



ชุดกิจกรรมการเรียนรู้

ที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ

เสียง

ชุดที่ 6

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก

static sound source



moving sound source



นายจรัชชัย กุณแสน

ตำแหน่ง ครู วิทยฐานะ ครูชำนาญการ

โรงเรียนประสาททิพย์พิทยาคม

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 21

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ



คำนำ

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ รายวิชา ฟิสิกส์ 3 รหัสวิชา ว30203 เรื่อง “เสียง” จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนประชาบดีพิทยาคม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 21 โดยนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองตามความสามารถของนักเรียนแต่ละคนโดยครูเป็นผู้คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดจนติดตามผลการศึกษาอย่างใกล้ชิด ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นทักษะการคิดคำนวณมีบทเรียนทั้งหมด 6 ชุด ดังนี้

- ชุดที่ 1 เรื่อง ธรรมชาติและอัตราเร็วของเสียง
- ชุดที่ 2 เรื่อง การสะท้อนและการหักเหของเสียง
- ชุดที่ 3 เรื่อง การแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของเสียง
- ชุดที่ 4 เรื่อง ความเข้มเสียงและระดับความเข้มเสียง
- ชุดที่ 5 เรื่อง บีตส์และคลื่นนิ่งของเสียง
- ชุดที่ 6 เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก

ชุดกิจกรรมการเรียนรู้เล่มนี้เป็นเล่มที่ 6 เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก ซึ่งในแต่ละชุดกิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วย ชุดคำสั่ง ชุดเนื้อหา แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณ และแบบทดสอบเสริมความรู้และจัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นทักษะการคิดคำนวณชุดนี้ จะสามารถพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียนให้สูงขึ้นและเป็นประโยชน์ต่อนักเรียนในการพัฒนาทักษะการคิดคำนวณ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ธวัชชัย กุณแสน



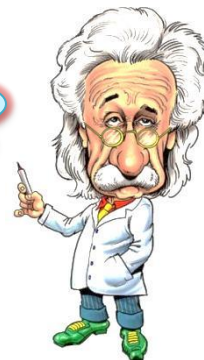
เรื่อง	หน้า
คำชี้แจงเกี่ยวกับชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ	1
คำแนะนำสำหรับครู	2
คำแนะนำสำหรับนักเรียน	3
แผนภูมิลำดับขั้นการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ	
เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก	4
ชุดคำสั่ง	5
สาระสำคัญ	6
จุดประสงค์การเรียนรู้	6
ชุดเนื้อหาที่ 6.1	8
แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.1	19
แบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.1	23
ชุดเนื้อหาที่ 6.2	26
แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.2	35
แบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.2	39
เฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.1	42
เฉลยแบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.1	46
เฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.2	47
เฉลยแบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.2	51
บรรณานุกรม	52



คำชี้แจงเกี่ยวกับชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ
ชุดที่ 6 เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก

1. ชุดกิจกรรมนี้เป็นชุดกิจกรรม ที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ รายวิชาฟิสิกส์ รหัสวิชา ว30203 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ชุดกิจกรรมมีทั้งหมด 6 ชุด ชุดกิจกรรมนี้เป็นชุดที่ 6 เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทก
2. ชุดกิจกรรมนี้ประกอบด้วย
 - 2.1 คำชี้แจงเกี่ยวกับชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ
 - 2.2 คำแนะนำสำหรับครู
 - 2.3 คำแนะนำสำหรับนักเรียน
 - 2.4 แผนภูมิลำดับขั้นการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ
 - 2.5 ชุดคำสั่ง
 - 2.6 สารสำคัญ
 - 2.7 จุดประสงค์การเรียนรู้
 - 2.8 ชุดเนื้อหา
 - 2.9 แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณ
 - 2.10 แบบทดสอบเสริมความรู้
 - 2.11 เฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณ
 - 2.12 เฉลยแบบทดสอบเสริมความรู้
3. ชุดกิจกรรมนี้ใช้เวลาในการศึกษา 3 ชั่วโมง

ความเพียรจะนำเราไปสู่ความสำเร็จ





คำแนะนำสำหรับครู

1. ครูควรจัดเตรียมชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณให้ครบถ้วน
2. แจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ให้นักเรียนทราบ
3. แจกชุดกิจกรรมให้นักเรียนศึกษาและแนะนำการใช้ชุดกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนใช้ชุดกิจกรรมได้ถูกต้อง
4. ดำเนินการสอนตามกิจกรรมที่กำหนดไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้
5. สังเกตและให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแก่นักเรียนที่มีปัญหาขณะทำกิจกรรมและแก้ไขพฤติกรรมที่ไม่พึงประสงค์ของนักเรียน
6. หลังจากนักเรียนศึกษาชุดกิจกรรมและทำกิจกรรมตามขั้นตอนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ครูและนักเรียนช่วยกันสรุปและให้นักเรียนทำแบบทดสอบเสริมความรู้
7. ครูบันทึกคะแนนของนักเรียนแต่ละคนจากการทำแบบทดสอบเสริมความรู้ในชุดกิจกรรมเพื่อประเมินความรู้ของนักเรียน หากนักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ ครูควรจัดสอนซ่อมเสริมให้นักเรียนอีกครั้ง
8. การจัดชั้นเรียนจะจัดให้นั่งเป็นกลุ่มหรือรายบุคคลก็ได้

ทำกิจกรรมให้เต็มที่นะ นักเรียน





คำแนะนำสำหรับนักเรียน

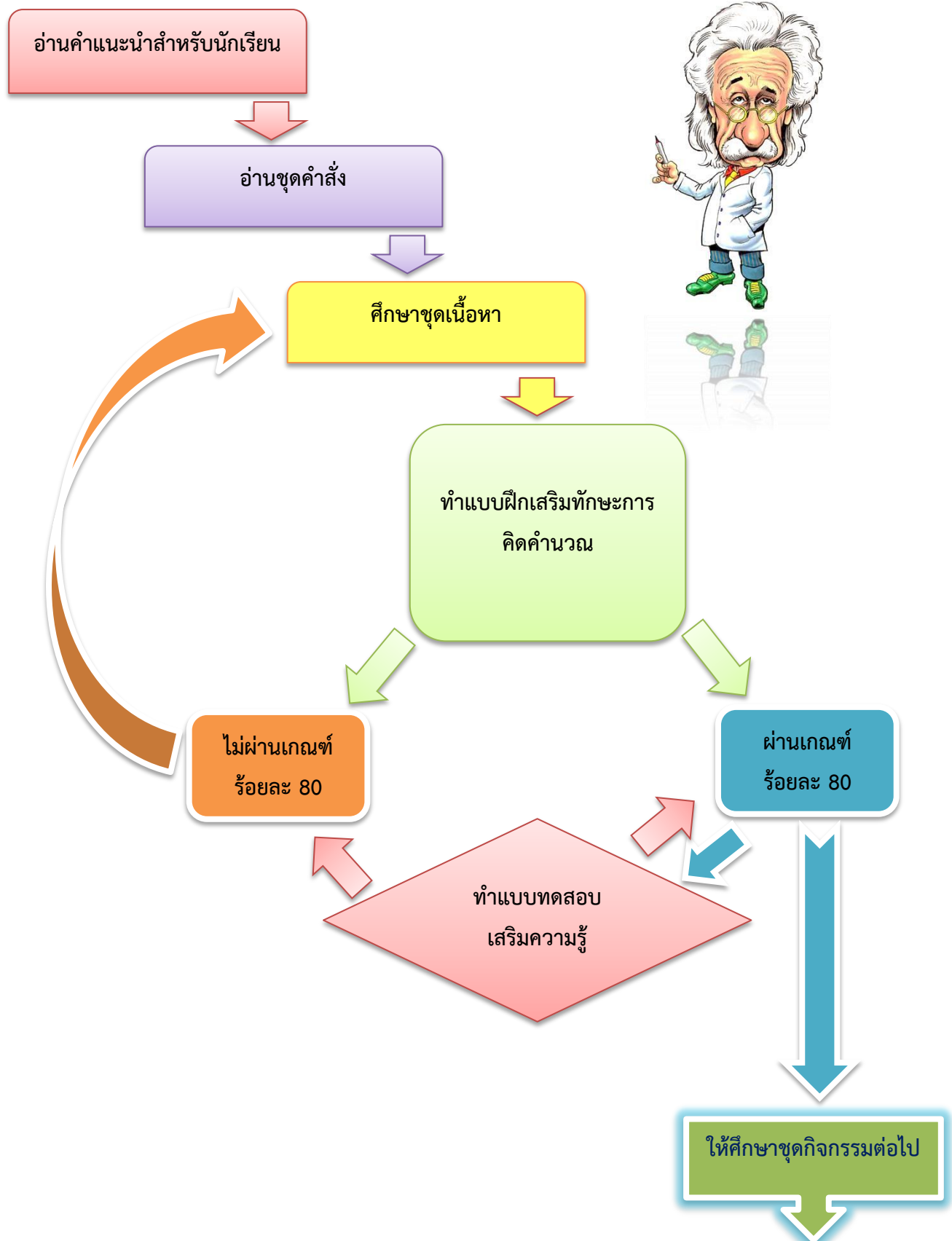
1. อ่านคำชี้แจงและคำแนะนำสำหรับนักเรียนให้เข้าใจก่อนที่จะลงมือศึกษาชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ
2. ศึกษาชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณโดยปฏิบัติตามให้ครบถ้วนทุกเรื่อง
3. หากนักเรียนยังไม่เข้าใจในสาระการเรียนรู้ให้กลับไปศึกษาอีกครั้งและขอคำแนะนำจากครูเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น
4. ทำแบบทดสอบเสริมความรู้เพื่อประเมินความรู้ของนักเรียน
5. ในการทำแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณและแบบทดสอบเสริมความรู้ให้นักเรียนทำด้วยความตั้งใจและมีความซื่อสัตย์ต่อตนเองให้มากที่สุดโดยไม่เปิดดูเฉลยก่อน

