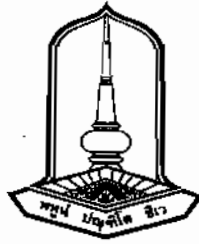


การศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ด้วยการแปลงแบบกาลิเลียน

อังการ อินทนิล
ทฤษฎี พรหมดิเรก

รายงานวิชาโครงงานฟิสิกส์
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคามเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มีนาคม 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



The Study of Doppler Effect with Galilean Transformation

Angkhan Intanin

Tissadee Prohmdirek

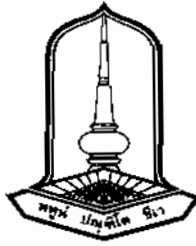
Presented in partial fulfillment of the requirements for

The Degree of Bachelor of Science in Physics

Mahasarakham University

May 2010

All rights reserved by Mahasarakham University



การศึกษาปรากฏการณ์คอปเพอร์ด้วยการแปลงแบบกาลิเลี่ยน

อังคาร อินทนิล

ทฤษฎี พรหมดิเรก

รายงานวิชาโครงงานฟิสิกส์ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์

คณะกรรมการสอบรายงาน โครงงานฟิสิกส์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รงค์ รุ่งกรกานต์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. นิตศักดิ์ ปาสางะ)

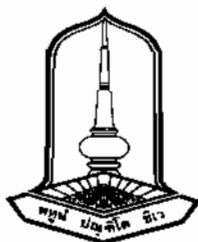
.....กรรมการ

(อาจารย์ ชนันทเดช โรจนกุล)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. เสกสรรค์ สุขะเสนา)

วันที่.....เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553



The Study of Doppler Effect with Galilean Transformation

Angkhan Intanin

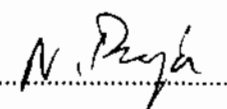
Tissadee Prohmdirck

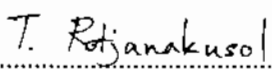
The physics project has been approved to be partial fulfillment of requirements for the Bachelor degree of Science in Physics.

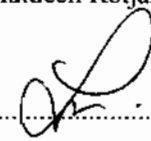
Examining Committee:


..... Chairperson

(Asst. Prof. Dr. Rong Rujkorakarn)


..... Member
(Dr. Nitisak Pasaja)


..... Member
(Mr. Tanutdech Rotjanakusol)


..... Member and Adviser
(Dr. Seckson Snkhasena)

Date...../ May 2010

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฟิสิกส์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องด้วยได้กำลังใจจากบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด และสนับสนุนด้านการศึกษาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ ดร.เสกสรร สุชะเสนา อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รงค์ รุ่งกรกานต์, อาจารย์ ดร. นิตศักดิ์ ปาสาจะ, อาจารย์ ธนเดช โรจนกุศล ที่ให้ความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่ง ขอขอบคุณอาจารย์ประจำ ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และประสบการณ์อย่างเต็มที่

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาฟิสิกส์ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทั้ง ในด้านสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ

ขอบใจที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ให้ความช่วยเหลือและให้ คำปรึกษาในสิ่งที่ยังไม่รู้ รวมทั้งกำลังใจจากทุก ๆ คน ทำให้โครงการฟิสิกส์นี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ขออนอบกวนความดีของโครงการนี้แก่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุก ๆ ท่าน ที่ทำให้ โครงการฟิสิกส์นี้สำเร็จลงด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนั้นจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ ที่สนใจงานในด้านนี้ต่อไป

อังคาร อินทนิล

ทฤษฎี พรหมดิเรก

เรื่อง	การศึกษาปรากฏการณ์คอปเพลอร์ด้วยการแปลงแบบกาลิเลียน
ผู้ศึกษา	อังคาร อินทนิล และ ทฤษฎี พรหมศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เสกสรรค์ สุขะเสนา
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์
มหาวิทยาลัย	มหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2552

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษามุมมองหนึ่งของปรากฏการณ์คอปเพลอร์ซึ่งได้ศึกษาถึง 1). ความถี่ของเสียงที่ Observer ได้รับจาก Source ที่มีความเร็วสัมพัทธ์กับ Observer 2). การแปลงแบบกาลิเลียนซึ่ง Observer และ Source มีกรอบอ้างอิงเฉื่อย (Inertial Frame of Reference, I.F.) ที่แตกต่างกัน 3). ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นผลที่ได้มาจากการสอดคล้องกันของระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไป ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของ Source และ Observer โดยที่ความเร็วของ Source คงที่ โดยปกติปรากฏการณ์คอปเพลอร์เป็นการศึกษาถึงค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปของ Observer คือได้รับค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปจากค่าความถี่เดิมที่ปล่อยออกมาจากที่เมื่อ Source มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วขณะนั้น เมื่อมีการพิจารณาถึงตำแหน่งใด ๆ ที่ Source เคลื่อนที่เข้าหา Observer ใน I.F. นั้น โดยวิเคราะห์ตามหลักการแปลงแบบกาลิเลียนที่ I.F. ของ Source เคลื่อนที่ทั้งเข้าหา Observer และผ่านไปจาก Observer ด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งอ้างอิงถึงเวลาการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหา Observer ณ ตำแหน่งต่าง ๆ นั้นไม่เท่ากัน ฉะนั้น Observer จะได้รับค่าความถี่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ไม่เท่ากันตามฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา ซึ่งผลที่ได้จากการแปลงแบบกาลิเลียนและความสัมพันธ์ของคอปเพลอร์ ค่าความถี่ที่ Observer ได้รับจาก Source ที่เคลื่อนที่เข้าหาด้วยความเร็วคงที่เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับ ความเร็ว ตำแหน่ง และ เวลาของทั้ง Source กับคลื่นที่เคลื่อนที่มายัง Observer ค่าความถี่ของ Observer ได้รับจะมีค่าที่สูงขึ้นตามระยะทางระหว่าง Observer กับ Source ที่ใกล้เข้ามาเมื่อกำหนดให้ Observer ในกรอบอ้างอิงเฉื่อยอยู่นิ่ง และค่าความถี่ที่ Observer จะได้รับมีค่าสูงที่สุดเมื่อระยะห่างของ Source กับ Observer น้อยที่สุด และในขณะที่ Source เคลื่อนที่ผ่าน Observer ไป ค่าความถี่ที่ได้จะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นของ Source จากการพิจารณาถึงความถี่ที่เปลี่ยนไปเมื่อ Source มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ และถ้า Source อยู่นิ่ง Observer จะต้องได้รับค่าความถี่เท่าเดิมจาก Source เช่นเดียวกันผลของสมการที่ได้จากความสัมพันธ์ของการแปลงตำแหน่งแบบกาลิเลียนและความสัมพันธ์ของคอปเพลอร์ เมื่อความเร็วของ Source มีค่าเป็นศูนย์ ค่าความถี่ที่ได้รับของ Observer ก็จะเท่ากับค่าความถี่เดิมเช่นเดียวกัน ผลของสมการทำให้ได้ทราบถึงค่าความถี่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ได้เมื่อความเร็วของ Source คงที่

The Study of the Doppler Effect with Galilean Transformation

Abstract

The project aims to study 1.) The frequency of sound that observer received from source which relative to that observer (Doppler effect) 2.) The Galilean's transformations which observer and source are in different inertial reference frames 3.) The variation of frequency which resulting from the corresponding to the variation of each position of the source and observer with constant velocity, where the frequency that received by observer are not the same from each position of the source that approaching and receding to and from the observer. The Galilean transformation shows that the frequency is higher when the source is approaching and is lower when it is receding from the observer. Which is different from the fundamental Physics book that the frequency is constant in every position of moving source even the frequency is greater than the frequency of the source when it approaching and less than when it is receding from the observer. The maximum frequency is observed when the source is nearest to the observer and the frequency in non-moving source are checked correctly which is constant value when the source is not moving.

