จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนโครงการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การสาธิตทางฟิสิกส์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ๑

โดย

อาจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย

อาจารย์ไพศาล ตู้ประกาย

มีนาคม ๒๕๔๘

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างชุดสาธิตทางฟิสิกส์ซึ่งได้รับความร่วมมือและความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ ผศ.ดร.ขจรยศ อยู่ดี และอดีตหัวหน้าภาคฯ ผศ.ดร.พิศิษฐ์ รัตนวรารักษ์ สำหรับการสนับสนุนในภาพรวม ขอขอบคุณอาจารย์วิสิทธิ์ ลีลาศิริวงศ์สำหรับเครื่องมือวัดระดับความเข้มเสียง ขอบคุณคุณอุดร ทองประเสริฐ คุณคุษฎี แสงผัด คุณสุรกฤษ ผลโคกสูง และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ชั้นปีที่ 1 ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือ และขอบใจนิสิต นายศุภกร จันเลน และนายภากร ไทยพิทักษ์ที่เป็นผู้ช่วยในการสร้างชุดสาธิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการวิจัย การสาธิตทางฟิสิกส์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป ๑
ชื่อผู้วิจัย อาจารย์ ดร.สมชาย เกียรติกมลชัย และ อาจารย์ไพศาล คู้ประกาย
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๔๘

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้สร้างชุดสาธิตทางฟิสิกส์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 โดยครอบคลุมเนื้อหาเรื่อง คลื่นกลในตัวกลางยืดหยุ่น เสียง ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ อุณหพลศาสตร์ ปรากฏการณ์ขนส่ง และของไหล ชุดสาธิตแสดงให้เห็นถึงสมบัติความเป็นคลื่นของเสียงที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ สมบัติการแทรกสอด และสมบัติการสะท้อน ชุดสาธิตด้านพลังงานงานความร้อนเป็นการแสดงให้เห็นถึงผลของการส่งผ่านพลังงานความร้อนในรูปของการนำ การพา และการแผ่รังสี นอกจากนี้ผลของพลังงานความร้อนยังสามารถทำให้วัตถุหดตัวได้ด้วย ที่มาของความดันก๊าซถูกจำลองด้วยการกระดอนของเม็ดแก้วภายในภาชนะปิด ชุดสาธิตได้ถูกทดสอบและได้ผลดีตามคาด แต่ชุดสาธิตทั้งเป็นมีขนาดเล็กและจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาเพื่อให้เหมาะกับชั้นเรียนขนาดใหญ่ต่อไป

In this research, we constructed several physics demonstration units to assist the teaching of General Physics I. The units cover the following chapters: mechanical wave in elastic medium, sound, the kinetic theory of gases, thermodynamics, the transport phenomena, and fluid. The demonstrations show the wave properties of sound such as medium requirement, interference, and reflection. The demonstration units for heat properties are to show the heat transfer via conduction, convection and radiation. In addition, the extraction of object due to heat is revealed. The model for gas pressure is demonstrated as the randomly scattered glass beads within a close chamber. All unites are tested and developed to the satisfaction. However, they are still small in size and need further consideration for the large classroom.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้าที่

กิตติกรรมประกาศ i
บทคัดย่อ.....ii
รายการตารางประกอบ.....v
รายการภาพประกอบ.....vi
บทที่ 1 บทนำ.....1
บทที่ 2 การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 การเคลื่อนที่ 4
2.2 พลังงานและโมเมนตัม 9
2. 3 คลื่น.....12
2.4 ความร้อน.....14
2.5 แม่เหล็ก-ไฟฟ้า 18
2.6 ฟิสิกส์ยุคใหม่และดาราศาสตร์ 21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ
3.1 การคัดเลือกชุดสาธิต
การทดลองที่ 1 เรื่อง การขยายตัวของของเหลว 23
การทดลองที่ 2 เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน 23
การทดลองที่ 3 เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง 24
การทดลองที่ 4 เรื่อง การส่งรังสีความร้อน 26
การทดลองที่ 5 เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น 26
การทดลองที่ 6 เรื่อง คลื่นนิ่ง 27
การทดลองที่ 7 เรื่อง เรโซแนนซ์ 28
การทดลองที่ 8 เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง.....29
การทดลองที่ 9 เรื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง 29
การทดลองที่ 10 เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน 30
การทดลองที่ 11 เรื่อง จุดเดือดของน้ำ 30
การทดลองที่ 12 เรื่อง การพาความร้อน.....31
การทดลองที่ 13 เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ.....32
การทดลองที่ 14 เรื่อง ความจุความร้อนจำเพาะ 32
การทดลองที่ 15 เรื่อง การเปลี่ยนรูปพลังงาน.....33
การทดลองที่ 16 เรื่องการขยายตัวอิสระ 33
3.2 ผลการคัดเลือกและขั้นตอนดำเนินงาน 34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน
การทดลองที่ 1 เรื่อง การขยายตัวของของเหลว 35
การทดลองที่ 2 เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน 35
การทดลองที่ 3 เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง.....36
การทดลองที่ 4 เรื่อง การส่งรังสีความร้อน 40
การทดลองที่ 5 เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น.....41
การทดลองที่ 8 เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง 42
การทดลองที่ 10 เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน.....43
การทดลองที่ 11 เรื่อง จุดเดือดของน้ำ 44
การทดลองที่ 12 เรื่อง การพาความร้อน 45
การทดลองที่ 13 เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ 48
การทดลองที่ 14 เรื่อง ความจุความร้อนจำเพาะ 49
การทดลองที่ 16 เรื่อง การขยายตัวอิสระ 49
การทดลองที่ 17 เรื่อง แบบจำลองความดันก๊าซ 49
บทที่ 5 การอภิปรายผล 51
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ 54
เอกสารอ้างอิง 55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

บทที่ 4
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และระยะเลื่อน.....39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

บทที่ 1

รูปที่ 1.1 ผลการประเมินความพึงพอใจการสอนของอาจารย์โดยเฉลี่ย ประเมินโดยนิสิตผู้เรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 และ 2 และฟิสิกส์การแพทย์ระหว่างภาคปลาย ปีการศึกษา 2540 ถึงภาคต้น ปีการศึกษา 2546.....2