พร้อมแล้วก็ลุยกันเลย





ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้โดยชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ





ชุดคำสั่ง

1. ให้นักเรียนอ่านคำแนะนำจากชุดคำสั่งให้เข้าใจก่อนลงมือศึกษา โดยปฏิบัติตามกิจกรรมตามขั้นตอนและคำชี้แจงที่กำหนดไว้ในชุดกิจกรรมที่เน้นทักษะการคิดคำนวณ เรื่อง เสียง
2. นักเรียนศึกษาเนื้อหาและตัวอย่าง เรื่อง เสียง จากชุดเนื้อหาในชุดกิจกรรม ครูแจกให้ด้วยความตั้งใจ
3. นักเรียนทำแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณด้วยความซื่อสัตย์ ห้ามเปิดดูเฉลยก่อน
4. แลกเปลี่ยนกันตรวจคำตอบจากเฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณ
5. นักเรียนที่ได้คะแนนรวมน้อยกว่าร้อยละ 80 ให้ขอคำแนะนำจากคุณครูในส่วนที่ไม่เข้าใจหรือทบทวนเนื้อหาอีกครั้ง
6. ให้นักเรียนทำแบบทดสอบเสริมความรู้
7. นักเรียนเปลี่ยนกันตรวจคำตอบแบบทดสอบเสริมความรู้
8. นักเรียนแจ้งผลคะแนนให้ครูทราบเพื่อเก็บรวบรวมคะแนนต่อไปถ้าหากได้คะแนนรวมน้อยกว่าร้อยละ 80 ก็สามารถทบทวนความรู้ได้อีกครั้งเช่นกัน
9. เก็บชุดกิจกรรมคืนครู

อ่านชุดคำสั่งเข้าใจแล้วก็ลุยกันเลย





สาระสำคัญ

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ผู้สังเกตเสียงได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ของเสียงเดิม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของผู้สังเกตเสียงสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้ผู้สังเกตได้ยินเสียงแหลม-ทุ้ม มากกว่าปกติ

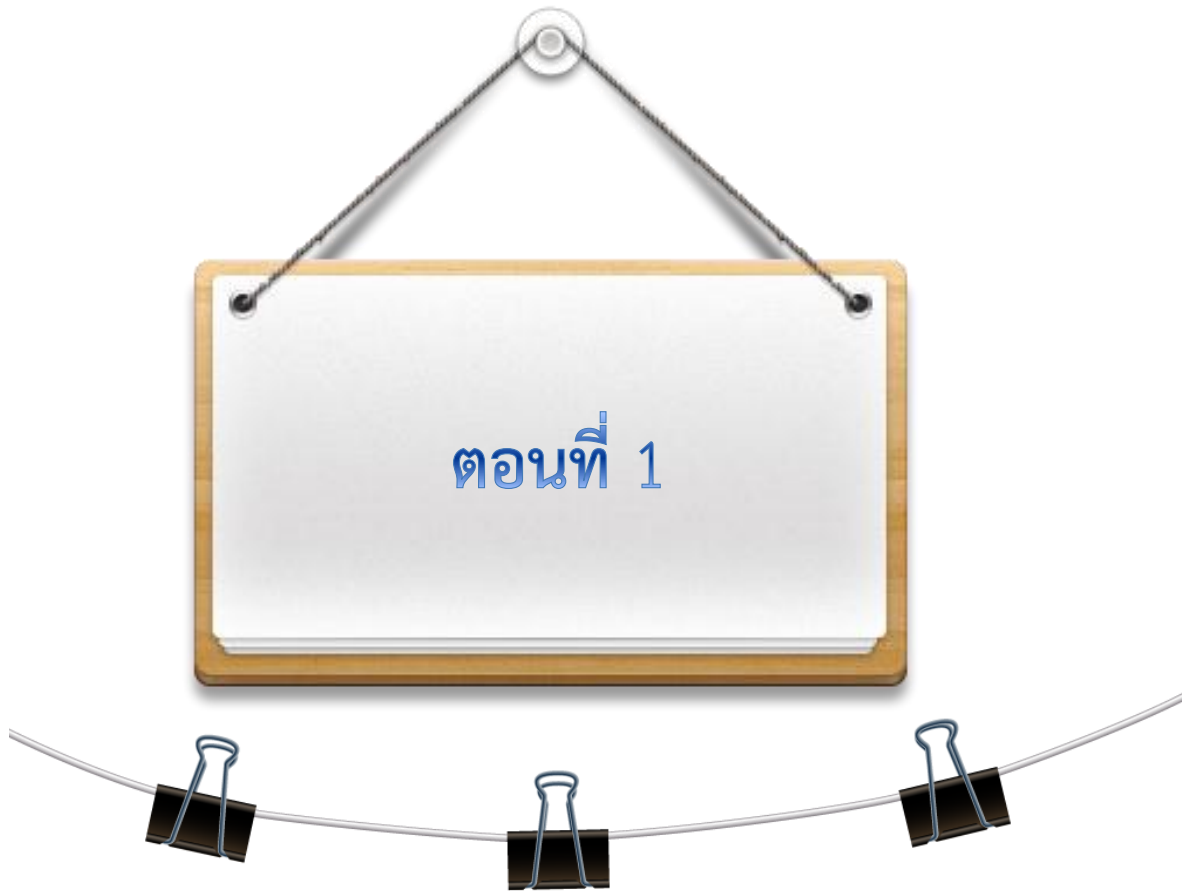
คลื่นกระแทก คือปรากฏการณ์ซึ่งแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเคลื่อนที่โดยมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วของเสียง หน้าคลื่นที่ส่งออกมาจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยโดยมีวัตถุอยู่ที่ยอด หน้าคลื่นแต่ละชุดมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งซึ่งวัตถุเคยอยู่มาก่อนขณะที่ส่งหน้าคลื่นนั้นๆ ออกมาตามแนวของกรวยผิวสัมผัสหน้าคลื่นเหล่านี้ คลื่นเสริมกันทำให้มีการรวมพลังงานกลายเป็น คลื่นกระแทก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลองและสรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทกของเสียงได้
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทกของเสียงได้
3. คำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์และคลื่นกระแทกของเสียงได้



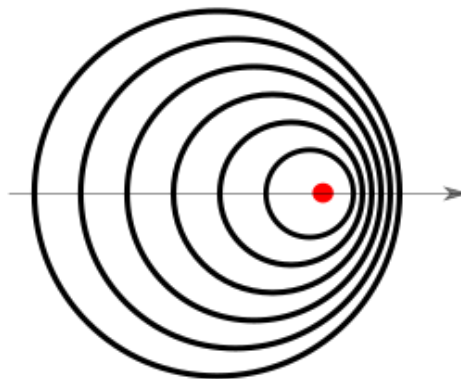
ตอนที่ 1



static sound source



moving sound source





ชุดเนื้อหาที่ 6.1

เรื่อง ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ คือ ปรากฏการณ์ที่ผู้ฟังเสียงได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดมีความถี่เปลี่ยนแปลงไปจากความถี่ของเสียงเดิม เนื่องจากการเคลื่อนที่ของผู้ฟังเสียงสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดเสียง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงแหลม-ทุ้ม มากกว่าปกติ ความเป็นจริงที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดเสียงเอง

กรณีที่ 1 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้า - ออกจากผู้ฟังที่อยู่นิ่ง



