นวัตถุจริง (วางอยู่หน้ากระจก)

ความยาวโฟกัส (f) = 12 ซม. มีค่าเป็นลบ เนื่องจากเป็นกระจกนูน

1. หาระยะภาพ

จากสูตร

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

$$-\frac{1}{12} = \frac{1}{6} + \frac{1}{s'}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{-1 - 2}{12}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{-3}{12}$$

$$\frac{1}{s'} = \frac{-1}{4}$$

$$s' = -4$$

ดังนั้น ภาพที่ได้เป็นภาพเสมือน (เนื่องจากระยะภาพมีค่าเป็นลบ)
เป็นภาพหัวตั้ง ระยะภาพเท่ากับ 4 ซม. อยู่หลังกระจก

2. หาขนาดภาพ

จากสูตร

$$\frac{I}{O} = \frac{s'}{s}$$

$$\frac{I}{3} = \frac{-4}{6}$$

$$I = \frac{-4}{6} \times 3$$

$$I = -2$$

ดังนั้น ภาพที่ได้มีขนาด 2 ซม. (เครื่องหมายลบหมายถึงภาพเสมือน)

การหักเหของแสง (refraction of light)

การหักเหของแสง เกิดจากแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยที่ตัวกลางทั้งสองมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ส่งผลให้แสงมีความเร็วและความยาวคลื่นเปลี่ยนไปจากเดิมเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง โดยมีความถี่คงที่ รวมทั้งทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แสงจะเคลื่อนที่ในตัวกลางที่โปร่งด้วยความเร็วสูงกว่าเคลื่อนที่ในตัวกลางที่ทึบ

แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกันหรือไม่ ในตัวกลางที่เป็น น้ำ อากาศ หรือแก้ว

แสงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน โดยเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามลำดับดังนี้ ความเร็วของแสงใน อากาศ > น้ำ > แก้ว เนื่องจาก อากาศมีความหนาแน่นน้อยที่สุด และแก้วมีความหนาแน่นมากที่สุด (ความหนาแน่นอากาศ < น้ำ < แก้ว)

ดรรชนีหักเห (refractive index)

ค่าดรรชนีหักเห คือ อัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแสงในสุญญากาศกับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ

ดรรชนีหักเหของตัวกลาง = $\frac{\text{อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ}}{\text{อัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้น}}$

$n = \frac{c}{v}$

- เมื่อ n = ดรรชนีหักเหของตัวกลาง ซึ่งไม่มีหน่วย
- c = อัตราเร็วของแสงในสุญญากาศ มีค่าใกล้เคียงกับอัตราเร็วของแสงในอากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที
- v = อัตราเร็วของแสงในตัวกลางใดๆ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

ตารางค่าดัชนีหักเหของตัวกลางและอัตราเร็วแสงในตัวกลาง

ตัวกลาง	ดรรชนีหักเห (n)	อัตราเร็วของแสงในตัวกลาง (v) (เมตร/วินาที)
อากาศ	1.00	3.00×10^8
น้ำแข็ง	1.31	2.29×10^8
น้ำ	1.33	2.23×10^8
เอทิลแอลกอฮอล์	1.36	2.21×10^8
แก้ว	1.50	2.00×10^8
เพชร	2.42	1.24×10^8

จากตารางสังเกตได้ว่า ค่าดรรชนีหักเหจะแปรผกผันกับอัตราเร็วของแสงในตัวกลางนั้นๆ โดยที่อัตราเร็วแสงในตัวกลางใดมีค่าน้อย ค่าดรรชนีหักเหในตัวกลางนั้นจะมีค่ามาก ขณะที่อัตราเร็วแสงในตัวกลางใดมีค่ามาก ค่าดรรชนีหักเหในตัวกลางนั้นจะมีค่าน้อย เช่น แก้วมีค่าดรรชนีหักเหมากกว่าน้ำ เพราะอัตราเร็วของแสงในแก้วมีค่าน้อยกว่าอัตราเร็วของแสงในน้ำ เป็นต้น

ตัวอย่างที่ 9 อัตราเร็วของแสงในแก้วเท่ากับ 2×10^8 เมตรต่อวินาที จงคำนวณหา ดรรชนีหักเหของแก้ว

