



MathStandard

เอกสารประกอบการเรียน

เทคโนโลยีและวิทยาการคำนวณ

เรื่อง แสงและเสียง

เตรียมสอบเข้า ม.4

โครงการห้องเรียนวิทยาศาสตร์ วมว. รอบ 2

www.mathstandard.com

คำชี้แจง

แสงและเสียง

จัดทำโดย MathStandard

ฉบับ 2.0

แสงและเสียงเกี่ยวข้องกับการรับรู้ การวัด และการส่งข้อมูลในระบบเทคโนโลยี การศึกษาปรากฏการณ์เหล่านี้ต้องพิจารณาทั้งเส้นทางการเดินทาง การเปลี่ยนรูปสัญญาณ และขอบเขตของแบบจำลองที่ใช้คำนวณ

เนื้อหาครอบคลุมกฎการสะท้อนและการหักเห การเกิดภาพในกล้องรูเข็ม การบันทึกภาพดิจิทัลและภาพตามเวลา การเปลี่ยนสัญญาณผ่านอุปกรณ์เสียง ตลอดจนความเข้มเสียงและการเลือกแบบภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน เริ่มจากนิยามและความสัมพันธ์พื้นฐาน แล้วขยายสู่การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนหรือมีคำตอบเป็นไปได้อย่างไรค่า

พื้นฐานที่ใช้ประกอบด้วยอัตราส่วน สามเหลี่ยมคล้าย สมการ อสมการ จำนวนเต็ม การแปลงหน่วย และการอ่านตาราง ไม่จำเป็นต้องคำนวณมุมวิกฤตด้วยตรีโกณมิติหรือระดับเสียงด้วยลอการิทึม โดยใช้ค่าหรือตารางที่กำหนดประกอบการวิเคราะห์

สัญลักษณ์และแบบจำลองกำหนดในแต่ละหัวข้อ ต้องแยกมุมกับผิวออกจากมุมกับเส้นปกติ แยกความยาวภาพออกจากจำนวนพิกเซล และแยกความเข้มเสียงออกจากกระดิ่งเดซิเบล การสรุปว่าระบบผ่านข้อกำหนดต้องตรวจทุกเงื่อนไข รวมถึงค่าที่ขอบและการปิดจำนวนเต็ม

แบบฝึกหัดแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 4 คะแนน ให้แสดงเหตุผล การคำนวณ หรือการเปรียบเทียบตามคำถาม วิธีอื่นที่รักษาเงื่อนไขและให้เหตุผลถูกต้องได้รับคะแนนตามองค์ประกอบเดียวกัน องค์ประกอบที่มีหลายขั้นให้คะแนนบางส่วนตามความถูกต้อง โดยคะแนนรวมไม่เกินที่กำหนด

ค่าของอุปกรณ์และสถานการณ์เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานที่ระบุ การประเมินอุปกรณ์ใช้งานจริงต้องพิจารณาพิกัดและสภาพแวดล้อมเพิ่มเติม ไม่ใช่ผลคำนวณระดับเสียงในเอกสารนี้เป็นข้อรับรองด้านสุขภาพหรือความปลอดภัย

สารบัญ

เนื้อหาและแบบฝึกหัด

ตอนที่ 1 แสงและเส้นทางรังสี	4
แบบฝึกหัดตอนที่ 1	10
ตอนที่ 2 การเกิดภาพและขนาดภาพ	12
แบบฝึกหัดตอนที่ 2	17
ตอนที่ 3 ภาพดิจิทัลและการบันทึกตามเวลา	19
แบบฝึกหัดตอนที่ 3	25
ตอนที่ 4 เสียงและการเปลี่ยนสัญญาณ	27
แบบฝึกหัดตอนที่ 4	32
ตอนที่ 5 ความเข้มเสียงและการประยุกต์	34
แบบฝึกหัดตอนที่ 5	40
สรุปสาระสำคัญ	42
แบบฝึกหัดบูรณาการ	43
เฉลยเฉพาะคำตอบ	47
เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ	50
เอกสารอ้างอิง	61

ตอนที่ 1

แสงและเส้นทางรังสี

การอธิบายเส้นทางของแสงเริ่มจากการระบุแหล่งกำเนิด ผิวที่แสงกระทบ และตัวกลางที่แสงเดินทางผ่าน แบบจำลองรังสีใช้เส้นพร้อมลูกศรแทนทิศทางการส่งพลังงาน จึงช่วยแยกการสะท้อน การหักเห และการเกิดภาพ โดยไม่จำเป็นต้องวัดความกว้างของลำแสงจริง