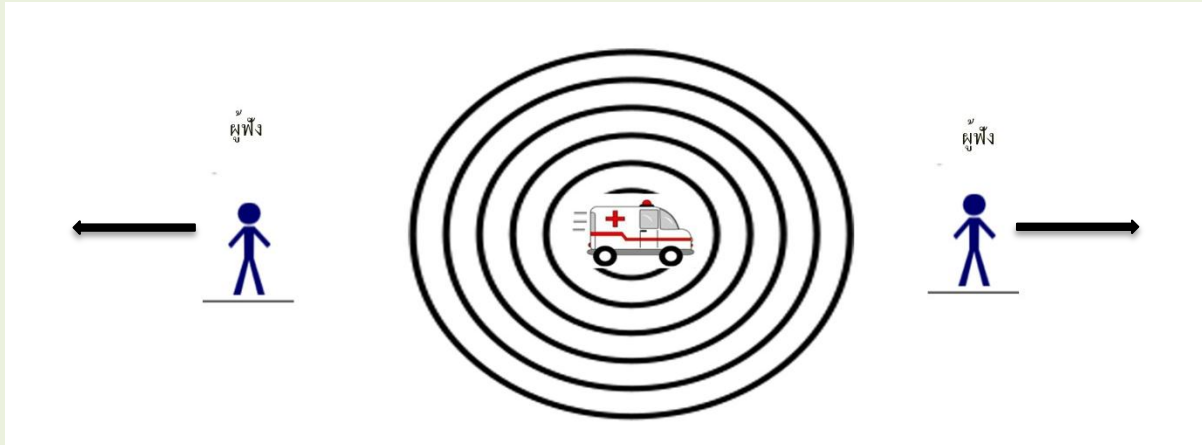
รูป 6.1.1 รูปแสดงแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ เข้า-ออก จากผู้ฟัง
ที่มา <https://www.bbc.co.uk/education/guides/zphppv4/revision>

จากรูป ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงพุ่งเข้าหาผู้ฟังที่อยู่นิ่ง เช่น ผู้ฟังยืนอยู่หน้ารถแล้วฟังเสียงรถที่พุ่ง เข้ามาหาตัวผู้ฟัง เสียงรถที่มาถึงผู้ฟังจะถูกกดตันทำให้ความยาวคลื่น (λ) ของเสียงลดลง ความถี่ (f) ของเสียงเพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่แหลมกว่าปกติ

และหากแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ห่างออกจากผู้ฟังที่อยู่นิ่ง เช่น ผู้ฟังยืนอยู่หลังรถแล้วฟังเสียงรถที่เคลื่อนที่ห่างออกจากตัวผู้ฟัง เสียงรถที่มาถึงผู้ฟังจะถูกลากออกไปทำให้ความยาวคลื่น (λ) ของเสียงมากขึ้น ความถี่ (f) ของเสียงลดลง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่ทุ้มกว่าปกติ



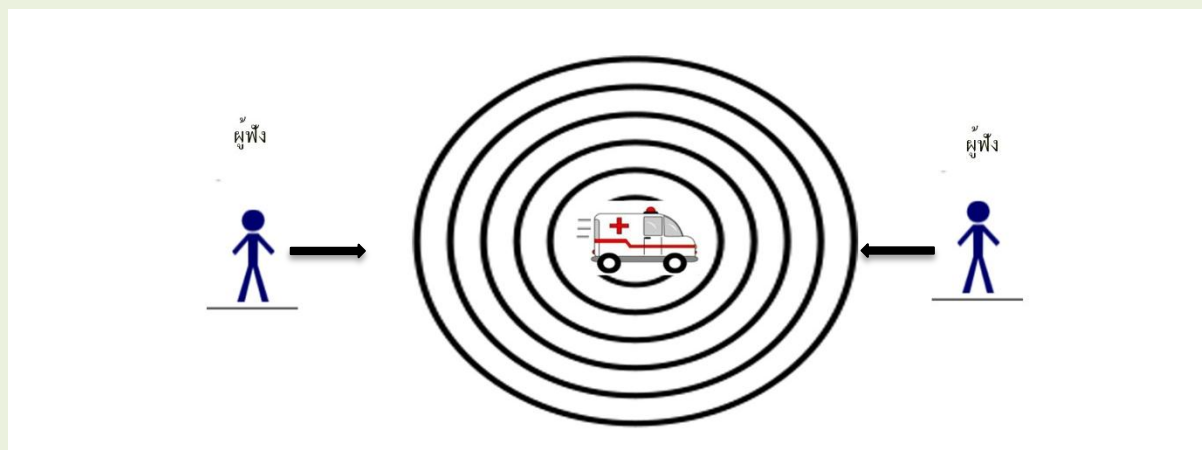
กรณีที่ 2 ผู้ฟังเคลื่อนห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง



รูป 6.1.2 รูปแสดงผู้ฟังเคลื่อนห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง

จากรูป ถ้าผู้ฟังเคลื่อนห่างออกไปจากแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง เสียงที่มาถึงผู้ฟังจะถูกลากออกไปทำให้ความยาวคลื่น (λ) ของเสียงมากขึ้น ความถี่ (f) ของเสียงลดลง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่ทุ้มกว่าปกติ

กรณีที่ 3 ผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง

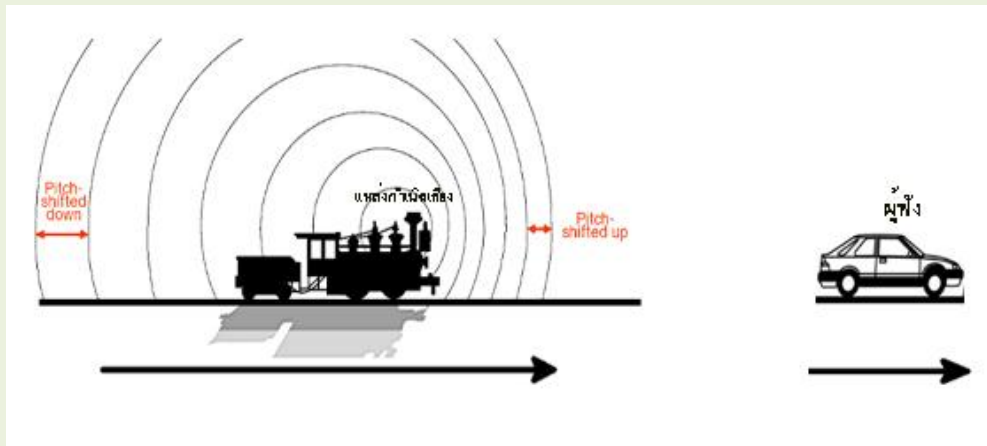


รูป 6.1.3 รูปแสดงผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง

จากรูป ถ้าผู้ฟังเคลื่อนเข้าหาแหล่งกำเนิดเสียงที่อยู่นิ่ง เสียงที่มาถึงผู้ฟังจะถูกกดดันเข้าทำให้ความยาวคลื่น (λ) ของเสียงลดลง ความถี่ (f) ของเสียงมากขึ้น ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่แหลมกว่าปกติ



กรณีที่ 4 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังที่กำลังเคลื่อนที่



รูป 6.1.4 แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังที่กำลังเคลื่อนที่
ที่มา <http://www.effectrode.com/tube-vibe/a-little-vibe-history>

จากรูป ถ้าความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงมากกว่าผู้ฟัง เสียงที่มาถึงผู้ฟังจะถูกกดดันเข้าทำให้ความยาวคลื่น(λ)ของเสียงลดลง ความถี่ (f) ของเสียงมากขึ้น ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่แหลมกว่าปกติ แต่ถ้าหากความเร็วแหล่งกำเนิดเสียงน้อยกว่าผู้ฟัง เสียงที่มาถึงผู้ฟังจะถูกลากออกทำให้ความยาวคลื่น (λ) ของเสียงเพิ่มขึ้น ความถี่ (f) ของเสียงลดลง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่ทุ้มกว่าปกติ



โดยความถี่เสียงที่ปรากฏต่อผู้ฟัง หาได้จากสมการ

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_S} \right) f_s$$

เมื่อ	f_L คือ ความถี่เสียงปรากฏต่อผู้ฟัง	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
	f_s คือ ความถี่เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง	หน่วย	เฮิรตซ์ (Hz)
	v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ	หน่วย	เมตรต่อวินาที (m/s)
	v_L คือ อัตราเร็วของผู้ฟังเสียง	หน่วย	เมตรต่อวินาที (m/s)
	v_S คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง	หน่วย	เมตรต่อวินาที (m/s)

