

คู่มือเรียนรายวิชา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
เพิ่มเติม ตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)



ฟิสิกส์

เรียบเรียงโดย

นิรันดร์ สุวรรรัตน์

กค.บ. (ฟิสิกส์), ก.ม. (ฟิสิกส์)

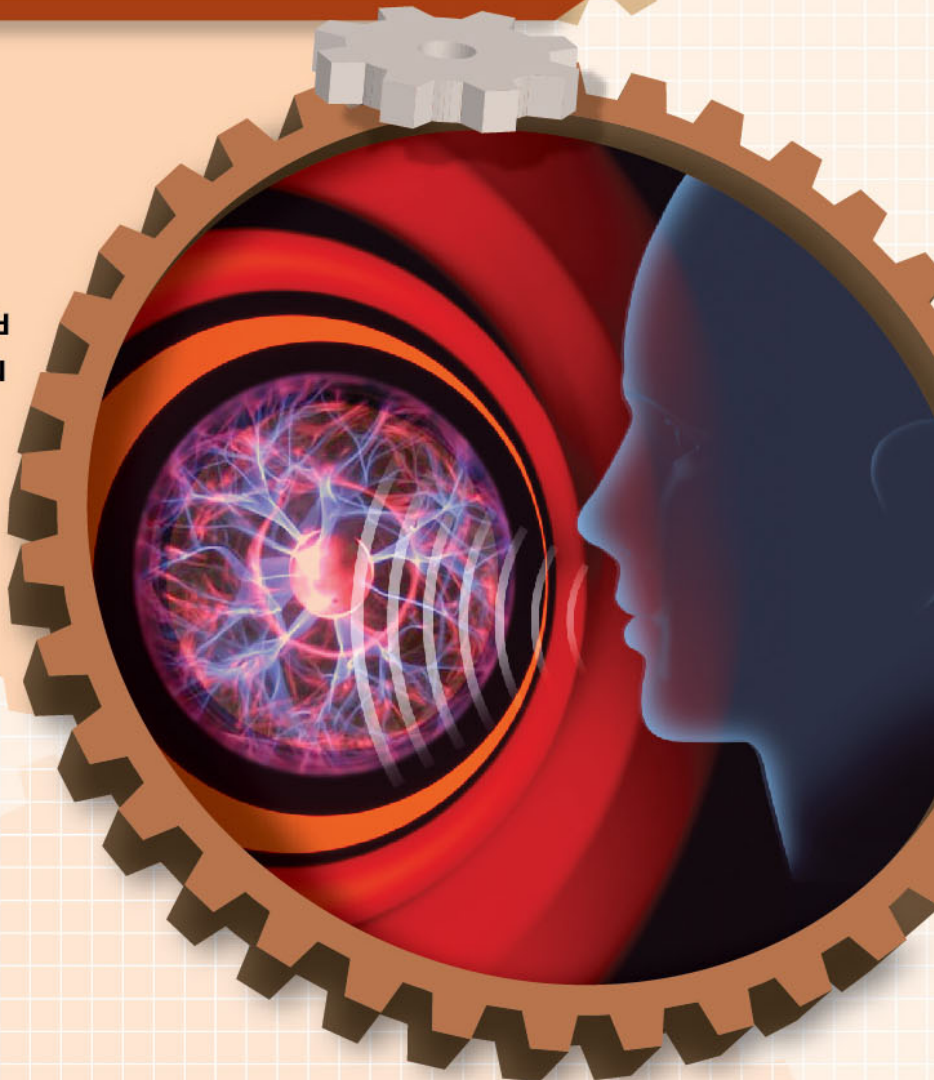
ม.5 เล่ม 4

สรุปเนื้อหาสำคัญ

- เสียง
- ไฟฟ้าสถิต
- ไฟฟ้ากระแส

แบบทดสอบท้ายบท

ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย
พร้อมเฉลยครบถ้วน



กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน
พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560)

ฟิสิกส์

ม. 5
เล่ม 4

สรุปเนื้อหาสำคัญ



เสียง

ไฟฟ้าสถิต

ไฟฟ้ากระแส

แบบทดสอบท้ายบท

ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย

พร้อมเฉลย



สำนักพิมพ์ พ.ศ.พัฒนา

เรียบเรียงโดย นิรันดร์ สุวรรรัตน์ กศ.บ. (ฟิสิกส์), ค.ม. ฟิสิกส์ (จุฬา)

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ (ฉบับเพิ่มเติม) พ.ศ.2558

คู่มือเรียนรัฐาษวิชา **พีลิกส์** ม. 5 เล่ม 4

ผู้เขียน **นิรันดร์ สุวรรตน์**

บรรณาธิการ **อรศรี ไรจน์พจนรัตน์**

ผู้ช่วยบรรณาธิการ (ศิลปกรรม) **อมรศักดิ์ บุญเรือง**

พิสูจน์อักษร **นิรันดร์ สุวรรตน์**

พิจารณา **ไพสุวรรณ**

รูปเล่ม **อุไรพรรณ บุญเรือง**

ศิลปกรรม **สิทธิพันธ์ สุกุลชัยศิริวิช**

ปก **อมรศักดิ์ บุญเรือง**

ISBN 978-616-201-797-1



หนังสือเล่มนี้พิมพ์ด้วย กระดาษรีไซเคิล เอ
กระดาษจากไม้ปลูก ไม่รบกวนไม้ธรรมชาติ



สำนักพิมพ์นี้เป็นสมาชิกสมาคมผู้จัดพิมพ์
และผู้จำหน่ายหนังสือแห่งประเทศไทย
แนะนำหรือวิจารณ์หนังสือเล่มนี้ได้ที่

www.thaibookrecommend.com

จัดพิมพ์ : บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด

12 ซอยหม่อมแฝ้ว แขวง 3 ถนนพระราม 6 (ซอย 41) แขวงสามเสนใน เขตพญาไท
กรุงเทพมหานคร โทร. 02-279-6222 (อัตรา 15 คู่สาย) โทรสาร 02-279-6203

พิมพ์ที่ : เพิ่มทรัพย์ การพิมพ์

117/22 หมู่ 5 ซอยบางไผ่พัฒนา ถนนนครินทร์ ต. บางไผ่

อ. เมือง จ. นนทบุรี 11000

(ธนพัฒน์ สุขมงคลกุล ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา)



คำนำ

ฟิสิกส์ ม. 5 เล่ม 4

เนื่องด้วยในปี พ.ศ. 2551 กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศให้ใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยวิชาฟิสิกส์จัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และในปี พ.ศ. 2560 ได้มีการปรับปรุงเนื้อหาฟิสิกส์ โดยจัดเรียงเนื้อหาสาระใหม่ โดยในรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 4 เพื่อใช้ในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเสียง ไฟฟ้าสถิต และไฟฟ้ากระแส โดยละเอียด ประกอบด้วย

1. เนื้อหาครบสมบูรณ์ครอบคลุม
2. มีตัวอย่างต่อจากทฤษฎีทุกทฤษฎี
3. มีข้อสรุปที่สำคัญเป็นระยะๆ
4. มีการวิเคราะห์โจทย์ตัวอย่าง เพื่อฝึกหัดการวิเคราะห์โจทย์ของนักเรียน ให้มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้
5. แบบทดสอบตามบทเรียน เพื่อช่วยทบทวนและประเมินตนเอง
6. เฉลยแบบทดสอบอย่างละเอียด
7. ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยปี 2518 - ปัจจุบัน เพื่อให้นักเรียนเห็นแนวข้อสอบ
8. เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยอย่างละเอียด

ผู้เขียนได้อาศัยประสบการณ์จากการสอนฟิสิกส์มากกว่า 30 ปี ทำการเรียบเรียงหนังสือคู่มือฟิสิกส์ ม.5 เล่ม 4 เล่มนี้ขึ้นมา เพื่อช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาครบตามหลักสูตร และเป็นพื้นฐานในการศึกษาขั้นสูงต่อไป หวังว่านักเรียนที่ได้อ่านและศึกษาจากคู่มือเล่มนี้จะประสบความสำเร็จในการเรียนวิชาฟิสิกส์ต่อไป

ด้วยความปรารถนาดี


(นิรันดร์ สุวรรณ์)



สารบัญ

ฟิสิกส์ ม. 5 เล่ม 4

บทที่ 12	เสียง	1
12.1	ธรรมชาติของเสียง	1
12.2	การเกิดคลื่นเสียงและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง	2
12.3	ความถี่ ความยาวคลื่น และอัตราเร็วของคลื่นเสียง	5
12.4	สมบัติของคลื่นเสียง	14
12.5	ความเข้มเสียงและการได้ยิน	38
12.6	ระดับเสียง	60
12.7	คุณภาพเสียง	64
12.8	บีตส์	65
12.9	คลื่นนิ่ง	72
12.10	การสั่นพ้องของเสียง	74
12.11	ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	94
12.12	คลื่นกระแทก	110
12.13	การนำความรู้เรื่องเสียงไปใช้ประโยชน์	121
■	แบบทดสอบบทที่ 12 เสียง	123
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 12 เสียง	136
✱	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัย บทที่ 12 เสียง	159
✱	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 12 เสียง	171

บทที่ 13	ไฟฟ้าสถิต	193
13.1	ประจุไฟฟ้า	194
13.2	กฎการอนุรักษ์ประจุไฟฟ้า	195
13.3	ตัวนำไฟฟ้าและฉนวนไฟฟ้า	197
13.4	การทำให้วัตถุตัวนำเกิดประจุไฟฟ้า	197
13.5	อิเล็กโทรสโคป	201
13.6	การกระจายของประจุ	203
13.7	การทดสอบที่แสดงว่าประจุจะกระจายอยู่เฉพาะผิวนอกของ ตัวนำเท่านั้น	204
13.8	การถ่ายเทประจุไฟฟ้าบนตัวนำทรงกลม	206
13.9	แรงระหว่างประจุและกฎของคูลอมบ์	207
13.10	สนามไฟฟ้า	217
13.10.1	สนามไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ	222
13.10.2	เส้นแรงไฟฟ้า	226
13.10.3	จุดสะเทินในสนามไฟฟ้า	229
13.10.4	สนามไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม	231
13.11	ศักย์ไฟฟ้า	234
13.11.1	งานในการย้ายประจุในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ	235
13.11.2	ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากจุดประจุ	236
13.11.3	ศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากประจุบนตัวนำทรงกลม	241
13.11.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ และสนามไฟฟ้า สม่ำเสมอ	244
13.11.5	ผิวสมศักย์ และเส้นสมศักย์	253

13.12	ตัวเก็บประจุ และความจุไฟฟ้า	254
13.12.1	ความจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมลูกเดียว	254
13.12.2	ความจุไฟฟ้าของตัวนำทรงกลมซ้อนกันและลูกนอก ต่อลงดิน	256
13.12.3	ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุแบบแผ่นโลหะขนาน	258
13.12.4	การต่อตัวเก็บประจุ	259
13.13	การหาปริมาณประจุบนตัวนำทรงกลมเมื่อมีการถ่ายเทประจุ	267
13.14	พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ	270
13.15	การนำความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตไปใช้ประโยชน์	273
■	แบบทดสอบบทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต	276
■	เฉลยแบบทดสอบบทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต	291
✱	ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต	312
✱	เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 13 ไฟฟ้าสถิต	328

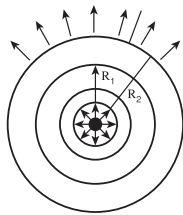
บทที่ 14	ไฟฟ้ากระแส	356
14.1	กระแสไฟฟ้า	356
14.2	แหล่งกำเนิดไฟฟ้า	357
14.2.1	เซลล์ไฟฟ้าเคมี	357
14.2.2	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	359
14.2.3	คู่ควมความร้อน	359
14.2.4	เซลล์สุริยะ	359
14.2.5	แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากสิ่งมีชีวิต	360
14.3	การนำไฟฟ้า	360
14.3.1	การนำไฟฟ้าในโลหะ	360

14.3.2	การนำไฟฟ้าในหลอดสุญญากาศ	361
14.3.3	การนำไฟฟ้าในอิเล็กทรอนิกส์	362
14.3.4	การนำไฟฟ้าในหลอดบรรจุแก๊ส	363
14.3.5	การนำไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำ	363
14.4	กระแสไฟฟ้าในตัวนำ	364
14.5	กฎของโอห์มและความต้านทาน	370
14.5.1	ความต้านทานไฟฟ้า	371
14.5.2	ไดโอด	374
14.5.3	แอลดีอาร์	376
14.5.4	เทอร์มิสเตอร์	376
14.6	สภาพต้านทานและสภาพนำไฟฟ้า	377
14.7	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทาน	383
14.8	การคำนวณหาความต้านทาน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	385
14.9	การต่อตัวต้านทาน	387
14.9.1	การต่อตัวต้านทานแบบอนุกรม	387
14.9.2	การต่อตัวต้านทานแบบขนาน	388
14.9.3	การต่อตัวต้านทานที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน	391
14.9.4	ตัวต้านทานที่ต่อกันแบบสมมาตร	399
14.9.5	ตัวต้านทานที่ต่อแบบวียทสโตนบริดจ์	403
14.9.6	ตัวต้านทานที่ต่อแบบ Delta (Δ), Wye (Y)	405
14.10	แรงเคลื่อนไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า	408
14.11	ค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วเซลล์ เมื่อวงจรเปิดและวงจรปิด	409
14.12	การต่อเซลล์ไฟฟ้า	410

14.13	การหาความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด ที่มีเซลล์ไฟฟ้า แทรกอยู่ในวงจรไฟฟ้าวงเดียว	426
14.14	กฎของเคอร์ชอฟฟ์	432
14.15	แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และโอห์มมิเตอร์	437
14.15.1	หลักการสร้างแอมมิเตอร์	437
14.15.2	หลักการสร้างโวลต์มิเตอร์	439
14.15.3	หลักการสร้างโอห์มมิเตอร์	442
14.15.4	มัลติมิเตอร์	444
14.16	พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า	447
14.16.1	พลังงานไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า	447
14.16.2	พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียให้แก่ตัวต้านทาน	448
14.17	การคิดค่าไฟฟ้า	455
14.18	ประสิทธิภาพกับการสูญเสีย	459
	■ แบบทดสอบบทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส	462
	■ เฉลยแบบทดสอบบทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส	474
	✱ ข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส	490
	✱ เฉลยข้อสอบเข้ามหาวิทยาลัยบทที่ 14 ไฟฟ้ากระแส	511

บทที่ 12

เสียง



มนุษย์เราตั้งแต่ลืมตาดูโลกจะได้ยินเสียงต่าง ๆ ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเสียงที่ทำให้เกิดขึ้น เช่น เสียงพูดคุย เสียงเพลง เสียงร้องของสัตว์ เสียงเครื่องจักรกลต่าง ๆ มนุษย์เรารู้จักการแบ่งแยกสิ่งต่าง ๆ โดยอาศัยเสียงที่ได้ยิน เสียงยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างมนุษย์ด้วยกันหรือระหว่างมนุษย์กับสัตว์บางชนิด นอกจากนี้เสียงยังมีประโยชน์อีกหลาย ๆ ด้าน และก็มีโทษเช่นกันในบทเรียนนี้จะเป็นการศึกษาธรรมชาติของเสียง ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของเสียงในชีวิตประจำวัน

12.1 ธรรมชาติของเสียง

เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร จากการศึกษาพบว่าเมื่อวัตถุเกิดการสั่นจะเกิดเสียงขึ้น เช่น การสั่นของเส้นเสียงในกล่องเสียง ขณะมีการเปล่งเสียงพบว่าเมื่อจับที่ลำคอจะรู้สึกว่ามี การสั่นภายในลำคอหรือการสั่นของสายกีตาร์ เมื่อสายกีตาร์สั่นจะเกิดเสียง แต่เมื่อสายกีตาร์หยุดสั่น เสียงก็จะเงียบไปจากการศึกษา พบว่าเราได้ยินเสียงต้องมีองค์ประกอบ ดังนี้

1. **แหล่งกำเนิด** เช่น เมื่อเราดีดสายกีตาร์ พลังงานจากการดีดซึ่งเป็นพลังงานกล จะถ่ายโอนให้กับสายกีตาร์ ทำให้สายกีตาร์สั่น พลังงานของการสั่นของสายกีตาร์ จะเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงแผ่ออกไปโดยรอบ จึงกล่าวได้ว่า **เสียงเกิดจากการสั่นของสายกีตาร์** ซึ่งถือว่า **สายกีตาร์เป็นแหล่งกำเนิดเสียง**

2. **ตัวกลาง** เมื่อสายกีตาร์กำลังสั่น พลังงานเสียงที่แผ่ออกจากสายกีตาร์ จะถ่ายโอนพลังงานผ่านอากาศทำให้โมเลกุลของอากาศเกิดการสั่นแล้วโมเลกุลของอากาศจะถ่ายโอนพลังงานที่ได้รับให้แก่โมเลกุลถัด ๆ

ไป มีผลทำให้เสียงเคลื่อนที่ไปโดยรอบแหล่งกำเนิด ดังนั้นถ้าไม่มีอากาศจะไม่ได้ยินเสียงนั้นเราจึงถือว่าอากาศเป็นตัวกลางที่เสียงใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านไป นอกจากนี้ยังพบอีกว่าตัวกลางที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านไปได้อาจเป็นของเหลว หรือของแข็งได้เช่นกัน

3. **ผู้ฟัง** เมื่อเสียงเคลื่อนที่มาถึงผู้ฟัง จะทำให้ประสาทสัมผัสในหูรับเสียง ทำให้เกิดความรู้สึกได้ยินเสียงนั้น

จากการถ่ายโอนพลังงานจากแหล่งกำเนิด ผ่านตัวกลางไปยังหูผู้ฟังทำให้ได้ยินเสียง แสดงว่าเสียงมีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังผู้ฟัง ปัญหาก็คือ เสียงมีการเคลื่อนที่อย่างไร จากการศึกษาสมบัติของเสียงพบว่าเสียงมีสมบัติดังนี้