1.1 รังสี ผิว และเส้นปกติ

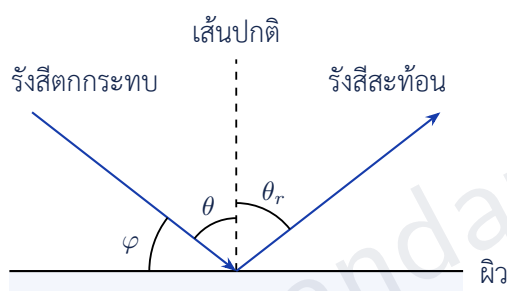
ในตัวกลางเนื้อเดียวที่สมบัติไม่เปลี่ยนตามตำแหน่ง ใช้แบบจำลองว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อถึงรอยต่อระหว่างตัวกลาง ทิศทางอาจเปลี่ยน จุดตกกระทบเป็นจุดอ้างอิงสำหรับสร้างเส้นปกติ ซึ่งตั้งฉากกับผิว ณ จุดนั้น หากผิวเอียง เส้นปกติต้องเอียงตาม ไม่ใช่ใช้แนวตั้งของหน้ากระดาษเสมอไป

มุมตกกระทบวัดระหว่างแนวรังสีที่ลากย้อนจากจุดตกกระทบไปหาแหล่งกำเนิดกับเส้นปกติด้านที่แสงเข้ามา ส่วนมุมกับผิววัดจากแนวรังสีเดียวกันถึงแนวผิวใกล้เคียง ต้องระบุด้านและช่วงมุมก่อนนำมาบวกกัน

มุมจากแนวอ้างอิงสองแนว

$$\theta + \varphi = 90^\circ$$

θ คือมุมตกกระทบจากเส้นปกติ และ φ คือมุมระหว่างแนวรังสีกับแนวผิวด้านที่กำหนด ณ จุดตกกระทบ โดยทั้งสองมุมอยู่ในช่วง 0° ถึง 90° รวมค่าปลายช่วง เมื่อรังสีตกตามเส้นปกติ จะมี $\theta = 0^\circ$ ไม่ใช่ 90°



ภาพที่ 1 มุม θ วัดจากเส้นปกติ ส่วน φ วัดจากผิว ลูกศรแสดงทิศการเดินทางของแสง

ตัวอย่างที่ 1 แยกมุมตกกระทบออกจากมุมกับผิว

แสงทำมุม 32° กับผิวกระจกเงาราบ จงหามุมตกกระทบและมุมสะท้อน พร้อมอธิบายเหตุที่ไม่ใช่ 32° เป็นมุมตกกระทบ

วิธีคิด ผิวกับเส้นปกติตั้งฉากกัน จึงได้มุมตกกระทบ $90 - 32 = 58^\circ$ กฎการสะท้อนให้มุมสะท้อนจากเส้นปกติเท่ากับ 58° ค่า 32° ใช้แนวผิวเป็นฐาน จึงเป็นคนละมุม

ตอบ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนเท่ากับ 58°

1.2 กฎการสะท้อนและการติดตามหลายผิว

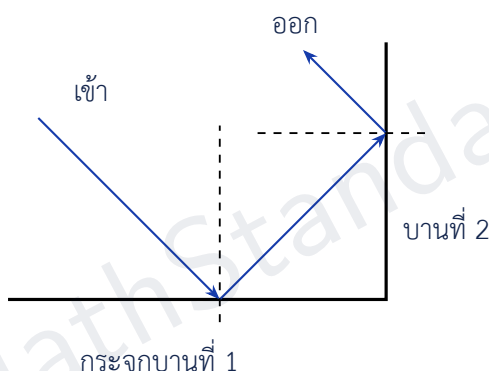
รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติอยู่ในระนาบเดียวกัน โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ ผิวเรียบทำให้รังสีขนานสะท้อนไปในแนวสอดคล้องกัน ผิวขรุขระมีเส้นปกติย่อยต่างแนวกันจึงกระจายแสงหลายทิศ แต่การสะท้อนที่แต่ละจุดยังเป็นไปตามกฎเดียวกัน

ใช้เส้นปกติของผิวที่กำลังพิจารณา

$$\theta_r = \theta_i$$

θ_i คือมุมตกกระทบ และ θ_r คือมุมสะท้อน วัดจากเส้นปกติของผิวเดียวกัน หน่วยองศา รังสีที่ออกจากผิวแรกเป็นรังสีเข้าของผิวถัดไป แต่เส้นปกติอาจเปลี่ยนแนว