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 การขยายตัวของของเหลว.....23
รูปที่ 3.2 ลักษณะกระป๋องที่ไม่ทาสีและที่ทาสีดำ.....23
รูปที่ 3.3 การจัดชุดสาธิตการแทรกสอดของคลื่นเสียง.....24
รูปที่ 3.4 การเกิดเสียงบีตส์.....24
รูปที่ 3.5 การแทรกสอดในท่อที่เลื่อนได้.....25
รูปที่ 3.6 การส่งผ่านรังสีความร้อนด้วยจานพาราโบลอยด์.....26
รูปที่ 3.7 การสะท้อนกลับของคลื่นตามขวางในสปริง.....26
รูปที่ 3.8 การเกิดคลื่นนิ่ง.....27
รูปที่ 3.9 การเกิดคลื่นนิ่งในสองมิติ.....27
รูปที่ 3.10 การเกิดเรโซแนนซ์ในแท่งโลหะความยาวต่างกัน.....28
รูปที่ 3.11 การเกิดเรโซแนนซ์ในขวดใส่น้ำและแก้วไวน์.....28
รูปที่ 3.12 ชุดสาธิตแสดงว่าเสียงต้องอาศัยอากาศในการส่งผ่าน.....29
รูปที่ 3.13 การสร้างเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ด้วยแท่งโลหะ.....29
รูปที่ 3.14 การหดตัวของยางยืด.....30
รูปที่ 3.15 การลดจุดเดือดของน้ำด้วยการลดความดันเหนือผิวน้ำ.....30
รูปที่ 3.16 การพาความร้อนด้วยอากาศร้อน.....31
รูปที่ 3.17 ท่อแก้วที่ใช้ในการสาธิตการพาความร้อนด้วยน้ำร้อน.....31
รูปที่ 3.18 การนำความร้อนในโลหะ.....32
รูปที่ 3.19 อุปกรณ์ที่ใช้แสดงความจุความร้อนจำเพาะ.....32
รูปที่ 3.20 พลังงานความร้อนที่เปลี่ยนรูปมาจากพลังงานกลโดยการทุบวัตถุ.....33
รูปที่ 3.21 อุปกรณ์สาธิตการขยายตัวอย่างฉับพลันของก๊าซ.....33

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 (ก) กระป๋องอะลูมิเนียมที่พ่นสีขาดและสีดำพร้อมหัววัดอุณหภูมิ (ข) ระบบการวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์.....35
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของกระป๋องดำและขาวขณะคายพลังงานงานความร้อน ข้อมูลการทดลองและสมการการฟิตทับกันพอดี.....36

รูปที่ 4.3 (ก) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสร้างเสียงความถี่คงที่ (ข) การวางลำโพงเพื่อ
สาธิตการแทรกสอด....36
รูปที่ 4.4 รูปจำลองแสดงแนวการเดินตัดแนวเสียงดังกว่าปกติ....37
รูปที่ 4.5 การออกแบบชุดสาธิตการแทรกสอดของคลื่นเสียง....37
รูปที่ 4.6 ท่อสาธิตการแทรกสอดของเสียง....38
รูปที่ 4.7 ฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณจาก Buzzer แสดงว่ามีความถี่หลักที่
2400 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิกที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลัก....38
รูปที่ 4.8 ระดับเสียงในหน่วยเดซิเบลที่ระยะเลื่อนต่าง ๆ....39
รูปที่ 4.9 (ก) การจัดตำแหน่งหัวแร้งบัดกรีที่ตำแหน่งโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ และ
(ข) การวางจานพาราโบลอยด์อีกอันหนึ่งเพื่อสะท้อนรังสีความร้อนไปยังแผ่นโลหะสีดำ
ซึ่งดูดกลืนพลังงานและมีอุณหภูมิสูงขึ้น....40
รูปที่ 4.10 คลื่นถูกสร้างจากด้านซ้ายมือแล้ววิ่งเข้าหาปลายสปริงด้านขวามือซึ่งยึดไว้กับพื้น
ผลการสะท้อนทำให้ลูกคลื่นชี้ไปในทิศคนละด้านกับขาเข้า ซึ่งในทางฟิสิกส์เราเรียกว่า
มีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา....41
รูปที่ 4.11 คลื่นถูกสร้างจากด้านซ้ายมือแล้ววิ่งเข้าหาปลายสปริงด้านขวามือซึ่งผูกกับเชือก
อีกเส้นหนึ่งทำให้เป็นปลายอิสระ ผลการสะท้อนทำให้ลูกคลื่นยังคงชี้ไปในด้านเดียวกันกับขาเข้า
ซึ่งในทางฟิสิกส์เราเรียกว่าเฟสไม่เปลี่ยนแปลง....42
รูปที่ 4.12 ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าเสียงต้องอาศัยตัวกลาง (อากาศ)
ในการเคลื่อนที่....42
รูปที่ 4.13 ชุดสาธิตแสดงการหดตัวของวัตถุเมื่อได้รับความร้อน....43
รูปที่ 4.14 (ก) ตำแหน่งของปลายยางยืดก่อนเป่าความร้อนและ (ข) การหดของยางทำให้ปลายชี้
โลหะสูงขึ้น....44
รูปที่ 4.15 ขวดรูปชมพู่ที่ดัดแปลงให้ก้นบุ๋มมากกว่าปกติเพื่อวางน้ำแข็ง....44
รูปที่ 4.16 ชุดสาธิตการพาความร้อนด้วยอากาศ....45
รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการพาความร้อนโดยสังเกตจากการเคลื่อนที่ของควันธูปซึ่งเข้ามา
จากท่อขวามือ ถูกดูด และปล่อยออกที่ท่อด้านซ้ายมือ เหนือตำแหน่งเปลวเทียน การดูดสังเกต
ได้ชัดเจนกว่าการปล่อย....46
รูปที่ 4.18 การออกแบบชุดทดลองเรื่องการพาความร้อน....46
รูปที่ 4.19 การจัดชุดสาธิตเรื่องการพาความร้อนด้วยน้ำร้อน....47
รูปที่ 4.20 การหยดสีน้ำ....47
รูปที่ 4.21 สีน้ำเริ่มเคลื่อนที่ไปตามการไหลของกระแสน้ำร้อน....47
รูปที่ 4.22 การไหลเวียนของสีโดยทั่ว....48
รูปที่ 4.23 (ก) การจัดชุดสาธิตเรื่องการนำความร้อนในโลหะ และ (ข) อุณหภูมิที่สภาวะสมดุล....48
รูปที่ 4.24 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแท่งอะลูมิเนียมที่เวลาต่างๆ 49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.25 (ก) ชุดแบบจำลองเรื่องความดันในสภาวะหยุดนิ่ง (ข) ชุดแบบจำลองเรื่องความดัน
ในสภาวะเคลื่อนไหวโดยการปรับค่าความต้านทานให้ต่ำลงจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มทำงาน.....50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ฟิสิกส์เป็นวิชาพื้นฐานวิชาหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งต่อความเข้าใจในลักษณะของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอันจะช่วยให้มนุษย์สามารถพยากรณ์เหตุการณ์และควบคุมสถานการณ์บางอย่างของธรรมชาติ รวมไปถึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญของการสร้างเทคโนโลยีของประเทศ เนื่องจากความสำคัญของวิชาฟิสิกส์ วิชานี้จึงจัดให้เป็นวิชาบังคับที่นิสิตที่เรียนในสายวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ในหลายคณะต้องศึกษาเพราะจะเป็นพื้นฐานของการเรียนเฉพาะด้านที่สูงขึ้น ในปัจจุบันการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไปโดยคณาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ได้มีการปรับปรุงให้นิสิตเกิดความรู้ ความเข้าใจ และเรียนรู้ได้ด้วยตนเองมากขึ้น การเรียนรู้จากปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไปเป็นสิ่งที่เสริมให้นิสิตได้เรียนรู้จากการปฏิบัติ ลงมือทำ มากขึ้น แต่ถึงกระนั้นด้วยข้อจำกัดทางโครงสร้างและบุคลากร การเรียนภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติจึงขาดความต่อเนื่องและความสอดคล้องของเนื้อหากับการทดลอง ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาและอุปสรรคดังนี้

1.1.1 นิสิตขาดแรงจูงใจในการเรียนวิชาฟิสิกส์

1.1.2 รูปแบบการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวทำให้นิสิตขาดความสนใจต่อการเข้าชั้นเรียนและมองไม่เห็นภาพโดยรวมของเนื้อหาของการบรรยายนั้น ๆ

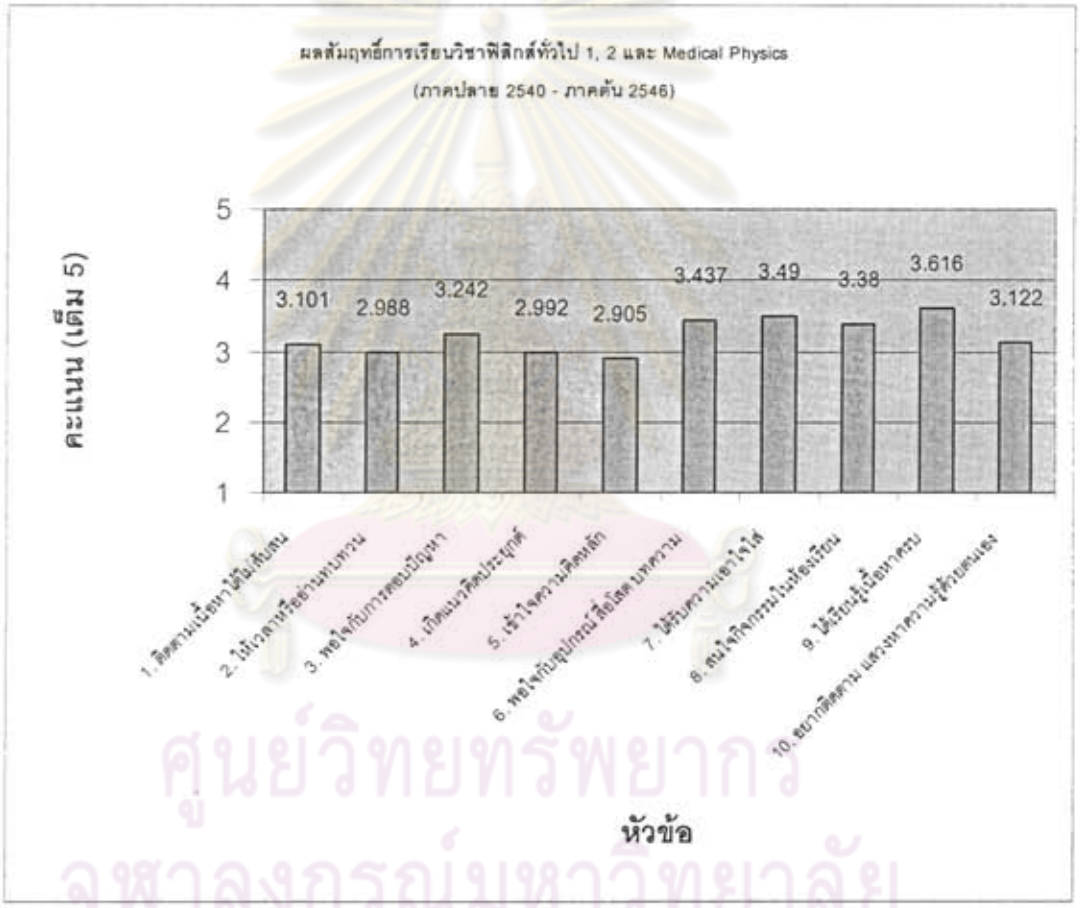
1.1.3 นิสิตไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ทั่วไปที่ได้เรียนกับปรากฏการณ์ธรรมชาติรอบ ๆ ตัว

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงเกิดความพยายามที่จะปรับปรุงรูปแบบการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ขึ้นโดยใช้การเรียนรู้กฎเกณฑ์ของธรรมชาติจากการแสดงให้เห็นจริงในชั้นเรียน (Physics demonstration) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายถึงผลของการผสมผสานการสาธิตง่าย ๆ ที่มีคำอธิบายทางฟิสิกส์ประกอบ ซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ วิจารณ์ วิเคราะห์ และจดจำหลักการได้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งถ้าหากการสาธิตได้ใช้ตัวอย่างจากเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันมาประกอบด้วยแล้ว สิ่งนี้จะแสดงให้ผู้เรียนได้เห็นถึงความเกี่ยวข้องของฟิสิกส์กับทุกคนโดยตรง ขอบเขตของการพัฒนาจะจำกัดสำหรับรายวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 รหัส 2304103 สอนนิสิตชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ จำนวนนิสิตโดยประมาณ 650-700 คน โดยเน้นเฉพาะในส่วนของเนื้อหาต่อไปนี้ ได้แก่ คลื่นกลในตัวกลางยืดหยุ่น เสียง ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ อุณหพลศาสตร์ ปรากฏการณ์ขนส่ง และ ของไหล (คิดเป็นเนื้อหาประมาณ 50% ของรายวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 ส่วนหลังการสอบกลางภาค)

อ้างถึงผลการประเมินการสอน[1] ของอาจารย์ที่สอนแบบบรรยายในวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1,2 และ ฟิสิกส์การแพทย์ ซึ่งมีเนื้อหารายวิชาที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่า ในทุกหัวข้อที่ประเมินจะมีผลคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 ซึ่งเป็นค่า "ปานกลาง" ของความพึงพอใจของนิสิตผู้เข้าเรียนซึ่งแสดงให้เห็นว่าในทุก ๆ ด้านของการสอนนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หัวข้อที่ได้รับความพึงพอใจต่ำกว่าค่าปานกลางอันได้แก่ 2. การให้เวลาทบทวน 4. การเกิดแนวคิดประยุกต์ และ 5. ความเข้าใจในความคิดหลัก ผลการประเมินนี้ได้ชี้ให้เห็นถึงวิกฤตของการเรียนการสอนที่มีเพียงการบรรยายเพียงอย่างเดียว

(หรือจะมีสื่ออื่นประกอบบ้างก็น้อยมาก) ว่าจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องสร้างแรงจูงใจให้นิสิตเกิดความใฝ่รู้ในวิชามากกว่าที่เป็นอยู่ และต้องสามารถช่วยให้นิสิตเกิดแนวคิดเชิงประยุกต์และเข้าใจความคิดหลัก ๆ ได้ดียิ่งขึ้น

การสาธิตประกอบการสอนทางฟิสิกส์ได้มีมานานแล้วในต่างประเทศอาทิ ณ University of Berkley at California [2], University of Wisconsin [3], University of Maryland [4] เป็นต้น ซึ่งแต่ละแห่งมีอุปกรณ์สาธิตมากกว่า 1000 ชิ้น ซึ่งได้รับการยอมรับอย่างมากว่าเกิดผลดีต่อการเรียนรู้ทางวิชาฟิสิกส์ [5] เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการสาธิตเช่นนี้อย่างจริงจัง ผู้ขอทุนจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้จะเป็นจุดเริ่มที่ดีของการปรับปรุงรูปแบบการสอนวิชาฟิสิกส์ให้มีความทันสมัยและแสดงให้เห็นถึงการใช้ได้จริงของเนื้อหาวิชากับชีวิตประจำวัน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1.1 ผลการประเมินความพึงพอใจการสอนของอาจารย์โดยเฉลี่ย ประเมินโดยนิสิตผู้เรียนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 และ 2 และฟิสิกส์การแพทย์ระหว่างภาคปลาย ปีการศึกษา 2540 ถึงภาคต้น ปีการศึกษา 2546