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยน (Galilean transformations)	3
2.2 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect)	4
บทที่ 3	7
การศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน	7
3.1 การแปลงตำแหน่ง ไค ๆ การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบกาลิเลี่ยน	7
3.2 ตำแหน่งไค ๆ ของ Source	8
3.3 สมการการแปลงความถี่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	9
บทที่ 4	13
ผลของการคำนวณและการจำลองปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	13
4.1 ตารางแสดงค่าตำแหน่งของ Source ที่ห่างจาก Observer ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ	14
4.2 กราฟแสดงค่าความถี่ของ Observer ที่ได้รับ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	
จากตารางที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ	26
บทที่ 5	29
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผล	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	30
ประวัติของผู้ศึกษา	32

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1 I.F. แบบกาลิเลียน	3
รูปที่ 2 I.F. แบบกาลิเลียน	7
รูปที่ 3 พิจารณาระยะตำแหน่งใด ๆ (R) แบบกาลิเลียน	7
รูปที่ 4 แสดงถึงการหาค่าตำแหน่ง R ที่รถเคลื่อนที่เข้าหาObserver I.F. (x, y)	8
รูปที่ 5 แสดงถึงการหาค่าตำแหน่ง R ที่รถเคลื่อนที่เข้าหาObserver I.F. (x, y)	9
รูปที่ 6 แสดงเวกเตอร์ความเร็วตามแนวระยะ R	10
รูปที่ 7 แสดงการเคลื่อนที่ของSourceที่เปลี่ยนไป ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	11
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 20 \text{ m/s}$	26
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ x เมื่อ $v_s = 20 \text{ m/s}$	26
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 40 \text{ m/s}$	27
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ x เมื่อ $v_s = 40 \text{ m/s}$	27
รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 60 \text{ m/s}$	28
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 60 \text{ m/s}$	28

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของSourceในแนวแกน x' , ระยะห่างของSourceและObserver และค่าความถี่ที่Observerได้รับ กำหนดให้ความเร็วคงที่ 20 เมตร / วินาที ($v_s = 20 \text{ m/s}$) ที่ช่วงเวลา 0 ถึง 8.9 วินาที ($t = 0 \text{ sec} \rightarrow t = 8.9 \text{ sec}$)	14
---	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การศึกษาปรากฏการณ์ของคลื่นเสียงที่มีความสำคัญทางด้านวิชาการนั้นได้มีศึกษามาอย่างยาวนานถึงพฤติกรรมต่างๆจนกลายเป็นคุณสมบัติเฉพาะด้านของคลื่นเสียงที่เป็นไปในรูปแบบของคลื่นกล ที่สำคัญจะเห็นได้ชัดเจนในรูปแบบของการศึกษาทั้ง การเลี้ยวเบน การแทรกสอด การสะท้อน การหักเห ซึ่งเป็นคุณสมบัติของคลื่นเสียงทั้งหมด การศึกษาปรากฏการณ์ที่สำคัญคือปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของ Christian Doppler ในปี ค.ศ.1842 ได้เกิดการศึกษาปรากฏการณ์ของคลื่นเสียงที่เกิดจากการรับคลื่นเสียงของ Observer ในรูปแบบที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของ Source หรือการเคลื่อนที่ของ Observer ซึ่งความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง Observer กับ Source ไม่เท่ากับศูนย์ซึ่งทำให้ค่าความถี่ของคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป

การศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของ Christian Doppler ในปี ค.ศ.1842 นั้นได้เน้นการศึกษาความถี่ของคลื่นเสียงที่เปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับฟังก์ชันความเร็วสัมพัทธ์ระหว่าง Source และ Observer กับความเร็วของคลื่นเสียง แต่ไม่ได้ระบุถึงตำแหน่งของ Observer ที่มีตำแหน่งต่างกันในการได้รับความถี่ที่ต่างกัน เราจะเชื่อมโยงการศึกษาของตำแหน่งของปรากฏการณ์นี้โดยใช้คุณสมบัติของสมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยน (Galilean transformation equations) ของกาลิเลโอ (Galileo Galilei, 1564-1642) เพื่อที่จะเชื่อมโยงการเคลื่อนที่ของ Source และ Observer ได้อย่างแม่นยำใน I.F. x, y, z, t กับ I.F. x', y', z', t' ซึ่งเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันด้วยความเร็วคงที่เป็นเส้นตรงเทียบกับ I.F. x, y, z, t

การศึกษาปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ที่เชื่อมโยงกับคุณสมบัติของสมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยนจะส่งผลถึงค่าความถี่ที่คลื่นเสียงปล่อยออกมาหา Observer โดยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลาที่สัมพัทธ์ระหว่าง Source และ Observer ทำให้ Observer รับรู้ได้ถึงความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาเกี่ยวกับการความถี่ที่ได้รับในตำแหน่งอ้างอิงโดยเชื่อมโยงปรากฏการณ์คอปเพลอร์กับใช้คุณสมบัติของสมการการแปลงแบบกาลิเลียน
2. ศึกษาการคำนวณและจำลองความถี่ของเสียงในฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีของปรากฏการณ์คอปเพลอร์
2. ศึกษาสมการการแปลงแบบกาลิเลียน
3. คำนวณหาค่าความถี่จากสมการการแปลงแบบกาลิเลียน
4. การจำลองและคำนวณค่าความถี่จากสมการการแปลงแบบกาลิเลียน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

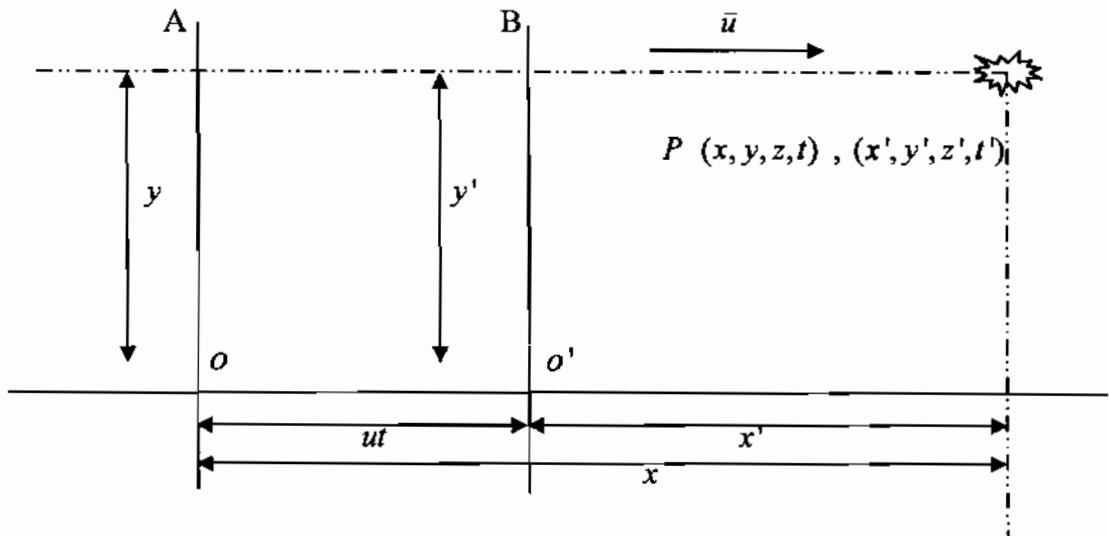
1. มีความรู้และทักษะในสมการการแปลงแบบกาลิเลียน
2. มีความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีของปรากฏการณ์คอปเพลอร์
3. ทราบถึงค่าค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากสมการการแปลงแบบกาลิเลียน
4. มีความรู้และทักษะเกี่ยวกับโปรแกรม การคำนวณทางฟิสิกส์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยน (Galilean transformations)

สมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยนทางฟิสิกส์ดั้งเดิมที่สัมพันธ์กันระหว่าง I.F. สองกรอบที่มีความเร็วสัมพัทธ์คงที่ หลักเกณฑ์นี้คือกฎทางฟิสิกส์จะคงรูปอยู่เสมอไม่ว่าจะอยู่ใน I.F. ใดๆ



รูปที่ 1 I.F. Galilean transformation

พิจารณา I.F. x, y, z, t กับ x', y', z', t' และระบบ x', y', z' เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว u เทียบกับระบบ x, y, z ในแนว ox กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น จุด o' ทับกับจุด o เมื่อเวลาเริ่มต้น และแกน $o'x'$ ขนานกับแกน ox A เป็น Observer ที่อยู่นิ่งในระบบ x, y, z Observer B อยู่นิ่งในระบบ x', y', z' ส่วน P เป็น Source ซึ่งที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ Observer A บอกตำแหน่งของ P ด้วย (x, y, z, t) ส่วน Observer B บอกตำแหน่งของ P ด้วย (x', y', z', t') เวลาเริ่มต้นนั้นคือ $t = t' = 0$ ผลที่ได้ทั้งสองนี้จะสามารถเขียนสมการการแปลงแบบกาลิเลี่ยนที่เชื่อม (x, y, z, t) กับ (x', y', z', t') เข้าด้วยกันคือ

$$\left. \begin{aligned} x &= x' + ut' \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned} \right\} \quad (2.1),$$

$$\left. \begin{aligned} x' &= x - ut' \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

สำหรับการแปลงความเร็วหาได้ derivations สมการ (2.1) และ (2.2) ได้

$$v = v' + u \quad (2.3)$$

$$v' = v - u \quad (2.4)$$

สมการ (2.1) ถึงสมการ (2.4) รวมเรียกว่าสมการการแปลงแบบกาลิเลียนสำหรับตำแหน่งและความเร็ว

2.2 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect)

ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เป็นปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นเสียงเกิดขึ้นเมื่อ Source เคลื่อนที่สัมพันธ์กับ Observer ขณะที่ Source เข้าใกล้กับ Observer ที่หยุดนิ่ง ความถี่ของคลื่นเสียงจะปรากฏเป็นระดับความถี่ที่สูงขึ้น และความถี่ของคลื่นเสียงจะลดลงขณะที่เคลื่อนที่ผ่าน Observer ออกไป ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์นี้เกิดจากความยาวคลื่นเสียงเปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ Source เคลื่อนที่เข้าใกล้ Observer ความถี่ของเสียงจะสูงขึ้นความยาวคลื่นจะลดลง และเมื่อ Source เคลื่อนที่ออกห่างจาก Observer จะเกิดปรากฏการณ์ตรงกันข้าม เมื่อความถี่ลดลงความยาวคลื่นจะเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์สามารถได้ยินจากความสูงต่ำของเสียง (Pitch) ของหวูดรถไฟที่วิ่งผ่าน ไซเรนจากรถพยาบาลหรือรถตำรวจ เครื่องบินไอพ่น เป็นต้น

กำหนดให้

λ = ความยาวคลื่นเสียงจาก Source

v_s = ความเร็วของ Source

v_o = ความเร็วของ Observer

v = ความเร็วของเสียงในอากาศ

f = ความถี่ของ Source

f' = ความถี่ที่ Observer ได้รับ หรือได้ยิน

หากแบ่งการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ f' แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

2.2.1. Observer เคลื่อนที่ โดย Source หยุดนิ่ง

ตอนเริ่มต้น ขณะที่ Source ได้ส่งเสียงที่มีความถี่ f ความเร็วของเสียงในอากาศเป็น v ถ้า Observer เคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจาก Source ด้วยความเร็ว v_0 ทำให้ความเร็วสัมพัทธ์ของความเร็วของเสียงในอากาศเทียบกับความเร็ว Observer เปลี่ยนไป

เมื่อ Observer เคลื่อนที่เข้าหา Source ในแนวแกน x และ x'

$$v' = v + v_0 \quad (2.5)$$

โดยที่ความยาวคลื่นเสียงคงที่ $\lambda = \frac{v}{f}$ และความถี่เสียงที่ Observer ได้ยินคือ

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\lambda} \quad (2.6)$$

แทนสมการ (2.5) ลงในสมการ (2.6) จะได้

$$f' = \left(\frac{v + v_0}{v} \right) f \quad (2.7)$$

เมื่อ Observer เคลื่อนที่ออกจาก Source ในแนวแกน x และ x'

$$v' = v - v_0 \quad (2.8)$$

โดยที่ความยาวคลื่นเสียงคงที่ $\lambda = \frac{v}{f}$ และความถี่เสียงที่ Observer ได้ยินคือ

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v - v_0}{\lambda} \quad (2.9)$$

จะได้

$$f' = \left(\frac{v - v_0}{v} \right) f \quad (2.10)$$

$$\text{สรุปคือ } f' = \left(\frac{v \pm v_0}{v} \right) f \quad (2.11)$$

2.2.2. Observer หยุดนิ่ง โดย Source เคลื่อนที่

ตอนเริ่มต้นขณะที่ Source เคลื่อนที่ ความยาวของคลื่นเสียงที่ Observer ได้ยินเปลี่ยนไป เป็น λ' เมื่อ Source เคลื่อนที่เข้าหา Observer ความยาวของคลื่นเสียงที่ Observer ได้รับมีค่าน้อยลงคือ

$$f' = \frac{v}{\lambda'} \quad (2.12)$$

$$\lambda' = \frac{v - v_s}{f}$$

แก้สมการ (2.12) จะได้

$$f' = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f \quad (2.13)$$

เมื่อ Source เคลื่อนที่ออกจาก Observer ความยาวของคลื่นเสียงที่ Observer ได้รับมีค่ามากขึ้นคือ

$$\lambda' = \frac{v'}{f} = \left(\frac{v + v_s}{f} \right) \quad (2.14)$$

$$\text{โดยที่ } f' = \frac{v}{\lambda'} \quad (2.15)$$

แทนค่าสมการ (2.14) ลงในสมการ (2.15) จะได้

$$f' = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f \quad (2.16)$$

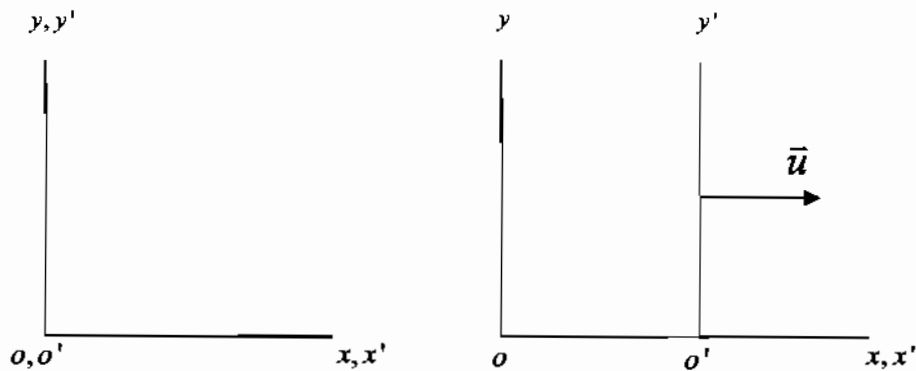
สรุปคือ

$$f' = \left(\frac{v}{v \mp v_s} \right) f \quad (2.17)$$

บทที่ 3

การศึกษาและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การแปลงตำแหน่ง ไต ๆ การเคลื่อนที่ของวัตถุแบบกาลิเลียน

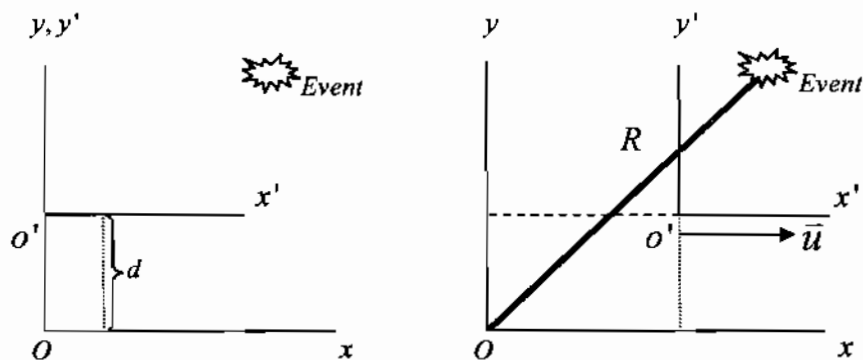


รูปที่ 2 I.F. Galilean transformation

จากการแปลงแบบกาลิเลียน เมื่อกำหนดให้ I.F. 2 กรอบเริ่มต้นที่ตำแหน่งเดียวกัน ณ เวลาเดียวกัน ($t = t'$) I.F. (x', y') เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ u เทียบกับ I.F. (x, y) ตำแหน่งที่ Observer ของทั้งสอง I.F. สัมผัสกันดังนี้

$$x = x' + ut \quad (3.1)$$

$$x' = x - ut \quad (3.2)$$



รูปที่ 3 พิจารณาระยะตำแหน่งใด ๆ (R) แบบกาลิเลียน

จากภาพกำหนดให้ I.F. ทั้งสองอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ที่ $t = t' = 0$ และระยะ (o, o') ห่างกัน d ในแกน y เมื่อ I.F. (x', y') เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็ว u คงที่ Observer กรอบ (x, y) จะได้

ตำแหน่งเทียบกับกรอบ (x', y') เป็นไปตามสมการ (3.1) เมื่อกรอบทั้งสองตั้งฉากกัน Observer ตำแหน่ง O จะได้ระยะที่ห่างจากวัตถุหรือเหตุการณ์ที่อ้างอิงเป็น R ซึ่งพิจารณาหาค่า R จากทฤษฎีบทพีทาโกรัส

$$R = \sqrt{(d + y')^2 + x^2} \quad (3.3)$$

แทนค่าสมการ (3.1) ลงในสมการ (3.3) จะได้

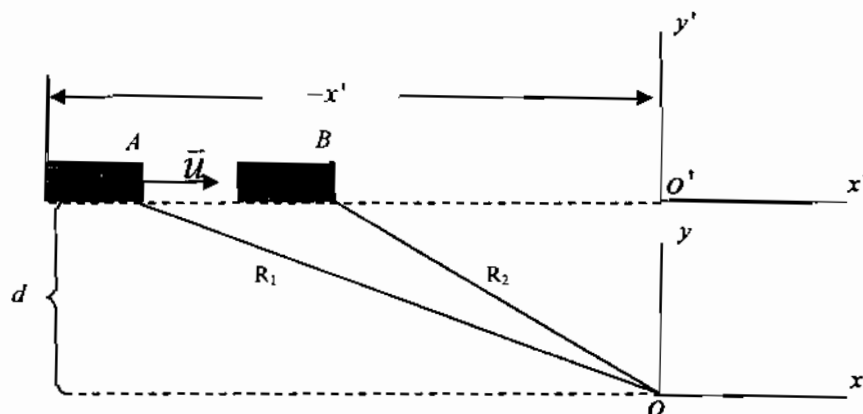
$$R = \sqrt{(d + y')^2 + (x' + ut')^2} \quad (3.4)$$