1. **การสะท้อนของเสียง** เช่น การตะโกนในถ้ำ หรือในห้องโถงขนาดใหญ่ที่ปิดประตูหน้าต่างหมด พบว่าจะเกิดเสียงสะท้อนครั้งเดียวหรือหลายครั้ง แสดงว่า**เสียงมีการสะท้อนได้**

2. **การหักเหของเสียง** เช่น การเกิดฟ้าแลบแล้วไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เนื่องจากเสียงมีการหักเหกลับไปในอากาศชั้นบนอีกครั้งหนึ่ง แสดงว่า**เสียงมีการหักเหได้**

3. **การแทรกสอดของเสียง** เมื่อใช้ลำโพงตัวเดียวต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียงพบว่ารอบ ๆ ลำโพงจะได้ยินเสียงสม่ำเสมอ แต่เมื่อใช้ลำโพงสองตัวต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดสัญญาณเสียง 2 เครื่องซึ่งให้ความถี่เสียงเท่ากัน พบว่า **ที่ตำแหน่งต่างกันจะได้ยินเสียงดังและค่อย** ถ้าเปรียบเทียบกับ การแทรกสอดของคลื่นน้ำ พบว่าตำแหน่งที่ได้ยินเสียงดังและค่อย เป็นตำแหน่งที่มีการแทรกสอดกันแบบเสริมและหักล้างแสดงว่า**เสียงมีการแทรกสอดได้**

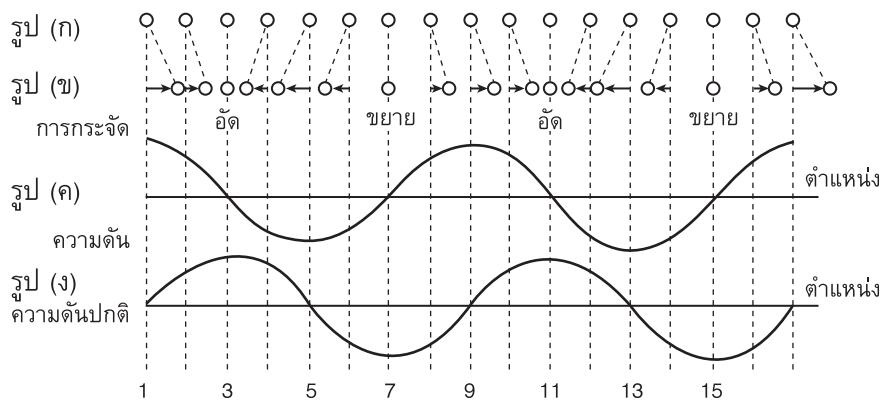
4. **การเลี้ยวเบนของเสียง** เช่น การได้ยินเสียงจากภายนอกห้อง ที่ผู้ฟังมองไม่เห็นแหล่งกำเนิด หรือผู้ฟังได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่คนละฝั่งของกำแพง ซึ่งจากตัวอย่างที่ยกมานี้ แสดงว่า**เสียงมีการเลี้ยวเบนได้**

จากสมบัติที่เสียงมีการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบน ซึ่งเป็นสมบัติของคลื่น แสดงว่า**เสียงมีสมบัติเป็นคลื่น**

12.2 การเกิดคลื่นเสียงและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ พลังงานจากการสั่นของวัตถุ จะถ่ายโอนให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้โมเลกุลของอากาศสั่น แล้วถ่ายโอนพลังงานที่ได้รับแก้มอเลกุลถัดไป มีผลให้คลื่นเสียงแผ่กระจายออกไปในอากาศ โดยรอบแหล่งกำเนิดโดยโมเลกุลของอากาศไม่ได้เคลื่อนที่ไปพร้อมกับคลื่นหลังจากที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านไปแล้วโมเลกุลของอากาศแต่ละตำแหน่งจะยังอยู่ที่เดิม ในการสั่นของโมเลกุลของอากาศขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน จะมีการสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิค ในแนวเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ดังนั้น **คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว**

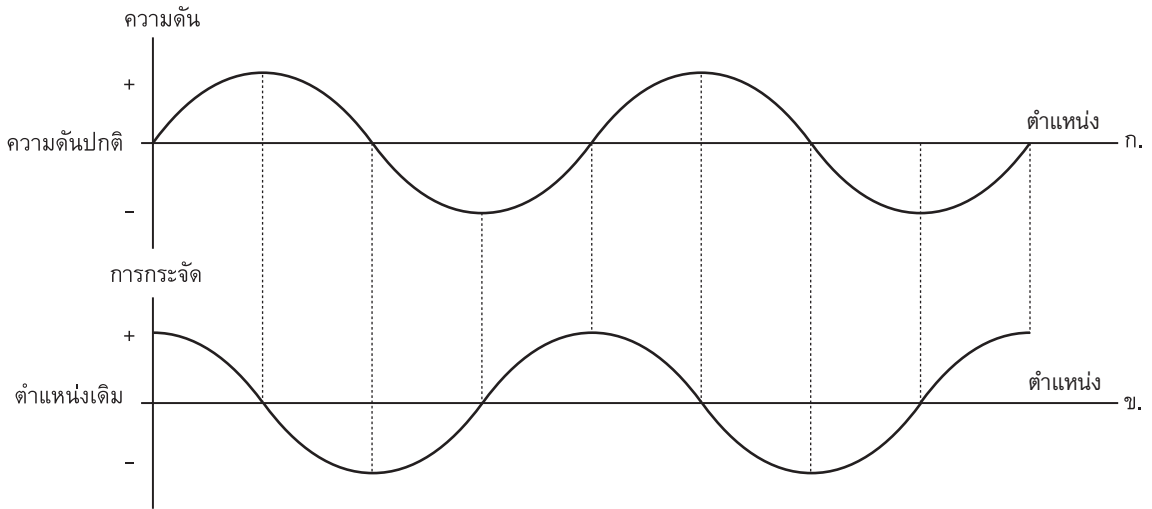
เมื่อพิจารณาโมเลกุลของอากาศ ในแนวเส้นตรงที่มีทิศออกจากแหล่งกำเนิดเสียง ขณะที่ไม่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน แต่ละโมเลกุลจะอยู่ห่างเท่าๆ กัน ดังรูป 12.1 (ก) เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านระยะห่างระหว่างโมเลกุลจะเปลี่ยนไป ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่งระยะห่างระหว่างโมเลกุล แต่ละโมเลกุลจะมีค่าต่างๆ กัน ส่วนของโมเลกุลที่อยู่ชิดกว่าปกติเรียกว่า **ส่วนอัด (compression)** ส่วนโมเลกุลที่อยู่ห่างกว่าปกติ เรียกว่า **ส่วนขยาย (rarefaction)** ถ้าพิจารณาบริเวณส่วนอัดจะเห็นว่าโมเลกุลที่อยู่ตรงกลางไม่มีการเคลื่อนที่ เพราะถูกโมเลกุลส่วนที่อยู่ทางซ้าย และส่วนที่อยู่ทางขวาอัดเข้ามารวมการจัดของโมเลกุลตรงกลางจึงเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาบริเวณส่วนขยายจะเห็นว่า โมเลกุลที่อยู่ตรงกลางก็ไม่มีการเคลื่อนที่เช่นกัน การการจัดจึงเป็นศูนย์ ดังรูป 12.1 (ข) เมื่อเขียนเป็นกราฟ แสดงการจัดเทียบกับตำแหน่งของ โมเลกุลของอากาศโดยกำหนดให้ทิศทางการการจัดไปทางขวาเป็นบวก (+) และทิศทางการการจัดไปทางซ้ายเป็นลบ (-) จะได้กราฟ ดังรูป 12.1 (ค) และกราฟแสดงความดันของโมเลกุลของอากาศ กับตำแหน่งต่างๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง ดังรูป 12.1 (ง)



รูป 12.1 แสดงการสั่นของโมเลกุลขณะคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน

จากรูป 12.1 (ง) ขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนอัดจะอยู่กันชิดมากกว่าเดิม ทำให้ความดันบริเวณที่เป็นส่วนอัดสูงกว่าปกติ ส่วนโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนขยายจะอยู่ห่างกันมากกว่าเดิม ทำให้ความดันบริเวณที่เป็นส่วนขยายต่ำกว่าปกติโดยบริเวณตรงกลางของส่วนอัดจะมีความดันเพิ่มขึ้น จากปกติมากที่สุดส่วนบริเวณตรงกลางของส่วนขยายจะมีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด จึงเขียนเป็นกราฟระหว่างความดันกับ ตำแหน่งได้ดังกราฟรูป 12.1(ง)

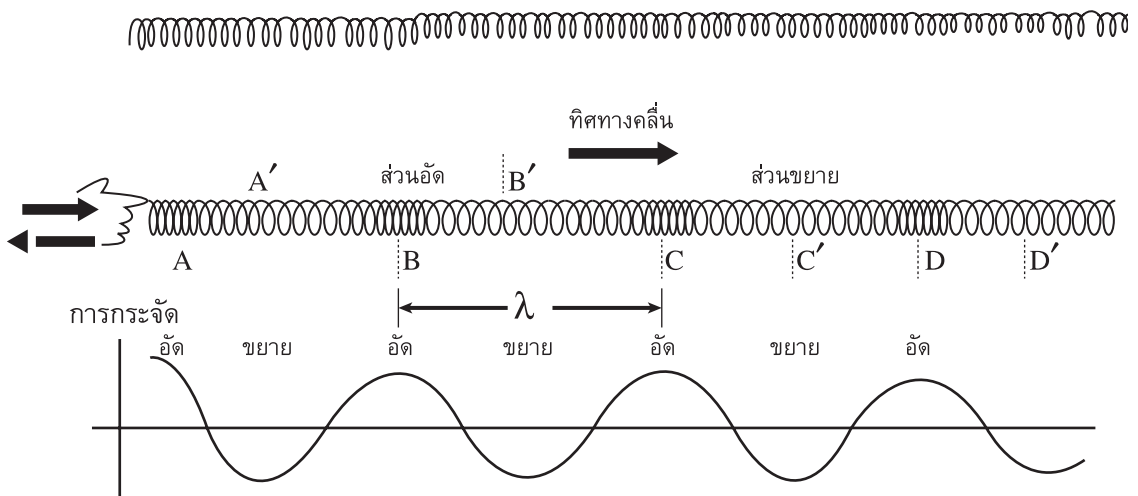
จากกราฟของการการจัด และความดัน ณ ตำแหน่งใด ๆ พบว่ากราฟการจัดมีเฟสนำหน้ากราฟความดันอยู่ 90° ตลอดเวลาดังรูป 12.2



รูป 12.2 ก. กราฟระหว่างความดันกับตำแหน่งต่างๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

ข. กราฟระหว่างการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งต่างๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

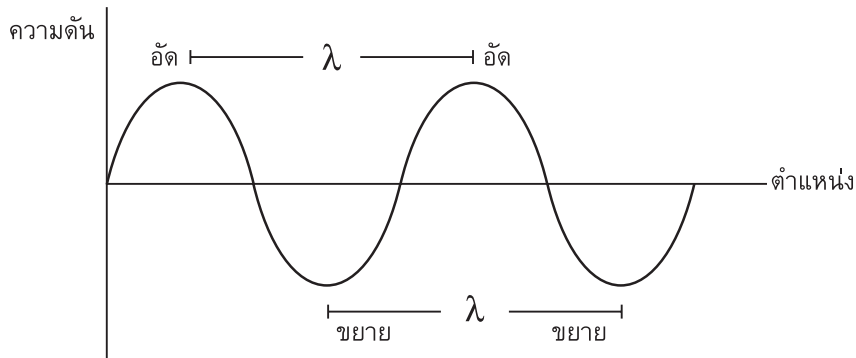
นอกจากนี้เราสามารถศึกษาการเกิดคลื่นตามยาวได้จากการเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริงดังรูป 12.3 ซึ่งมี ส่วนอัดและส่วนขยายเหมือนกับการเกิดคลื่นเสียงผ่านอากาศ ดังรูป 12.1



รูป 12.3 การเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริง

12.3 ความถี่ ความยาวคลื่น และอัตราเร็วของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นที่เกิดจากการสั่นของวัตถุ และการสั่นนี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันของอากาศด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ส่วนความยาวคลื่นเสียงอาจหาได้จากระยะห่างจากส่วนอัดของคลื่นถึงส่วนอัดที่ติดกันหรือระยะห่างจากส่วนขยายถึงส่วนขยายที่ติดกัน ดังรูป 12.4



รูป 12.4 แสดงความยาวของคลื่นเสียง

12.3.1 อัตราเร็วของคลื่นเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาว ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางและสมบัติของตัวกลางได้แก่ ความหนาแน่น ความยืดหยุ่นของตัวกลางและ อุณหภูมิของตัวกลางนั้น เป็นต้น

ตาราง 12.1 แสดงอัตราเร็วของเสียงในตัวกลางชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25° C

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (เมตร/วินาที)
อากาศ	346
ไฮโดรเจน	1,339
ปรอท	1,450
น้ำ	1,498
น้ำทะเล	1,531
แก้ว	4,540
อะลูมิเนียม	5,000
เหล็ก	5,200

การหาอัตราเร็วของเสียง ลักษณะต่างๆ

1. เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น ดังนั้นการหาอัตราเร็วของเสียงจึงเหมือนคลื่น คือ

$$v = \lambda f \quad \dots (12.1)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นเสียง (m)

f คือ ความถี่คลื่นเสียง (Hz)

v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

2. เนื่องจากเสียงเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ถ้าในตัวกลางเดียวกัน ณ อุณหภูมิเดียวกัน อัตราเร็วของคลื่นเสียงคงที่ ดังนั้น

$$v = \frac{s}{t} \quad \dots (12.2)$$

เมื่อ s คือ ระยะทางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ได้ (m)

t คือ เวลาที่คลื่นเสียงใช้ในการเคลื่อนที่ (s)

v คือ อัตราเร็วของคลื่นเสียง (m/s)

3. อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ จะขึ้นอยู่กับสมบัติด้านความยืดหยุ่น และความหนาแน่นของวัตถุที่เป็นตัวกลางนั้น โดย

อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad \dots (12.3)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของเสียงในของแข็ง (m/s)

Y คือ โมดูลัสความยืดหยุ่นของวัตถุ (N/m^2)

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ (kg/m^3)

อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \dots (12.4)$$



เมื่อ v คือ อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ (m/s)

B คือ มอดูลัสความยืดหยุ่นของก๊าซ (N/m²)

ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m³)

ในบทเรียนนี้จะศึกษาเฉพาะตัวกลางอากาศซึ่งเป็นก๊าซ ในขณะที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านก๊าซจะทำให้ก๊าซมีการอัดและขยายตัวอย่างรวดเร็วจนถือได้ว่าไม่มีการรับหรือสูญเสียพลังงานความร้อน หรือมีการเปลี่ยนแปลงแบบ **adiabatic** ซึ่งได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\rho v^\gamma = \text{ค่าคงตัว} \quad \dots (1)$$

เมื่อ γ คือ ค่าคงตัวสำหรับก๊าซชนิดหนึ่ง เช่น อากาศจะมีค่า $\gamma = 1.4$

จากความหมายของมอดูลัสความยืดหยุ่นของก๊าซ (B) สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงพิสูจน์ได้ว่า

$$B = \gamma P \quad \dots (2)$$

นั่นคือ อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad \dots (12.5)$

จากการศึกษาสมบัติของก๊าซอุดมคติ พบว่า

$$PV = nRT$$

เมื่อ n คือ จำนวนโมลของก๊าซ ถ้า m เป็นมวลของก๊าซทั้งหมดใน n โมล และ M เป็นมวลของก๊าซ 1 โมล

$$\text{จึงได้ว่า } n = \frac{m}{M}$$

$$\text{ดังนั้น } PV = \frac{m}{M} RT$$

$$P = \frac{mRT}{VM}$$

$$P = \frac{\rho RT}{M} \quad \dots (12.6)$$

จากสมการ (12.5) และ (12.6) จะได้ว่า

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \rho RT}{\rho M}}$$

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad \dots (12.7)$$

เมื่อ R คือค่า นิยของก๊าซ มีค่า 8.31 J/mol.K

T คือ อุณหภูมิในหน่วยของศาสสมบูรณ์ (K)

M คือ มวลของก๊าซใน 1 โมล

γ คือ ค่าคงตัวสำหรับก๊าซหนึ่ง

v คือ อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ

โดยทั่วไปแล้วถือว่าอากาศประพฤติตัวเช่นเดียวกับก๊าซอุดมคติ ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงในอากาศจึงเป็นไปตามสมการ (12.5)

จากสมการ (12.5) พบว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศแปรผันโดยตรงกับรากที่สองของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T)

$$v \propto \sqrt{T}$$

ซึ่งอาจเขียนว่า ; -

$$v = k\sqrt{T}$$

โดย k คือ ค่าคงที่ เท่ากับ $\sqrt{\frac{\gamma R}{M}}$

จากสมการ (12.5) เมื่ออุณหภูมิ 0°C จะได้ว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศมีค่าประมาณ 331 เมตร/วินาที ถ้าต้องการหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$ อาจหาได้จาก

$$\text{เมื่อ อุณหภูมิ} = 0^{\circ}\text{C} , \quad v_0 = k\sqrt{T_0} \quad \dots (1)$$

$$\text{อุณหภูมิ} = t^{\circ}\text{C} , \quad v_t = k\sqrt{T} \quad \dots (2)$$

$$\begin{aligned} (2) \div (1) \quad \frac{v_t}{v_0} &= \sqrt{\frac{T}{T_0}} \\ \frac{v_t}{v_0} &= \sqrt{\frac{273 + t}{273}} \\ \frac{v_t}{v_0} &= \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