ลักษณะสื่อการสอนที่จะสร้างขึ้นควรมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

1. สามารถอธิบายการทำงานหรือการเป็นไปของสื่อด้วยความรู้จากตำราฟิสิกส์ทั่วไป 1 คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับปรับปรุงล่าสุด และ/หรือ ด้วยตำราต่างประเทศที่ยอมรับในวงกว้างว่าเหมาะสมสำหรับการสอนในระดับอุดมศึกษา

2. มีความปลอดภัยสูงและมีการป้องกันภัยในด้านต่าง ๆ ระหว่างการแสดง

3. ควรเป็นสื่อการสอนที่สามารถใช้วัสดุ อุปกรณ์ ที่ถอด ประกอบได้ เพื่อให้เกิดการใช้ทรัยพากรร่วมกันระหว่างสื่อแต่ละชิ้น

4. การแสดงและอุปกรณ์ที่ใช้ควรมีความเรียบง่าย ส่งเสริมการประยุกต์ใช้วัสดุที่มีภายในประเทศ

5. ควรใช้เวลาในการแสดงและการสรุปไม่เกิน 10 นาที เพื่อไม่ให้เกิดความน่าเบื่อ

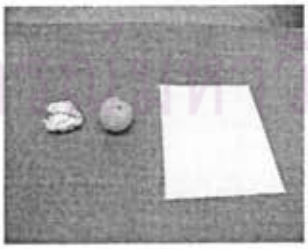
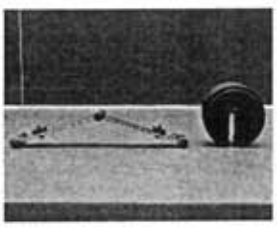
6. ต้องเป็นการแสดงที่กระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิดและวิเคราะห์ และอาจมีส่วนร่วมในการแสดงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

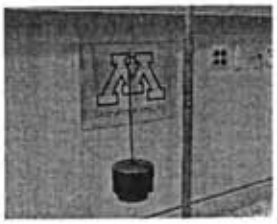
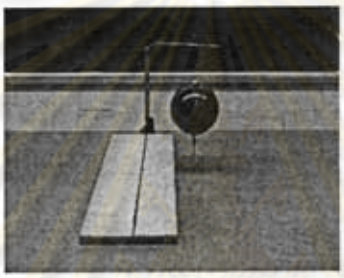
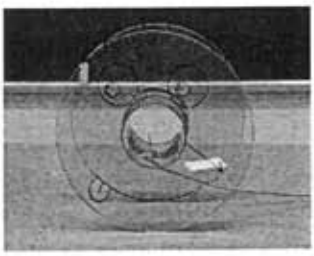
บทที่ 2
การสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเก็บข้อมูลการแสดงทางฟิสิกส์ที่มีอยู่จากแหล่งข้อมูลทางอินเตอร์เนตของมหาวิทยาลัยชั้นนำของต่างประเทศ ได้แก่ University of California Berkley, University of Minnesota, University of Florida และ University of Maryland สามารถแยกออกเป็นหมวดต่าง ๆ ได้ดังนี้

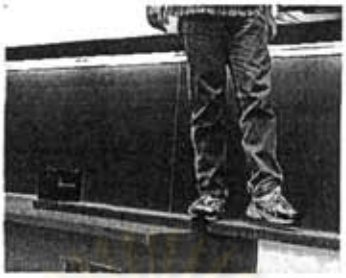
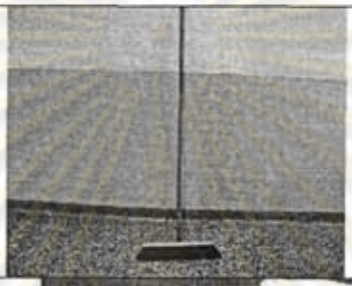
2. 1 การเคลื่อนที่

ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	การตกอิสระ	(ก) (ข) (ค) 	(ก) การตกอิสระของขนนกและเหรียญโลหะในหลอดสุญญากาศจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่จากปลายด้านหนึ่งถึงปลายอีกด้านหนึ่งของหลอดเท่ากัน (ข) แต่ถ้าเราเอาขนนกวางบนหนังสือและปล่อยหนังสือจะพบว่าขนนกเคลื่อนที่ลงมาพร้อมหนังสือ สิ่งนี้แสดงถึงผลของแรงต้านอากาศ (ค) ปล่อยแผ่นกระดาษพร้อมลูกเทนนิสให้ตกพร้อมกัน พบว่ากระดาษใช้เวลามากกว่าในการเคลื่อนที่ถึงพื้น แต่กระดาษจะใช้เวลาน้อยลงเมื่อยำกระดาษเป็นก้อน
2	เวกเตอร์ของแรง	(ก) 	(ก) ผูกเชือกเส้นหนึ่งกับปลายบานพับทั้งสองด้าน วางบานพับให้เป็นมุมป้านดังรูป วางมวลที่จุดหมุนของบานพับ เลือกมวลให้พอเหมาะจะ

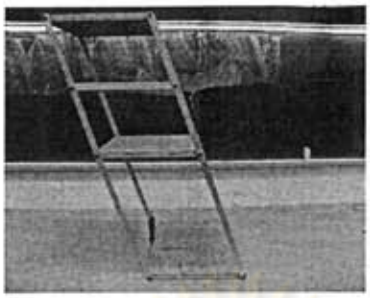
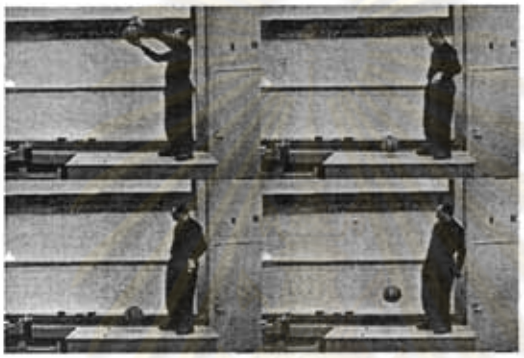
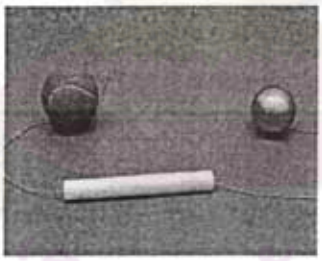
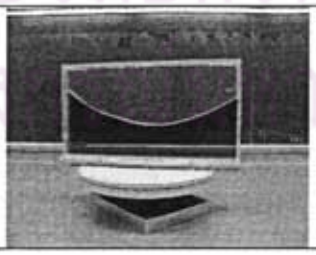
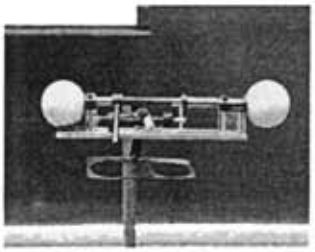
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