ถ้ารังสีกระทบกระจกสองบานที่ตั้งฉากกันในระนาบเดียวกันจริง การสะท้อนแต่ละครั้งกลับองค์ประกอบทิศทางที่ตั้งฉากกับกระจก เมื่อสะท้อนครบสองบาน รังสีออกจะขนานและสวนทางกับรังสีเข้า ข้อสรุปนี้ต้องมีเงื่อนไขว่ารังสีไม่พลาดบานที่สอง



ภาพที่ 2 กระจกแนวนอนมีเส้นปกติแนวตั้ง ส่วนกระจกแนวตั้งมีเส้นปกติแนวนอน

ตัวอย่างที่ 2 รังสีสะท้อนสองครั้ง

รังสีตกกระทบกระจกแนวนอนโดยทำมุม 38° กับผิว แล้วสะท้อนขึ้นไปกระทบกระจกแนวตั้งที่ต่อกันเป็นมุมฉาก จงหามุมตกกระทบทั้งสองบานและทิศออกเทียบกับทิศเข้า

วิธีคิด บานแรกมีเส้นปกติแนวตั้ง จึงได้ $90 - 38 = 52^\circ$ หลังสะท้อนรังสีทำมุม 38° กับแนวนอน ซึ่งเป็นเส้นปกติของบานที่สอง มุมตกกระทบครั้งที่สองจึงเป็น 38° การสะท้อนสองครั้งกลับทั้งองค์ประกอบแนวนอนและแนวตั้ง

ตอบ 52° และ 38° รังสีออกขนานและสวนทางกับรังสีเข้า

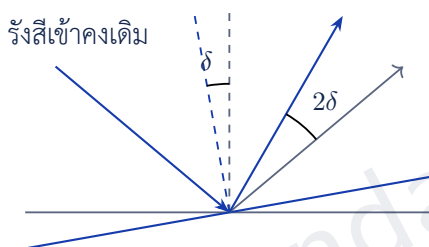
1.3 การหมุนกระจกและมุมระหว่างรังสี

เมื่อหมุนกระจกเงาราบรอบจุดตกกระทบ โดยตรึงทึกรังสีเข้า เส้นปกติหมุนเท่ากับผิว การรักษาความสมมาตรของแขนรังสีทั้งสองด้านของเส้นปกติทำให้ทึกรังสีสะท้อนเปลี่ยนสองเท่าของมุมหมุนกระจก ใช้ในระนาบเดียวกันและช่วงที่รังสียังกระทบผิวด้านเดิม

แยกมุมหมุนออกจากมุมตกกระทบ

$$|\Delta\alpha_r| = 2|\delta|$$

δ คือมุมหมุนกระจก และ $\Delta\alpha_r$ คือการเปลี่ยนทิศของรังสีสะท้อน หน่วยองศา ส่วนมุมระหว่างแขนรังสีที่ลากจากจุดตกกระทบกลับไปหาแหล่งกับออกไปตามรังสีสะท้อนเท่ากับ $2\theta_i$ ซึ่งเป็นคนละมุมกับการเปลี่ยนทิศตามลูกศรการเดินทาง



ภาพที่ 3 กระจก เส้นปกติ และรังสีสะท้อนใช้สีเทาแทนก่อนหมุน และสีน้ำเงินแทนหลังหมุน เมื่อเส้นปกติหมุน δ รังสีสะท้อนเปลี่ยนแนว 2δ ส่วนรังสีตกกระทบคงเดิม

ตัวอย่างที่ 3 ช่วงปรับของกระจก

ระบบต้องเปลี่ยนทิศรังสีสะท้อน 14° รังสีเข้าคงเดิม กลไกหมุนกระจกได้ที่ละ 0.5° และหมุนได้ไม่เกิน 6° จงหาจำนวนขั้นที่ต้องใช้และพิจารณาว่ากลไกนี้ทำได้หรือไม่

วิธีคิด กระจกต้องหมุน $14/2 = 7^\circ$ จึงต้องใช้ $7/0.5 = 14$ ขั้น แต่กลไกทำได้เพียง $6/0.5 = 12$ ขั้น ทำให้รังสีเปลี่ยนได้สูงสุด 12° ซึ่งยังขาด 2°