เมื่อ v_0 , v_t คือ อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่ 0°C และ $t^{\circ}\text{C}$ และ $v_0 = 331 \text{ m/s}$

$$\frac{v_t}{331} = \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$$

จาก $(1 + x)^{\frac{1}{2}}$ ถ้า x มีค่าน้อยๆ เมื่อใช้ Binomial Series กระจายค่า $(1 + x)^{\frac{1}{2}}$ จะได้ค่าประมาณ $1 + \frac{x}{2}$

ทำนองเดียวกัน $\left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$ มีค่า $\approx 1 + \frac{t}{2 \times 273}$ เมื่อ t มีค่า $\leq 45^{\circ}\text{C}$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{v_t}{331} = 1 + \frac{t}{546}$$

$$v_t = 331 + \frac{331t}{546}$$

$$\boxed{v_t = 331 + 0.6t} \quad \dots (12.8) \quad (t \text{ แทนด้วยอุณหภูมิในหน่วย } ^{\circ}\text{C} \text{ ได้เลย})$$



แต่ถ้าอุณหภูมิของอากาศมีค่าตั้งแต่ 45°C ขึ้นไป ต้องใช้สมการเดิม คือ

$$v = k\sqrt{T}$$

จะได้ว่า $\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$ (12.9) อาจใช้หาอัตราเร็วเสียงในก๊าซทั่วๆ ไปได้

1. ก๊าซฮีเลียม มีความหนาแน่น 0.179 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีค่าคงที่สำหรับก๊าซ (γ) 1.67 ที่ความดัน 1 บรรยากาศและอุณหภูมิ 0°C จงหาอัตราเร็วของเสียงที่เคลื่อนที่ผ่าน ก๊าซฮีเลียมนี้เป็นเท่าใด (ความดัน 1 บรรยากาศ $= 1.013 \times 10^5$ นิวตัน/ตารางเมตร)

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\rho = 0.179 \text{ kg/m}^3$, $P = 1 \text{ atm}$ หรือ $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

$\gamma = 1.67$ ต้องการหา v

จาก อัตราเร็วของเสียงในก๊าซ (v) $= \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

แต่ $B = \gamma P$ จึงได้ว่า $v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$

$$= \sqrt{\frac{1.67 \times 1.013 \times 10^5}{0.179}}$$

$$\therefore v = 972 \text{ m/s}$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านก๊าซฮีเลียมมีค่า 972 เมตร/วินาที

2. เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านก๊าซไฮโดรเจนซึ่งมีค่าคงที่ (γ) 1.40 ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสจะมีอัตราเร็วเท่าใด ($M = 2 \text{ g/mol}$, $R = 8.31 \text{ J/mol.K}$)

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\gamma = 1.40$, $T = 27 + 273 = 300 \text{ K}$, $M = 2 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, $R = 8.31 \text{ J/mol.K}$ สามารถหาอัตราเร็ว (v) ของเสียงในก๊าซไฮโดรเจนนี้ได้

จาก $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$

แทนค่า $= \sqrt{\frac{1.40 \times 8.31 \times 300}{2 \times 10^{-3}}}$

$$\therefore v = 1321 \text{ m/s}$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 1321 เมตร/วินาที

3. จงหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิ 15°C

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ อุณหภูมิ (t) ของอากาศ สามารถหาอัตราเร็วของเสียง (v) ได้

จาก $v_t = 331 + 0.6 t$

$$= 331 + 0.6 (15)$$

$$\therefore v = 340 \text{ m/s}$$

ดังนั้นอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตร/วินาที

4. แหล่งกำเนิดเสียงอันหนึ่งสั่นด้วยความถี่ 692 Hz วางไว้ในอากาศที่อุณหภูมิ 25 °C อยากทราบว่า คลื่นเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิดนี้ จะมีความยาวคลื่นเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ความถี่ (f) และอุณหภูมิ (t) ต้องการหาความยาวคลื่น (λ)
ต้องหาอัตราเร็ว (v) ก่อน

$$\begin{aligned}\text{จาก } v_t &= 331 + 0.6 t \\ &= 331 + 0.6 (25) \\ &= 331 + 15\end{aligned}$$

$$\therefore v = 346 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\text{หา } \lambda, \text{ จาก } v &= \lambda f \\ 346 &= \lambda (692) \\ \lambda &= \frac{346}{692} \\ \therefore \lambda &= 0.5 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้นคลื่นเสียงมีความยาวคลื่น 0.5 เมตร

5. ถ้าเห็นฟ้าแลบและได้ยินเสียงฟ้าร้องในเวลา 5 วินาที ต่อมา จงหาตำแหน่งที่ฟ้าแลบอยู่ไกลเท่าไร เมื่ออัตราเร็วเสียงในอากาศ 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์โจทย์ ขณะเกิดฟ้าแลบ แสงจากฟ้าแลบเคลื่อนที่เร็วมากมีค่า 3×10^8 m/s ถือว่าแสง ฟ้าแลบเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่เกิดฟ้าแลบมาถึงผู้สังเกตทันที แต่เสียงมีอัตราเร็วช้ากว่ามาก ต้องใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ เมื่อรู้เวลา (t) ที่เสียงเดินทาง และอัตราเร็วของเสียงในอากาศ (v) สามารถหารระยะทางได้

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \frac{s}{t} \\ 340 &= \frac{s}{5} \\ \therefore s &= 1700 \text{ m.}\end{aligned}$$

ดังนั้นตำแหน่งฟ้าแลบอยู่ไกลออกไป 1700 เมตร

6. ถ้าอัตราเร็วเสียงในก๊าซหนึ่งที่อุณหภูมิ 27 °C วัดได้ 350 m/s ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็น 327 °C อัตราเร็วเสียงในก๊าซนั้นจะเป็นเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $t_1 = 27$ °C, $t_2 = 327$ °C, $v_1 = 350$ m/s ต้องการหา v_2 สมการ $v = 331 + 0.6t$ ใช้ไม่ได้เพราะ $t_2 > 45$ °C ต้องหา v_2

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } v &= k\sqrt{T} \\
 \frac{v_2}{v_1} &= \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \\
 \frac{v_2}{350} &= \sqrt{\frac{327 + 273}{27 + 273}} \\
 \frac{v_2}{350} &= \sqrt{\frac{600}{300}} \\
 v_2 &= 350\sqrt{2} \\
 \therefore v_2 &\approx 495 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราเร็วเสียงในก๊าซเมื่ออุณหภูมิ 327°C มีค่าประมาณ 495 เมตร/วินาที

7. เสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศบริเวณหนึ่งมีอัตราเร็ว 342 เมตร/วินาที เมื่อผ่านไปยังอีกบริเวณหนึ่ง อัตราเร็วเปลี่ยนเป็น 348 เมตร/วินาที จงหาว่าบริเวณทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกันกี่องศาเซลเซียส

วิเคราะห์โจทย์ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่างกัน จะทำให้อัตราเร็วเสียงต่างกันด้วย เมื่อรู้ $v_1 = 342 \text{ m/s}$,

$$v_2 = 348 \text{ m/s} \text{ ต้องการหา } \Delta t$$

$$\text{จาก } v_t = 331 + 0.6t$$

$$\text{ได้ว่า } v_1 = 331 + 0.6t_1 \quad \dots (1)$$

$$\text{และ } v_2 = 331 + 0.6t_2 \quad \dots (2)$$

$$(2) - (1) ; v_2 - v_1 = 0.6t_2 - 0.6t_1$$

$$348 - 342 = 0.6(t_2 - t_1)$$

$$t_2 - t_1 = \frac{6}{0.6} = 10^\circ\text{C}$$

ดังนั้นบริเวณทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกัน 10 องศาเซลเซียส

8. จากการทดลองพบว่า อัตราเร็วเสียงในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 และ 35 องศาเซลเซียส เป็น 343 และ 352 เมตร/วินาที ตามลำดับ ถ้าอุณหภูมิเป็น 0 องศาเซลเซียส อัตราเร็วเสียงจะเป็นเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 35^\circ\text{C}$, $v_1 = 343 \text{ m/s}$, $v_2 = 352 \text{ m/s}$ ต้องการหา $v_0 (t = 0^\circ\text{C})$

$$\text{จาก } v_t = v_0 + 0.6t$$

$$\text{ได้ว่า } 343 = v_0 + 0.6(20)$$

$$\therefore v_0 = 331 \text{ m/s}$$

$$\text{หรือ } 352 = v_0 + 0.6(35)$$

$$\therefore v_0 = 331 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส อัตราเร็วเสียงเท่ากับ 331 เมตรต่อวินาที

9. โซเรนอันหนึ่งมีส่วนประกอบของจานโลหะกลมที่เจาะรูเล็กๆ ไว้ 40 รูขณะที่หมุนจานโลหะด้วยอัตราเร็ว 17 รอบต่อวินาที ก็เป่าลมเข้าไปทำให้เกิดเสียงโซเรนทุกครั้งที่ลมผ่านรูเล็กๆ นี้ จงหาความถี่ของเสียงโซเรน และถ้าขณะนั้นอากาศมีอุณหภูมิ 15°C เสียงโซเรนมีความยาวคลื่นเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ 1. ความถี่เสียงโซเรน จะมีค่าเท่ากับความถี่ของรูจานโลหะที่อากาศผ่าน
2. ต้องการหา λ ต้องรู้ v และ f ก่อน

เนื่องจาก ในเวลา 1 วินาที จานโลหะหมุนได้ 17 รอบ
หรือ 17×40 รู

จะได้ว่า ความถี่ของรูจานโลหะ = 680 Hz

ดังนั้น ความถี่ของเสียงโซเรนมีค่า 680 เฮิรตซ์

หา v เมื่อ $t = 15^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned}\text{จาก } v_t &= 331 + 0.6 t \\ &= 331 + 0.6 (15)\end{aligned}$$

$$\therefore v = 340 \text{ m/s}$$

หา λ เมื่อ $v = 340 \text{ m/s}$, $f = 680 \text{ Hz}$

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= \lambda (680)\end{aligned}$$

$$\therefore \lambda = 0.5 \text{ m}$$

ดังนั้นเสียงโซเรนมีความยาวคลื่น 0.5 เมตร

10. แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงสั่นด้วยความถี่ 170 เฮิรตซ์ ปล่อยเสียงออกไปในอากาศมีอัตราเร็ว 340 เมตร/วินาที จงหาระยะห่างระหว่างส่วนอัดกับส่วนขยายที่อยู่ใกล้กันที่สุด

วิเคราะห์โจทย์ ระยะห่างระหว่างส่วนอัดและส่วนขยายที่อยู่ใกล้กันที่สุดเท่ากับ $\frac{\lambda}{2}$ เมื่อรู้

$f = 170 \text{ Hz}$, $v = 340 \text{ m/s}$ สามารถ λ ได้

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= \lambda (170)\end{aligned}$$

$$\lambda = 2 \text{ m}$$

$$\therefore \frac{\lambda}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ m}$$

ดังนั้น ระยะห่างระหว่างส่วนอัดกับส่วนขยายที่อยู่ใกล้กันที่สุดมีค่า 1 เมตร

11. เมื่อเคาะท่อเหล็กยาว 1 ครั้งทีปลายข้างหนึ่ง ปรากฏว่าผู้ฟังซึ่งอยู่ที่ปลายอีกข้างหนึ่งของท่อเหล็ก จะได้ยินเสียงเคาะ 2 ครั้ง หลังจากเคาะแล้วเป็นเวลา 0.2 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ ถ้าขณะเคาะท่อเหล็ก อากาศมีอุณหภูมิ 25°C จงหาความยาวของท่อเหล็กและอัตราเร็วของเสียงในท่อเหล็กขณะนั้น

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อเคาะท่อเหล็ก 1 ครั้งแต่ได้ยินเสียงที่ปลายอีกข้างหนึ่ง 2 ครั้ง เนื่องจากเสียงเคลื่อนที่ผ่านไปตามท่อเหล็ก และผ่านอากาศโดยเสียงเคลื่อนที่มาจากท่อเหล็กได้เร็วกว่าในอากาศจากโจทย์รู้ $t_{\text{เหล็ก}} = 0.2 \text{ s}$, $t_{\text{อากาศ}} = 3 \text{ s}$, อุณหภูมิอากาศ 25°C
หา v ในอากาศ

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= 331 + 0.6t \\ &= 331 + 0.6(25)\end{aligned}$$

$$v_{\text{อากาศ}} = 346 \text{ m/s}$$

หาความยาวท่อ (S)

$$\begin{aligned}\text{จาก } s &= v \times t \\ &= 346 \times 3\end{aligned}$$

$$\therefore s = 1038 \text{ m}$$

ดังนั้นท่อเหล็กยาว 1038 เมตร

หา v ในท่อเหล็ก

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \frac{s}{t} \\ v &= \frac{1038}{0.2} \\ \therefore v_{\text{เหล็ก}} &= 5190 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราเร็วเสียงในท่อเหล็กเท่ากับ 5190 เมตร/วินาที

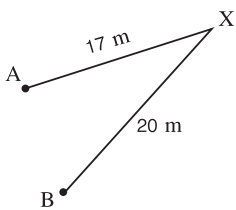
12. ชายคนหนึ่งกำลังว่ายน้ำ เห็นเรือบรรทุกกำลังจะจม และเห็นแสงไฟจากการระเบิดของเรือ 1 ครั้ง แต่ปรากฏว่าได้ยินเสียงระเบิดตามมา 2 ครั้ง ในเวลาห่างกัน 2.4 วินาที ถ้าขณะนั้นอัตราเร็วเสียงในอากาศ 340 เมตร/วินาที และอัตราเร็วเสียงในน้ำ 1496 เมตร/วินาที อยากทราบว่าตำแหน่งที่เรือจมอยู่ห่างจากชายคนนั้นเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อเรือเกิดการระเบิด 1 ครั้ง เสียงจากการระเบิดจะเคลื่อนที่มาในน้ำและในอากาศ เนื่องจากอัตราเร็วของเสียงในน้ำเร็วกว่าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเสียงจึงเคลื่อนมาในน้ำถึงชายคนนั้นก่อนเสียงที่มาในอากาศ ทำให้ได้ยินเสียงระเบิด 2 ครั้ง ดังนั้นเวลาที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศจึงมากกว่าเวลาที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านน้ำอยู่ 2.4 วินาที

$$\begin{aligned}\text{จาก } t_{\text{อากาศ}} - t_{\text{น้ำ}} &= 2.4 \\ \text{หรือ } \frac{s}{v_{\text{อากาศ}}} - \frac{s}{v_{\text{น้ำ}}} &= 2.4 \\ \frac{s}{340} - \frac{s}{1496} &= 2.4 \\ 1496s - 340s &= 2.4 \times 340 \times 1496 \\ 1156s &= 2.4 \times 340 \times 1496 \\ \therefore s &= 1056 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้นตำแหน่งที่เรือจมอยู่ห่างจากชายคนนั้น 1056 เมตร

13. ลำโพง A และ B วางอยู่ในห้องประชุมที่มีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ลำโพง A ให้กำลังเสียง 4×10^{-2} วัตต์ ลำโพง B ให้กำลังเสียง 3.5×10^{-2} วัตต์ โดยทั้งสองลำโพงกระจายเสียงออกไปโดยรอบอย่างสม่ำเสมอ ถ้าลำโพงทั้งสองสั่นในเฟสเดียวกันด้วยความถี่ 88 เฮิรตซ์ จงหาความแตกต่างของสัญญาณจากลำโพงทั้งสองที่กลางห้อง ซึ่งห่างจาก A 17 เมตร และห่างจาก B 20 เมตร มีค่ากี่องศา
- วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $t = 35^{\circ}\text{C}$ (สามารถหา v ได้), $f = 88\text{ Hz}$ เมื่อรู้ $AX = 17\text{ m}$, $BX = 20\text{ m}$ ต้องการหา λ ก่อน



$$\begin{aligned}\text{หา } v : \text{จาก } v &= 331 + 0.6t \\ &= 331 + 0.6(35) \\ v &= 352\text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{หา } \lambda : \text{จาก } v &= f\lambda \\ 352 &= 88\lambda\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{หา } \Delta\phi : \text{จาก } \Delta\phi &= \frac{360^{\circ} (\Delta X)}{\lambda} \\ &= \frac{360^{\circ} (20 - 17)}{4} \\ \therefore \Delta\phi &= 270^{\circ}\end{aligned}$$

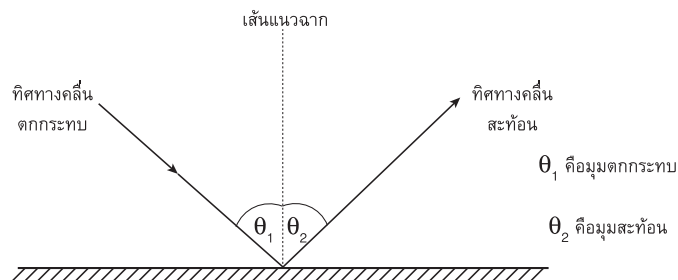
ดังนั้น สัญญาณจากลำโพงทั้งสองมีความแตกต่างกัน 270 องศา

12.4 สมบัติของคลื่นเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น เสียงจึงแสดงสมบัติของคลื่นได้คือ การสะท้อน การหักเห การแทรกสอดและการเลี้ยวเบน ได้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

12.4.1 การสะท้อนของเสียง (Reflection)

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ชนสิ่งกีดขวาง หรือเคลื่อนที่ถึงผิวของรอยต่อของตัวกลาง หรือตัวกลางชนิดเดียวกันแต่คุณสมบัติต่างกันจะทำให้เกิดการสะท้อนซึ่งเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่นดังรูป 12.5



รูป 12.5 แสดงการสะท้อนของคลื่นเสียง

กฎของการสะท้อน

1. ทิศทางคลื่นตกกระทบ เส้นแนวฉากและทิศทางคลื่นสะท้อนต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