วิธีทำ

$$n = \frac{c}{v}$$
$$n = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}}$$

$$n = 1.5$$

ดังนั้น ค่าดรรชนีหักเหของแก้วเท่ากับ 1.5

ความหนาแน่น ธรรมชาติของตัวกลาง และความเร็วของแสงสัมพันธ์กันอย่างไร

1. ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย (ตัวกลางโปร่ง) $\rightarrow$ ดรรชนีหักเห (n) น้อย $\rightarrow$ ความเร็วของแสง (v) มาก
2. ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (ตัวกลางทึบ) $\rightarrow$ ดรรชนีหักเห (n) มาก $\rightarrow$ ความเร็วของแสง (v) น้อย

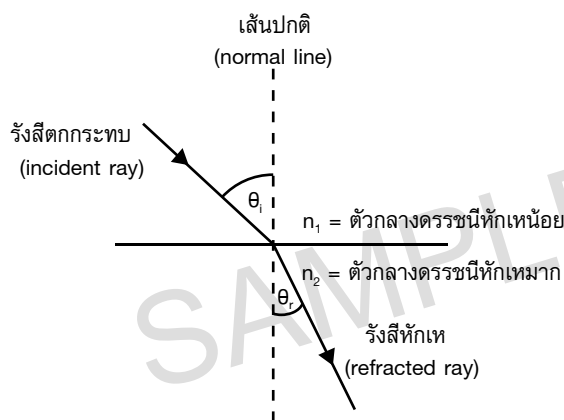
กฎการหักเหของแสง (law of refraction)

เมื่อแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่งโดยทิศทางที่ทำมุมกับเส้นแนวตั้งฉากกับรอยต่อตัวกลางหรือที่เรียกว่าเส้นปกติ แสงจะเกิดการหักเห ทำให้มุมของทิศทางของแสงที่ทำกับแนวตั้งฉากเปลี่ยนแปลงไป โดยถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่โปร่งกว่า (ดรรชนีหักเหต่ำ) ไปยังตัวกลางที่ทึบกว่า (ดรรชนีหักเหสูง) ทิศทางของแสงจะเบนเข้าหาเส้นแนวตั้งฉาก (ขนาดมุมเล็กลง) แต่ถ้าแสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่ทึบกว่า (ดรรชนีหักเหสูง) ไปยังตัวกลางที่โปร่งกว่า (ดรรชนีหักเหต่ำ) ทิศทางของแสงจะเบนออกจากเส้นแนวตั้งฉาก (ขนาดมุมใหญ่ขึ้น)

กฎการหักเหของแสงนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กฎของสเนลล์ (Snell's law)

การหักเหของแสงในลักษณะต่างๆ

1. แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหต่ำด้วยรังสีตกกระทบ ไปยังตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหสูงจะเกิดรังสีหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติ ทำให้มุมหักเหมีค่าน้อยกว่ามุมตกกระทบ
- ตัวอย่างการเกิดการหักเหลักษณะนี้ เช่น แสงเดินทางจากอากาศไปยังน้ำ หรือเดินทางจากน้ำไปยังแก้ว เป็นต้น

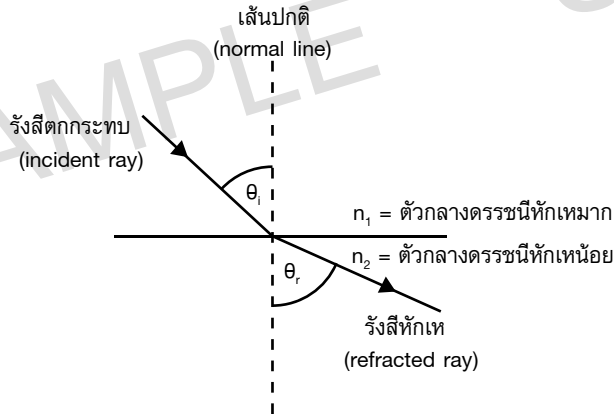


เมื่อ θ_i คือ มุมตกกระทบ (angle of incident)

θ_r คือ มุมหักเห (angle of refraction)

2. แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากกว่ารังสีตกกระทบไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่า จะเกิดรังสีหักเหเบนออกจากเส้นปกติ ทำให้มุมหักเหจะมีค่ามากกว่ามุมตกกระทบ