ตอบ ต้องใช้ 14 ขั้น กลไกเดิมทำไม่ได้ เปลี่ยนแนวรังสีได้สูงสุด 12°

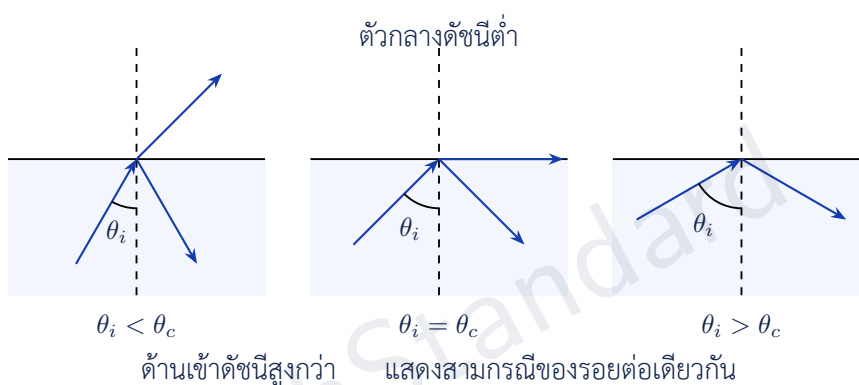
1.4 การหักเหและการสะท้อนกลับหมด

เมื่อแสงข้ามรอยต่อ อัตราเร็วอาจเปลี่ยน ดัชนีหักเห $n = c/v$ เปรียบเทียบอัตราเร็วแสงในสุญญากาศ c กับในตัวกลาง v จึงไม่มีหน่วย ดัชนีมากหมายถึงอัตราเร็วช้า สำหรับการตกกระทบเฉียงจากดัชนีน้อยไปมาก รังสีหักเหเบนเข้าใกล้เส้นปกติ ส่วนจากดัชนีมากไปน้อยรังสีหักเหเบนออก หากตกตามเส้นปกติ แนวไม่หักงอแม้อัตราเร็วเปลี่ยน

มุมวิกฤตเป็นมุมตกกระทบจากตัวกลางดัชนีสูงไปต่ำที่ทำให้รังสีหักเหตามแนวผิว มุมนี้เป็นสมบัติของคู่ตัวกลางและสภาวะที่กำหนด ไม่ใช่ค่าของวัสดุชิ้นเดียวโดยไม่ระบุตัวกลางภายนอก

เงื่อนไขการสะท้อนกลับหมด

ต้องมี $n_1 > n_2$ และ $\theta_i > \theta_c$ โดย n_1, n_2 เป็นดัชนีด้านเข้าและด้านออก θ_i คือมุมตกกระทบ และ θ_c คือมุมวิกฤตของคู่นั้น เมื่อ $\theta_i = \theta_c$ เป็นกรณีขอบ จึงไม่ผ่านเงื่อนไขมากกว่าอย่างเข้ม



ภาพที่ 4 แสงเข้าจากตัวกลางดัชนีสูงกว่า กรณีต่ำกว่าและเท่ามุมวิกฤตยังแยกจากกรณีมากกว่า

ตัวอย่างที่ 4 ตรวจทิศทางของคู่ตัวกลาง

ตัวกลาง A มีอัตราเร็วแสง 2×10^8 m/s ให้ $c = 3 \times 10^8$ m/s ตัวกลาง B มีดัชนี 1.0 มุมวิกฤตจาก A ไป B ให้ใช้ 42° จงจำแนกกรณีจาก A ไป B ที่มุม $40^\circ, 42^\circ, 48^\circ$ และกรณีจาก B ไป A ที่ 48°

วิธีคิด ดัชนี A คือ $3/2 = 1.5$ มากกว่า B จาก A ไป B ที่ 40° ยังมีรังสีหักเห ที่ 42° เป็นกรณีขอบ ส่วน 48° มากกว่ามุมวิกฤตจึงสะท้อนกลับหมด การเดินจาก B ไป A เป็นจากดัชนีน้อยไปมาก จึงไม่เข้าเงื่อนไขสะท้อนกลับหมดแม้ตัวเลขมุมเท่าเดิม