เงื่อนไขการเกิดคลื่นสะท้อน

1. คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย ไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก เช่น คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปในอากาศไปชนผิวสะท้อนที่เป็นของแข็ง คลื่นการกระจัดที่สะท้อน จะมีเฟสเปลี่ยนไป 180° เพราะโมเลกุลอากาศที่ผิวสะท้อนนั้นไม่สามารถสั่นได้ ซึ่งคล้ายกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ปลายตรึงแน่น

2. คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก ไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย เช่น การสะท้อนของเสียงในท่อโลหะ คลื่นการกระจัดที่สะท้อนจะมีเฟสเหมือนเดิม เพราะโมเลกุลที่บริเวณนั้นสามารถสั่นได้เหมือนเดิม ซึ่งคล้ายกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกปลายอิสระ

การสะท้อนของคลื่นเสียงจะเกิดได้ดีเมื่อผิวสะท้อนเป็นผิวเรียบ ปรากฏการณ์ที่เกิดเนื่องจากการสะท้อนของเสียง เช่น

เสียงก้อง หรือเสียงสะท้อนกลับ (Echo) เกิดจากเสียงสะท้อนใช้เวลาเดินทางออกจากแหล่งกำเนิด ไปสะท้อนที่ผิวสะท้อนแล้วมาถึงผู้ฟังใช้เวลานานกว่าเสียงจากแหล่งกำเนิดโดยตรงนานกว่า 0.1 วินาที เป็นต้น ไปทำให้ผู้ฟังแยกเสียงทั้งสองออกจากกันได้เป็น 2 เสียง เช่น การตะโกนในถ้ำ หรือในห้องโถงขนาดใหญ่

ขนาดของตัวสะท้อนก็มีผลต่อการสะท้อนของเสียงโดยการสะท้อนของคลื่นเสียงจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อ **วัตถุหรือตัวสะท้อนมีขนาดเท่ากับหรือโตกว่าขนาดของความยาวคลื่นเสียง**

ประโยชน์ของการสะท้อนของเสียง

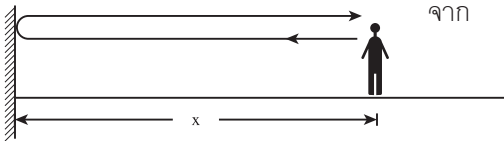
1. ใช้ในการหาความลึกของทะเล โดยส่งสัญญาณเสียงออกไป แล้วจับเวลาที่สัญญาณเสียงสะท้อนกลับมา แล้วนำมาคำนวณหาความลึกของทะเล
2. ใช้สำรวจเกี่ยวกับลักษณะของชั้นหินที่อยู่ใต้ดินโดยการจับเวลาที่เสียงสะท้อนจากชั้นหิน แล้วนำมาวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของชั้นหิน ซึ่งจะบอกถึงทรัพยากรที่อาจมีอยู่ในชั้นหินนั้นๆ
3. ใช้ในการออกแบบอาคารต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดเสียงก้อง โดยพิจารณาขนาดรูปร่างและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวสะท้อน เป็นต้น

14. ชายคนหนึ่งอยู่หน้ากำแพง หันหน้าตะโกนเสียงเข้าหากำแพง ถ้าเขาต้องการให้เกิดเสียงก้องเขาต้องอยู่ห่างจากกำแพงอย่างน้อยเท่าใด กำหนดให้เสียงมีอัตราเร็วในอากาศ 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์ โจทย์

1. เขียนรูปแสดงการเคลื่อนที่ของเสียงจากชายคนนั้นไปยังกำแพงแล้วสะท้อนกลับมายังชายคนนั้น
2. ในการเกิดเสียงก้องเวลาที่เสียงสะท้อนเดินทางไปและกลับอย่างน้อยต้องใช้เวลา 0.1 วินาที

เมื่อรู้ $v = 340 \text{ m/s}$, $t = 0.1 \text{ s}$ สามารถหา x ได้

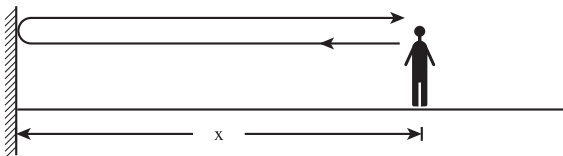


$$\begin{aligned} \text{จาก } s &= v \times t \\ 2x &= 340 \times 0.1 \\ x &= \frac{34}{2} \\ \therefore x &= 17 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น ชายคนนี้ต้องอยู่ห่างจากกำแพงอย่างอยู่ 17 เมตร

15. ถ้าอุณหภูมิของอากาศในขณะนั้นมีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ชายคนหนึ่งจะได้ยินเสียงสะท้อนของเสียงที่เขาตะโกนออกไป เมื่อเขายืนห่างจากผนังตึกอย่างน้อยเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ เวลาที่หูมนุษย์จะได้ยินเสียงสะท้อน ได้เมื่อเสียงใช้เวลาเดินทางไป - กลับ อย่างน้อยต้องเท่ากับ 0.1 วินาที เมื่อรู้ $t = 40^\circ \text{C}$ สามารถหา v ได้ และสามารถหาระยะห่าง (x) น้อยสุดได้



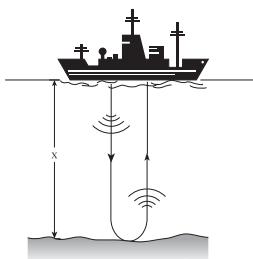
$$\begin{aligned} \text{จาก } v_t &= 331 + 0.6t \\ &= 331 + 0.6(40) \\ v &= 355 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หา } x ; \text{ จาก } s &= v \times t \\ 2x &= 355 \times 0.1 \\ x &= 17.75 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น เขาต้องอยู่ห่างจากผนังตึกอย่างน้อย 17.75 เมตร

16. เรือลำหนึ่งลอยนิ่งอยู่ในทะเลได้ส่งคลื่นสัญญาณเสียงลงไปใต้น้ำทะเล และได้รับสัญญาณเสียงนั้นกลับมาในเวลา 0.6 วินาที เมื่ออัตราเร็วของเสียงในน้ำทะเลมีค่า 1500 เมตร/วินาที ทะเล ณ บริเวณนี้ลึกเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ วาดรูปการเคลื่อนที่ของเสียงจากเรือไปสะท้อนที่ก้นทะเลแล้วกลับมายังเรือ

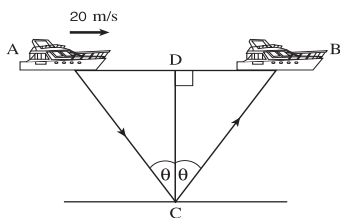


$$\begin{aligned} \text{เมื่อรู้ } t &= 0.6 \text{ s}, v = 1500 \text{ m/s} \text{ และ } s = 2x \\ \text{จาก } s &= v \times t \\ 2x &= 1500 \times 0.6 \\ x &= \frac{900}{2} \\ \therefore x &= 450 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้นทะเลบริเวณนี้ลึก 450 เมตร

17. เรือเร็วลำหนึ่งแล่นด้วยความเร็ว 200 เมตร/วินาที แล้วปล่อยสัญญาณเสียงลงไปในน้ำปรากฏว่าในเวลา 2 วินาทีได้รับสัญญาณสะท้อนกลับ ถ้าเสียงมีอัตราเร็วในน้ำ 1500 เมตร/วินาที อยากทราบว่าน้ำบริเวณนั้นลึกเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ วาดรูปการเคลื่อนที่ของเรือและเสียง โดยให้เสียงไปสะท้อนที่ก้นทะเลมีมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน



จากรูป A เป็นตำแหน่งที่เรือปล่อยสัญญาณเสียง
B เป็นตำแหน่งที่เรือรับสัญญาณเสียง
C เป็นตำแหน่งก้นทะเลที่เสียงสะท้อน
AD เป็นระยะที่เรือเคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที
AC เป็นระยะที่เสียงเคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที

$$\text{จาก } s = v \times t$$

$$AD = 200 \times 1$$

$$\therefore AD = 200 \text{ m}$$

$$AC = 1500 \times 1$$

$$\therefore AC = 1500 \text{ m}$$

ต้องการหา DC

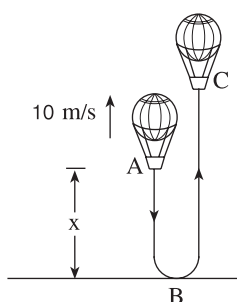
$$\begin{aligned} \text{จาก } DC &= \sqrt{AC^2 - AD^2} \\ &= \sqrt{1500^2 - 200^2} \end{aligned}$$

$$\therefore DC = 1486.6 \text{ m}$$

ดังนั้นน้ำบริเวณนั้นลึก 1486.6 เมตร

18. บอลลูนลูกหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ 10 เมตร/วินาที ขณะที่อยู่สูงจากพื้นดินระยะหนึ่ง ส่งคลื่นเสียง ความถี่ 600 เฮิรตซ์ ลงมา และได้รับสัญญาณเสียงสะท้อนกลับในเวลา 3 วินาที ขณะเริ่มส่งคลื่นเสียงบอลลูนอยู่สูงจากพื้นเท่าใด เมื่ออัตราเร็วเสียงขณะนั้นเท่ากับ 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูปแสดงการเคลื่อนที่ของบอลลูน และเสียง



เมื่อ A เป็นตำแหน่งของบอลลูนขณะเริ่มส่งคลื่นเสียง

B เป็นตำแหน่งเสียงสะท้อนที่พื้นดิน

C เป็นตำแหน่งของบอลลูนที่ได้รับคลื่นเสียงสะท้อนกลับมา

หาระยะ AC (บอลลูนเคลื่อนที่ได้)

$$\text{จาก } s = v \times t$$

$$AC = 10 \times 3$$

$$\therefore AC = 30 \text{ m}$$

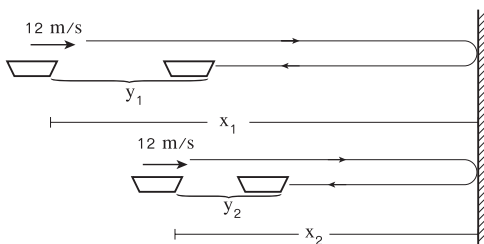
หาระยะทางที่เสียงเคลื่อนที่ได้

$$\begin{aligned}\text{จาก } s &= v \times t \\ AB + BC &= 340 \times 3 \\ x + (x + 30) &= 1020 \\ 2x + 30 &= 1020 \\ 2x &= 990 \\ \therefore x &= 495 \text{ m}\end{aligned}$$

ดังนั้นขณะเริ่มส่งคลื่นเสียงบอลลุนอยู่สูงจากพื้น 495 เมตร

19. เรือเร็วลำหนึ่งแล่นเข้าหาฝั่งซึ่งมีหน้าผาสะท้อนเสียง เรือแล่นด้วยความเร็ว 12 เมตรต่อวินาที และเปิดหวูดทุกๆ 1 นาที ถ้าคนบนเรือได้ยินเสียงสะท้อนจากหน้าผาเร็วขึ้น 4 วินาที สำหรับหวูดครั้งที่สอง จงหาความเร็วของเสียงในอากาศ

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $V_{\text{เรือ}} = 12 \text{ m/s}$ กำหนดให้ **ตอนแรก** เรืออยู่ห่างจากฝั่ง x_1 เสียงสะท้อนครั้งแรกไป-กลับใช้เวลา t_1 **ตอนสอง** เรือห่างจากฝั่ง x_2 เสียงสะท้อนครั้งที่ 2 ใช้เวลาไป-กลับ t_2 ($t_1 - t_2 = 4 \text{ s}$)



$$\begin{aligned}\text{เรือ } x_1 - x_2 &= v \times t \\ &= 12 \times 60 = 720 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{เสียง } s &= v \times t \\ 2x_1 - y_1 &= v \times t_1 \quad \dots(1) \\ 2x_2 - y_2 &= v \times t_2 \quad \dots(2)\end{aligned}$$

$$(1) - (2) \quad 2x_1 - 2x_2 - y_1 + y_2 = v(t_1 - t_2)$$

$$2(x_1 - x_2) - 12t_1 + 12t_2 = v(4)$$

$$2(720) - 12(t_1 - t_2) = 4v$$

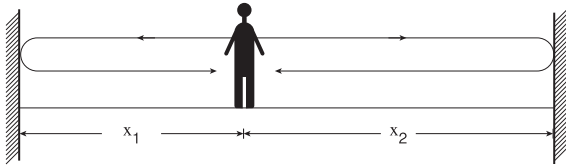
$$1440 - 12(4) = 4v$$

$$\therefore v = 348 \text{ m/s}$$

ดังนั้น ความเร็วของเสียงในอากาศมีค่า 348 เมตร / วินาที

20. ชายคนหนึ่งยืนอยู่ระหว่างผา 2 แห่ง แล้วยิงปืนออกไป เขาได้ยินเสียงครั้งแรก ครั้งที่สองและครั้งที่สามเมื่อเวลาผ่านไป 2 และ 3 วินาที นับจากเริ่มยิง จงหาระยะห่าง ระหว่างหน้าผาทั้งสอง ถ้าความเร็วเสียงในอากาศเป็น 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูปแสดงตำแหน่งของชายคนนั้น และหน้าผาทั้งสอง
เมื่อยิงปืนออกไป แล้วได้ยินเสียง 3 ครั้ง อธิบายได้ว่าครั้งแรกได้ยินจากปืนโดยตรง ครั้งที่สองและสามได้ยินจากเสียงสะท้อนที่หน้าผาทั้งสอง ดังรูป



หา x_1 จาก $s = v \times t$

$$2x_1 = 340(2)$$

$$x_1 = 340 \text{ m}$$

หา x_2 จาก $s = v \times t$

$$2x_2 = 340 \times 3$$

$$x_2 = 510 \text{ m}$$

$$x_1 + x_2 = 340 + 510 = 850 \text{ m}$$

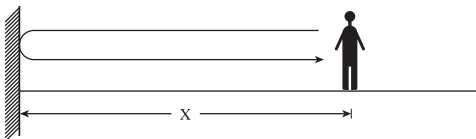
ดังนั้นหน้าผาทั้งสองห่างกัน 850 เมตร

21. ชายคนหนึ่งเป่านกหวีดเป็นจังหวะทุกๆ 1 วินาที เขาจะได้ยินเสียงก้องจากกำแพงที่กึ่งกลางระหว่างการเป่านกหวีดแต่ละครั้ง ให้อัตราเร็วเสียงในอากาศ 340 เมตร/วินาที

(ก) ขณะเป่านกหวีดเขาอยู่ใกล้กำแพงที่สุดเท่าใด

(ข) ถ้าเขาถอยออกไปเรื่อยๆ จนได้ยินเสียงก้องที่กึ่งกลางการเป่านกหวีดอีกครั้งหนึ่ง เขาจะอยู่ห่างจากกำแพงเท่าใด

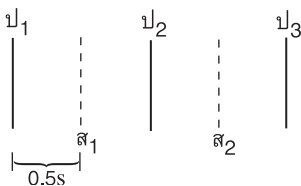
วิเคราะห์โจทย์ เขียนรูปแสดงการเคลื่อนที่ของเสียงจากชายคนนั้นไปสะท้อนที่กำแพงแล้วกลับมาที่กึ่งกลางการเป่าของนกหวีด



(ป = เสียงเป่า)

(ส = เสียงสะท้อน)

ก. เสียงสะท้อนเดินทางไปกลับใช้เวลา 0.5 s



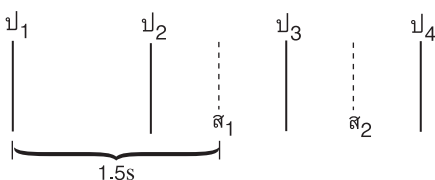
จาก $s = v \times t$

$$2x = 340 \times 0.5$$

$$x = 85 \text{ m}$$

ดังนั้นชายคนนี้ต้องอยู่ห่างจากกำแพง 85 เมตร

ข. เมื่อชายคนนี้ถอยห่างจากกำแพงออกไปอีกแล้วได้ยินเสียงสะท้อนที่กึ่งกลางการเป่าอีก แสดงว่าเวลาที่เสียงเดินทางไปกลับใช้เวลา 1.5 วินาทีดังรูป



จาก $s = v \times t$

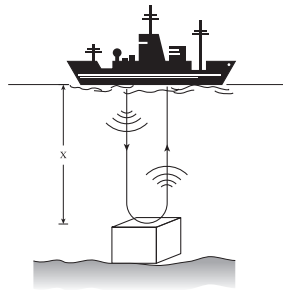
$$2x = 340 \times 1.5$$

$$\therefore x = 255 \text{ m.}$$

ดังนั้นชายคนนี้ต้องอยู่ห่างจากกำแพง 255 เมตร

22. เครื่องกำเนิดเสียง ปล่อยคลื่นเสียงที่มีความถี่ 4 กิโลเฮิรตซ์ พบว่าก้อนหินผิวน้ำเรียบพื้นที่ 0.4×0.4 ตารางเมตร ที่อยู่ใต้ทะเลสะท้อนคลื่นนี้พอดี และคลื่นสะท้อนมาถึงเครื่องรับหลังจากส่งสัญญาณออกไป 2.5 วินาที ถ้าถือว่าวัตถุจะสะท้อนคลื่นได้ต้องมีขนาดเท่าหรือโตกว่าความยาวคลื่นนั้น อยากทราบว่าก้อนหินอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำกี่เมตร

วิเคราะห์โจทย์ จากโจทย์ $\lambda = 0.4 \text{ m}$, $f = 4000 \text{ Hz}$, $t = 2.5 \text{ s}$.



$$\begin{aligned} \text{หา } v ; \text{ จาก } v &= \lambda f \\ &= 0.4 \times 4000 \\ \therefore v &= 1600 \text{ m/s} \\ \text{หา } x ; \text{ จาก } s &= v \times t \\ 2x &= 1600 \times 2.5 \\ x &= \frac{4000}{2} \\ \therefore x &= 2000 \text{ m} \end{aligned}$$