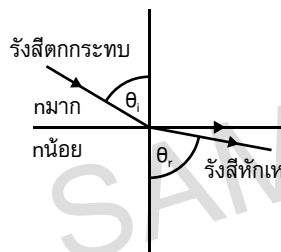
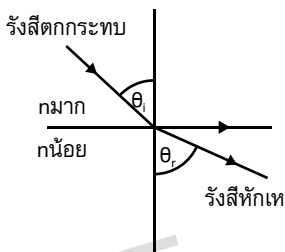
ตัวอย่างการเกิดการหักเหลักษณะนี้ เช่น แสงเดินทางจากแก้วไปยังน้ำ หรือเดินทางจากน้ำไปยังอากาศ เป็นต้น



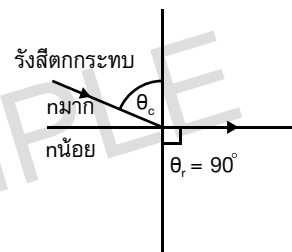
เมื่อ θ_i คือ มุมตกกระทบ (angle of incident)

θ_r คือ มุมหักเห (angle of refraction)

3. ในกรณีที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหมากไปยังตัวกลางที่มีดัชนีหักเหน้อยกว่า ถ้าให้รังสีตกกระทบทำมุมกับเส้นปกติมากขึ้นเรื่อยๆ (มุมตกกระทบมีค่ามากขึ้น) รังสีหักเหเบนออกจากเส้นปกติมากขึ้นเรื่อยๆ เช่นกัน เมื่อมุมตกกระทบมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง จนทำให้รังสีหักเหเบนไปตามรอยต่อระหว่างตัวกลาง หรือมุมหักเหเท่ากับ 90 องศา จะเรียกมุมตกกระทบนี้ว่า **มุมวิกฤต (critical angle) (θ_c)** ดังรูปต่อไปนี้

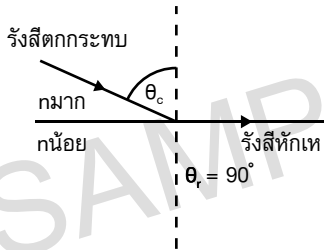


เมื่อมุมตกกระทบเพิ่มขึ้น
มุมหักเหเพิ่มขึ้น



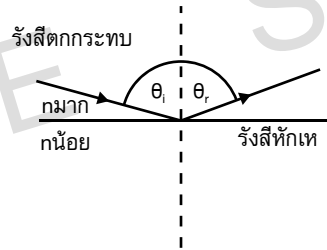
มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต (θ_c)
มุมหักเห = 90°

ในกรณีที่มุมตกกระทบ (θ_i) มากกว่ามุมวิกฤต (θ_c) จะไม่เกิดการหักเหของแสงเกิดขึ้น แต่เกิดการสะท้อนกลับหมด (total internal reflection) ภายในตัวกลางเดิม ซึ่งหมายความว่า มุมวิกฤตคือมุมตกกระทบที่มีค่ามากที่สุดที่สามารถทำให้เกิดการหักเหของแสง การสะท้อนกลับหมดยังคงเป็นไปตามกฎการสะท้อนแสงคือ มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



มุมตกกระทบเท่ากับมุมวิกฤต (θ_c)

มุมหักเห = 90°



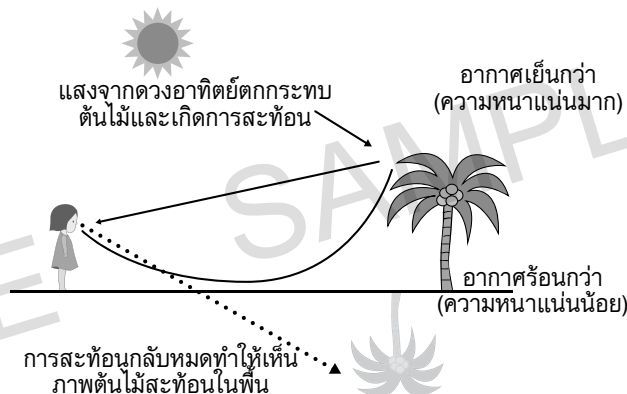
เมื่อมุม $\theta_i > \theta_c$

เกิดการสะท้อนกลับหมดและ $\theta_i = \theta_r$

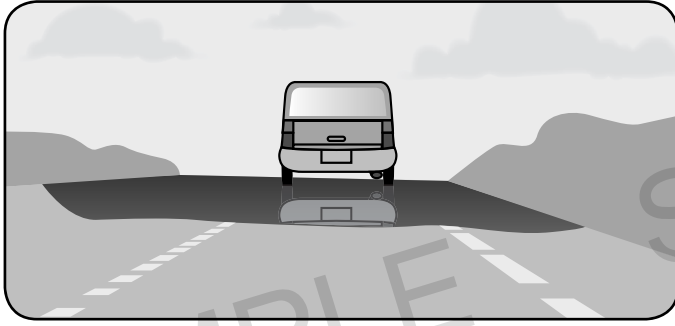
ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการหักเหหรือการสะท้อนกลับหมด

ปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากการหักเหหรือการสะท้อนกลับหมด มีตัวอย่างดังนี้

1. **มิราจ (mirage)** เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติชนิดหนึ่ง มักเกิดขึ้นในเวลาที่มีแดดร้อนจัด เช่น เห็นพื้นถนนเปียกและมีภาพรถยนต์สะท้อนปรากฏขึ้นในพื้นถนน คนในทะเลทรายเห็นต้นไม้ต้นหนึ่งและมีอีกหนึ่งต้นสะท้อนในพื้นทราย หรือแม้กระทั่งเห็นแหล่งน้ำในทะเลทราย ปรากฏการณ์มิราจเกิดจากในวันที่มีอากาศร้อนจัด อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ใกล้พื้นจะสูงกว่าอุณหภูมิที่อยู่เหนือพื้นออกไป อากาศที่อยู่ใกล้พื้นจึงมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศที่อยู่สูงขึ้นไป ดังนั้น เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์เดินทางลงมายังพื้นจะเกิดการหักเหของแสงจากอากาศที่อยู่สูงจากพื้นซึ่งมีความหนาแน่นมาก (ดรรชนีหักเหมาก) ไปยังอากาศที่อยู่ใกล้พื้นซึ่งมีความหนาแน่นน้อย (ดรรชนีหักเหน้อย) ประกอบกับมุมตกกระทบของแสงมีค่ามากเนื่องจากดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง ส่งผลให้แสงที่ตาเรามองเห็นเป็นแสงที่มาจากท้องฟ้าสะท้อนพื้นเข้ามาที่ตาเรา จึงเห็นเป็นภาพสะท้อนในพื้น ดังรูป

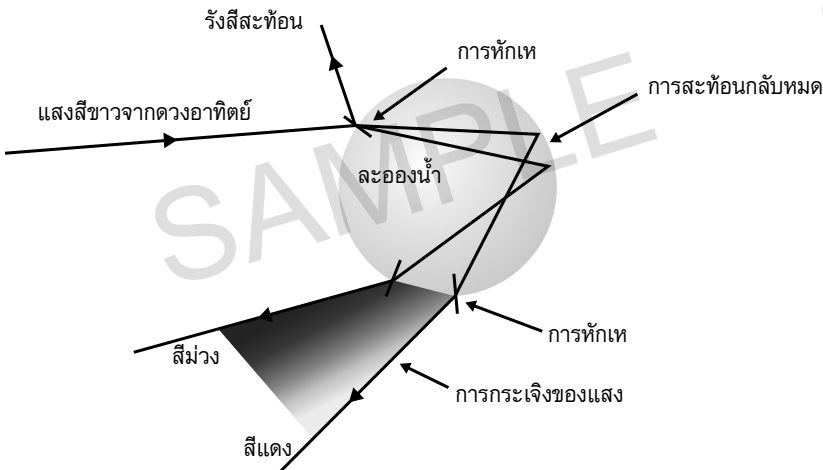


การสะท้อนกลับหมดของแสงเมื่ออุณหภูมิของอากาศแตกต่างกัน



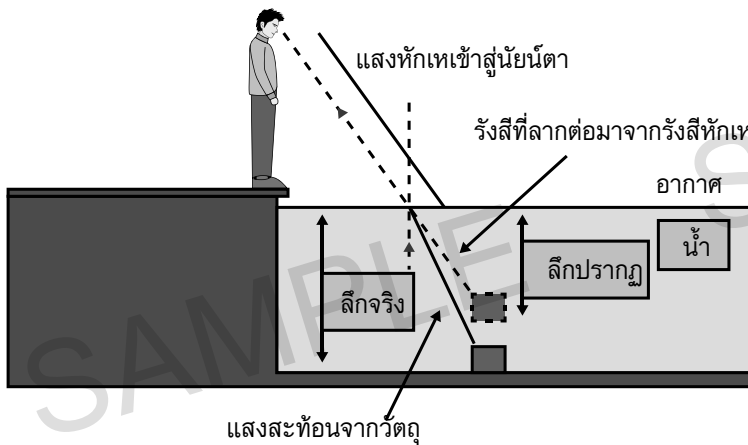
ปรากฏการณ์มีراج ทำให้เห็นพื้นถนนเปียกและมีภาพรถยนต์สะท้อนในพื้นที่ถนน