ตอบ สะท้อนกลับหมดเฉพาะจาก A ไป B ที่ 48°

1.5 การรับประกันมุมเมื่อมีความคลาดเคลื่อน

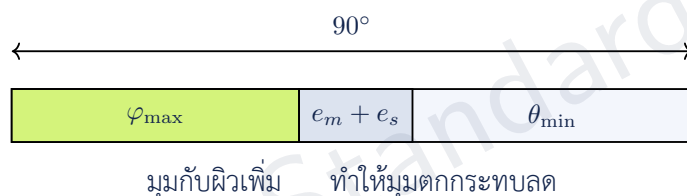
การวัดและการติดตั้งอาจเปลี่ยนมุมจริงจากค่าระบุ หากต้องรับประกันทุกกรณี ต้องพิจารณาค่าที่ทำให้เงื่อนไขผ่านได้ยากที่สุด เมื่อมุมกับผิวเพิ่ม มุมตกกระทบจะลด หากสองแหล่งคลาดเคลื่อนไปทิศเดียวกันได้พร้อมกัน ต้องรวมขอบเขตทั้งสอง ไม่เฉลี่ยหรือหักล้างกันโดยไม่มีข้อมูล

ขอบล่างของมุมตกกระทบ

$$\theta_{\min} = 90^\circ - \varphi_{\max} - e_m - e_s$$

$\varphi_{\max}$ คือมุมกับผิวระบุที่มากที่สุดในกลุ่ม e_m, e_s คือขอบเขตความคลาดเคลื่อนของการวัดและการติดตั้ง หน่วยองศา สูตรใช้เมื่อทุกมุมยังอยู่ในช่วง 0° ถึง 90° และความคลาดเคลื่อนอาจเสียเปรียบพร้อมกัน ต้องมี $\theta_{\min} > \theta_c$ จึงรับประกันทุกจุด

ค่าขอบที่เป็นจำนวนเต็มต้องตรวจทั้งค่าที่เลือกและจำนวนเต็มถัดไป การปิดเศษใกล้ที่สุดอาจทำให้ผิดเงื่อนไข โดยเฉพาะเมื่อค่าที่เท่าขอบไม่อนุญาต



ภาพที่ 5 ผลของมุมกับผิวและขอบเขตคลาดเคลื่อนต้องอยู่ภายในมุมฉากเดียวกัน

ตัวอย่างที่ 5 เลือกวัสดุและขอบเขตการติดตั้ง

แสงเดินจากแท่งดัชนีสูงออกสู่ภายนอกดัชนีต่ำ วัดมุมกับผิวได้ $25, 29, 27$ องศา คลาดเคลื่อนการวัดไม่เกิน 1° และติดตั้งไม่เกิน 2° ซึ่งเสียเปรียบพร้อมกันได้ วัสดุ A,B,C มีมุมวิกฤต $58, 56, 54$ องศา และราคา $4, 7, 10$ หน่วยตามลำดับ จงเลือกแบบราคาต่ำสุดที่รับประกันทุกจุด หากมุมวิกฤตของแบบที่เลือกเปลี่ยนเป็น 58° จงหาขอบเขตติดตั้งใหม่จำนวนเต็มสูงสุด โดยการวัดคงเดิม

วิธีคิด มุมตกกระทบระบุน้อยที่สุดคือ $90 - 29 = 61^\circ$ เพื่อแล้วเหลือ $61 - 1 - 2 = 58^\circ$ A เท่าขอบจึงไม่ผ่าน B,C ผ่าน จึงเลือก B เมื่อมุมวิกฤตใหม่ 58° ให้ขอบเขตติดตั้งเป็น d จะต้องมี $61 - 1 - d > 58$ หรือ $d < 2$ จำนวนเต็มไม่ติดลบสูงสุดคือ 1 ตรวจแล้วได้มุมอย่างน้อย 59° แต่ $d = 2$ ให้เท่าขอบ

ตอบ เลือก B ราคา 7 หน่วย และปรับขอบเขตติดตั้งเป็นไม่เกิน 1°

แบบฝึกหัดตอนที่ 1

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ให้แสดงเหตุผล การคำนวณ หรือตารางตามคำถาม โดยรักษาหน่วยและสมมติฐานที่กำหนด

ข้อ 1 รังสีทำมุม 26° กับผิวกระจกเงาราบ จงหามุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมระหว่างแขนรังสีที่ลากจากจุดตกกระทบกลับหาแหล่งกับออกไปตามรังสีสะท้อน พร้อมระบุแนวอ้างอิง

ตอบ

ข้อ 2 กระจกแนวนอนและแนวตั้งต่อเป็นมุมฉาก รังสีทำมุม 41° กับบานแนวนอนแล้วสะท้อนกระทบบานแนวตั้งจริง จงหามุมตกกระทบแต่ละบานและอธิบายทิศสุดท้าย