วิธีการใช้สมการ

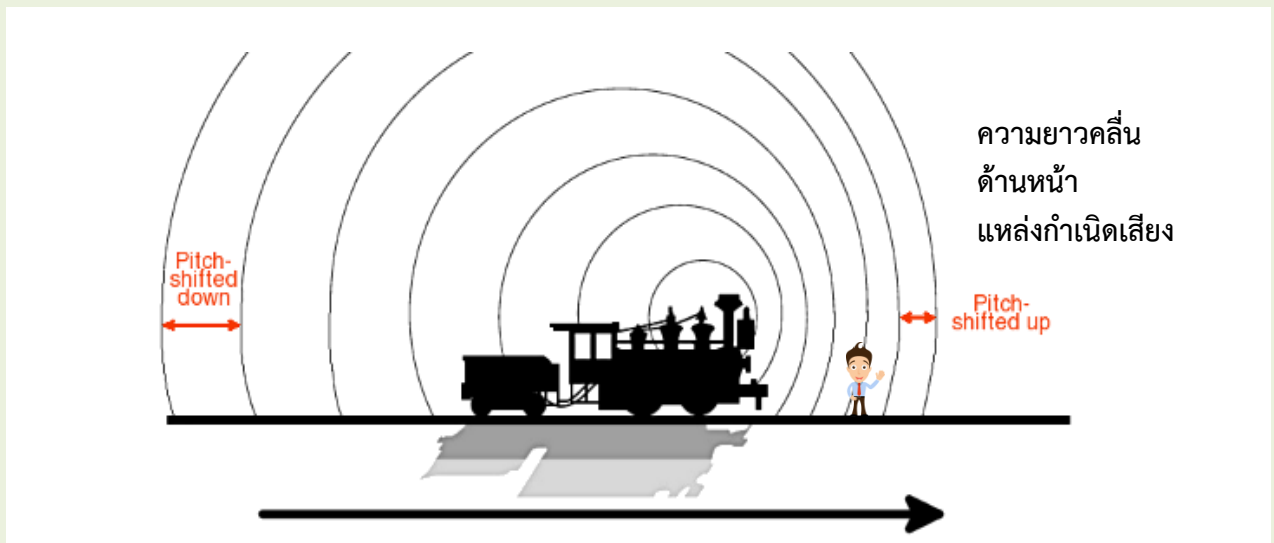
- 1) ถ้าผู้ฟังเคลื่อนที่เข้าหาแหล่งกำเนิดเสียง v_L มีค่าเป็นบวก (+)
- 2) ถ้าผู้ฟังเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเสียง v_L มีค่าเป็นลบ (-)
- 3) ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟัง v_S มีค่าเป็นลบ (-)
- 4) ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟัง v_S มีค่าเป็นบวก (+)





ความยาวคลื่นด้านหน้า (แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังที่อยู่นิ่ง)

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่เข้าหาผู้ฟังซึ่งอยู่นิ่ง เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ซึ่งทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีความถี่เปลี่ยนไปจากความถี่เดิมของแหล่งกำเนิดเสียง และเมื่อความถี่ของเสียงเปลี่ยนไปทำให้ความยาวคลื่นเสียงเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งพิจารณาได้จาก รูป 6.1.5



รูป 6.1.5 รูปแสดงความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถเปลี่ยนไป
ที่มา <http://www.effectrode.com/tube-vibe/a-little-vibe-history>

สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถได้จากสมการ

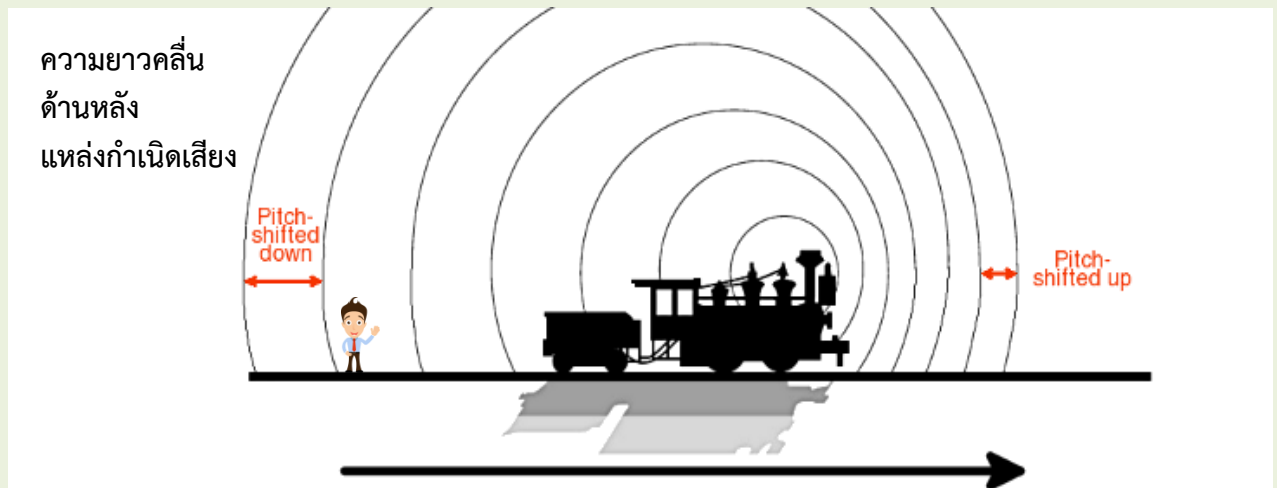
$$\lambda = \frac{v - v_s}{f_s}$$

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง	หน่วย เมตร (m)
v คือ อัตราเร็วเสียง	หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)
v_s คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง	หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)
f_s คือ ความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียง	หน่วย เฮิรตซ์ (Hz)



ความยาวคลื่นเสียงด้านหลัง (แหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟังที่อยู่นิ่ง)

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่ออกจากผู้ฟังซึ่งอยู่นิ่ง เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ ซึ่งทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียงที่มีความถี่เปลี่ยนไปจากความถี่เดิมของแหล่งกำเนิดเสียง และเมื่อความถี่ของเสียงเปลี่ยนไปทำให้ความยาวคลื่นเสียงเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งพิจารณาได้จาก รูป 6.1.6



รูป 6.1.6 รูปแสดงความยาวคลื่นเสียงด้านหลังรถเปลี่ยนไป
ที่มา <http://www.effectrode.com/tube-vibe/a-little-vibe-history>

สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นเสียงด้านหลังรถได้จากสมการ

$$\lambda = \frac{v + v_s}{f_s}$$

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง

หน่วย เมตร (m)

v คือ อัตราเร็วเสียง

หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

v_s คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง

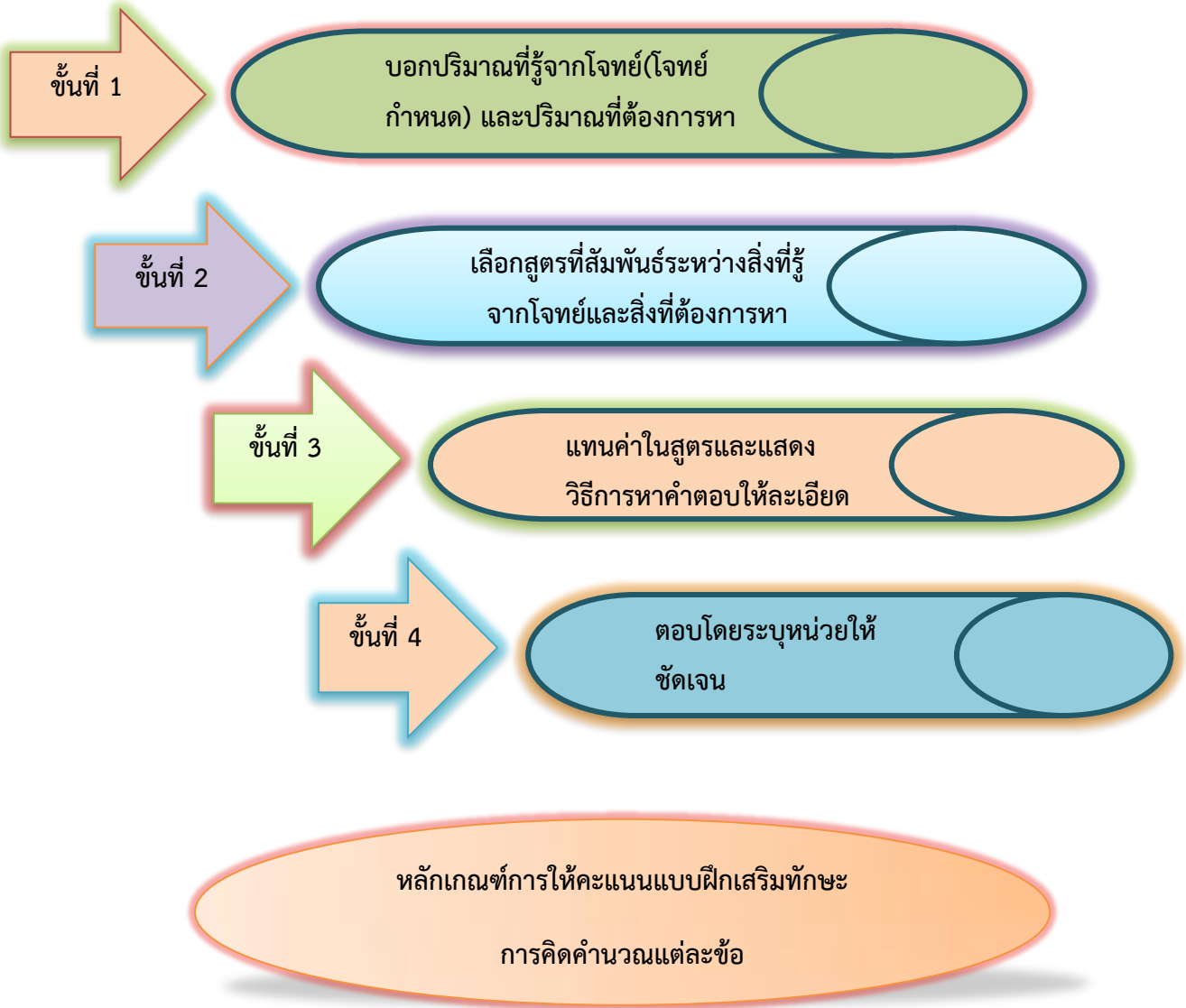
หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f_s คือ ความถี่จากแหล่งกำเนิดเสียง