2. **รุ้งกินน้ำ (rainbow)** หลังฝนตกมักมีละอองน้ำ เมื่อแสงขาวจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านละอองน้ำในอากาศ แสงจะเกิดการหักเห การกระจายของแสง และการสะท้อนกลับหมด ทำให้ตาของเรามองเห็นเป็นแถบสีต่างๆ ขึ้น ตั้งแต่สีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง หรือที่เรียกว่า รุ้งกินน้ำ



การหักเห การกระจาย และการสะท้อนกลับหมดของแสง ทำให้เกิดรุ้งกินน้ำ

3. **การเห็นวัตถุที่อยู่ในน้ำอยู่ตื้นกว่าความเป็นจริง** เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของแสง ยกตัวอย่างจากรูป คนยืนอยู่ขอบสระน้ำ และมองไปที่วัตถุที่วางอยู่ในน้ำบริเวณพื้นสระ แสงจะตกกระทบที่วัตถุและสะท้อนขึ้นมาโดยเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำไปอากาศ เนื่องจากน้ำและอากาศมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการหักเหของแสงแล้วจึงเข้าสู่เนยน์ตา แสงที่หักเหส่งผลให้มองเห็นวัตถุอยู่ตื้นกว่าความเป็นจริง โดยที่ระยะความลึกที่มองเห็นเรียกว่า **ระยะลึกปรากฏ (apparent depth)** และระยะความลึกที่วัตถุอยู่จริงเรียกว่า **ระยะลึกจริง (real depth)**



การหักเหของแสงทำให้มองเห็นวัตถุในน้ำอยู่ในตำแหน่งที่ตื้นกว่าความเป็นจริง



การหักเหของแสงทำให้มองเห็นแท่งดินสอที่อยู่ในน้ำไม่เป็นแท่งตรง

เลนส์ (lens)

เลนส์ เป็นวัสดุโปร่งใสมักทำด้วยแก้วใส โดยมีรูปร่างผิวหน้าโค้งเป็นส่วนโค้งของวงกลม ถ้าส่วนขอบของเลนส์บางกว่าส่วนที่อยู่ตรงกลาง เรียกว่า **เลนส์นูน (convex lens)** แต่ถ้าส่วนขอบของเลนส์หนากว่าส่วนที่อยู่ตรงกลาง เรียกว่า **เลนส์เว้า (concave lens)**

1. **เลนส์นูน (convex lens)** เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์ รังสีของแสงจะหักเหไปรวมกันและตัดรวมกันด้านหลังเลนส์ ซึ่งเรียกว่าจุดโฟกัสจริง (real principal focus)



เลนส์นูน 2 หน้า
(double convex)

เลนส์นูนแฉกมนานา
(plano-convex)

เลนส์นูนแฉกเว้า
(concavo-convex)

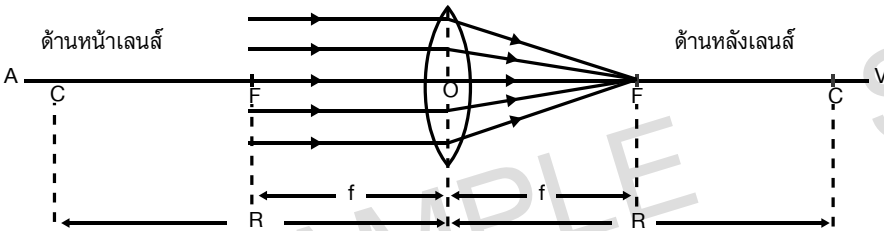
2. **เลนส์เว้า (concave lens)** เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์ รังสีของแสงจะหักเหกระจายหรือถ่างออกไปซึ่งไม่ตัดกันที่ด้านหลังเลนส์ แต่ถ้าต่อแนวรังสีหักเหมาทางด้านหน้าเลนส์ (ด้านเดียวกันกับแสงที่เดินทางมาตกกระทบเลนส์) จะมาตัดกันด้านหน้าเลนส์ ซึ่งเรียกว่าจุดโฟกัสเสมือน (virtual principal focus)