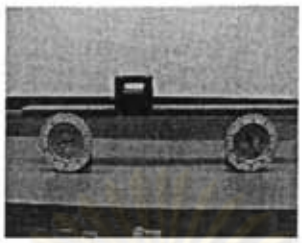
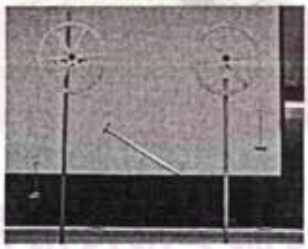
		(ข) 	พบว่าเส้นเชือกขาดที่เป็นเช่นนี้เพราะเชือกพยายามรับแรงในแนวราบแต่มวลทำให้เกิดแรงในแนวดิ่งมาก แต่ถ้านำเชือกดังกล่าวมาผูกกับมวลในแนวดิ่งเชือก ดังรูป (ข) เชือกจะไม่ขาดเพราะเชือกรับแรงในแนวดิ่งเท่านั้น
3	Foucault Pendulum		ลูกตุ้มมวลมากถูกแขวนจากเพดาน ทำให้ลูกตุ้มแกว่งและทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงจะพบว่าระนาบการแกว่งบิดไปจากเดิมเป็นมุมประมาณ 10 องศา การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโลกมีการหมุนรอบตัวเอง
4	โมเมนตัม		วางก้อนอิฐมวลมาก ๆ บนมือและทุบด้วยค้อน ก้อนอิฐจะแตกโดยที่มือไม่เป็นอันตราย ที่เป็นเช่นนี้เพราะมวลที่มากของอิฐช่วยลดการเปลี่ยนอัตราเร็วของก้อนอิฐเพราะผลคูณของมวลและอัตราเร็วคือโมเมนตัมซึ่งมีค่าคงที่เท่ากับโมเมนตัมของค้อน
5	การหมุนและการเลื่อนที่		ทำลูกดิ่งขนาดใหญ่และพันด้วยเชือกดังรูป ถ้าดึงเชือกให้ขนานกับพื้นไปทางขวามือ ลูกดิ่งจะเคลื่อนที่ไปทางขวา ถ้าดึงเชือกขึ้นตรง ๆ ตั้งฉากกับพื้น ลูกดิ่งจะเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ดึงเชือกที่บางมุม ลูกดิ่งจะหมุนอยู่กับที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6	โมเมนต์		วางไม้กระดานบนโต๊ะเลคเชอร์และวางน้ำหนัก 50 กิโลกรัมที่ปลายไม้บนโต๊ะ ให้นักเรียนคำนวณว่าจะสามารถเดินบนไม้กระดานส่วนที่ยื่นออกไปจากขอบโต๊ะได้เท่าใดและให้นักเรียนลองเดิน
7	ศูนย์กลางมวล		พยายามเลี้ยงไม้ถูพื้นด้วยมือเพียงมือเดียว สังเกตว่าถ้าเลี้ยงโดยเอาด้านถูพื้นลงจะเลี้ยงได้ยากมาก
8	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง	(ก) (ข)	สร้างราง 2 รางที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายที่จุดเดียวกัน รางหนึ่งเป็นรางเส้นตรง อีกรางเป็นรางโค้ง เมื่อปล่อยลูกบอลมวลเท่ากัน 2 ลูกพร้อมกัน พบว่าลูกบอลที่เคลื่อนที่มาตามรางโค้งจะมาถึงพื้นล่างก่อน ทั้งนี้เพราะถึงแม้รางโค้งจะมีระยะทางที่ยาวกว่าแต่มีอัตราเร่งที่มากกว่า
9	การเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียง	(ก) (ข)	วัตถุรูปกรวย 2 อันประกบกัน เมื่อปล่อยให้เคลื่อนที่บนพื้นเอียงจะเห็นว่ามีการเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงได้ รูปนี้เป็นภาพลวงตาเพราะอันที่จริงแล้วศูนย์กลางมวลของวัตถุเคลื่อนที่ลงตลอดเวลา

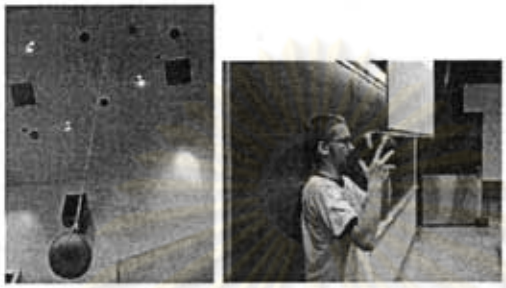
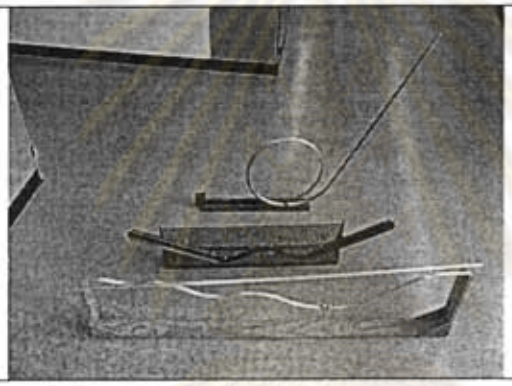
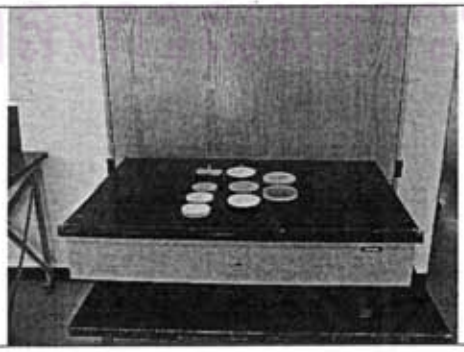
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