เมื่อพิจารณาเฉพาะในแนวการเคลื่อนที่ตามแกน x' ดังนั้นกำหนดให้ค่า $y' = 0$ และจากการแปลงแบบกาลิเลี่ยน $t = t'$ จะได้สมการ (3.4) เป็น

$$R = \sqrt{d^2 + (x' + ut')^2} \quad (3.5)$$

สมการนี้จะมีผลในการพิจารณาถึงตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของ Source ในหัวข้อต่อไป

3.2 ตำแหน่งใด ๆ ของ Source



รูปที่ 4 แสดงถึงการหาค่าตำแหน่ง R ที่รถเคลื่อนที่เข้าหา Observer กรอบ (x, y)

จากรูปที่ 4 กำหนดให้ Source เคลื่อนที่จากด้านซ้ายของ Observer กรอบ (x, y) ซึ่งอยู่นิ่ง โดยให้ Source ของเสียงอยู่กรอบ (x', y') เมื่ออ้างอิงระยะตำแหน่งแรกที่รถเคลื่อนที่เข้าหา Observer ณ ตำแหน่ง A และ B ตามลำดับ จะได้ $\overline{AO} = R_1$, $\overline{BO} = R_2$ เมื่อรถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ของกรอบ (x', y') แทนตัวแปรเป็น v_s

จากสมการ (3.1) ; $t = t'$ และ IF (x', y') จากการแปลงแบบกาลิเลี่ยนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ u จะได้ $u = v_s$ แทนค่าลงใน (3.1) จะได้

$$-x = -x' + v_s t \quad (3.6)$$

คูณด้วย (-1) ทั้งสองข้างของสมการที่ (3.6) จะได้

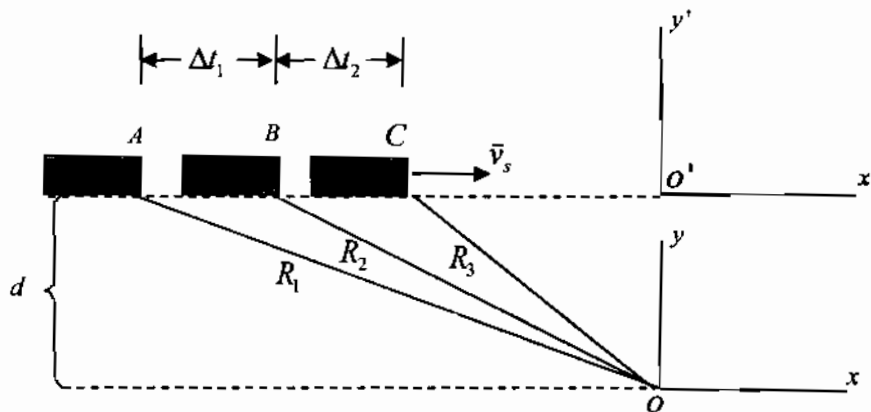
$$x = x' - v_s t \quad (3.7)$$

นำสมการ (3.7) แทนลงในสมการ (3.3) เมื่อ $y' = 0$ และ $\overline{OO'}$ ห่างกันเป็นระยะ d จะได้

$$R = \sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2} \quad (3.8)$$

เมื่อ t คือเวลาใด ๆ ที่รถเคลื่อนที่เข้าหา Observer จากตำแหน่งแรกที่ยังอิงและตำแหน่งใด ๆ พิจารณาการเคลื่อนที่ของรถที่เข้าหา Observer ระยะที่ Source ห่างน้อยที่สุดจะต้องเท่ากับ $\overline{OO'}$ ฉะนั้น $v_s t = x' = 0$ และเมื่อรถเคลื่อนที่ผ่านจุด O' ไปตำแหน่งระยะห่างจาก Observer จะต้องเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หรือ R เพิ่มขึ้นตามเวลาใด ๆ

3.3 สมการการแปลงความถี่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ



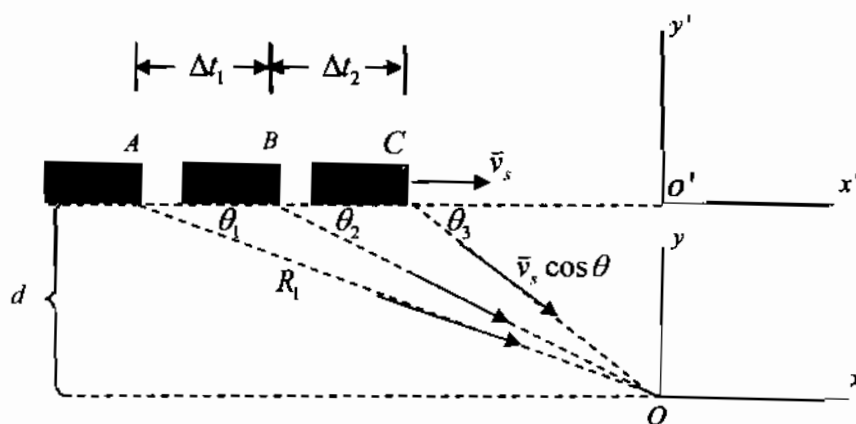
รูปที่ 5 แสดงถึงการหาค่าตำแหน่ง R ที่รถเคลื่อนที่เข้าหา Observer กรอบ (x, y)

จากรูปที่ 5 ในหัวข้อที่ผ่านมาได้พิจารณาถึงตำแหน่งที่รถเคลื่อนที่ที่อยู่ห่างจาก Observer ในกรอบ (x, y) ที่อยู่นิ่ง เมื่อรถที่เคลื่อนที่เข้าหา Observer เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ v_s และมีความถี่เริ่มต้นเป็น f จากบทที่ 2 ที่กล่าวถึงการพิจารณาถึงความถี่ที่ Observer ได้รับ ค่าความยาวคลื่น (λ) ที่มายัง Observer นั้นจะเปลี่ยนไปค่าหนึ่ง (λ') ฉะนั้น Observer ที่ได้รับความยาวคลื่นเปลี่ยนไปนั้นจะได้ความถี่ใหม่ขณะนั้นตามไปด้วย ถ้าความเร็วของ Source ไม่เปลี่ยนแปลง (v_s คงที่) ทุกๆระยะที่ Observer ห่างจาก Source ก็จะได้รับคลื่นเท่าเดิมเช่นกัน การพิจารณาถึงตำแหน่งใดๆที่รถห่างจาก Observer นั้น แนวโน้มค่าความถี่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออ้างอิงถึงเวลาที่คลื่น

เคลื่อนที่เข้าหา Observer ใช้เวลา Δt ตำแหน่งใดๆ ต่างกัน และจะมีค่า λ' ที่เปลี่ยนไปต่างกันด้วย จากภาพที่เคลื่อนที่มาถึงจุด A กรอบ (x', y') ซึ่ง Observer อยู่จุด O กรอบ (x, y) กำหนดให้ ระยะ $\overline{AO}$ คือระยะแรกในการอ้างอิงการได้รับความถี่ของ Observer จะได้ $\overline{AO} = R_1$ ความเร็วของคลื่นที่ยัง Observer ก่อนหน้าจุดอ้างอิง A จะเป็นค่าความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างความเร็ว Source กับความเร็วเสียง จะได้

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{v}_s \quad (3.9)$$

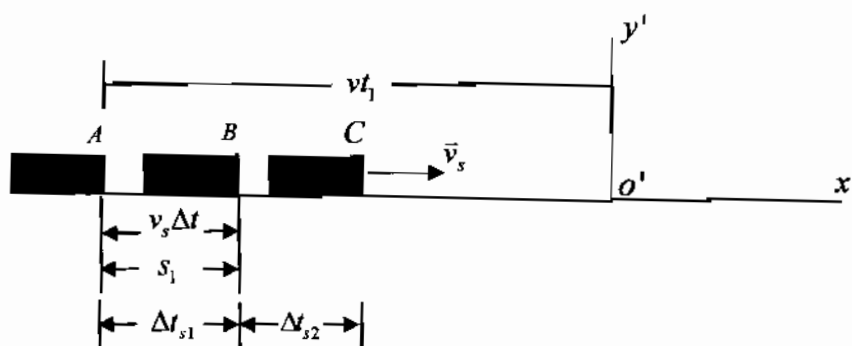
ฉะนั้น ณ ตำแหน่งใดๆ ที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหา Observer ตามแนวแกน x' จะมีความเร็วเท่ากับ v' ตามสมการ (3.9)