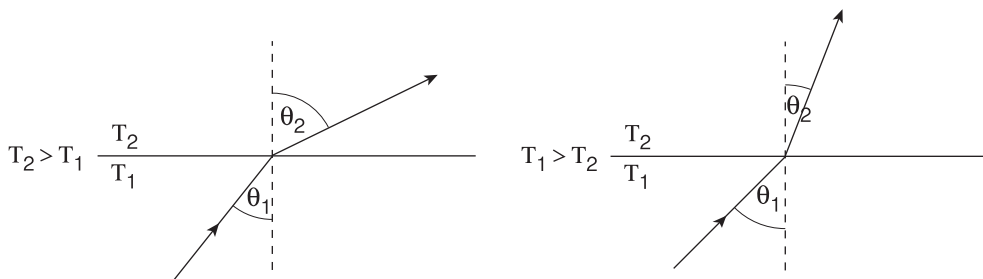
ดังนั้นก้อนหินอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 2000 เมตร

12.4.2 การหักเหของเสียง (Refraction)

เมื่อเสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน จะทำให้อัตราเร็วเสียงเปลี่ยนแปลง และอนุภาคนั้นก็เปลี่ยนไปก็ทำให้อัตราเร็วของเสียงเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเป็นสมบัติการหักเห ของคลื่น ในการหักเหของคลื่นเสียงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงเปลี่ยนไปด้วย ยกเว้นเมื่อคลื่นเสียงตกตั้งฉากกับผิวยอดต่อของตัวกลางทิศทางจะไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ผลยังมีผลต่ออัตราเร็วของเสียงในอากาศแสดงว่าลมทำให้เสียงเกิดการหักเหได้

การหักเหของคลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน หรืออนุภาคนั้นต่างกัน จะเป็นไปตามกฎการหักเหของสเนลล์ (Snell's law) คือ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (\text{ตัวกลางอากาศ}) \quad \dots (12.10)$$



รูป 12.6 แสดงการหักเหของเสียงในอากาศเมื่อผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกัน



จากรูป 12.6

เมื่อ θ_1 คือ มุมตกกระทบ (มุมระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นกับเส้นแนวฉาก)

θ_2 คือ มุมหักเห (มุมระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นกับเส้นแนวฉาก)

λ_1, λ_2 คือ ความยาวคลื่นเสียงในบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

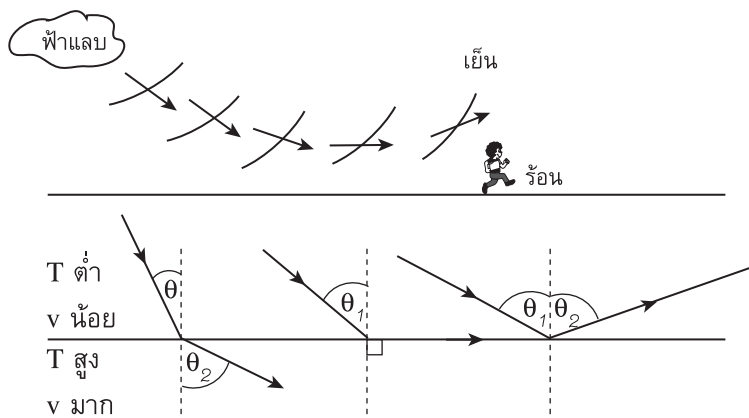
v_1, v_2 คือ อัตราเร็วคลื่นเสียงในบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

T_1, T_2 คือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

การหักเหของเสียงเมื่อเสียงเดินทางในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงคลื่นเสียงจะเบนออกจากเส้นปกติ ($\theta_2 > \theta_1$) และเมื่อเสียงเดินทางในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ คลื่นเสียงจะเบนเข้าหาเส้นปกติ ($\theta_2 < \theta_1$)

ปรากฏการณ์หักเหของเสียงในธรรมชาติ

1. การเกิดฟ้าแลบแล้วไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง เพราะว่าในขณะที่เกิดฟ้าแลบ ถ้าอากาศเบื้องบนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศเบื้องล่าง ทำให้เสียงจากฟ้าแลบเคลื่อนที่จากอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไปอุณหภูมิสูงกว่า ทิศของคลื่นเสียงจะเบนออกจากเส้นแนวฉากและเมื่อมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤตจะทำให้คลื่นเสียงเกิดการสะท้อนกลับหมดไปยังอากาศเบื้องบน จึงทำให้ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง ดังรูป 12.7

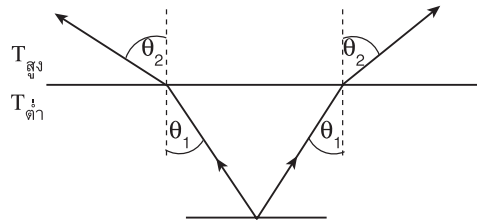
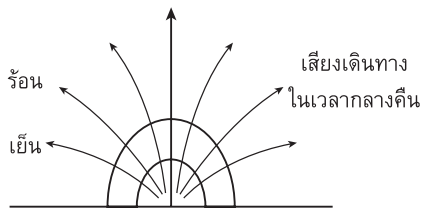


รูป 12.7 แสดงการหักเหของเสียงจากการเกิดฟ้าแลบ

มุมวิกฤต คือ มุมตกกระทบที่ทำให้มุมหักเหโต 90° จะเกิดขึ้นได้คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอัตราเร็วต่ำไปยังบริเวณที่มีอัตราเร็วมาก

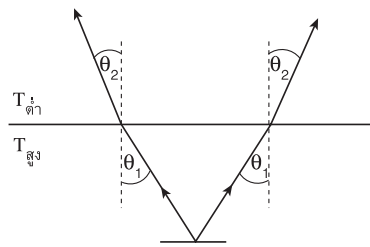
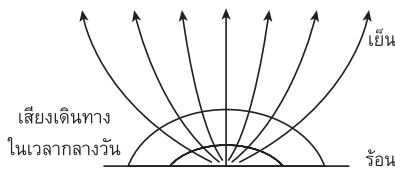
2. การได้ยินเสียงในเวลากลางคืนชัดเจนกว่าในเวลากลางวัน

เวลากลางคืน อุณหภูมิของอากาศตอนล่างใกล้พื้นดินต่ำกว่าตอนบน เสียงที่เคลื่อนที่ขึ้นไปตอนบนจะหักเหสู่อากาศตอนล่างใกล้พื้นดิน ทำให้ผู้สังเกตที่พื้นดินไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดได้ยินเสียงชัดเจน ดังรูป 12.8



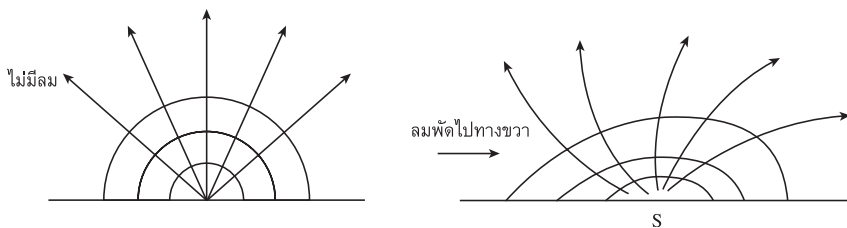
รูป 12.8 แสดงการหักเหของเสียงในเวลากลางคืน

เวลากลางวัน อุณหภูมิของอากาศตอนล่างใกล้พื้นดินสูงกว่าตอนบน เสียงที่เคลื่อนที่ขึ้นไปตอนบน จะหักเหขึ้นสู่อากาศตอนบนเร็วขึ้น ทำให้ผู้สังเกตที่พื้นดินไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดได้ยินเสียงไม่ชัด หรือไม่ได้ยินเสียง ดังรูป 12.9



รูป 12.9 แสดงการหักเหของเสียงในเวลากลางวัน

3. การหักเหของเสียงเนื่องจากลม เมื่อมีลมพัดจะทำให้ทิศทางของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไปโดยเมื่อมีลมพัดจากซ้ายไปขวา ซึ่งอัตราเร็วของลม ตอนบนจะมากกว่าตอนล่าง เนื่องจากตอนล่างมีสิ่งกีดขวาง ทำให้อัตราเร็วลมลดลง จึงทำให้อัตราเร็วเสียง และความยาวคลื่นเสียงในทิศทางต่างๆ เปลี่ยนไปดังรูป 12.10



รูป 12.10 แสดงการหักเหของเสียงเนื่องจากลม

23. เสียงเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิ 27°C ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิเท่าใด จึงทำให้ความยาวคลื่น เป็น $\frac{3}{2}$ เท่าของความยาวคลื่นเดิม

วิเคราะห์โจทย์ เสียงเคลื่อนที่จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดการหักเห ทำให้มีความยาวคลื่น (λ) เปลี่ยนไป เมื่อ $T_1 = 27^{\circ}\text{C}$ หรือ 300 K ,
 $\lambda_2 = \frac{3}{2} \lambda_1$ ต้องการหา T_2

$$\begin{aligned}\text{จาก } \frac{\lambda_1}{\lambda_2} &= \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \\ \frac{2}{3} &= \sqrt{\frac{300}{T_2}} \\ \frac{4}{9} &= \frac{300}{T_2} \\ T_2 &= \frac{300 \times 9}{4} \\ \therefore T_2 &= 675 \text{ K หรือ } 402^\circ \text{ C}\end{aligned}$$

ดังนั้น บริเวณนั้นมีอุณหภูมิ 675 เคลวิน หรือ 402 องศาเซลเซียส

24. คลื่นเสียงเคลื่อนที่ในอากาศจากบริเวณที่มีอุณหภูมิ T_1 สู่บริเวณที่มีอุณหภูมิ T_2 โดย $T_1 = 1.21 T_2$ โดยมีมุมตกกระทบเท่ากับ θ_1 และมีมุมหักเหเท่ากับ θ_2 จงหาอัตราส่วนระหว่าง $\sin \theta_1$ กับ $\sin \theta_2$

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อเสียงเกิดการหักเหโดย $T_1 = 1.21 T_2$ ต้องการหา $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$

$$\begin{aligned}\text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \\ &= \sqrt{\frac{1.21 T_2}{T_2}} \\ \therefore \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= 1.1\end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราส่วนระหว่าง $\sin \theta_1$ กับ $\sin \theta_2$ มีค่า 1.1

25. เสียงระเบิดใต้น้ำ หักเหขึ้นสู่อากาศโดยมีมุมตกกระทบ 30° จงหามุมหักเหที่ออกสู่อากาศถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศและในน้ำเป็น 350 และ 1400 เมตร/วินาที ตามลำดับ

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\theta_1 = 30^\circ$, $v_1 = 1400 \text{ m/s}$, $v_2 = 350 \text{ m/s}$ ต้องการหา θ_2

$$\begin{aligned}\text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{v_1}{v_2} \\ \frac{\sin 30^\circ}{\sin \theta_2} &= \frac{1400}{350} \\ \sin \theta_2 &= \sin 30^\circ \times \frac{350}{1400} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{350}{1400} \\ \therefore \sin \theta_2 &= \frac{1}{8} = 0.125 \\ \theta_2 &= \sin^{-1} 0.125\end{aligned}$$

ดังนั้นมุมหักเหในอากาศเท่ากับ $\sin^{-1} 0.125$

26. ถ้าเสียงเดินทางจากตัวกลาง 1 ไปยังตัวกลาง 2 โดยความยาวคลื่นเสียงเพิ่มเป็น 2 เท่าของเดิม จงหา มุมวิกฤต

วิเคราะห์โจทย์

1. มุมวิกฤตคือมุมตกกระทบ (θ_1) ที่ทำให้มุมหักเห (θ_2) โต 90°
2. $v_2 = 2v_1$ ($v_{\text{น้อย}} \rightarrow v_{\text{มาก}}$) จะเกิดมุมวิกฤตได้

$$\begin{aligned} \text{หา } \theta_1 ; \text{ จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \frac{v_1}{v_2} \\ \frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} &= \frac{v_1}{2v_1} \\ \sin \theta_1 &= \frac{1}{2} \\ \theta_1 &= 30^\circ \end{aligned}$$

ดังนั้น มุมวิกฤตเท่ากับ 30°

27. จงหามุมตกกระทบที่น้อยที่สุดซึ่งทำให้เสียงสะท้อนกลับหมดที่ผิวรอยต่อระหว่างชั้นอากาศที่มีอุณหภูมิ 8°C กับ 9°C

วิเคราะห์โจทย์

เสียงจะเริ่มสะท้อนกลับหมดเมื่อมุมตกกระทบโตกว่ามุมวิกฤต และเสียงจะเกิดมุมวิกฤตได้ เมื่อเสียงเคลื่อนที่จากชั้นอากาศที่มีอุณหภูมิ 8°C ไป 9°C

เมื่อเกิดมุมวิกฤต $\theta_2 = 90^\circ$, $T_1 = 8^\circ \text{C}$ หรือ 281 K , $T_2 = 9^\circ \text{C}$ หรือ 282 K

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} &= \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \\ \frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} &= \sqrt{\frac{281}{282}} \end{aligned}$$

$$\sin \theta_1 = 0.998$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} 0.998 \text{ หรือ } 86.37^\circ$$

ดังนั้นมุมตกกระทบที่ทำให้เสียงเกิดการสะท้อนกลับหมดมีค่ามากกว่า $\sin^{-1} 0.998 (86.37^\circ)$

28. เสียงเคลื่อนที่จากบริเวณที่ 1 ไปยังบริเวณที่ 2 ซึ่งอัตราเร็วเพิ่มขึ้น $\sqrt{2}$ เท่าของเดิมจงหามุมวิกฤตระหว่างบริเวณทั้งสอง

วิเคราะห์โจทย์

1. มุมวิกฤต คือ มุมตกกระทบ (θ_1) ที่ทำให้มุมหักเห (θ_2) มีขนาด 90° และจะต้องเคลื่อนที่จากบริเวณที่มี v น้อยไป v มาก

2. เมื่อรู้ $v_2 = \sqrt{2} v_1$, $\theta_2 = 90^\circ$ ต้องการหา θ_1

$$\begin{aligned} \text{จาก } \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} &= \frac{v_1}{v_2} \\ \frac{\sin\theta_1}{\sin 90^\circ} &= \frac{v_1}{\sqrt{2} v_1} \\ \sin\theta_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \therefore \theta_1 &= 45^\circ \end{aligned}$$

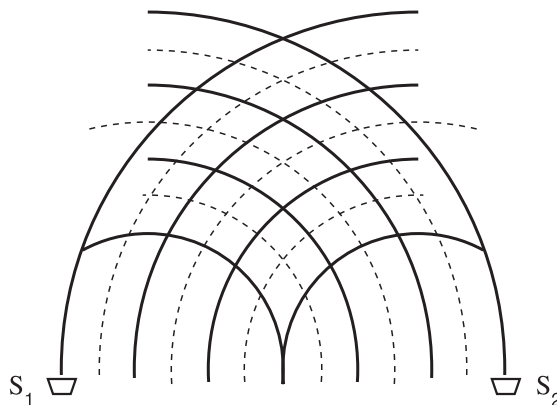
ดังนั้นมุมวิกฤตมีขนาด 45 องศา

12.4.3 การแทรกสอดของคลื่นเสียง (Interference)

เมื่อมีคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งเคลื่อนที่ไปพบกันจะทำให้เกิดการรวมกันของคลื่นเป็นคลื่นลัพธ์ ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ รวมกันแบบเสริมกันหรือหักล้างกัน ตำแหน่งที่คลื่นรวมกันแบบเสริมกันเรียกว่า **ปฏิบัพ (Antinode)** ซึ่งตำแหน่งนี้เสียงจะดัง และตำแหน่งที่คลื่นรวมกันแบบหักล้างกัน เรียกว่า **บัพ (Node)** ซึ่งตำแหน่งนี้เสียงจะค่อย

การแทรกสอดของคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดอาพันธ์

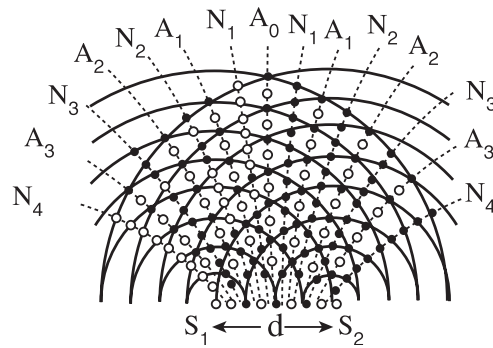
ให้ S_1 , S_2 เป็นลำโพงเสียง 2 ตัว ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดเสียงอันเดียวกัน เสียงที่แผ่ออกจากลำโพงทั้งสองจะมีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม โดยมีความถี่เท่ากันและเฟสตรงกัน ดังรูป 12.11



รูป 12.11 แสดงการแทรกสอดของคลื่นเสียงจากลำโพง 2 ตัว

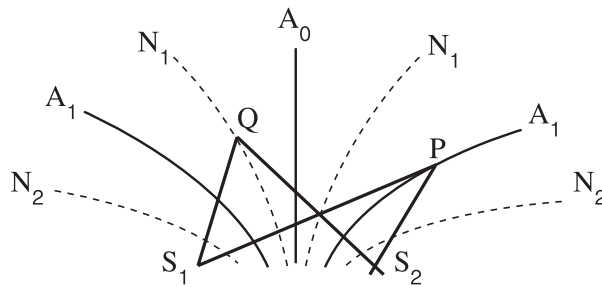
จากรูป 12.11 เราอาจหาตำแหน่งที่เสียงดังหรือเสียงค่อยได้ โดยวิธีเดียวกับการแทรกสอดของคลื่นน้ำตามรูปวงกลมเส้นเต็มและเส้นประแสดงสันคลื่น และท้องคลื่นตามลำดับ โดยสันคลื่นแทนตำแหน่งที่มีความดันสูงกว่าปกติ (ส่วนอัด) และท้องคลื่นแทนตำแหน่งที่มีความดันต่ำกว่าปกติ (ส่วนขยาย) เส้นที่ลากผ่านจุดซึ่งเส้นเต็มตัดกันหรือเส้นประตัดกันจะเป็นแนวปฏิบัพ (เสียงดัง) ส่วนเส้นที่ลากผ่านจุดซึ่งเส้นเต็มตัดกับเส้นประจะเป็นแนวบัพ (เสียงค่อย)