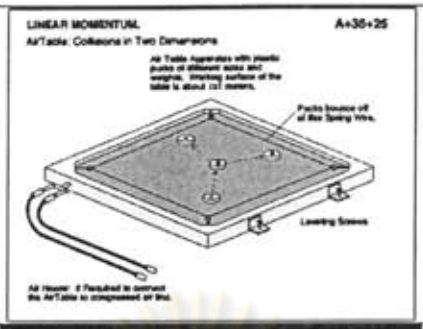
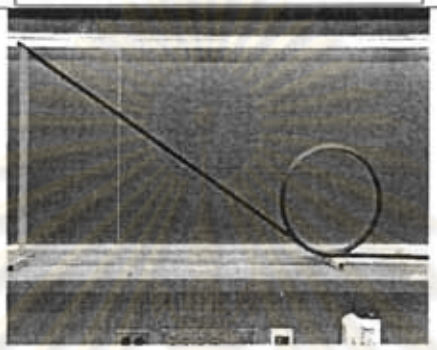
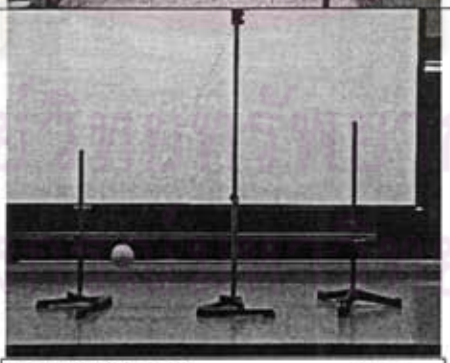
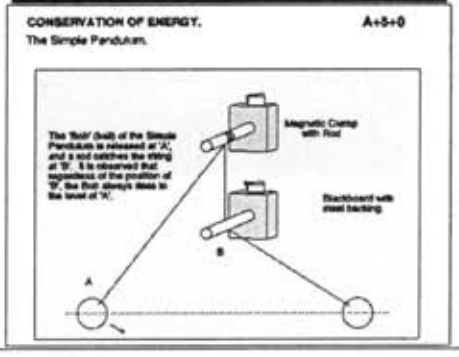
10	สมดุล		สร้างชั้นวางของที่สามารถปรับให้เอียงได้ดังรูป ที่จุดกึ่งกลางผูกเชือกไว้แล้วผูกลูกดิ่งเพื่อแสดงแนวศูนย์กลางมวล เมื่อชั้นวางของเอียงมากพอจนแนวศูนย์กลางมวลออกนอกฐาน ชั้นวางของนี้จะล้ม
11	การอนุรักษ์โมเมนตัม		จัดให้ลูกเทนนิสอยู่บนลูกบาสเกตบอลและปล่อยพร้อมกัน เมื่อลูกบาสเกตบอลถึงพื้นจะกระดอนกลับและถ่ายเทโมเมนตัมให้ลูกเทนนิส เนื่องจากลูกเทนนิสมีมวลที่น้อยกว่า ลูกเทนนิสจึงกระดอนขึ้นสูงกว่าตำแหน่งปล่อยมาก
12	แรงหนีศูนย์กลาง		คล้องเชือกผ่านท่อพีวีซีขนาดพอมือ ปลายเชือกด้านหนึ่งผูกกับลูกเทนนิส ปลายเชือกอีกด้านผูกกับลูกตุ้มโลหะที่มวลมากกว่าลูกเทนนิส ทำการหมุนลูกเทนนิสในแนวระนาบจนลูกตุ้มโลหะสามารถอยู่นิ่งได้ในแนวดิ่ง
13	แรงหนีศูนย์กลาง		หมุนกล่องพลาสติกใสใส่น้ำสี ผิวน้ำจะแอ่นโค้งเป็นรูปพาราโบล่า
14	การตกอิสระ		อุปกรณ์พิเศษนี้จะดีดลูกบอลออกแนวราบในขณะที่ลูกบอลอีกลูกถูกปล่อยในแนวดิ่ง ลูกบอลทั้งสองจะถึงพื้นพร้อมกันซึ่งแสดงถึงสภาพการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งที่

			เหมือนกัน (มีค่าความเร่งโน้มถ่วงเท่ากัน)
15	โมเมนต์		วางคานบนตาชั่งสองอัน นำวัตถุอีกก่อนมาวางที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนคาน สังเกตน้ำหนักที่ตาชั่งแต่ละอันรับ
16	ทอร์ค		ล้อสามารถเคลื่อนที่ขึ้นพื้นเอียงได้แต่อันที่จริงมีมวลถ่วงอยู่ภายในซึ่งผู้ชมไม่เห็น มวลถ่วงดังกล่าวทำให้เกิดทอร์ครอบศูนย์กลางล้อเพื่อหมุนขึ้นพื้นเอียง
17	สมดุล	(ก) (ข) 	คานถูกแขวนให้อยู่ในแนวระนาบด้วยเชือก 2 เส้นที่ผูกที่ปลายคานและต่างก็คล้องผ่านรอกและมีมวลถ่วงไว้ที่ปลายเชือกดังรูป (ก) เมื่อย้ายมวลบางส่วนจากปลายเชือกด้านหนึ่งไปสู่ด้านหนึ่งดังรูป (ข) คานยังคงรักษาสภาพนิ่งไว้ได้ แต่มีการหมุนเกิดขึ้นเพราะทอร์คไม่เป็นศูนย์

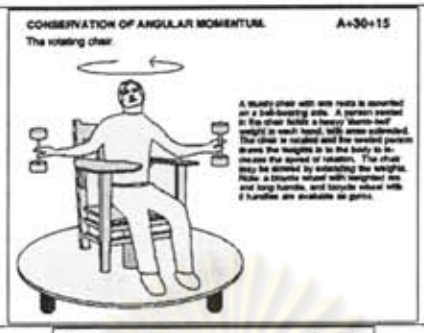
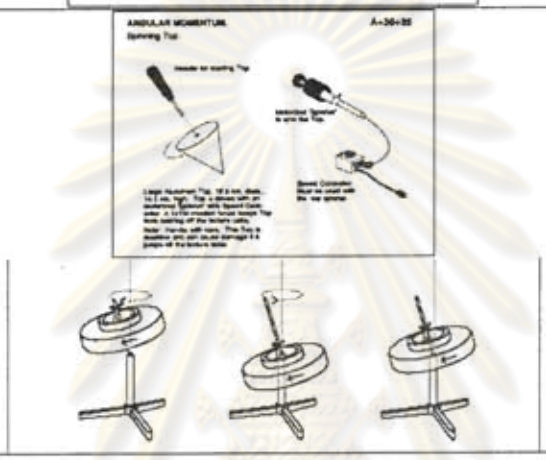
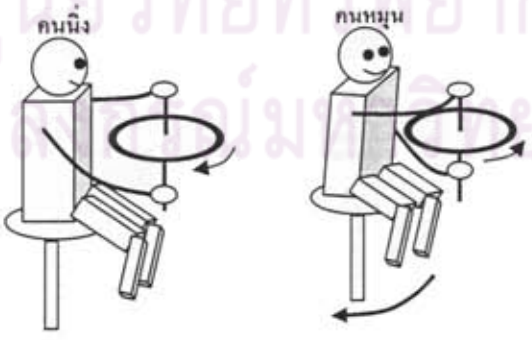
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 พลังงานและโมเมนตัม

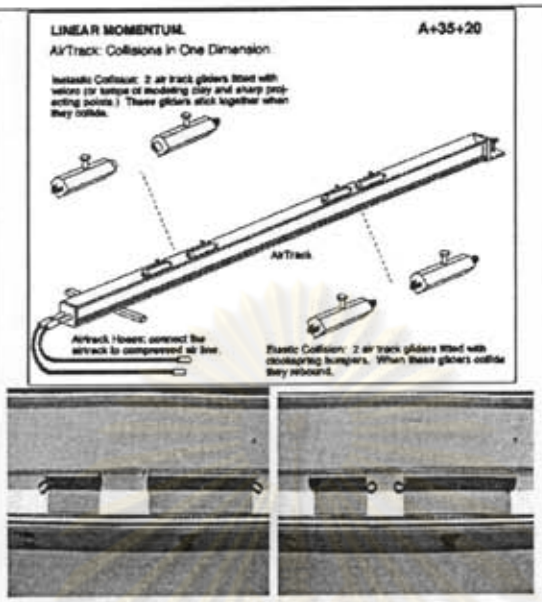
ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	พลังงานศักย์ พลังงานจลน์		ผูกลูกตุ้มกับเพดานและให้ผู้ร่วมทดลองดึงลูกตุ้มให้ไกลจากแนวกึ่งกลางแล้วปล่อย (ห้ามผลัก) ลูกตุ้มจะแกว่งกลับมาแต่ไม่ถึงผู้ปล่อยเพราะมีการสูญเสียพลังงาน
2	การอนุรักษ์พลังงาน		รางหลายรูปแบบสำหรับการอธิบายเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน
3	พลังงานศักย์ยืดหยุ่นและพลังงานจลน์		กระป๋องนี้มีแกนภายในเป็นยางรัดของและมีมวลอีกก้อนหนึ่งอยู่ที่กึ่งกลางยาง เมื่อให้กระป๋องกลิ้งไปบนพื้นราบยางรัดของจะม้วนตัวและกระป๋องจะสามารถกลิ้งกลับมาหาผู้กลิ้งได้
4	การชนในสองมิติ		กระดานไร้แรงเสียดทานสำหรับศึกษาการชนใน 2 มิติ กระดานดังกล่าวสร้างโดยใช้ลมเป่าผ่านรูเล็ก ๆ ที่อยู่บนผิวกระดาน