รูปที่ 6 แสดงเวกเตอร์ความเร็วตามแนวระยะ R

พิจารณาถึงเวกเตอร์ของความถี่เมื่อ Observer อยู่ ณ ตำแหน่ง O ความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างความเร็วเสียงกับความเร็วของ Source ที่เคลื่อนที่ที่จะเปลี่ยนไปตามทิศทางของตำแหน่งระหว่าง Source กับ Observer ขณะนั้น ๆ จากภาพที่จะได้ทิศทางของระยะ R ต่าง ๆ ทำมุม θ กับแกน x' ฉะนั้นทิศทางความเร็วของ Source ที่ตรงเข้าหา Observer ณ ตำแหน่งใด ๆ เป็น $v_s \cos \theta$ เมื่อ θ มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของ R ใด ๆ และระยะแกน x' ตามแนวการเคลื่อนที่ของ Source ขณะนั้น เมื่อพิจารณาตามหลักของตรีโกณมิติ และ Source เคลื่อนที่ปล่อยออกมาเป็นลักษณะวงกลม แสดงว่าทิศทางของอัตราเร็วคลื่นเสียงเป็น v ดังนั้นความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วของเสียงกับ Source ในแนวการเคลื่อนที่ตามทิศทางของระยะ R ใด ๆ เป็น

$$v' = v - v_s \cos \theta \quad (3.10)$$



รูปที่ 7 แสดงการเคลื่อนที่ของ Source ที่เปลี่ยนไป ณ ตำแหน่งต่าง ๆ

จากรูปที่ 7 เมื่อ Source เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ v_s กำหนดการอ้างอิงตำแหน่งแรกของ Source ที่จุด A ซึ่งขณะนั้นคลื่นเคลื่อนที่มายังจุด O' ด้วยความเร็ว v ซึ่งใช้เวลาในการเคลื่อนที่เป็น t_1 ในขณะเดียวกัน Source เคลื่อนที่จาก A ไป B ใช้เวลาในการเคลื่อนที่เป็น Δt_1 ซึ่งความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไปขณะ เป็น λ' เมื่ออ้างอิงเฉพาะตำแหน่งของ Source ที่ A ไป B มีเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาจุด O' เป็น t_1 ดังนั้นจำนวนลูกคลื่นที่เข้าหาจะเท่ากับ $f t_1$ ดังนั้น λ' ที่เปลี่ยนไปจะได้

$$\lambda' = \left(\frac{v t_1 - v_s \Delta t_{s1}}{f t_1} \right) \quad (3.11)$$

เมื่อ t_1 คือเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาจุดอ้างอิงหรือจุดของ Observer
 Δt_{s1} คือเวลาที่ Source เคลื่อนที่

พิจารณาจากรูปที่ 5 เมื่อ Observer ไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกันกับการเคลื่อนที่ของ Source เวลา (t_1) ที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหา Observer ตามทิศทางของระยะ R จะได้

$$t_1 = \frac{R_1}{v} \quad (3.12)$$

แทนค่าสมการ (3.8) และสมการ (3.10) ลงในสมการ (3.12) จะได้

$$t_1 = \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right) \quad (3.13)$$

แทนสมการ (3.13) ลงในสมการ (3.11) จะได้

$$\lambda' = \frac{v \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right) - v_s \Delta t_{s1}}{f \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right)} \quad (3.14)$$

จาก $v = f' \lambda'$ ที่ Observer ได้รับ แทนค่าสมการ (3.14)

จะได้

$$v = f' \left(\frac{v \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right) - v_s \Delta t_{s1}}{f \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right)} \right)$$

จัดรูปสมการแบบใหม่

$$f' = f \left(\frac{v \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right)}{v \left(\frac{\sqrt{d^2 + (x' - v_s t)^2}}{v - v_s \cos \theta} \right) - v_s \Delta t_{s1}} \right) \quad (3.15)$$

สมการ (3.15) คือความถี่ที่ Observer ได้รับขณะใดนั้นและตำแหน่งนั้นๆ

เมื่อ t คือ เวลาที่รถเคลื่อนที่เข้าหา Observer จากตำแหน่งแรกที่อ้างอิง จากรูปที่ 7 เมื่อให้

$\Delta t_{s1} = \Delta t_{s2}$ Source เคลื่อนที่ถึงจุด C และเคลื่อนที่ต่อจากจุด C ไปด้วยช่วงเวลาที่เท่ากัน

จะได้ $t = \Delta t_{s1} + \Delta t_{s2} + \dots$

Δt_{s1} คือ ช่วงเวลาที่เป็นผลต่างของคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าหาขณะนั้นกับก่อนหน้านั้น

d คือ ระยะห่างระหว่าง I.F.

v คือ อัตราเร็วของเสียง

v_s คือ อัตราเร็วของ Source

f คือ ความถี่เสียง

จากสมการ (3.15) สอดคล้องกับสมการของดอปเพลอร์เมื่อ Source เสียงเคลื่อนที่เข้าหา Observer Observer จะได้รับความถี่มากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความถี่เดิม แต่เมื่อ Source หยุดนิ่ง หรือ $v_s = 0$ Observer จะต้องได้รับความถี่เท่าเดิม ($f' = f$) เช่นเดียวกันกับสมการ (2.13)

บทที่ 4

ผลของการคำนวณและการจำลองปรากฏการณ์คอปเพลอร์

ในบทนี้จะแสดงการทดสอบถึงสิ่งที่ได้มาในบทที่ 3 โดยการพิจารณาถึงตำแหน่งต่าง ๆ ของ Source ที่เคลื่อนที่เข้าหา Observer และเคลื่อนที่ออกจาก Observer และศึกษาค่าความถี่ได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ที่ Observer ได้ยิน แนวโน้มสำหรับค่าความถี่ที่ได้ยิน เมื่อ Source I.F. (x', y') เคลื่อนที่เข้าใกล้ Observer ของ I.F. นี้ (x, y) ด้วยความเร็วคงที่ ความถี่ที่ Observer (f') ได้ยินจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามฟังก์ชันของตำแหน่งและเวลา เมื่ออ้างอิงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ถึงจุด Observer ในตำแหน่งใด ๆ โดยที่ Source เคลื่อนที่ เพราะฉะนั้นระยะที่ Source ห่างจาก Observer น้อยที่สุด Observer จะได้รับความถี่มากที่สุดจากความถี่เดิมและเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไปค่าความถี่จะต้องลดลงตามระยะทาง Source ห่างจาก Observer สมการที่ (3.15) จะนำไปพิสูจน์ในโปรแกรมคำนวณเพื่อวิเคราะห์ถึงค่าที่ได้มา โดยกำหนดให้ Source เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (v_s คงที่) และตำแหน่งที่ห่างจาก Observer ณ จุดอ้างอิงแรกตามแกน x' ของ Source เท่ากับ 100 m ($x' = 100\text{ m}$) เวลาที่เปลี่ยนไป ณ ตำแหน่งต่างๆ ให้เป็นทุก ๆ 0.1 s ($\Delta t = 0.1\text{ s}$) เมื่อ d คือระยะห่างระหว่าง I.F. ในแนวแกน y มีค่าเท่ากับ 50 m ในการคำนวณกำหนดให้ความถี่เสียง (f) เท่ากับ 1000 Hz

4.1 ตารางแสดงค่าตำแหน่งของ Source ที่ห่างจาก Observer ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 1 แสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของ Source ในแนวแกน x' , ระยะห่างของ Source และ Observer และค่าความถี่ที่ Observer ได้รับ กำหนดให้ความเร็วคงที่ 20 ms^{-1} ($v_s = 20 \text{ ms}^{-1}$) ที่ช่วงเวลา 0 ถึง 8.9 s ($t = 0$ ถึง $t = 8.9 \text{ s}$)

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
0.00	100.00	111.80	1017.2
0.10	98.000	110.02	1017.5
0.20	96.000	108.24	1017.8
0.30	94.000	106.47	1018.1
0.40	92.000	104.71	1018.5
0.50	90.000	102.96	1018.8
0.60	88.000	101.21	1019.1
0.70	86.000	99.480	1019.5
0.80	84.000	97.750	1019.8
0.90	82.000	96.040	1020.2
1.00	80.000	94.340	1020.6
1.10	78.000	92.650	1021.0
1.20	76.000	90.970	1021.4
1.30	74.000	89.310	1021.8
1.40	72.000	87.660	1022.2
1.50	70.000	86.020	1022.6
1.60	68.000	84.400	1023.1
1.70	66.000	82.800	1023.6
1.80	64.000	81.220	1024.1
1.90	62.000	79.650	1024.6
2.00	60.000	78.100	1025.1
2.10	58.000	76.580	1025.6
2.20	56.000	75.070	1026.1
2.30	54.000	73.590	1026.7