แนวปฏิบัติและแนวปฏิบัติในการแทรกสอดของคลื่นเสียงจะมีลักษณะดังรูป 12.12



รูป 12.12 แสดงแนวปฏิบัติและปฏิบัติของคลื่นเสียง

การหาตำแหน่งเสียงดังและเสียงค่อย



รูป 12.13 แสดงตำแหน่งบนแนวปฏิบัติ (ดัง) และแนวปฏิบัติ (ค่อย)

ให้ P เป็นจุดที่อยู่ในแนวปฏิบัติที่ n

$$|S_1P - S_2P| = n\lambda \quad \dots (12.11) \text{ เมื่อ } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

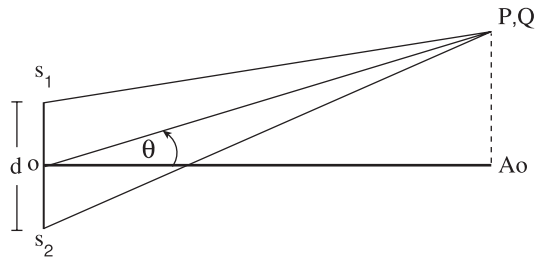
$|S_1P - S_2P|$ เรียกว่า path diff

ให้ Q เป็นจุดที่อยู่ในแนวปฏิบัติที่ n

$$|S_1Q - S_2Q| = (n - \frac{1}{2})\lambda \quad \dots (12.12) \text{ เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots$$

$|S_1Q - S_2Q|$ เรียกว่า path diff

1. path diff มากที่สุดเท่ากับระยะห่างระหว่าง S_1 กับ S_2
2. n เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวกที่แสดงลำดับที่ของแนวปฏิบัติและแนวปฏิบัติ



รูปที่ 12.14 แสดงการแทรกสอดของคลื่นเสียงจากลำโพง 2 ตัว ณ ตำแหน่งที่ไกลจากลำโพงมาก ๆ

เมื่อ P, Q เป็นจุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง

d เป็นระยะห่างของแหล่งกำเนิดทั้งสอง

θ เป็นมุมที่ P หรือ Q เบนออกจากแนวกลาง ณ จุดกึ่งกลางของ S_1, S_2 ที่ O

เมื่อ P เป็นตำแหน่งบนแนวปฏิบัติที่ n จะได้ว่า

$$d \sin \theta = n \lambda \quad \dots (12.13) \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

เมื่อ Q เป็นตำแหน่งบนแนวปฏิบัติที่ n จะได้ว่า

$$d \sin \theta = \left(n - \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \dots (12.14) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

สรุปสูตรคำนวณการแทรกสอดของคลื่นเสียง

1. เมื่อเฟสตรงกัน

1.1 แนวเสริม (ดัง)

$$|S_1 P - S_2 P| = n \lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

หรือ
$$d \sin \theta = n \lambda$$

1.2 แนวหักล้าง (ค้อย)

$$\begin{aligned}
 |S_1 Q - S_2 Q| &= (n - \frac{1}{2})\lambda \\
 \text{หรือ} \quad d \sin \theta &= (n - \frac{1}{2})\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots
 \end{aligned}$$

2. เมื่อเฟสตรงข้ามกัน

2.1 แนวเสริม (ดัง)

$$\begin{aligned}
 |S_1 P - S_2 P| &= (n - \frac{1}{2})\lambda \\
 \text{หรือ} \quad d \sin \theta &= (n - \frac{1}{2})\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 1, 2, 3, \dots
 \end{aligned}$$

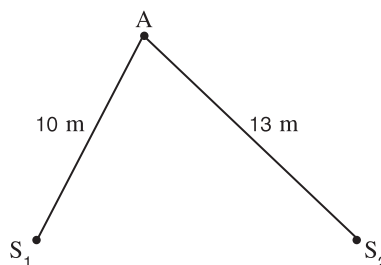
2.2 แนวหักล้าง (ค้อย)

$$\begin{aligned}
 |S_1 Q - S_2 Q| &= n\lambda \\
 \text{หรือ} \quad d \sin \theta &= n\lambda \quad \text{เมื่อ } n = 0, 1, 2, 3, \dots
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ

ในหัวข้อเรื่องการแทรกสอดของเสียง ถ้ามีปัญหาลงไปดูรายละเอียดได้ในหัวข้อการแทรกสอดของคลื่นในบทเรียนที่ 9 ที่ศึกษาผ่านมาแล้ว

29. ลำโพงสองตัวหันหน้าไปทางเดียวกัน ให้คลื่นความถี่ 680 เฮิรตซ์และเฟสตรงกัน A เป็นจุดๆ หนึ่งอยู่หน้าลำโพงทั้งสอง ห่างจากลำโพงเป็นระยะ 10 เมตรและ 13 เมตร ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตร/วินาที อยากทราบว่าจุด A อยู่บนแนวบัพหรือปฏิบัพที่เท่าใด
- วิเคราะห์โจทย์ 1. เขียนรูป แสดงตำแหน่งของลำโพงทั้งสอง (S_1 , S_2) และจุด A



2. เมื่อโจทย์กำหนดค่า path diff $(13 - 10) = 3\text{m}$. และบอกค่า $f = 680\text{ Hz}$ และ $v = 340\text{ m/s}$ ต้องหา λ ก่อน และถ้า path diff เป็นจำนวนเต็มเท่าของ λ แสดงว่าจุด A อยู่บนแนวปฏิบัติ แต่ถ้า path diff ออกมาเป็นจำนวนครึ่ง λ แสดงว่าจุด A อยู่บนแนวขั้ว

หา λ

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= \lambda (680) \\ &= 0.5\text{ m}\end{aligned}$$

*คิดในใจคร่าว ๆ path diff = 3m ได้ว่า path diff มีค่า 6 เท่าของ λ แสดงว่า จุด A อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 6

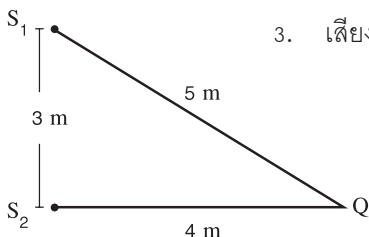
$$\begin{aligned}\text{จาก } \text{path diff} &= n\lambda \\ 13 - 10 &= n(0.5) \\ \therefore n &= 6\end{aligned}$$

ดังนั้นจุด A อยู่บนแนวปฏิบัติที่ 6

30. S_1 และ S_2 เป็นลำโพงสองตัว วางห่างกัน 3 เมตร ในที่โล่ง Q เป็นผู้ฟังอยู่ห่างจาก S_1 5 เมตรและห่างจาก S_2 4 เมตร เสียงความถี่ต่ำสุดที่หักล้างกันทำให้ Q ได้ยินเสียงเบาที่สุดจะเป็นเท่าใด ถ้าอัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์โจทย์

- วาดรูปแสดงตำแหน่งของลำโพง S_1 , S_2 และจุด Q
- Q เป็นตำแหน่งเสียงเบาที่สุดแสดงว่าเกิดการหักล้างกัน
- เสียงมีความถี่ต่ำสุด จะได้ว่า λ มีค่ามากที่สุด



$$\text{จาก } |S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

เมื่อ λ มีค่ามากที่สุด n ต้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเท่ากับ 1 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}|5 - 4| &= \left(1 - \frac{1}{2}\right)\lambda \\ 1 &= \frac{\lambda}{2} \\ \therefore \lambda &= 2\text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= 2f \\ \therefore f &= 170\text{ Hz}\end{aligned}$$

ดังนั้นเสียงมีความถี่ต่ำสุด 170 เฮิรตซ์

31. ลำโพงอาพันธ์ 2 ตัววางห่างกัน 4 เมตร ให้สัญญาณเสียงความถี่ 510 เฮิรตซ์ เฟสตรงกันเมื่ออัตราเร็วเสียงในอากาศขณะนั้นเป็น 340 เมตร/วินาที จงหา

(ก) แนวปฏิบัพและบัพที่เกิดขึ้นทั้งหมด

(ข) ระหว่างลำโพงทั้งสองมีปฏิบัพและบัพกี่แนว

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $f = 510 \text{ Hz}$, $v = 340 \text{ m/s}$ สามารถหา λ ได้

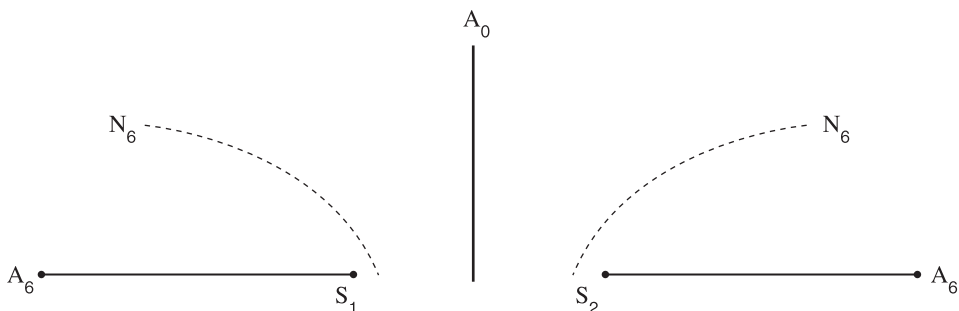
$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= \lambda(510) \\ \lambda &= \frac{340}{510} \\ \therefore \lambda &= \frac{2}{3} \text{ m.} \end{aligned}$$

ต้องการหาจำนวนแนวปฏิบัพ และแนวบัพ เมื่อรู้ $d = 4\text{m}$ ต้องหาแนวปฏิบัพและแนวบัพสุดท้ายให้สมมติว่าแนวสุดท้ายไกลสุด $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{หาปฏิบัพสุดท้าย ; จาก } d \sin \theta &= n\lambda \\ 4 \sin 90^\circ &= n\left(\frac{2}{3}\right) \\ \therefore n &= 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หาบัพสุดท้าย ; จาก } d \sin \theta &= \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda \\ 4 \sin 90^\circ &= \left(n - \frac{1}{2}\right)\frac{2}{3} \\ \therefore n &= 6.5 \end{aligned}$$

เขียนรูปแสดงแนวปฏิบัพและบัพที่เกิดขึ้น โดยแนวปฏิบัพที่ 6 (A_6) เบนออกจากแนวกลาง (A_0) 90° พอดี หรือผ่าน S_1 และ S_2 พอดี



ก) แนวปฏิบัพที่เกิดขึ้นทั้งหมด 13 แนว (ซ้าย 6, ขวา 6, กลาง 1)

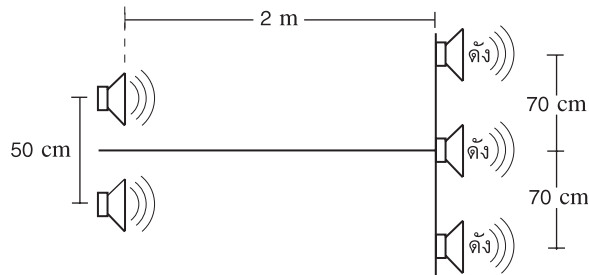
แนวบัพที่เกิดขึ้นทั้งหมด 12 แนว (ซ้าย 6, ขวา 6)

ข) ระหว่างลำโพงทั้งสองมีแนวปฏิบัพ 11 แนว (ซ้าย 5, ขวา 5, กลาง 1)

ระหว่างลำโพงทั้งสองมีแนวบัพ 12 แนว (ซ้าย 6, ขวา 6)

หมายเหตุ ในข้อ ข. ปฏิบัพที่ 6 (A_6) ไม่นับ เพราะโจทย์ให้หาจำนวนแนวปฏิบัพที่เกิดขึ้นระหว่าง S_1 , S_2 แต่ A_6 ผ่าน S_1 , S_2 พอดี

32. อัตราเร็วเสียงในอากาศ 350 เมตรต่อวินาที ขณะทำการทดลองการแทรกสอดของเสียง เมื่อรับฟังเสียงทางด้านหน้าลำโพง ที่ตำแหน่งต่างๆ กัน ในแนวขนานที่ห่างจากลำโพง 2 เมตร โดยหยุดฟังที่ละตำแหน่ง ผลจากการได้ยินเสียงดังเป็นไปตามรูป แสดงว่าความถี่ของเสียงจากลำโพงมีค่ากี่เฮิรตซ์



วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $d = 0.5 \text{ m}$, $x = 0.7 \text{ m}$, $L = 2 \text{ m}$, $n = 1$, $v = 350 \text{ m/s}$ ต้องการหา f ต้องหา λ ก่อน จากการแทรกสอดแบบเสริมที่ 1

$$\text{จาก } \frac{dx}{L} = n\lambda \quad (\sin\theta \approx \frac{x}{L})$$

$$\frac{0.5 \times 0.7}{2} = 1\lambda$$

$$\lambda = 0.175 \text{ m}$$

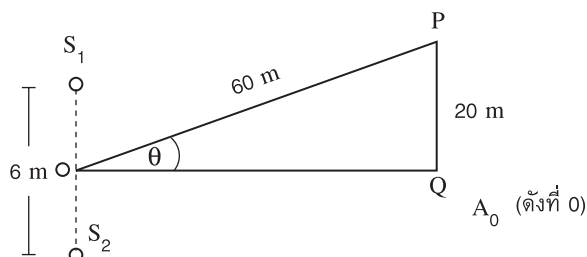
หา f ; จาก $v = \lambda f$

$$350 = 0.175 f$$

$$\therefore f = 2000 \text{ Hz}$$

ดังนั้น ความถี่ของเสียงมีค่า 2000 เฮิรตซ์

33. S_1 และ S_2 เป็นลำโพงอาพันธ์สองตัว ซึ่งอยู่ห่างกัน 6 เมตร ให้เสียงมีเฟสตรงกัน ความถี่เท่ากัน 510 เฮิรตซ์ ปรากฏว่าผู้ที่ยืนอยู่ที่จุด P ได้ยินเสียงดังชัดเจน 0 เป็นจุดกึ่งกลางระหว่าง S_1 กับ S_2 โดย $PQ = 20$ เมตร และ $PO = 60$ เมตร ณ จุด P เดินทางมายัง Q จะพบว่าเสียงจางหายไปกี่ครั้ง (อัตราเร็วเสียงในอากาศเป็น 340 เมตร/วินาที)



วิเคราะห์โจทย์

จากรูปที่กำหนดให้ Q อยู่บนแนว A_0 (ดังที่ 0) ส่วน P เป็นจุดที่ได้ยินเสียงแสดงว่า อยู่บนแนว A เหมือนกัน ต้องการหาว่าเดินจาก P ตรงมายัง Q จะได้ยินเสียงจางหายไป (ค่อย) ก็ครั้ง ต้องรู้ก่อนว่า P เป็นดังที่เท่าไร (อยู่บนแนว A ที่เท่าใด)

หาปฏิบัติที่ P

$$\text{จาก} \quad d \sin \theta = n \lambda$$

$$\text{เมื่อ} \quad d = 6 \text{ m}, \sin \theta = \frac{20}{60}, \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{510} = \frac{2}{3} \text{ m.}$$

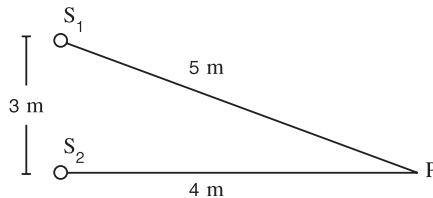
$$\text{แทนค่า} \quad 6 \times \frac{20}{60} = n \left(\frac{2}{3} \right)$$

$$n = 3$$

ได้ว่า P อยู่บนแนว A ที่ 3 หรือ ดังที่ 3

ดังนั้น เมื่อเดินจากดังที่ 3 มาดังที่ 0 จะพบเสียงจางหายไป 3 ครั้ง

34. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นลำโพง 2 ตัว อยู่ห่างกัน 3 เมตร ให้คลื่นเสียงมีเฟสตรงกันมีความยาวคลื่น 0.5 เมตร ผู้ฟังอยู่ที่จุด P จะได้ยินเสียงดังชัดเจน อยากทราบว่า เมื่อเขาเดินเป็นเส้นตรงจาก P เข้าหา S_2 ดังรูป ผู้ฟังจะรู้สึกว่าได้ยินเสียงจางหายไปกี่ครั้ง

**วิเคราะห์โจทย์**

ข้อนี้คล้ายข้อ 33 จะต้องหาดำแหน่ง P และ S_2 ก่อนว่าเป็นตำแหน่งดังที่เท่าไร เมื่อรู้แล้วก็สามารถหาจำนวนเสียงจางหายไปได้ว่ามีกี่ครั้ง เพราะตำแหน่งดังที่ติดกันจะมี ค่อยอยู่ตรงกลาง 1 ครั้ง