หน่วย เฮิรตซ์ (Hz)



ลำดับขั้นในการใช้เทคนิคการคิดคำนวณ



รายการ	คะแนน
ขั้นที่ 1 บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์ (โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา	1
ขั้นที่ 2 เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา	1
ขั้นที่ 3 แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด	2
ขั้นที่ 4 ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน	1
คะแนนรวมรายข้อ	5
คะแนนรวมแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณ	15
คะแนนผ่านเกณฑ์แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณร้อยละ 80	12 - 15



ตัวอย่างที่ 1

รถยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว 20 เมตรต่อวินาที เสียงแตรของรถยนต์มีความถี่ 600 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที จงหาความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถ

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 20 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 600 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถ (λ)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา
$$\lambda = \frac{v-v_s}{f_s}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\lambda = \frac{v-v_s}{f_s}$$
$$\lambda = \frac{340-20}{600}$$
$$\lambda = 0.53$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถเท่ากับ 0.53 เมตร



ตัวอย่างที่ 2

รถพยาบาลแล่นด้วยอัตราเร็ว 25 เมตรต่อวินาที ส่งเสียงไซเรนที่มีความถี่ 400 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น 350 เมตรต่อวินาที ความยาวคลื่นเสียงไซเรนด้านหลังรถพยาบาลเป็นเท่าใด

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 25 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 400 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 350 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความยาวคลื่นเสียงด้านหลังรถ (λ)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\lambda = \frac{v+v_s}{f_s}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\lambda = \frac{v+v_s}{f_s}$$

$$\lambda = \frac{350+25}{400}$$

$$\lambda = 0.94$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความยาวคลื่นเสียงด้านหลังรถเท่ากับ 0.94 เมตร



ตัวอย่างที่ 3

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

รถคันหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที เข้าหาผู้ฟังที่ยืนนิ่งอยู่กับที่แล้วบีบแตรที่มีความถี่ 1,700 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศ มีค่า 350 เมตรต่อวินาที จงหาว่าผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่าไร

1. บอกปริมาณที่รู้จักจากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 10 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 1,700 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 350 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความถี่ของเสียงที่ผู้ฟังได้ยิน(f_L)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จักจากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

$$f_L = \left(\frac{350 \pm 0}{350 - 10} \right) 1700$$

$$f_L = \left(\frac{350}{340} \right) 1700$$

$$f_L = 1.03 \times 1700$$

$$f_L = 1751$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความถี่ของเสียงที่ผู้ฟังได้ยินเท่ากับ 1,751 เฮิรตซ์



ตัวอย่างที่ 4

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

นายสมชาย ขับรถบรรทุกด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที ส่วนนายสมหมาย ขับรถเก๋งตามมาด้วยความเร็ว 40 เมตรต่อวินาทีและบีบแตรที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์ออกมา ถ้าความเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที นายสมชายจะได้ยินเสียงแตรจากรถของนายสมหมายที่มีความถี่เท่าใด

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของผู้ฟัง (v_L) = 20 เมตรต่อวินาที
ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 40 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 500 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความถี่ของเสียงที่นายสมชายได้ยิน(f_L)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

$$f_L = \left(\frac{340 - 20}{340 - 40} \right) 500$$

$$f_L = \left(\frac{320}{300} \right) 500$$

$$f_L = 1.07 \times 500$$

$$f_L = 535$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความถี่ของเสียงที่นายสมชายได้ยินเท่ากับ 535 เฮิรตซ์



แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.1

แบบฝึกข้อที่ 1

วิธีทำ

รถจักรยานยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เสียงแตรของรถจักรยานยนต์มีความถี่ 800 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที จงหาความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถจักรยานยนต์คันนี้

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) =
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) =
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) =
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา
 $\lambda = \dots\dots\dots$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด
 $\lambda = \dots\dots\dots$
 $\lambda = \dots\dots\dots$
 $\lambda = \dots\dots\dots$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ



แบบฝึกข้อที่ 2

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

รถพยาบาลคันหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เข้าหาชายคนหนึ่งที่ยืนนิ่งอยู่กับที่แล้วบีบแตรมีความถี่ 2,000 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที จงหาว่าชายคนนี้จะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่าไร

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) =
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) =
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) =
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ



แบบฝึกข้อที่ 3

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

นายพร ขับรถกระบะด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที ส่วนนายจอมพล ขับรถบิ๊กไบค์ตามมาด้วยความเร็ว 50 เมตรต่อวินาทีและบีบแตรที่มีความถี่ 600 เฮิรตซ์ออกมา ถ้าความเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที นายพรจะได้ยินเสียงแตรจากรถของนายจอมพลที่มีความถี่เท่าใด

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของผู้ฟัง (v_L) =
ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_S) =
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_S) =
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) =
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

$$f_L = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ



ตรวจคำตอบแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.1
หน้า 42 นะครับ





แบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.1

คำชี้แจง

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมาย (x) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้
(ข้อละ 1 คะแนนและใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 20 นาที)

1. รถไฟวิ่งด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เปิดหวูดที่มีความถี่ 500 เฮิรตซ์ ถ้าขณะนั้นเสียงมีอัตราเร็ว 330 เมตรต่อวินาที จงหาความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถไฟ
 - ก. 0.4 เมตร
 - ข. 0.6 เมตร
 - ค. 0.8 เมตร
 - ง. 0.9 เมตร
2. รถไฟขบวนหนึ่งวิ่งเข้าหาชายคนหนึ่งซึ่งยืนอยู่ที่ชานชาลาด้วยอัตราเร็ว 50 เมตรต่อวินาที โดยเปิดหวูดที่มีความถี่ 550 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น 350 เมตรต่อวินาที จงหาความยาวคลื่นของเสียงหวูดรถไฟที่ชายคนนั้นได้ยิน
 - ก. 82 เซนติเมตร
 - ข. 64 เซนติเมตร
 - ค. 73 เซนติเมตร
 - ง. 55 เซนติเมตร
3. รถคันหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที วิ่งออกจากผู้ฟังที่ยืนนิ่งอยู่กับที่แล้วบีบแตรซึ่งมีความถี่ 700 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่า 330 เมตรต่อวินาที จงหาว่าผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่าไร
 - ก. 658 เฮิรตซ์
 - ข. 690 เฮิรตซ์
 - ค. 700 เฮิรตซ์
 - ง. 742 เฮิรตซ์



4. รถตำรวจคันหนึ่งเปิดหอนขณะที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 20 เมตรต่อวินาที วิ่งเข้าหาชายคนหนึ่งที่ยืนนิ่งอยู่ริมถนน เสียงหวูดมีความถี่ 800 เฮิรตซ์ ถ้าขณะนั้นความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 300 เมตรต่อวินาที จงหาความถี่ของเสียงหวูด ที่ชายคนนั้นได้ยิน

ก. 752 เฮิรตซ์
ข. 790 เฮิรตซ์
ค. 800 เฮิรตซ์
ง. 856 เฮิรตซ์

5. รถยนต์ประจำทางวิ่งด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที วิ่งเข้าหารถจักรยานยนต์คันหนึ่งที่ กำลังวิ่งนำหน้ารถยนต์ประจำทางด้วยความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ถ้าวินาที รถยนต์ประจำทาง บีบแตรด้วยความถี่ 4,800 เฮิรตซ์ คนที่อยู่บนรถจักรยานยนต์จะได้ยินเสียงแตรมีความถี่เท่าไร ถ้าขณะนั้นความเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 330 เมตรต่อวินาที

ก. 4,266 เฮิรตซ์
ข. 4,300 เฮิรตซ์
ค. 5,136 เฮิรตซ์
ง. 5,440 เฮิรตซ์

เกณฑ์การประเมินแบบทดสอบเสริมความรู้	คะแนน
ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80	4 - 5
ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80	0 - 3