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
2.40	52.000	72.140	1027.3
2.50	50.000	70.710	1027.9
2.60	48.000	69.310	1028.5
2.70	46.000	67.940	1029.1
2.80	44.000	66.600	1029.7
2.90	42.000	65.300	1030.4
3.00	40.000	64.030	1031.0
3.10	38.000	62.800	1031.7
3.20	36.000	61.610	1032.4
3.30	34.000	60.460	1033.0
3.40	32.000	59.360	1033.7
3.50	30.000	58.310	1034.4
3.60	28.000	57.310	1035.1
3.70	26.000	56.360	1035.8
3.80	24.000	55.460	1036.4
3.90	22.000	54.630	1037.1
4.00	20.000	53.850	1037.7
4.10	18.000	53.140	1038.3
4.20	16.000	52.500	1038.9
4.30	14.000	51.920	1039.4
4.40	12.000	51.420	1039.9
4.50	10.000	50.990	1040.3
4.60	8.0000	50.640	1040.7
4.70	6.0000	50.360	1041.1
4.80	4.0000	50.160	1041.3
4.90	2.0000	50.040	1041.5
5.00	0.0000	50.000	1041.7
5.10	-2.0000	50.040	1041.7
5.20	-4.0000	50.160	1041.7
5.30	-6.0000	50.360	1041.7

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
5.40	-8.0000	50.640	1041.5
5.50	-10.000	50.990	1041.3
5.60	-12.000	51.420	1041.1
5.70	-14.000	51.920	1040.7
5.80	-16.000	52.500	1040.3
5.90	-18.000	53.140	1039.9
6.00	-20.000	53.850	1039.5
6.10	-22.000	54.630	1038.9
6.20	-24.000	55.460	1038.4
6.30	-26.000	56.360	1037.8
6.40	-28.000	57.310	1037.2
6.50	-30.000	58.310	1036.6
6.60	-32.000	59.360	1036.0
6.70	-34.000	60.460	1035.4
6.80	-36.000	61.610	1034.7
6.90	-38.000	62.800	1034.1
7.00	-40.000	64.030	1033.5
7.10	-42.000	65.300	1032.8
7.20	-44.000	66.600	1032.2
7.30	-46.000	67.940	1031.6
7.40	-48.000	69.310	1031.0
7.50	-50.000	70.710	1030.4
7.60	-52.000	72.140	1029.8
7.70	-54.000	73.590	1029.2
7.80	-56.000	75.070	1028.6
7.90	-58.000	76.580	1028.1
8.00	-60.000	78.100	1027.5
8.10	-62.000	79.650	1027.0
8.20	-64.000	81.220	1026.5
8.30	-66.000	82.800	1025.9

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
8.40	-68.000	84.400	1025.5
8.50	-70.000	86.020	1025.0
8.60	-72.000	87.660	1024.5
8.70	-74.000	89.310	1024.1
8.80	-76.000	90.970	1023.6
8.90	-78.000	92.650	1023.2

ตารางที่ 2 แสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของ Source ในแนวแกน x' , ระยะห่างของ Source และ Observer และค่าความถี่ที่ Observer ได้รับ กำหนดให้ความเร็วคงที่ 40 ms^{-1} ($v_s = 40 \text{ m/s}$) ที่ช่วงเวลา 0 ถึง 8.9 s ($t = 0$ ถึง $t = 8.9 \text{ s}$)

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
0.00	100.00	111.80	1033.1
0.10	96.000	108.24	1034.2
0.20	92.000	104.71	1035.5
0.30	88.000	101.21	1036.8
0.40	84.000	97.750	1038.2
0.50	80.000	94.340	1039.7
0.60	76.000	90.970	1041.3
0.70	72.000	87.660	1043.0
0.80	68.000	84.400	1044.8
0.90	64.000	81.220	1046.8
1.00	60.000	78.100	1048.9
1.10	56.000	75.070	1051.1
1.20	52.000	72.140	1053.5
1.30	48.000	69.310	1056.0
1.40	44.000	66.600	1058.6
1.50	40.000	64.030	1061.4
1.60	36.000	61.610	1064.4
1.70	32.000	59.360	1067.4
1.80	28.000	57.310	1070.4
1.90	24.000	55.460	1073.5
2.00	20.000	53.850	1076.5
2.10	16.000	52.500	1079.3
2.20	12.000	51.420	1081.9
2.30	8.0000	50.640	1084.0

t (s)	x (m)	R (m)	f' (Hz)
2.40	4.0000	50.160	1085.8
2.50	0.0000	50.000	1087.0
2.60	-4.0000	50.160	1087.5
2.70	-8.0000	50.640	1087.5
2.80	-12.000	51.420	1086.9
2.90	-16.000	52.500	1085.7
3.00	-20.000	53.850	1084.0
3.10	-24.000	55.460	1082.0
3.20	-28.000	57.310	1079.7
3.30	-32.000	59.360	1077.2
3.40	-36.000	61.610	1074.6
3.50	-40.000	64.030	1071.9
3.60	-44.000	66.600	1069.2
3.70	-48.000	69.310	1066.6
3.80	-52.000	72.140	1064.0
3.90	-56.000	75.070	1061.5
4.00	-60.000	78.100	1059.2
4.10	-64.000	81.220	1056.9
4.20	-68.000	84.400	1054.7
4.30	-72.000	87.660	1052.7
4.40	-76.000	90.970	1050.7
4.50	-80.000	94.340	1048.9
4.60	-84.000	97.750	1047.2
4.70	-88.000	101.21	1045.6
4.80	-92.000	104.71	1044.0
4.90	-96.000	108.24	1042.6
5.00	-100.00	111.80	1041.2
5.10	-104.00	115.40	1039.9
5.20	-108.00	119.01	1038.6
5.30	-112.00	122.65	1037.5

t (s)	x (m)	R (m)	f' (Hz)
5.40	-116.00	126.32	1036.4
5.50	-120.00	130.00	1035.3
5.60	-124.00	133.70	1034.3
5.70	-128.00	137.42	1033.4
5.80	-132.00	141.15	1032.5
5.90	-136.00	144.90	1031.6
6.00	-140.00	148.66	1030.8
6.10	-144.00	152.43	1030.0
6.20	-148.00	156.22	1029.3
6.30	-152.00	160.01	1028.6
6.40	-156.00	163.82	1027.9
6.50	-160.00	167.63	1027.3
6.60	-164.00	171.45	1026.7
6.70	-168.00	175.28	1026.1
6.80	-172.00	179.12	1025.5
6.90	-176.00	182.96	1024.9
7.00	-180.00	186.82	1024.4
7.10	-184.00	190.67	1023.9
7.20	-188.00	194.54	1023.4
7.30	-192.00	198.40	1023.0
7.40	-196.00	202.28	1022.5
7.50	-200.00	206.16	1022.1
7.60	-204.00	210.04	1021.7
7.70	-208.00	213.93	1021.3
7.80	-212.00	217.82	1020.9
7.90	-216.00	221.71	1020.5
8.00	-220.00	225.61	1020.2
8.10	-224.00	229.51	1019.8
8.20	-228.00	233.42	1019.5
8.30	-232.00	237.33	1019.2

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
8.40	-236.00	241.24	1018.8
8.50	-240.00	245.15	1018.5
8.60	-244.00	249.07	1018.2
8.70	-248.00	252.99	1018.0
8.80	-252.00	256.91	1017.7
8.90	-256.00	260.84	1017.4

ตารางที่ 3 แสดงค่าตำแหน่งต่าง ๆ ของ Source ในแนวแกน x' , ระยะห่างของ Source และ Observer และค่าความถี่ที่ Observer ได้รับ กำหนดให้ความเร็วคงที่ 60 ms^{-1} ($v_s = 60 \text{ m/s}$) ที่ช่วงเวลา 0 ถึง 8.9 s ($t=0$ ถึง $t=8.9 \text{ s}$)

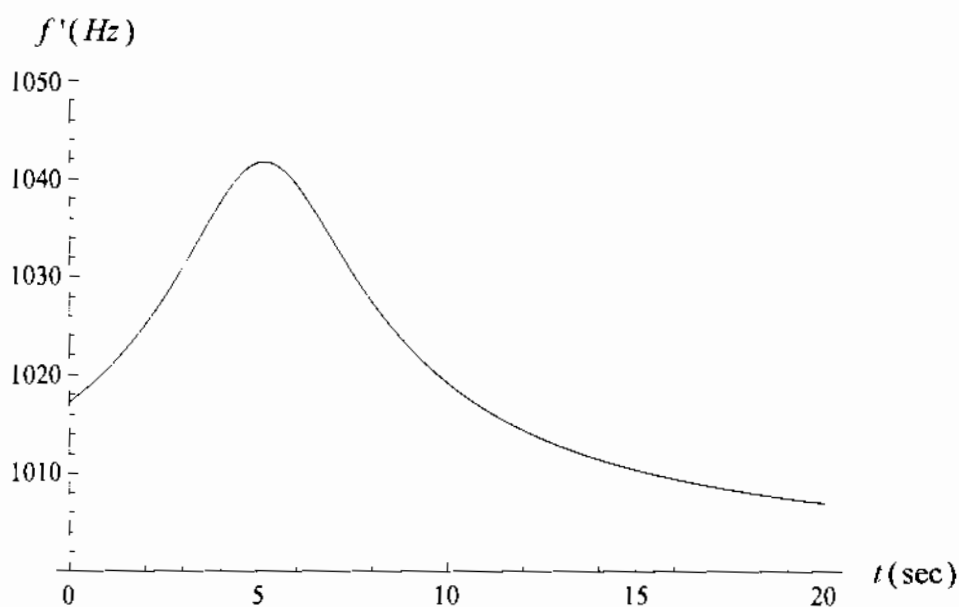
$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
0.00	100.00	111.80	1047.3
0.10	94.000	106.47	1050.0
0.20	88.000	101.21	1052.8
0.30	82.000	96.040	1056.0
0.40	76.000	90.970	1059.6
0.50	70.000	86.020	1063.5
0.60	64.000	81.220	1067.9
0.70	58.000	76.580	1072.8
0.80	52.000	72.140	1078.3
0.90	46.000	67.940	1084.3
1.00	40.000	64.030	1091.0
1.10	34.000	60.460	1098.2
1.20	28.000	57.310	1105.8
1.30	22.000	54.630	1113.6
1.40	16.000	52.500	1121.3
1.50	10.000	50.990	1128.2
1.60	4.0000	50.160	1133.7
1.70	-2.0000	50.040	1137.3
1.80	-8.0000	50.640	1138.7
1.90	-14.000	51.920	1137.7
2.00	-20.000	53.850	1134.7
2.10	-26.000	56.360	1130.1
2.20	-32.000	59.360	1124.5
2.30	-38.000	62.800	1118.2