			
5	โรลเลอ โคสเตอร์		สร้างรางรูปวงกลมรัศมี R ดังรูป โดยทฤษฎีการอนุรักษ์พลังงานพบว่าจะต้องปล่อยลูกบอลสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 2.5R ลูกบอลจึงสามารถเคลื่อนผ่านลูปวงกลมไปได้
6	โย-โย		สร้างลูกดิ่งโย-โย ขนาดใหญ่ เพื่อสาธิตเรื่องการอนุรักษ์พลังงานของการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบแกนหมุนและการเลื่อนที่ของแกนหมุน
7	การอนุรักษ์พลังงาน	 	ปล่อยลูกตุ้มให้แกว่ง เมื่อแนวเชือกมาถึงสมดุล จะแตะกับคานไม้ทำให้เชือกส่วนที่แกว่งสั้นลง แต่อย่างไรก็ตามลูกตุ้มก็จะแกว่งกลับไปที่ตำแหน่งเริ่มต้นได้

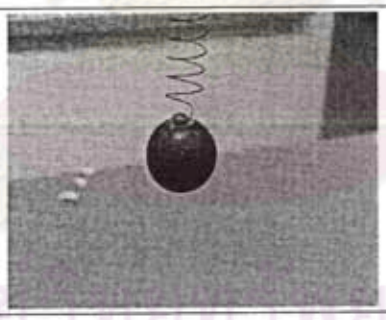
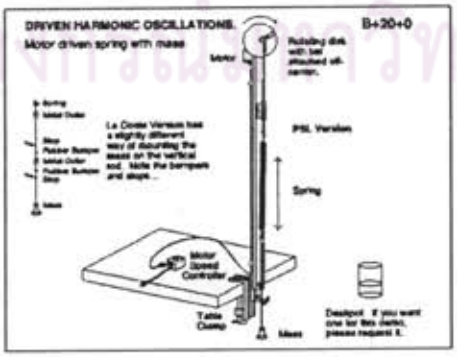
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8	การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม		เก้าอี้อนุรักษ์โมเมนตัม เมื่อคนกางแขนเก้าอี้จะหมุนช้าลง เมื่อคนหุบแขนเก้าอี้จะหมุนเร็วขึ้น
9	การส่าย		การส่ายของลูกข่างเป็นผลมาจากทอร์คเนื่องจากน้ำหนักของลูกข่าง ทอร์คทำให้เกิดการส่าย ซึ่งสามารถอธิบายทิศการส่ายได้ด้วยสมการทางฟิสิกส์
10	โมเมนต์ความเฉื่อย		ปล่อยวัตถุสองก้อนซึ่งมีมวลเท่ากันและมีรัศมีเท่ากัน (ยาวไม่เท่ากันนั่นเอง) อันหนึ่งตันอันหนึ่งกลวง พบว่าอันที่ตันจะเคลื่อนที่ลงมาได้เร็วกว่า ทั้งนี้เพราะมีโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่า
11	การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม		คนนั่งบนเก้าอี้หมุนได้รอบถือล้อจักรยานที่กำลังหมุนในทิศดังรูป เมื่อหมุนแกนล้อจักรยาน 180 องศาจะพบว่าคนจะหมุน สิ่งนี้เป็นผลจากการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม ทิศสามารถหาได้จากกฎมือขวาของโมเมนตัมเชิงมุม

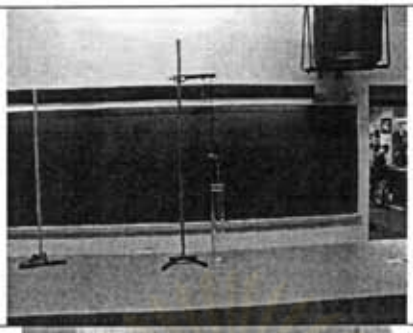
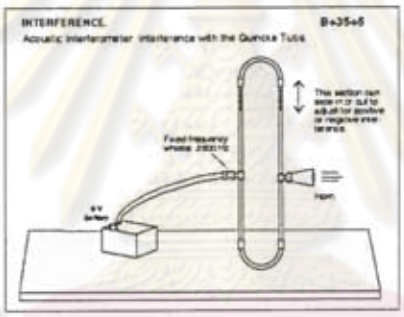
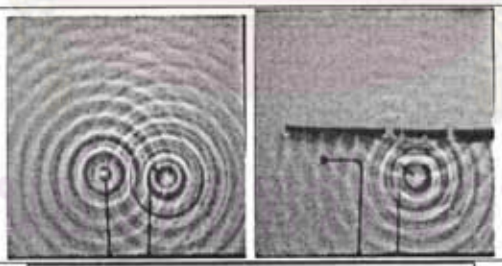
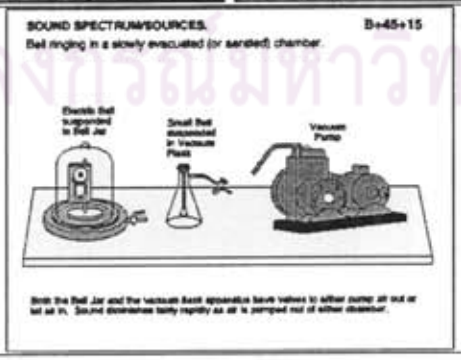
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

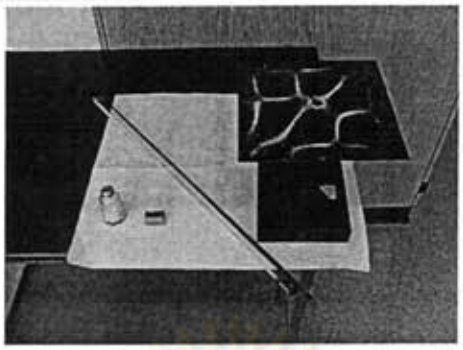
12	โมเมนตัมเชิงเส้น		ชุดสาธิตการชนในหนึ่งมิติ เป็นรางอะลูมิเนียมเจาะรู และใช้ปั๊มอากาศพ่นอากาศออกตามรูเพื่อผลักวัตถุให้ลอยขึ้นจากพื้น สามารถใช้สาธิตการชนของวัตถุสองชิ้นมวลเท่ากัน ไม่เท่ากัน การชนแบบยืดหยุ่น (ติดด้านที่ชนกันด้วยสปริง) และการชนแบบไม่ยืดหยุ่น (ติดด้านที่ชนกันด้วยดินน้ำมัน)