หาปฏิบัติ (ดัง) ที่ P

$$\text{เมื่อรู้ path diff} = 5 - 4 = 1 \text{ m}, \lambda = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{จาก} \quad \text{path diff} = n \lambda$$

$$5 - 4 = n(0.5)$$

$$n = 2$$

$\therefore$ P เป็นตำแหน่งดังที่ 2

หาปฏิบัติ (ดัง) ที่ S_2

เมื่อรู้ $d = 3 \text{ m}$, $\theta = 90^\circ$ (แนวไกลสุดผ่าน S_2 พอดี)

$$\text{จาก} \quad d \sin \theta = n \lambda$$

$$3 \sin 90^\circ = n(0.5)$$

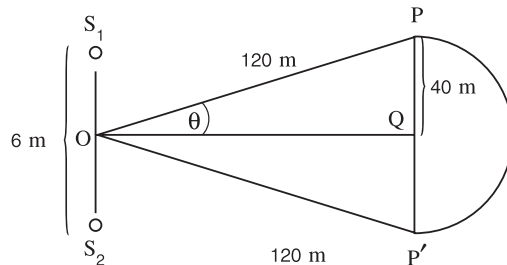
$$n = 6$$

$\therefore S_2$ เป็นตำแหน่งดังที่ 6

เดินจากดังที่ 2 ไปดังที่ 6 คิดเป็น 4 ช่วงดัง หรือมีเสียงค่อย 4 ครั้ง

ดังนั้นเมื่อเดินจาก P เข้าหา S_2 จะรู้สึกว่าได้ยินเสียงจางหายไป 4 ครั้ง

35. ลำโพงอาพันธ์ S_1 และ S_2 ห่างกัน 6 เมตร ให้เสียงมีความถี่ 680 เฮิรตซ์ เฟสตรงกัน ถ้าเดินจาก P ไปยัง P' เป็นรูปครึ่งวงกลมโดยมี Q เป็นจุดศูนย์กลางรัศมี 40 เมตร และ OP ยาว 120 เมตร จะได้ยินเสียงค่อยลงไปที่ครึ่ง กำหนดอัตราเร็วเสียงในอากาศเท่ากับ 340 เมตร/วินาที



- วิเคราะห์โจทย์**
1. จากรูป Q เป็นตำแหน่ง A_0 (ดังที่ 0) ต้องการหาว่าเดินจาก P ไปยัง P' ตามแนวโค้งจะได้ยินเสียงค่อยกี่ครั้ง อาจคิดว่าเดินจาก P ผ่านไปยัง P' ผ่าน Q ตามแนวเส้นตรงก็ได้ผลเหมือนกัน
 2. อาจหาจำนวนเสียงค่อย (บัพ) ระหว่าง PQ ก่อน ซึ่งจะเท่ากับจำนวนเสียงค่อยจาก Q ถึง P'

หาดำแหน่งค่อยที่ P เมื่อรู้ $d = 6\text{m}$, $\sin\theta = \frac{40}{120}$, $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{680} = \frac{1}{2} \text{ m}$

$$\text{จาก} \quad d \sin\theta = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

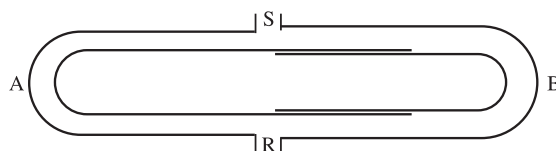
$$6 \times \frac{40}{120} = \left(n - \frac{1}{2}\right)\frac{1}{2}$$

$$n = 4.5$$

จะได้ว่าระหว่าง P, Q จะมีเสียงค่อย 4 ครั้ง และระหว่าง P, P' มีเสียงค่อย 8 ครั้ง

ดังนั้น ถ้าเดินจาก P ไปยัง P' จะได้ยินเสียงค่อยลง 8 ครั้ง

36. คลื่นเสียงจากต้นกำเนิด S ในรูปผ่านไปยังผู้สังเกตที่ R ตามหลอด A ซึ่งมีความยาวคงที่ และตามหลอด B ซึ่งปรับความยาวได้ ถ้าจากการทดลองพบว่า ผู้สังเกตที่ R ได้ยินเสียงค่อยและดังสลับกัน เมื่อเลื่อนหลอด B ออกห่างจากหลอด A ทุก 8.5 เซนติเมตร ถ้าความเร็วของเสียงในหลอดเท่ากับ 340 เมตร/วินาที ความถี่ของคลื่นเสียงนี้มีค่าเท่าใด



วิเคราะห์โจทย์

เมื่อเสียงจากต้นกำเนิด S ผ่านเข้ามาในท่อจะแยกเป็น 2 ทาง คือทาง SAR และ SBR แล้วมาแทรกสอดกันที่ R ทำให้ได้ยินเสียงดังหรือค่อย จากโจทย์เมื่อเลื่อนท่อ B ออกทุก ๆ 8.5 cm จะเปลี่ยนจากเสียงดังเป็นค่อยหรือค่อยเป็นดัง การที่เลื่อนท่อ B ก็คือทำให้ค่า path diff ของเสียงมาถึง R เปลี่ยนไปจากความรู้เรื่อง path diff จากดังไปดัง path diff = λ หรือดังไปค่อย path diff = $\frac{\lambda}{2}$

เมื่อเลื่อนท่อ B ออกไป 8.5 cm ทำให้ path diff เปลี่ยนไป $2 \times 8.5 = 17$ cm

$$\therefore \frac{\lambda}{2} = 17 \text{ cm}$$

$$\lambda = 34 \text{ cm}$$

ต้องการหา f เมื่อรู้ $\lambda = 34$ cm, $v = 340$ m/s

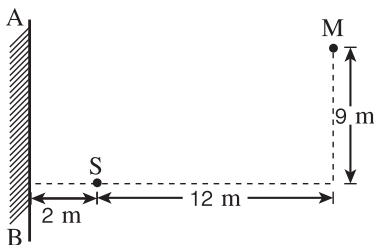
$$\text{จาก } v = \lambda f$$

$$340 = 0.34 f$$

$$\therefore f = 1000 \text{ Hz}$$

ดังนั้นคลื่นเสียงมีความถี่ 1000 เฮิรตซ์

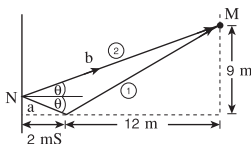
37.



มีแหล่งกำเนิดเสียง s วางอยู่หน้าผนัง สะท้อนเสียง AB เป็นระยะ 2.0 เมตร และมีไมโครโฟน M วางอยู่หน้าผนัง AB เช่นกัน แต่มีระยะห่างออกไปจาก s ในแนวขนาน 12 เมตร และในแนวตั้งฉาก 9 เมตร ดังรูป จงหาความถี่ของคลื่นเสียงจาก s ที่ทำให้เสียงที่ M ดังที่สุด กำหนดให้อัตราเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิขณะนั้นเท่ากับ 340 เมตร/วินาที

วิเคราะห์โจทย์

วาดรูปทางเดินของเสียง จาก s ไปยัง M ซึ่งไปได้ 2 ทางคือ



$$1. \text{ ทางตรงจาก s ไป } M = \sqrt{12^2 + 9^2} = 15 \text{ m}$$

2. เสียงไปตกกระทบบกัแพงที่ N (ทำมุมตกกระทบ θ) แล้วสะท้อน (ทำมุมสะท้อน θ) ไปยัง m ทำให้เฟสเปลี่ยนไป 180° C (เฟสตรงข้าม)

กำหนดให้ ระยะ SN = a, NM = b

หาระยะ a และ b ก่อน

$$\text{ได้ว่า } a \cos \theta = 2 \quad \dots(1)$$

$$\text{และ } b \cos \theta = 14 \quad \dots(2)$$

$$(1) + (2) ; (a + b) \cos \theta = 16 \quad \dots(3)$$

$$\text{และ } a \sin \theta + b \sin \theta = 9$$

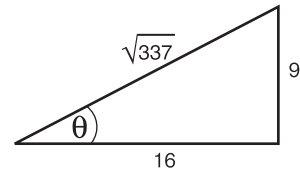
$$(a + b) \sin \theta = 9 \quad \dots(4)$$

$$(4) / (3) \quad \tan \theta = \frac{9}{16}$$

$$\text{ได้ว่า } \sin \theta = \frac{9}{\sqrt{337}}$$

$$\text{แทนค่า } \sin \theta \text{ ใน (4) ; } (a + b) \frac{9}{\sqrt{337}} = 9$$

$$\text{ได้ว่า } a + b = \sqrt{337}$$



พิจารณาการแทรกสอดที่ M (เสริมกัน) โดยเสียงทางที่ 1 และ ทางที่ 2 มีเฟสตรงข้ามกัน

$$\text{จาก } \text{ISNM-SMI} = (n - \frac{1}{2}) \lambda$$

$$|\sqrt{337} - 16| = (1 - \frac{1}{2}) \lambda$$

$$\lambda = 6.72 \text{ m}$$

$$\text{หา } f ; \text{ จาก } v = f \lambda$$

$$340 = f(6.72)$$

$$\therefore f = 50.6 \text{ Hz}$$

ดังนั้นความถี่ของคลื่นเสียงเท่ากับ 50.6 เฮิร์ตซ์

12.4.4 การเลี้ยวเบนของเสียง (Diffraction)

คลื่นเสียงสามารถเลี้ยวเบนผ่านสิ่งกีดขวาง หรือเลี้ยวเบนผ่านมุมหรือช่องเล็กๆ ได้ เหมือนกับคลื่นน้ำหรือคลื่นอื่นๆ ปรากฏการณ์การเลี้ยวเบน ที่พบในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดที่อยู่คนละด้านของกำแพงหรือคนละด้านของมุมตึก หรือเสียงที่ผ่านเข้ามาทางช่องประตูหน้าต่างโดยผู้ฟังมองไม่เห็นแหล่งกำเนิดเสียง

การคำนวณเรื่องการเลี้ยวเบนของคลื่นเสียงเหมือนกับการเลี้ยวเบนของคลื่นน้ำทุกประการโดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะ

1. ช่องแคบคู่ (เฟสตรงกัน)

ให้ช่องแคบทั้งสองห่างกันเป็นระยะ d เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบทั้งสอง ช่องแคบจะประพฤติตัวเป็นแหล่งกำเนิด S_1 และ S_2 ทำให้คลื่นที่เลี้ยวเบนผ่านช่องแคบไปแทรกสอดกัน ทำให้เกิดตำแหน่งปฏิบัพ (ดัง) และตำแหน่งบัพ (ค่อย) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ

(เสริมกัน)

$$\begin{aligned} \text{หรือ} \quad |S_1P - S_2P| &= n\lambda \\ d\sin\theta &= n\lambda \end{aligned} \quad \begin{aligned} n &= 0, 1, 2, 3, \dots \\ \dots (12.15) \end{aligned}$$

(หักล้างกัน)

$$\begin{aligned} |S_1Q - S_2Q| &= (n - \frac{1}{2})\lambda \\ \text{หรือ} \quad d\sin\theta &= (n - \frac{1}{2})\lambda \end{aligned} \quad \begin{aligned} \dots (12.16) \\ n &= 1, 2, 3, \dots \end{aligned}$$

2. ช่องแคบเดี่ยว

เมื่อคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบเดี่ยว ซึ่งมีความกว้าง d คลื่นเสียงจะเกิดการเลี้ยวเบนซึ่งมี หลักการเลี้ยวเบนเหมือนกับคลื่นน้ำทุกประการ คือ

1. $d < \lambda$ คลื่นเสียงจะเกิดการเลี้ยวเบนโดยไม่เกิดการแทรกสอด
2. $d = \lambda$ คลื่นเสียงเลี้ยวเบนเด่นชัดที่สุด แนวบัพที่ 1 ขนานกับช่องแคบ
3. $d > \lambda$ คลื่นเสียงเลี้ยวเบนแล้วเกิดการแทรกสอด

สมการความสัมพันธ์ของการแทรกสอด เมื่อคลื่นเสียงเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยว เป็นดังนี้

(หักล้างกัน)

$$d\sin\theta = n\lambda \quad \dots (12.17) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

(เสริมกัน)

$$d\sin\theta = (n + \frac{1}{2})\lambda \quad \dots (12.18) \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

38. เสียงรถยนต์ซึ่งมีความยาวคลื่น 0.4 เมตร ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างกว้าง 1 เมตรในแนวตั้งฉากจะได้ยินเสียงค่อยที่สุดกี่แนว

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $\lambda = 0.4 \text{ m}$, $d = 1 \text{ m}$ ต้องการหาจำนวนบัพ ต้องหาบัพสุดท้ายก่อนโดยให้ $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} \text{จาก } d \sin \theta &= n\lambda \\ 1 \sin 90^\circ &= n(0.4) \\ n &= \frac{1}{0.4} \\ \therefore n &= 2.5 \end{aligned}$$

ได้ว่าบัพสุดท้ายเป็นบัพที่ 2 แสดงว่ามีเสียงค้อยทั้งหมด 4 แนว (ซ้าย 2 ขวา 2)
ดังนั้นจะได้ยินเสียงค้อย 4 แนว

39. ถ้าอัตราเร็วของเสียงในอากาศขณะหนึ่งเท่ากับ 340 เมตร/วินาที เสียงแตรรถยนต์มีความถี่ 68 เฮิรตซ์ ก่อนที่รถยนต์จะออกจากซอยคนขับรถบีบแตรรถยนต์เพื่อให้สัญญาณทำให้คนซึ่งยืนอยู่บนทางเท้า ณ มุมตึกปากซอยได้ยินเสียงสัญญาณแตรได้ชัดเจนจงประมาณขนาดความกว้างของซอย

วิเคราะห์โจทย์ ซอยเปรียบเหมือนช่องแคบ คนที่อยู่ปากซอยได้ยินเสียงสัญญาณแตรชัดเจนแสดงว่า เสียงเลี้ยวเบนได้ดีที่สุด ความกว้างของซอยประมาณเท่ากับความยาวคลื่นเสียงแตร

$$\begin{aligned} \text{จาก } v &= \lambda f \\ 340 &= \lambda(68) \\ \lambda &= \frac{340}{68} \\ \therefore \lambda &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้นซอยกว้างประมาณ 5 เมตร

40. คลื่นเสียงหนึ่งผ่านเข้าทางช่องหน้าต่างกว้าง 0.8 เมตร ในแนวตั้งฉาก ผู้ฟังที่อยู่ข้างหน้าต่างจะได้ยินเสียงชัดเจน ถ้าขณะนั้นอุณหภูมิของอากาศ 25°C จงหาความถี่ของเสียงนี้

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้อุณหภูมิ (t) สามารถหาอัตราเร็วเสียง (v) ได้ จากโจทย์เสียงผ่านหน้าต่าง ทำให้ผู้อยู่ข้างหน้าต่างได้ยินเสียงดังชัดเจน แสดงว่าเสียงเลี้ยวเบนได้ดีที่สุด

$$\begin{aligned} \text{ได้ว่า } \lambda &= 0.8 \text{ m} \\ \text{จาก } v &= 331 + 0.6t \\ &= 331 + 0.6(25) \\ \therefore v &= 346 \text{ m/s} \\ \text{จาก } v &= \lambda f \\ 346 &= 0.8 f \\ f &= \frac{346}{0.8} \\ \therefore f &= 432.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ดังนั้นเสียงมีความถี่ 432.5 เฮิรตซ์

12.5 ความเข้มเสียงและการได้ยิน

เนื่องจากเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นต้นกำเนิดเสียง และในการทำให้วัตถุสั่นต้องใช้พลังงาน ถ้าพลังงานที่ใช้มีค่ามาก แอมพลิจูดของการสั่นจะมีค่ามาก แต่ถ้าพลังงานที่ใช้มีค่าน้อยแอมพลิจูดของการสั่นจะมีค่าน้อย พลังงานในการสั่นของต้นกำเนิดเสียงจะถ่ายโอนให้กับอนุภาคของอากาศต่อกันเป็นทอดๆ มายังหูผู้ฟัง ทำให้แก้วหูเกิดการสั่น ทำให้ผู้ฟังรับรู้เสียงนั้น

การได้ยินเสียงครั้งหนึ่งๆ จะต้องมียอดค์ประกอบสำคัญ 3 ประการคือ ต้นกำเนิดเสียง ตัวกลางและ ประสาทรับเสียงในหูขณะได้ยินเสียงหนึ่งๆ ความรู้สึกในการได้ยินเสียงของมนุษย์โดยทั่วไปแยกออกเป็นลักษณะต่าง ๆ กันดังนี้

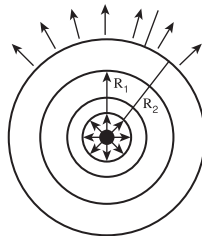
1. ความรู้สึกดัง-ค่อยของเสียง ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของคลื่นและความเข้มเสียง
2. ความรู้สึกทึบ-แหลมของเสียง ขึ้นอยู่กับความถี่ของเสียง
3. ความไพเราะของเสียง ขึ้นอยู่กับคุณภาพเสียง

12.5.1 ความเข้มเสียง (Sound Intensity) “I”

ความเข้มเสียง เป็นตัวกำหนดความดัง-ค่อยของเสียง มีค่าขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของคลื่นซึ่งกำหนดนิยามความเข้มเสียงไว้ดังนี้ “ความเข้มเสียง ณ จุดใดๆ คือพลังงานของเสียงที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดในเวลาหนึ่งหน่วยตกกระทบพื้นที่ในแนวตั้งฉาก 1 ตารางหน่วย”

จากนิยามความเข้มเสียง ปริมาณพลังงานของเสียงแผ่ออกจากแหล่งกำเนิดในหนึ่งหน่วยเวลาก็คือ กำลังเสียง (ในระบบ SI กำลังเสียง มีหน่วยเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์) แหล่งกำเนิดเสียงที่มีกำลังมากจะให้เสียงที่ดังกว่าแหล่งกำเนิดเสียงที่มีกำลังน้อย เมื่อตำแหน่งรับฟังเสียงอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดทั้งสองเท่ากัน

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดเสียง (S) ที่เป็นจุดให้คลื่นเสียงออกมาทุกทิศทาง โดยมีหน้าคลื่นเป็นรูปทรงกลม ดังรูปที่ 12.15



รูป 12.15 แสดงหน้าคลื่นทรงกลมของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียง

จากรูป 12.15 เมื่อ

E คือพลังงานเสียงที่แผ่ออกมาจากแหล่งกำเนิดในเวลา t

t คือเวลาที่คลื่นเสียงเดินทางจากแหล่งกำเนิดไกล R

A คือพื้นที่ที่รองรับพลังงานเสียงทั้งหมดในเวลา t ซึ่งเป็นพื้นที่ผิวทรงกลมรัศมี $R = 4\pi R^2$