ตรวจคำตอบแบบทดสอบเสริม
ความรู้ได้ที่หน้า 46 ครับ





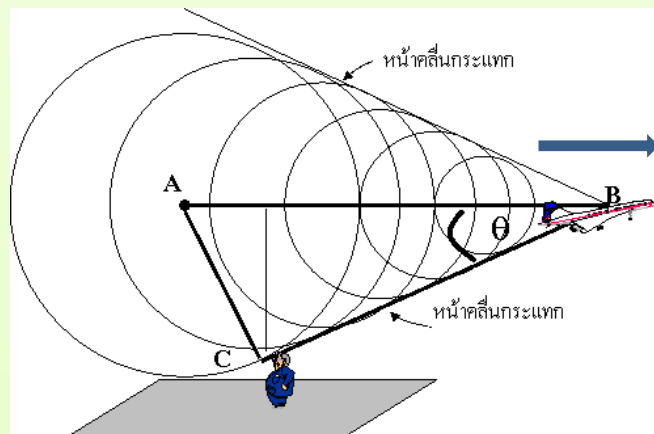
ตอนที่ 2



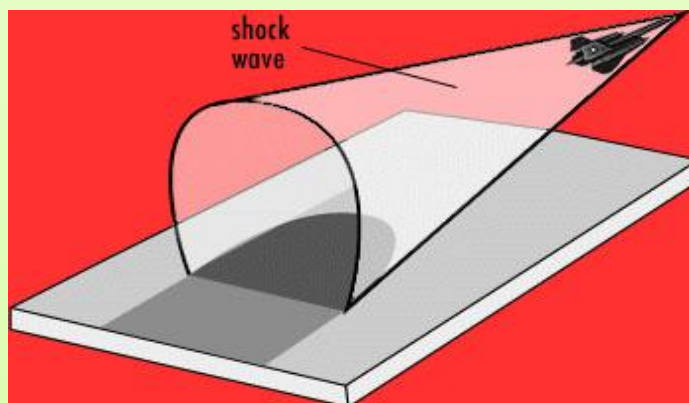


ชุดเนื้อหาที่ 6.2 เรื่อง คลื่นกระแทก

เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงเคลื่อนที่โดยมีอัตราเร็วมากกว่าอัตราเร็วของเสียง หน้าคลื่นที่ส่งออกมาจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยโดยมีวัตถุอยู่ที่ยอด หน้าคลื่นแต่ละชุดมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ตำแหน่งซึ่งวัตถุเคยอยู่มาก่อนขณะที่ส่งหน้าคลื่นนั้นๆ ออกมาตามแนวของกรวยผิวสัมผัสหน้าคลื่นเหล่านี้ คลื่นเสริมกันทำให้มีการรวมพลังงานกลายเป็น **คลื่นกระแทก** และคนจะได้ยินเสียงของคลื่นกระแทก เมื่อแนวกรวยเสียงพาดผ่าน



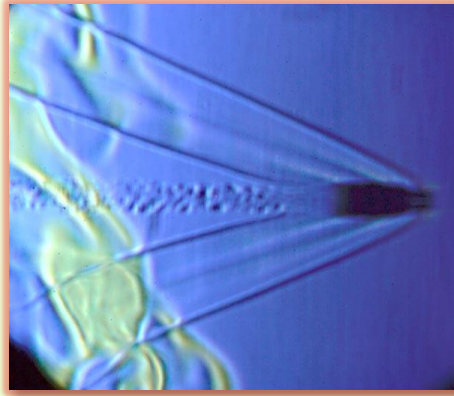
รูป 6.2.1 รูปแสดงการเกิดคลื่นกระแทก
ที่มา <http://www.scimath.org/lesson-physics/item>



รูป 6.2.2 รูปแสดงการเกิดคลื่นกระแทกที่เกิดเป็นรูปกรวยเสียง
ที่มา <http://www.scimath.org/lesson-physics/item>



วัตถุที่เคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องเป็นต้นกำเนิดเสียงที่สั่นจึงจะทำให้เกิดคลื่นกระแทกได้ ขณะใดก็ตามที่อัตราเร็ววัตถุมากกว่าอัตราเร็วของเสียงก็เกิดคลื่นกระแทกได้ เช่น คลื่นกระแทกจากเสียงลูกปืนผ่านเป็นต้น



รูป 6.2.3 รูปแสดงการเกิดคลื่นกระแทกจากเสียงลูกปืนผ่าน
ที่มา <http://www.scimath.org/lesson-physics/item>

เสียงโซนิคบูม (sonic boom) คือ เสียงดังคล้ายระเบิดที่เกิดจากคลื่นกระแทกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศอย่างมากและรวดเร็ว

เสียงโซนิคบูม (sonic boom) จากเครื่องบินที่บินเร็วกว่าเสียง (supersonic speed) พลังงานซึ่งเกิดจากคลื่นกระแทกของเครื่องบินอัตราเร็วสูงบางครั้งอาจเพียงพอทำให้หน้าต่างแตกและอาคารสั่นได้ ผู้สังเกตซึ่งอยู่ใต้ทางผ่านของเครื่องบิน supersonic จะได้ยินเสียงดังใหญ่ขณะที่มีคลื่นกระแทกผ่าน และจะไม่ได้ยินเสียง ถ้าอยู่ภายนอกกรวย



รูป 6.2.4 รูปแสดงการเกิดเสียงโซนิคบูม
ที่มา <https://www.newsmax.com/TheWire/sonic-boom-new-jersey-earthquake-tremors>



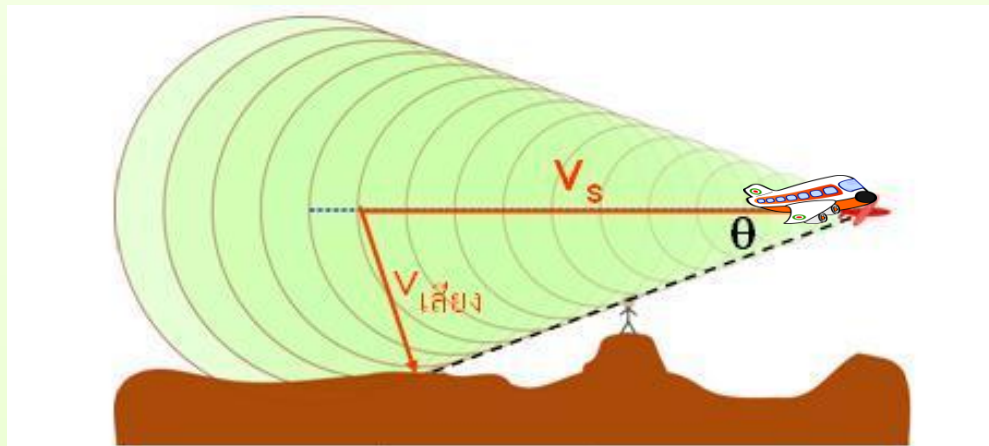
เลขมัค (Mach number)

การเกิดคลื่นกระแทกพิจารณาได้จากอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงและอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมินั้นๆ คือ v_s/v อัตราส่วนนี้เรียกว่า เลขมัค (Mach number) ซึ่งตั้งตามชื่อ เอิร์นสต์ มัค (Ernst Mach) การเกิดคลื่นกระแทกเริ่มต้นที่ มัค 1

$$M = \frac{v_s}{v_{\text{เสียง}}}$$

เมื่อ	M	คือ เลขมัค	ไม่มีหน่วย
	v_s	คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง	มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)
	$v_{\text{เสียง}}$	คือ อัตราเร็วของเสียงในอากาศ	มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

หมายเหตุ เครื่องบินบินด้วยอัตราเร็วมัค 2 หมายความว่า อัตราเร็วของเครื่องบินมีค่าเป็น 2 เท่าของอัตราเร็วเสียงในอากาศ หรือ $v_s = 2v$

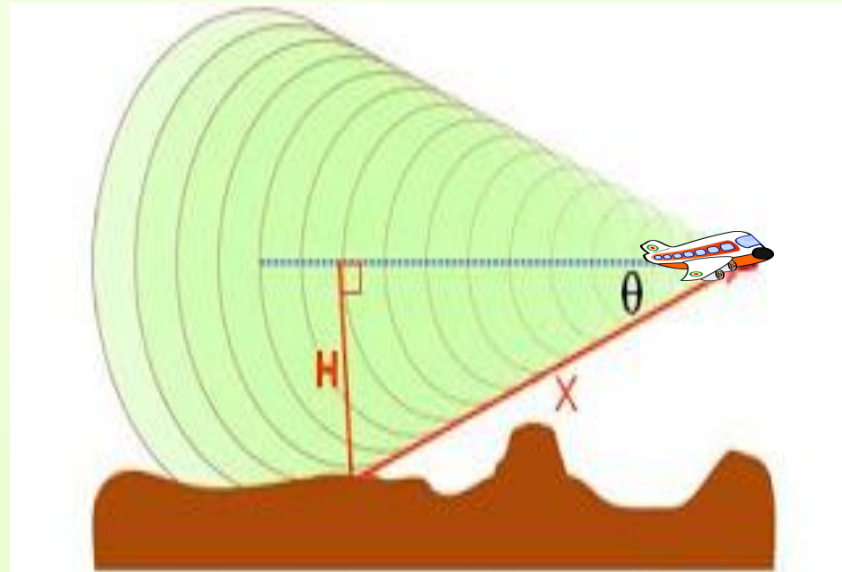


รูป 6.2.5 รูปการเกิดคลื่นกระแทกและเกิดแนวกรวยเสียงพัดผ่านผู้ฟัง
ที่มา <https://orapanwaipan.wordpress.com>