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
2.40	-44.000	66.600	1111.8
2.50	-50.000	70.710	1105.5
2.60	-56.000	75.070	1099.4
2.70	-62.000	79.650	1093.7
2.80	-68.000	84.400	1088.4
2.90	-74.000	89.310	1083.4
3.00	-80.000	94.340	1078.9
3.10	-86.000	99.480	1074.7
3.20	-92.000	104.71	1070.9
3.30	-98.000	110.02	1067.4
3.40	-104.00	115.40	1064.1
3.50	-110.00	120.83	1061.2
3.60	-116.00	126.32	1058.4
3.70	-122.00	131.85	1055.9
3.80	-128.00	137.42	1053.6
3.90	-134.00	143.02	1051.4
4.00	-140.00	148.66	1049.4
4.10	-146.00	154.32	1047.5
4.20	-152.00	160.01	1045.8
4.30	-158.00	165.72	1044.2
4.40	-164.00	171.45	1042.7
4.50	-170.00	177.20	1041.2
4.60	-176.00	182.96	1039.9
4.70	-182.00	188.74	1038.6
4.80	-188.00	194.54	1037.5
4.90	-194.00	200.34	1036.3
5.00	-200.00	206.16	1035.3
5.10	-206.00	211.98	1034.3
5.20	-212.00	217.82	1033.4
5.30	-218.00	223.66	1032.5

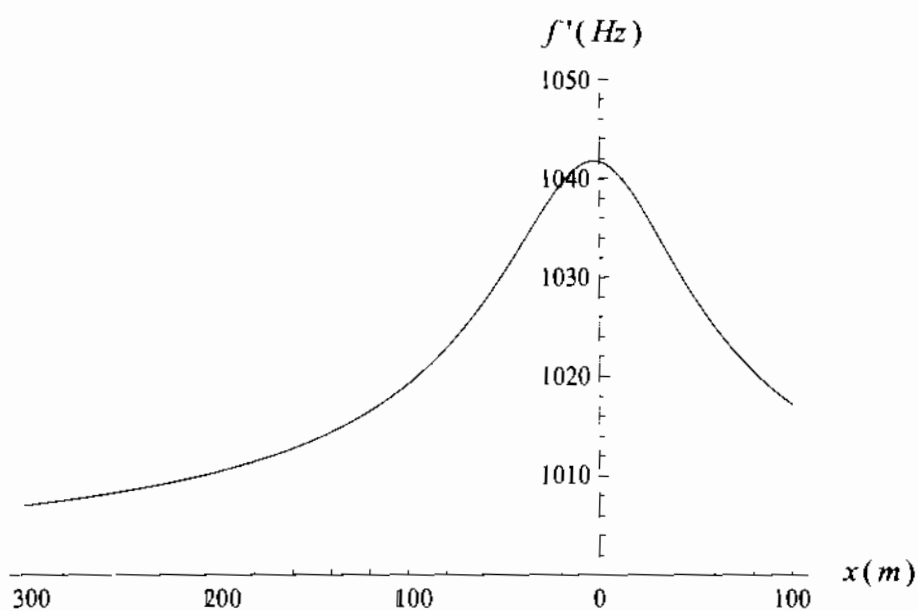
$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
5.40	-224.00	229.51	1031.6
5.50	-230.00	235.37	1030.8
5.60	-236.00	241.24	1030.0
5.70	-242.00	247.11	1029.3
5.80	-248.00	252.99	1028.6
5.90	-254.00	258.87	1028.0
6.00	-260.00	264.76	1027.3
6.10	-266.00	270.66	1026.7
6.20	-272.00	276.56	1026.1
6.30	-278.00	282.46	1025.6
6.40	-284.00	288.37	1025.0
6.50	-290.00	294.28	1024.5
6.60	-296.00	300.19	1024.0
6.70	-302.00	306.11	1023.6
6.80	-308.00	312.03	1023.1
6.90	-314.00	317.96	1022.7
7.00	-320.00	323.88	1022.2
7.10	-326.00	329.81	1021.8
7.20	-332.00	335.74	1021.4
7.30	-338.00	341.68	1021.1
7.40	-344.00	347.62	1020.7
7.50	-350.00	353.55	1020.3
7.60	-356.00	359.49	1020.0
7.70	-362.00	365.44	1019.7
7.80	-368.00	371.38	1019.4
7.90	-374.00	377.33	1019.0
8.00	-380.00	383.28	1018.7
8.10	-386.00	389.23	1018.5
8.20	-392.00	395.18	1018.2
8.30	-398.00	401.13	1017.9

$t \text{ (s)}$	$x \text{ (m)}$	$R \text{ (m)}$	$f' \text{ (Hz)}$
8.40	-404.00	407.08	1017.6
8.50	-410.00	413.04	1017.4
8.60	-416.00	418.99	1017.1
8.70	-422.00	424.95	1016.9
8.80	-428.00	430.91	1016.6
8.90	-434.00	436.87	1016.4

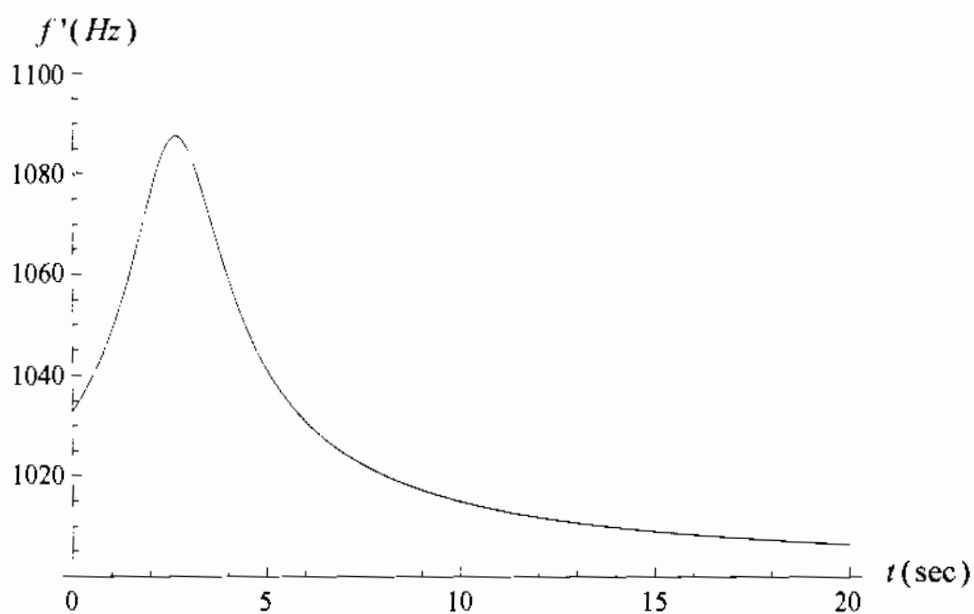
4.2 กราฟแสดงค่าความถี่ของ Observer ที่ได้รับ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากตาราง
ที่ 1.1, 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ



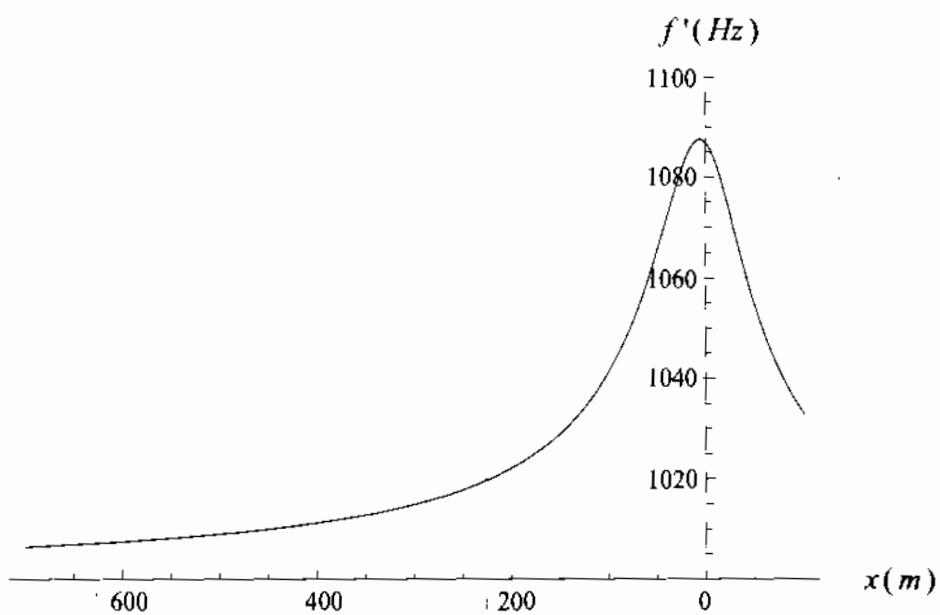
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 20 \text{ ms}^{-1}$



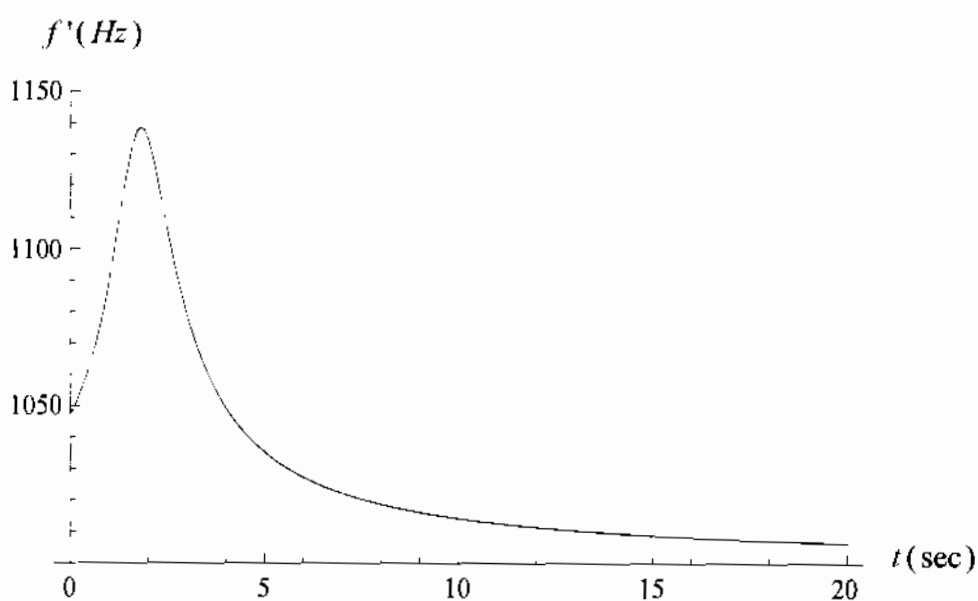
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ x เมื่อ $v_s = 20 \text{ ms}^{-1}$



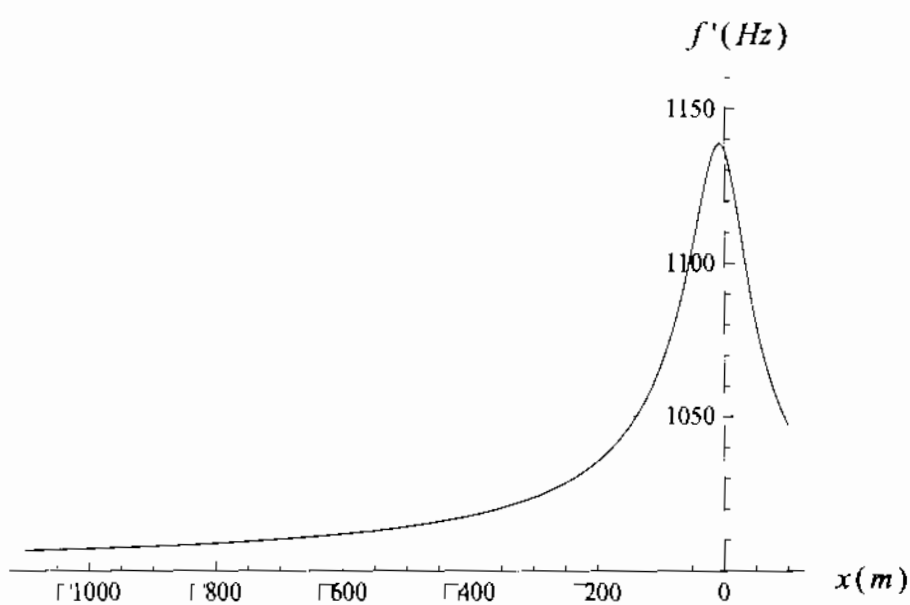
รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 40 \text{ ms}^{-1}$



รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ x เมื่อ $v_s = 40 \text{ ms}^{-1}$



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ t เมื่อ $v_s = 60 \text{ ms}^{-1}$



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง f' กับ x เมื่อ $v_s = 60 \text{ ms}^{-1}$

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาปรากฏการณ์คอปเพลอร์และการแปลงกาลิเลี่ยนเพื่อหาความถี่ของเสียงที่ Observer ได้ยิน ณ เวลาที่แตกต่างกัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เงื่อนไขของเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ Source เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่มีผลให้ระยะทางระหว่าง Source และ Observer มีระยะทางสั้นลง
2. ระยะทางที่สั้นลงส่งผลให้ค่าความถี่ของเสียงเปลี่ยนแปลงไป
3. เมื่อ Source เคลื่อนที่เข้าหา Observer โดยมีระยะทางที่สั้นลงส่งผลให้ค่าความถี่เสียงที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆและจะลดลงเมื่อ Source เคลื่อนที่ออกจาก Observer
4. ณ เวลาที่ความถี่เสียงที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นมีค่ามากที่สุดจะสอดคล้องกับคลื่นเสียงที่ปล่อยออกมาอยู่ใกล้ Observer มากที่สุด (R น้อยสุด)
5. ตามสมการความถี่ที่ได้เป็นฟังก์ชันของความเร็ว ตำแหน่งและเวลา เมื่อค่าความเร็วของ Source เท่ากับศูนย์ ค่าความถี่ที่ Observer ได้รับจะต้องเท่ากับค่าความถี่เดิม ($f' = f$) ซึ่งสอดคล้องเหมือนกันกับความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์คอปเพลอร์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มค่าความถี่ ความเร็ว ระยะทาง ให้มีค่าหลากหลายมากขึ้นเพื่อส่งผลต่อความน่าเชื่อถือต่อโครงการที่ดียิ่งขึ้น
2. ทำการศึกษาเพิ่มเติมของค่าความเร็วที่ทำให้เกิดคลื่นกระแทก
3. ศึกษาต่อในแบบจำลองของคลื่นแสงว่ามีผลกระทบต่อความถี่ที่สังเกตได้เป็นอย่างไร

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] Gabriel LaFreniere.(2002).The Doppler effect[On- line].
Available:http://glafreniere.com/sa_Doppler.htm
- [2] Hans, S.(2004).**Relativity An introduction to special and general relativity-**
(3rd ed.). United Kingdom. Cambridge University Press.
- [3] Ronald, G., and Willan, S.(1978). **Theory and problems Of Modren physics**. New York :
McGraw- Hill
- [4] Stanley, W.,Kenneth, B., and Robert, G.(1974).**Fundamentals of physics @ physics**. United
States of America.
- [5] Wikipedia, the free encyclopedia(2002) Christian Doppler[On-line].
Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Doppler
- [6] ปรัชญการณคอปเพลอร์ (ม.ป.ป) Doppler effect[On-line].
Available: http://glafreniere.com/sa_Doppler.htm
- [7] รศ. ไพโรจน์ ตีรณานกุล. **ทฤษฎีอนุภาคของควอนตัมและสัมพัทธภาพ**(1999).

ต้นฉบับไม่ปรากฏข้อมูล

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้ศึกษา

ประวัติย่อผู้ศึกษา

ชื่อ นายอังกา อินทนิล

วันเกิด วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2530

สถานที่เกิด อ.เมือง จ.อุบลราชธานี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 645 หมู่ 2 ต.ลุมพุก อ.คำเขื่อนแก้ว จ.ยโสธร 35110

อีเมลล์ : angkhan_intanin@hotmail.com

ประวัติย่อผู้ศึกษา

ชื่อ นายทฤษฎี พรหมศิริ

วันเกิด วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2531

สถานที่เกิด อ.กระนวน จ.ขอนแก่น

สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 105 หมู่ 8 ต.ท่าคันโท อ.ท่าคันโท จ.กาฬสินธุ์ 46190

อีเมลล์ : mpr_msu@hotmail.com