จากนิยามความเข้มเสียงเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$I = \frac{E/t}{A} \quad (E/t \text{ คือกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง "P"})$$

หรือ

$$I = \frac{P}{A}$$

..... (12.19)

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเป็นจุด หน้าคลื่นเสียงที่แผ่ออกมาเป็นรูปทรงกลม $A = 4\pi R^2$

จึงได้ว่า

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

..... (12.20)

เมื่อ I เป็นความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร

P เป็นกำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วยเป็นวัตต์

R เป็นระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับตำแหน่งที่จะหาความเข้มเสียงมีหน่วยเป็นเมตร

จากสมการความเข้มเสียง อาจสรุปได้ว่า ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียง P คงตัว

$$I \propto \frac{1}{R^2}$$

แสดงว่าความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่างๆ จะลดลง เมื่อตำแหน่งนั้นๆ อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงมากขึ้น อาจเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

..... (12.21)

ในกรณีที่แหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียงเปลี่ยนไป โดยมีระยะห่าง R คงตัวจะได้ว่าความเข้มเสียงจะมีความสัมพันธ์กับกำลังเสียงดังสมการ

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

..... (12.22)

จากการทดลองเกี่ยวกับการได้ยินเสียงของคนปกติ พบว่า

1. ความเข้มเสียงค่อนๆที่สุดที่สามารถได้ยินมีค่า $(I_0) = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
2. ความเข้มเสียงดังที่สุดที่สามารถฟังได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อหูมีค่า $(I_{\max}) = 1 \text{ W/m}^2$

ความเข้มสัมพัทธ์ (Relative Intensity)

คือ ค่าเปรียบเทียบความเข้มเสียงใดๆ กับความเข้มเสียงค่อนที่สุดที่เริ่มได้ยิน

$$I_{\text{สัมพัทธ์}} = \frac{I}{I_0} \quad \dots (12.23)$$

12.5.2 ระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity level) “β”

เนื่องจากความเข้มเสียงที่มนุษย์ได้ยินมีช่วงกว้างมากจาก 10^{-12} W/m^2 ถึง 1 W/m^2 และเมื่อความเข้มเสียงเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น x เท่า ความรู้สึกได้ยินของมนุษย์ไม่ได้ยินเสียงมีความดังเป็น x เท่าด้วย เพียงแต่รู้สึกเสียงดังกว่าเดิมนั้นด้วยเหตุนี้ นักวิทยาศาสตร์ได้กำหนดปริมาณที่จะบอกความดังของเสียงที่ได้ยิน คือ **ระดับความเข้มเสียง “β”** มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel, dB) ซึ่งมีขนาดดังนี้

$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \dots (12.24)$$

เมื่อ I = ความเข้มเสียงขณะใด ๆ ที่ต้องการหา ระดับความเข้มเสียง (W/m^2)
 I_0 = ความเข้มเสียงค่อนที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน = 10^{-10} W/m^2
 β = ระดับความเข้มเสียง (dB)

หมายเหตุ 1 เบล(B) มีค่า 10 เดซิเบล (dB)

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลอการิทึม

นิยาม ถ้า $x = a^n$ โดย $a > 0$ และ $a \neq 1$ และ n เป็นจำนวนจริง เมื่อเขียนให้อยู่ในรูปของลอการิทึม จะได้ว่า

$$n = \log_a x$$

อ่านว่า n เท่ากับลอการิทึมของ x ฐาน a

เช่น $9 = 3^2$ เขียนในรูปลอการิทึมได้ $2 = \log_3 9$
 $1000 = 10^3$ เขียนในรูปลอการิทึมได้ $3 = \log_{10} 1000$

ลอการิทึมสามัญ คือ $\log$ ฐาน 10 โดยปกติไม่ต้องเขียนฐานกำกับ เช่น $\log_{10} 1000$ เขียนว่า $\log 1000$
กฎของลอการิทึม

- $\log_a xy = \log_a x + \log_a y$
- $\log_a \frac{x}{y} = \log_a x - \log_a y$
- $\log_a x^y = y \log_a x$
- $\log_a a = 1$
- $\log_a 1 = 0$

การหาระดับความเข้มเสียงค่อย-ดังที่สุดที่มนุษย์ได้ยิน

$$\text{จาก } \beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{ต่ำสุด}} &= 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (I = I_0) \\ &= 10 \log \frac{I_0}{I_0} = 10 \log 1\end{aligned}$$

$$\beta_{\text{ต่ำสุด}} = 0 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}\beta_{\text{สูงสุด}} &= 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (I = I_{\text{max}} = 1 \text{ W/m}^2) \\ &= 10 \log \frac{1}{10^{-12}} \\ &= 10 \log 10^{12}\end{aligned}$$

$$\beta_{\text{สูงสุด}} = 120 \text{ dB}$$

ดังนั้น ระดับความเข้มเสียงต่ำที่สุดและสูงที่สุดที่มนุษย์ได้ยินอยู่ในช่วง 0 ถึง 120 เดซิเบลโดยถ้าระดับความเข้มเสียงต่ำกว่า 0 เดซิเบล มนุษย์จะไม่ได้ยินเสียงนั้น แต่ถ้าระดับความเข้มเสียงสูงกว่า 120 เดซิเบลจะเป็นอันตรายต่อหูฟัง

การหาผลต่างของระดับความเข้มเสียง ($\beta_2 - \beta_1$)

กำหนดให้ ณ จุดที่มีความเข้มเสียง I_1 จะมีระดับความเข้มเสียง β_1

และ ณ จุดที่มีความเข้มเสียง I_2 จะมีระดับความเข้มเสียง β_2

$$\text{จาก } \beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{และ } \beta_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} \quad \dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned}(2) - (1) ; \beta_2 - \beta_1 &= 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} \\ &= 10 \log \left[\frac{I_2}{I_0} \times \frac{I_0}{I_1} \right]\end{aligned}$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \quad \dots\dots (12.25)$$

ถ้ามีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง ซึ่งมีระยะห่างจากผู้ฟังเท่ากัน (R คงที่)

$$\text{จาก } \frac{I_2}{I_1} = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\text{จะได้ว่า } \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad \dots (12.26)$$

ถ้ามีแหล่งกำเนิดแหล่งเดียว (P คงที่) แต่ระยะห่างของผู้ฟังจากแหล่งกำเนิดต่างกัน

$$\text{จาก } \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

$$\text{จะได้ว่า } \beta_2 - \beta_1 = 10 \log \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \quad \dots (12.27)$$

41. แหล่งกำเนิดเสียงส่งพลังงานด้วยอัตรา $\pi \times 10^{-8}$ วัตต์ ผู้ฟังซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด 10 เมตร จะได้ยินเสียงมีความเข้มเสียงเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $P = \pi \times 10^{-8}$ W, $R = 10$ m ต้องการหา I

$$\begin{aligned} \text{จาก } I &= \frac{P}{4\pi R^2} \\ &= \frac{\pi \times 10^{-8}}{4\pi(10)^2} \\ \therefore I &= 2.5 \times 10^{-11} \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ยินเสียงมีความเข้ม 2.5×10^{-11} วัตต์ต่อตารางเมตร

42. แหล่งกำเนิดเสียงที่ให้กำลังเสียง $\pi \times 10^{-10}$ วัตต์ ผู้ฟังอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากที่สุดเท่าใด จึงพอจะได้ยินเสียง เมื่อความเข้มเสียงต่ำสุดที่ได้ยินเท่ากับ 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อ $P = \pi \times 10^{-10}$ W, ผู้ฟังอยู่ไกลมากที่สุดจะได้ยินเสียงค่อนที่สุด

คือ $I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

$$\begin{aligned} \text{จาก } I &= \frac{P}{4\pi R^2} \\ R^2 &= \frac{P}{4\pi I} \end{aligned}$$

$$= \frac{\pi \times 10^{-10}}{4\pi \times 10^{-12}}$$

$$R^2 = 25$$

$$\therefore R = 5 \text{ m}$$

ดังนั้นผู้ฟังอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงมากที่สุด 5 เมตร

43. ณ ตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 10 เมตร มีความเข้มเสียง 2×10^{-8} วัตต์/ตารางเมตร ถ้าอีกตำแหน่งหนึ่งห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน 5 เมตร จะมีความเข้มเสียงเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $R_1 = 10\text{m}$, $I_1 = 2 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$, $R_2 = 5 \text{ m}$ ต้องการหา I_2
เมื่อ P คงที่

$$\text{จาก } I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$\text{ได้ว่า } I_1 = \frac{P}{4\pi R_1^2} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{และ } I_2 = \frac{P}{4\pi R_2^2} \quad \dots\dots (2)$$

$$(2) \div (1) ; \frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

$$I_2 = \left(\frac{10}{5}\right)^2 \times 2 \times 10^{-8}$$

$$\therefore I_2 = 8 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$$

ดังนั้น ความเข้มเสียงเท่ากับ 8×10^{-8} วัตต์/ตารางเมตร

44. ชายคนหนึ่งขณะอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง อันหนึ่งเป็นระยะทาง 10 เมตร วัดความเข้มของเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงนั้นได้ 10^{-8} วัตต์/ตารางเมตร อยากทราบว่าแหล่งกำเนิดเสียงนี้ให้กำลังเสียงออกมาเท่าไร

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $R = 10 \text{ m}$, $I = 10^{-8} \text{ W/m}^2$ ต้องการหา P

$$\text{จาก } I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$\begin{aligned} P &= 4\pi R^2 I \\ &= 4\pi (10)^2 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\therefore P = 4\pi \times 10^{-6} \text{ W}$$

ดังนั้นแหล่งกำเนิดเสียงให้กำลังเสียง $4\pi \times 10^{-6}$ วัตต์

45. ผีเสื้อตัวหนึ่งกระพือปีกทำให้เกิดเสียงมีกำลัง $4\pi \times 10^{-11}$ วัตต์ ถ้าผีเสื้อตัวนั้นเกาะอยู่ที่พื้นแล้วกระพือปีก และถือว่าพื้นสะท้อนเสียงได้ 100% คนที่ยืนอยู่ห่างจากผีเสื้ออย่างน้อยเท่าใดจึงจะไม่ได้ยินเสียง

วิเคราะห์โจทย์

- เขียนการกระจายเสียงการกระพือปีกของผีเสื้อ
- พื้นสะท้อนเสียงได้ 100% หมายความว่าพลังงานเสียงทั้งหมดส่งผ่านไปสู่อากาศเหนือพื้นดิน
- ต้องการหาระยะห่างของคนจากผีเสื้อที่ไม่ได้ยินเสียงพอดี แสดงว่า I มีค่าน้อยที่สุด $= 10^{-12} \text{ W/m}^2$

$$\text{จาก } I = \frac{P}{A}$$

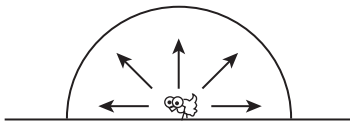
$$A \text{ เป็นรูปครึ่งทรงกลม} = 2\pi R^2$$

$$10^{-12} = \frac{4\pi \times 10^{-11}}{2\pi R^2}$$

$$R^2 = 20$$

$$\therefore R = 4.47 \text{ m.}$$

ดังนั้นคนอยู่ห่างอย่างน้อยที่สุด 4.47 เมตร จึงเริ่มไม่ได้ยินเสียง



46. นาย ก และนาย ข เห็นพลุถูกหนึ่งแตกกลางอากาศเป็นมุมเงย 37° และ 53° องศา ตามลำดับ ความเข้มของเสียงพลุที่นาย ก ได้รับเป็นกี่เท่าของความเข้มของเสียงพลุที่นาย ข ได้รับ

วิเคราะห์โจทย์

วาดรูปแสดงตำแหน่งของนาย ก และนาย ข เมื่อรู้ $P_{\text{คงที่}}$ และรู้ $R_{\text{ก}}, R_{\text{ข}}$ ต้องการหา

$$I_{\text{ก}} / I_{\text{ข}}$$

$$\text{ได้ว่า } R_{\text{ก}} = h / \sin 37^\circ$$

$$R_{\text{ข}} = h / \sin 53^\circ$$

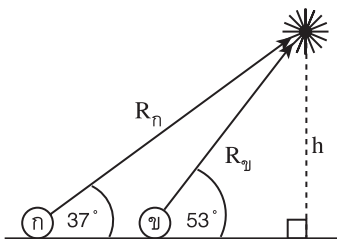
$$\text{จาก } I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (P \text{ คงที่})$$

$$\frac{I_{\text{ก}}}{I_{\text{ข}}} = \left(\frac{R_{\text{ข}}}{R_{\text{ก}}} \right)^2 = \left(\frac{\sin 37^\circ}{\sin 53^\circ} \right)^2$$

$$= \left(\frac{3/5}{4/5} \right)^2$$

$$I_{\text{ก}} = \frac{9}{16} I_{\text{ข}}$$

ดังนั้น ความเข้มของเสียงพลุที่นาย ก ได้ยิน มีค่าเป็น $\frac{9}{16}$ เท่าของนาย ข



47. บิลลีอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงอันหนึ่งได้ยินเสียงมีความเข้ม 10^{-6} วัตต์ต่อตารางเมตรเมื่อเขาเดินออกไปอีกจนได้ยินเสียงค่อนที่สุดจึงหยุด อยากทราบว่าตอนหลังเขาอยู่จากแหล่งกำเนิดเสียงเป็นกี่เท่าของระยะเดิม

วิเคราะห์โจทย์

- เมื่อบิลลีได้ยินเสียงค่อยที่สุดแสดงว่า $I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
- เมื่อรู้ $I_1 = 10^{-6} \text{ W/m}^2$, $I_2 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ต้องการหา R_2 เป็นกี่เท่า R_1

$$\text{จาก } I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (\text{เมื่อ } P \text{ คงที่})$$

$$\text{หรือ } \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$\frac{10^{-6}}{10^{-12}} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$10^6 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 10^3$$

$$R_2 = 1000R_1$$

ดังนั้นบิลลีอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 1000 เท่าของระยะเดิม

48. แหล่งกำเนิดเสียงให้เสียงมีพลังงาน $4\pi \times 10^{-4}$ จูลในเวลา 1 วินาที ถ้าอากาศดูดกลืนเสียง 20% ตลอดการเคลื่อนที่ จงหาความเข้มเสียงที่ตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิดเสียง 20 เมตร

วิเคราะห์โจทย์

- พลังงานที่แหล่งกำเนิดให้เสียงออกมาในเวลา 1 วินาที คือ กำลังเสียง (P)
- อากาศดูดกลืนเสียงไป 20% แสดงว่าพลังงานเสียงที่ผ่านไปถึงผู้ฟังเป็น 80% หรือ $\frac{80}{100}$ ของ พลังงานทั้งหมด
- เมื่อรู้ P , R สามารถหา I ได้

$$\begin{aligned} \text{จาก } I &= \frac{P}{4\pi R^2} \\ &= \frac{80}{100} \times \frac{4\pi \times 10^{-4}}{4\pi \times (20)^2} \end{aligned}$$

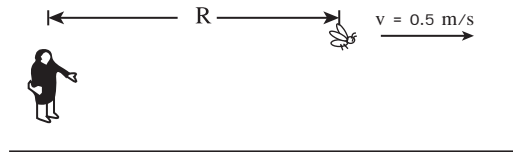
$$\therefore I = 2 \times 10^{-7} \text{ W/m}^2$$

ดังนั้นเสียงมีความเข้ม 2×10^{-7} วัตต์ต่อตารางเมตร

49. แมลงตัวหนึ่งบินหนีในแนวเส้นตรงด้วยความเร็ว 0.5 เมตร/วินาที จากคนๆ หนึ่งซึ่งยืนในที่โล่ง อยากรทราบว่ามันนั้นๆ ได้ยินเสียงการบินของแมลงนั้นได้นานเท่าไร ถ้ากำหนดให้ว่าอัตราที่พลังงานเสียงซึ่งแมลงนั้นส่งออกมาในขณะที่บินมีค่า $4\pi \times 10^{-10}$ วัตต์ทั้งนี้กำหนดให้ว่าเสียงเบาที่สุดที่มนุษย์อาจได้ยินมีความเข้มเป็น 10^{-12} วัตต์/ตารางเมตร

วิเคราะห์โจทย์

1. ต้องการหาเวลาที่แมลงบินออกจากคนๆ นั้น จนได้ยินเสียงเบาที่สุด เมื่อรู้ $v = 0.5 \text{ m/s}$ ต้องการระยะทาง (R) ก่อน
2. เมื่อรู้ $P = 4\pi \times 10^{-10} \text{ W}$, $I = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ หา R ได้



$$\text{จาก } I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$10^{-12} = \frac{4\pi \times 10^{-10}}{4\pi R^2}$$

$$R^2 = 10^2$$

$$R = 10 \text{ m}$$

หาเวลา t

$$\text{จาก } v = \frac{S}{t}$$

$$0.5 = \frac{10}{t}$$

$$\therefore t = 20 \text{ s}$$

ดังนั้น คนๆ นั้นได้ยินเสียงการบินของแมลงนาน 20 วินาที

50. ณ ตำแหน่งซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงอันหนึ่งวัดค่าความเข้มเสียงได้ 10^{-10} วัตต์ต่อตารางเมตร ณ ตำแหน่งนี้จะมีค่าระดับความเข้มเสียงเท่าใด

วิเคราะห์โจทย์ เมื่อรู้ $I = 10^{-10} \text{ W/m}^2$, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ต้องการหา β

$$\text{จาก } \beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$= 10 \log \frac{10^{-10}}{10^{-12}}$$

$$= 10 \log 10^2$$

$$= 20 \log 10$$

$$\therefore \beta = 20 \text{ dB}$$

ดังนั้น ณ ตำแหน่งนั้นเสียงมีระดับความเข้มเสียง 20 เดซิเบล