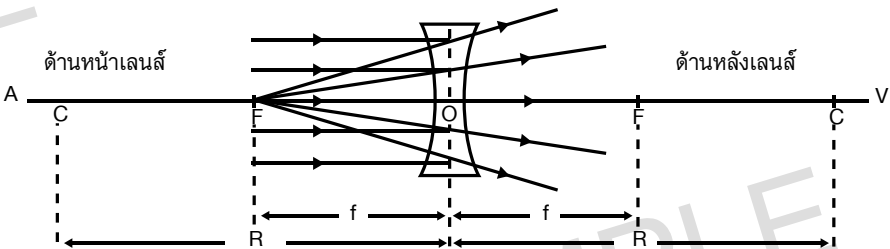
เลนส์เว้า 2 หน้า
(double concave)

เลนส์เว้าแกมระนาบ
(plano-concave)

เลนส์เว้าแกมเว้า
(concavo-concave)



การหักเหของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์นูน



การหักเหของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์เว้า

ส่วนประกอบของเลนส์

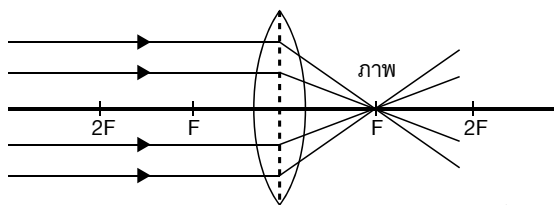
- O คือ จุดใจกลางเลนส์ (optical center)
C คือ จุดศูนย์กลางความโค้ง (center of curvature)
R คือ รัศมีความโค้ง (radius of curvature) เส้นที่ลากจากจุดศูนย์กลางความโค้งไปยังจุดศูนย์กลางเลนส์
F คือ จุดโฟกัส (principal focus)
เส้น AB คือ เส้นแกนमुखสำคัญ (principal axis)
f คือ ความยาวโฟกัส (focal length) เป็นระยะจากจุดโฟกัสถึงจุดศูนย์กลางเลนส์ ความยาวโฟกัสมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีความโค้งเสมอ $R = 2f$

การเขียนภาพที่เกิดจากการหักเหของแสงผ่านเลนส์

- รังสีเส้นที่หนึ่ง ลากเส้นจากส่วนปลายของวัตถุขนานกับเส้นแกนमुखสำคัญเพื่อตกกระทบเลนส์ แล้วหักเหผ่านจุดโฟกัสด้านหลังเลนส์ (จุดโฟกัสจริง) สำหรับเลนส์นูน แต่ถ้าเป็นเลนส์เว้า รังสีหักเหจะถ่างออกในแนวผ่านจุดโฟกัสด้านหน้ากระจก (จุดโฟกัสเสมือน) โดยลากเส้นต่อจากรังสีหักเหเสมือนมาผ่านจุดโฟกัสด้านหน้ากระจก
- รังสีเส้นที่สอง ลากเส้นจากส่วนปลายของวัตถุผ่านจุดใจกลางเลนส์ โดยที่รังสีเส้นนี้ไม่เกิดการหักเห
- จุดที่เส้นทั้งสองตัดกันจะเกิดเป็นภาพ ซึ่งถ้าสองเส้นตัดกันจริง ภาพที่ได้จะเป็นภาพจริง แต่ถ้าเส้นตัดกันไม่จริง ภาพที่ได้จะเป็นภาพเสมือน

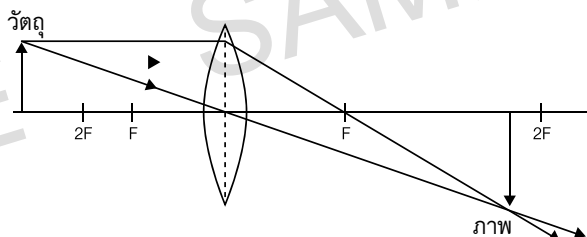
ภาพที่เกิดจากการหักเหของแสงผ่านเลนส์นูน เมื่อวางวัตถุในตำแหน่งต่างๆ

- ตำแหน่งวัตถุอยู่ไกลมากหรือระยะอนันต์ (∞)



เกิดภาพจริงหัวกลับ ขนาดเล็กมาก อยู่ที่จุด F และอยู่ด้านหลังเลนส์

- ระยะวัตถุอยู่ไกลกว่ารัศมีความโค้งแต่ไม่ถึงระยะอนันต์



เกิดภาพจริงหัวกลับ ขนาดเล็กกว่าวัตถุ อยู่ระหว่างจุด F และ C และอยู่ด้านหลังเลนส์