จากรูป 6.2.5 เมื่อเกิดคลื่นกระแทกและเกิดแนวกรวยเสียงพัดผ่านผู้ฟัง กรณีเกิดมุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงสามารถคำนวณหาอัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียงได้จากสมการ

$$\sin\theta = \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

เมื่อ	θ คือ มุมระหว่างหน้าคลื่นกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง	มีหน่วยเป็น องศา($^{\circ}$)
v_s	คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง	มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)
$v_{\text{เสียง}}$	คือ อัตราเร็วของเสียงในอากาศ	มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)



รูป 6.2.6 รูปการเกิดคลื่นกระแทกและเกิดแนวกรวยเสียงพัดผ่านผู้ฟัง
ที่มา <http://fahthansound.blogspot.com>

จากรูป 6.2.6 เมื่อเกิดคลื่นกระแทกและเกิดแนวกรวยเสียงพัดผ่านผู้ฟัง สามารถหาความสูงจากตำแหน่งของผู้ฟังถึงแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียงหรือสามารถหาระยะจากผู้ฟังถึงแหล่งกำเนิดเสียงได้จากสมการ

$$\sin\theta = \frac{H}{X}$$

หรือ

$$\frac{H}{X} = \frac{1}{M}$$

เมื่อ θ คือ มุมระหว่างหน้าคลื่นกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง

H คือ ความสูงจากผู้ฟังถึงแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง

X คือ ระยะจากผู้ฟังถึงแหล่งกำเนิดเสียง

มีหน่วยเป็น องศา($^{\circ}$)

มีหน่วยเป็น เมตร(m)

มีหน่วยเป็น เมตร(m)



ตัวอย่างที่ 5

ถ้าเครื่องบินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงบินด้วยอัตราเร็วมาก 2 ขณะที่อัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 350 เมตรต่อวินาที เครื่องบินจะมีอัตราเร็วเท่าไร

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด เลขมัค (M) = 2
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ($v_{\text{เสียง}}$) = 350 เมตรต่อวินาที
โจทย์ต้องการหา คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$M = \frac{v_s}{v_{\text{เสียง}}}$$

$$v_s = M \times v_{\text{เสียง}}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$v_s = M \times v_{\text{เสียง}}$$

$$v_s = 2 \times 350$$

$$v_s = 700$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ อัตราเร็วของเครื่องบิน เท่ากับ 700 เมตรต่อวินาที



ตัวอย่างที่ 6

หน้าคลื่นกระแทกที่เกิดจากเครื่องบินลำหนึ่งทำมุมกับ 60 องศา อัตราเร็วของเครื่องบิน เป็นกี่เท่าของอัตราเร็วเสียง

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกเท่ากับ 60 องศา
ดังนั้นมุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนว
การเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง (θ) = 30 องศา
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ อัตราเร็วของเครื่องบินเป็นกี่เท่าของอัตราเร็ว
ของเสียง

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin\theta = \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin\theta}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin\theta}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin 30}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\frac{1}{2}}$$

$$v_s = 2v_{\text{เสียง}}$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ อัตราเร็วของเครื่องบินเท่ากับ 2 เท่าของอัตราเร็วเสียง



ตัวอย่างที่ 7

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

ยิ่งลูกปืนออกไปด้วยอัตราเร็ว 680 เมตรต่อวินาที จงหามุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก ถ้ากำหนดให้ อัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 680 เมตรต่อวินาที
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ ($v_{\text{เสียง}}$) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก (θ)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin\theta = \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\theta = \sin^{-1} \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{340}{680}$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.5$$

$$\theta = 30$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง คือ 30 องศา ดังนั้น มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก เท่ากับ 60 องศา



ตัวอย่างที่ 8

เครื่องบินลำหนึ่งบินด้วยอัตราเร็ว 2 เฮนรีระดับพื้นดิน 3 กิโลเมตร ผู้ฟังจะได้ยินเสียงเครื่องบิน เมื่อเครื่องบิน บินอยู่ห่างจากผู้ฟังเป็นระยะเท่าใด

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จักจากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด เลขมัค (M) = 2
ความสูงจากผู้ฟังถึงแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง
(H) = 3,000 เมตร
โจทย์ต้องการหา คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องบินและผู้ฟัง (X)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จักจากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\frac{H}{X} = \frac{1}{M}$$

$$X = HM$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$X = HM$$

$$X = 3000 \times 2$$

$$X = 6000$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ระยะห่างระหว่างเครื่องบินและผู้ฟัง เท่ากับ 6,000 เมตร



แบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.2

แบบฝึกข้อที่ 4

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

ถ้าเครื่องบินขับไล่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงบินด้วยอัตราเร็ว 3 ขณะนั้น อัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 352 เมตรต่อวินาที เครื่องบินขับไล่ลำนี้ จะมีอัตราเร็วเท่าไร

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด เลขมัค (M) =
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ($v_{\text{เสียง}}$) =
โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$M = \dots\dots\dots$$

$$v_s = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$v_s = \dots\dots\dots$$

$$v_s = \dots\dots\dots$$

$$v_s = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ



แบบฝึกข้อที่ 5

เครื่องบินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงก่อให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งหน้าคลื่นกระแทก
ทำมุมกัน 74 องศา อัตราเร็วของเครื่องบินเป็นกี่เท่าของอัตราเร็วเสียง

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกเท่ากับ 74 องศา
ดังนั้นมุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนว
การเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง (θ) =
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin\theta = \dots\dots\dots$$

$$V_s = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$V_s = \dots\dots\dots$$

$$V_s = \dots\dots\dots$$

$$V_s = \dots\dots\dots$$

$$V_s = \dots\dots\dots$$

$$V_s = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ



แบบฝึกข้อที่ 6

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

นายอำนาจยิงลูกปืนออกไปด้วยอัตราเร็ว 704 เมตรต่อวินาที จงหามุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก ถ้าขณะนั้นอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น 352 เมตรต่อวินาที

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) =
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ ($v_{\text{เสียง}}$) =
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin \theta = \dots\dots\dots$$

$$\theta = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\theta = \dots\dots\dots$$

$$\theta = \dots\dots\dots$$

$$\theta = \dots\dots\dots$$

$$\theta = \dots\dots\dots$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ
.....



ตรวจคำตอบแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.2

หน้า 47 นะครับ





แบบทดสอบเสริมความรู้ที่ 6.2

คำชี้แจง

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว แล้วทำเครื่องหมาย (x) ลงในกระดาษคำตอบที่แจกให้
(ข้อละ 1 คะแนนและใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 20 นาที)

1. เครื่องบินไอพ่นบินด้วยความเร็ว 2 มัค จะบินด้วยความเร็วเท่าใด กำหนดให้อัตราเร็วของเสียงขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที
 - ก. 680 เมตรต่อวินาที
 - ข. 590 เมตรต่อวินาที
 - ค. 520 เมตรต่อวินาที
 - ง. 400 เมตรต่อวินาที
2. เครื่องบินรบ F-14 บินด้วยอัตราเร็วสูงสุด 2.2 มัค แสดงว่าอัตราเร็วสูงสุดของเครื่องบิน F-14 เป็นเท่าใด ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 350 เมตรต่อวินาที
 - ก. 800
 - ข. 770
 - ค. 385
 - ง. 160
3. เครื่องบินความเร็วเหนือเสียงบินในแนวระดับผ่านเหนือศีรษะชายผู้หนึ่ง เมื่อเขาได้ยินเสียงของคลื่นกระแทก เขาจะมองเห็นตัวเครื่องบินมีมุมเงยจากพื้นดิน 30 องศา เครื่องบิน บินด้วยความเร็วเท่าใด ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 330 เมตรต่อวินาที
 - ก. 350 เมตรต่อวินาที
 - ข. 400 เมตรต่อวินาที
 - ค. 580 เมตรต่อวินาที
 - ง. 660 เมตรต่อวินาที