ตอบ

ข้อ 3 รังสีเข้าคงเดิม กลไกหมุนกระจกทีละ 0.4° ได้มากที่สุด 10 ครั้ง ต้องการเปลี่ยนทิศรังสีสะท้อนอย่างน้อย 7° จงหาขั้นต่ำที่ผ่านและตรวจขีดจำกัด

ตอบ

ข้อ 4 ตัวกลาง A ให้แสงเร็ว 2×10^8 m/s และ B มีดัชนี 1.2 ให้ $c = 3 \times 10^8$ m/s มุมวิกฤตจาก A ไป B เท่ากับ 53° ตามข้อมูล จงพิจารณา A ไป B ที่ $53^\circ, 58^\circ$ และ B ไป A ที่ 58° ว่ากรณีใดสะท้อนกลับหมด พร้อมเหตุผล

ตอบ

ข้อ 5 แสงภายในแท่งดัชนีสูงออกสู่ภายนอกดัชนีต่ำ มุมกับผิวที่วัดได้ 24, 30, 28, 27 องศา คลาดเคลื่อนวัดไม่เกิน 1° ติดตั้งไม่เกิน 2° และอาจเสียเปรียบพร้อมกัน วัสดุ A,B,C มีมุมวิกฤต 57, 55, 52 องศา ราคา 3, 6, 9 หน่วยตามลำดับ จงเลือกวัสดุราคาต่ำสุดที่รับประกันทุกจุดและตรวจทุกวัสดุ

ตอบ

ข้อ 6 มุมกับผิวมากที่สุดที่ระบุคือ 32° แสงเข้าจากดัชนีสูงไปต่ำ มุมวิกฤต 54° คลาดเคลื่อนวัดไม่เกิน 1° และติดตั้งไม่เกิน d องศา สองแหล่งเสียเปรียบพร้อมกันได้ จงหาค่า d จำนวนเต็มไม่ติดลบสูงสุดที่รับประกันการสะท้อนกลับหมด แล้วพิจารณาถ้ามุมวิกฤตเพิ่มเป็น 57°

ตอบ

เฉลยวิธีคิดและเกณฑ์ตรวจ

การวิเคราะห์และการให้เหตุผล

ข้อ 1

วิธีคิด ผิวตั้งฉากกับเส้นปกติ จึงมุมตกกระทบ $90 - 26 = 64^\circ$ มุมสะท้อนจากเส้นปกติเท่ากับ 64° แขนรังสีทั้งสองอยู่คนละด้านเส้นปกติ จึงมีมุมรวม 128° ซึ่งไม่ใช่มุมเปลี่ยนทิศตามลูกศร

ตอบ $64^\circ, 64^\circ, 128^\circ$

กลับไปโจทย์ข้อ 1

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): แยกแนวผิวกับเส้นปกติ (1 คะแนน) หามุมตกกระทบ (1 คะแนน) ใช้กฎสะท้อน (1 คะแนน) หามุมระหว่างแขนรังสี (1 คะแนน)

ข้อ 2

วิธีคิด บานแรกเส้นปกติแนวตั้ง จึง $90 - 41 = 49^\circ$ รังสีสะท้อนทำมุม 41° กับแนวนอนซึ่งเป็นเส้นปกติ บานที่สอง จึงได้ 41° เมื่อสะท้อนครบทั้งสอง องค์ประกอบทิศทั้งสองแกนกลับทิศ รังสีสุดท้ายจึงขนานและสวนทางกับขาเข้า

ตอบ $49^\circ, 41^\circ$ และทิศออกสวนทางกับทิศเข้า

กลับไปโจทย์ข้อ 2

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): เส้นปกติบานแรก (1 คะแนน) มุมแรก (1 คะแนน) เส้นปกติและมุมที่สอง (1 คะแนน) อธิบายทิศสุดท้าย (1 คะแนน)

ข้อ 3

วิธีคิด หนึ่งชั้นเปลี่ยนรังสี $2(0.4) = 0.8^\circ$ ต้อง $0.8n \geq 7$ จึง $n \geq 8.75$ ชั้นต่ำเกินไป ให้ 7.2° แปรชั้นได้ 6.4° ไม่ผ่าน เก้าชั้นไม่เกินสิบจึงทำได้

ตอบ 9 ชั้น เปลี่ยนแนว 7.2°

กลับไปโจทย์ข้อ 3

เกณฑ์ตรวจ (4 คะแนน): สองเท่ามุมหมุน (1 คะแนน) ตั้งอสมการ (1 คะแนน) เลือกและตรวจแปรชั้น (1 คะแนน) ตรวจขีดจำกัดสิบชั้น (1 คะแนน)