4. เครื่องบิน บินด้วยอัตราเร็ว 1.5 เฮนรีระดับพื้นดิน 3 กิโลเมตร คนจะได้ยินเสียงเครื่องบินเมื่อเครื่องบิน บินอยู่ห่างคนกี่กิโลเมตร
- ก. 1.0 กิโลเมตร
 - ข. 2.5 กิโลเมตร
 - ค. 4.5 กิโลเมตร
 - ง. 5.0 กิโลเมตร
5. ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเท่ากับ 320 เมตรต่อวินาที เครื่องบินลำหนึ่งจะต้องบินด้วยอัตราเร็วเท่าใดในแนวระดับเหนือพื้นดิน จึงจะทำให้มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องบินทำมุมกัน 30 องศา
- ก. 320 เมตรต่อวินาที
 - ข. 420 เมตรต่อวินาที
 - ค. 520 เมตรต่อวินาที
 - ง. 640 เมตรต่อวินาที

เกณฑ์การประเมินแบบทดสอบเสริมความรู้	คะแนน
ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80	4 - 5
ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80	0 - 3

ตรวจคำตอบแบบทดสอบเสริม
ความรู้ได้ที่หน้า 51 ครับ







เฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.1

แบบฝึกข้อที่ 1

วิธีทำ

รถจักรยานยนต์คันหนึ่งแล่นด้วยอัตราเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เสียงแตรของรถจักรยานยนต์มีความถี่ 800 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที จงหาความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถจักรยานยนต์คันนี้

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 30 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 800 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถจักรยานยนต์ (λ)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\lambda = \frac{v - v_s}{f_s}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\lambda = \frac{v - v_s}{f_s}$$

$$\lambda = \frac{340 - 30}{800}$$

$$\lambda = 0.39$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความยาวคลื่นเสียงด้านหน้ารถจักรยานยนต์เท่ากับ 0.39 เมตร



แบบฝึกข้อที่ 2

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

รถพยาบาลคันหนึ่งวิ่งด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที เข้าหาชายคนหนึ่งที่ยืนนิ่งอยู่กับที่แล้วบีบแตรมีความถี่ 2,000 เฮิรตซ์ ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที จงหาว่าชายคนนี้จะได้ยินเสียงที่มีความถี่เท่าไร

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 30 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 2,000 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความถี่ของเสียงที่ชายคนนี้ได้ยิน(f_L)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

$$f_L = \left(\frac{340 \pm 0}{340 - 30} \right) 2000$$

$$f_L = \left(\frac{340}{310} \right) 2000$$

$$f_L = 1.10 \times 2000$$

$$f_L = 2200$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความถี่ของเสียงที่ชายคนนี้ได้ยินเท่ากับ 2,200 เฮิรตซ์



แบบฝึกข้อที่ 3

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

นายพร ขับรถกระบะด้วยความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที ส่วนนายจอมพล ขับรถบิ๊กไบค์ตามมาด้วยความเร็ว 50 เมตรต่อวินาทีและบีบแตรที่มีความถี่ 600 เฮิรตซ์ออกมา ถ้าความเร็วของเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตรต่อวินาที นายพรจะได้ยินเสียงแตรจากรถของนายจอมพลที่มีความถี่เท่าใด

1. บอกปริมาณที่รู้จักจากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด ความเร็วของผู้ฟัง (v_L) = 30 เมตรต่อวินาที
ความเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 50 เมตรต่อวินาที
ความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง (f_s) = 600 เฮิรตซ์
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) = 340 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ ความถี่ของเสียงที่นายพรได้ยิน(f_L)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จักจากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \pm v_s} \right) f_s$$

$$f_L = \left(\frac{340 - 30}{340 - 50} \right) 600$$

$$f_L = \left(\frac{310}{290} \right) 600$$

$$f_L = 1.07 \times 600$$

$$f_L = 642$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ ความถี่ของเสียงที่นายพรได้ยินเท่ากับ 642 เฮิรตซ์

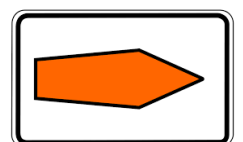


คะแนนรวมไม่ถึง 12 คะแนน กลับไปทบทวนใหม่
นะครับ





ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				





เฉลยแบบฝึกเสริมทักษะการคิดคำนวณที่ 6.2

แบบฝึกข้อที่ 4

วิธีทำ

ถ้าเครื่องบินขับไล่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงบินด้วยอัตราเร็ว 3 ขณะนั้นอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 352 เมตรต่อวินาที เครื่องบินขับไล่ลำนี้จะมีอัตราเร็วเท่าไร

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จักจากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด เลขมัค (M) = 3
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ($v_{\text{เสียง}}$) = 352 เมตรต่อวินาที
โจทย์ต้องการหา คือ อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จักจากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$M = \frac{v_s}{v_{\text{เสียง}}}$$
$$v_s = M \times v_{\text{เสียง}}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$v_s = M \times v_{\text{เสียง}}$$

$$v_s = 3 \times 352$$

$$v_s = 1056$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ อัตราเร็วของเครื่องบินขับไล่ลำนี้ เท่ากับ 1,056 เมตรต่อวินาที



แบบฝึกข้อที่ 5

เครื่องบินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเสียงก่อให้เกิดคลื่นกระแทกซึ่งหน้าคลื่นกระแทกทำมุมกัน 74 องศา อัตราเร็วของเครื่องบินเป็นกี่เท่าของอัตราเร็วเสียง

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกเท่ากับ 74 องศา
ดังนั้นมุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนว
การเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง (θ) = 37 องศา
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ อัตราเร็วของเครื่องบินเป็นกี่เท่าของอัตราเร็ว
ของเสียง

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin\theta = \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin\theta}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin\theta}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\sin 37}$$

$$v_s = \frac{v_{\text{เสียง}}}{\frac{3}{5}}$$

$$v_s = \frac{5}{3} v_{\text{เสียง}}$$

$$v_s = 1.67 v_{\text{เสียง}}$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ อัตราเร็วของเครื่องบินเท่ากับ 1.67 เท่าของอัตราเร็วเสียง



แบบฝึกข้อที่ 6

วิธีทำ

ขั้นที่ 1

นายอำนาจยิงลูกปืนออกไปด้วยอัตราเร็ว 704 เมตรต่อวินาที จงหามุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก ถ้าขณะนั้นอัตราเร็วของเสียงในอากาศเป็น 352 เมตรต่อวินาที

1. บอกปริมาณที่รู้จากโจทย์(โจทย์กำหนด) และปริมาณที่ต้องการหา
โจทย์กำหนด อัตราเร็วของแหล่งกำเนิดเสียง (v_s) = 704 เมตรต่อวินาที
อัตราเร็วของเสียงในอากาศ ($v_{\text{เสียง}}$) = 352 เมตรต่อวินาที
สิ่งที่โจทย์ต้องการหา คือ มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทก (θ)

ขั้นที่ 2

2. เลือกสูตรที่สัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่รู้จากโจทย์และสิ่งที่ต้องการหา

$$\sin\theta = \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

ขั้นที่ 3

3. แทนค่าในสูตรและแสดงวิธีการหาคำตอบให้ละเอียด

$$\theta = \sin^{-1} \frac{v_{\text{เสียง}}}{v_s}$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{352}{704}$$

$$\theta = \sin^{-1} 0.5$$

$$\theta = 30$$

ขั้นที่ 4

4. ตอบโดยระบุหน่วยให้ชัดเจน

ตอบ มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกกับแนวการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดเสียง คือ 30 องศา ดังนั้น มุมระหว่างหน้าคลื่นกระแทกเท่ากับ 60 องศา



คะแนนรวมไม่ถึง 12 คะแนน กลับไปทบทวนใหม่
นะครับ





ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				
2				
3				
4				
5				

คะแนนไม่ถึง 4 คะแนน ทบทวน
อีกครั้งนะคะ





บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2546). **คู่มือครูกลุ่มสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. กรุงเทพฯ : ครูสภาลาดพร้าว

จำนง ฉายเชิดและพูลศักดิ์ อินทวิ. **หนังสือเรียนสาระการเรียนรู้พื้นฐาน กลุ่มสาระการเรียนรู้**
วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ : ฟิสิกส์ ม.4-ม.6 ช่วงชั้นที่ 4. กรุงเทพมหานคร: อักษรเจริญทัศน์,
2547

ช่วง ทมทิตชงค์ และคณะ. (2554). **ฟิสิกส์ 3.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไฮเอ็ดพลับลิชชิง.

นิรันดร์ สุวรรณรัตน์. (2546). **คู่มือสาระการเรียนรู้พื้นฐานและเพิ่มเติม ฟิสิกส์ ม.5**
กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บริษัท พ.ศ.พัฒนา จำกัด.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. **คู่มือครูสาระการเรียนรู้**
พื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ครูสภาลาดพร้าว,
2554.

_____. **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปี**
ที่ 4-6.

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว, 2558.