2. 3 คลื่น

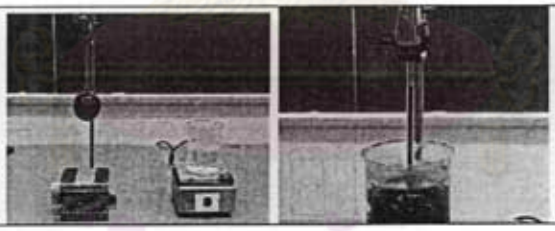
ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	การแกว่ง		ติดมวลที่ปลายสปริงแล้วดึงให้สั่นขึ้นลงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่าสปริงแกว่งแต่ไม่สั่น นั่นคือมีการเปลี่ยนรูปแบบการแกว่งและการสั่นนั่นเอง
2	การสั่นด้วยแรงกระตุ้น		สปริงปลายด้านหนึ่งผูกกับหมุดหลวม ๆ ที่เคลื่อนที่ได้เล็กน้อย ปลายอีกด้านแขวนมวล ระบบนี้จะมีความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่ง หมุดหลวม ๆ ถูกกระตุ้นด้วยมอเตอร์ ถ้าความถี่ของมอเตอร์ตรงกับความถี่ธรรมชาติ มวลติดปลายสปริงจะสั่นรุนแรงมาก

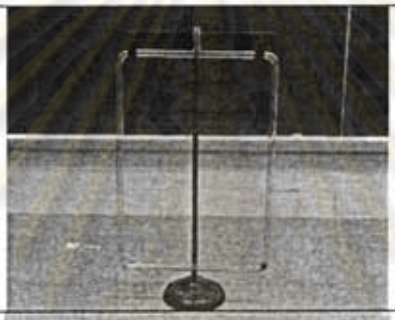
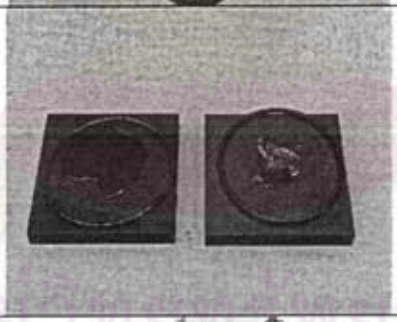
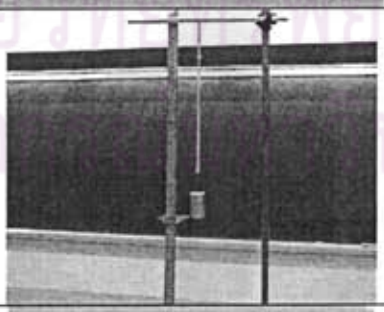
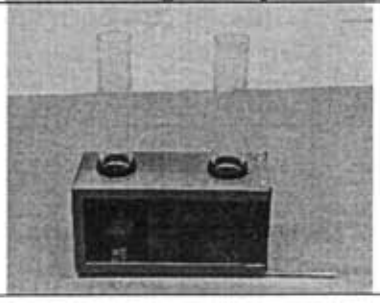
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

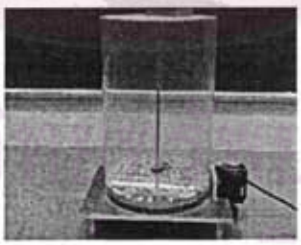
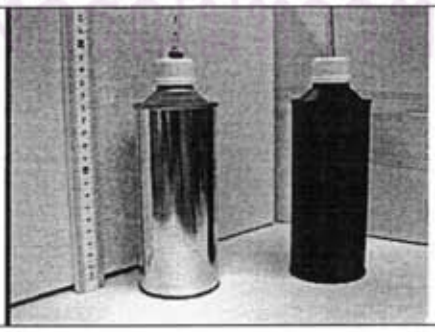
3	การสั่นแบบมีแรงแดมป์		การสั่นของมวลติดปลายสปริงในน้ำจะเกิดการ damp อย่างมากทำให้สภาพการเคลื่อนที่มีแอมพลิจูดที่ลดลงอย่างรวมเร็ว
4	การแทรกสอดของคลื่นเสียง		การแทรกสอดของคลื่นเสียง เมื่อผู้สังเกตเดินผ่านด้านหน้าจะได้ยินเสียงดัง , ค่อยสลับกันไป
5	การแทรกสอดของคลื่นเสียง		คลื่นเสียงถูกแยกออกเป็นสองทางเดินและไปรวมกันอีกครั้งที่ทางออก ปลายด้านที่ยืดได้ทำให้เกิดผลต่างระยะทางซึ่งถ้าเป็นจำนวนเต็มของความยาวคลื่นเสียงจะดังสุด
6	การแทรกสอดของคลื่นน้ำ		การแทรกสอดในถาดคลื่น (ก) แหล่งกำเนิดคลื่น 2 แหล่ง (ข) คลื่นที่ผ่านสลิตคู่ สลิตคู่เป็นแหล่งกำเนิด 2 แหล่งเช่นกัน
7	การส่งผ่านคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง		คลื่นเสียงสามารถไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ นำกระดิ่งไปไว้ในถ้วยสุญญากาศแล้วค่อย ๆ ปั๊มอากาศออก เสียงจะค่อย ๆ ดังน้อยลง

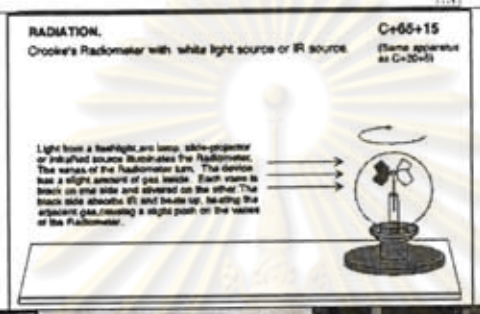
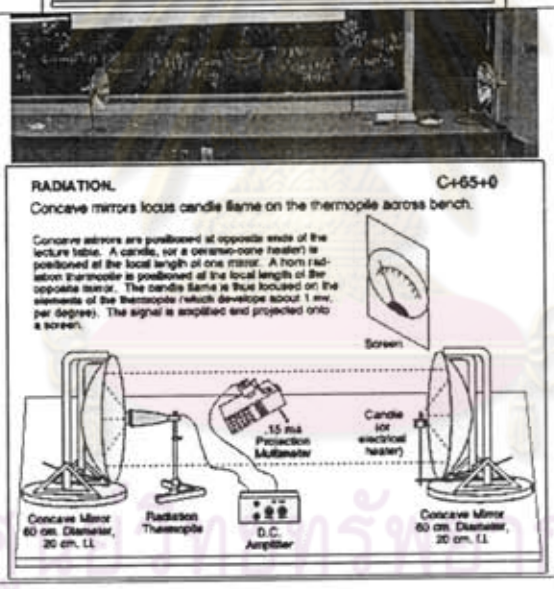
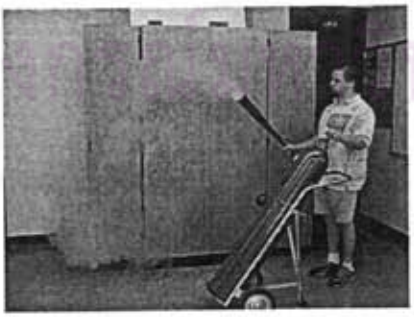
8	เรโซแนนท์ในสองมิติ		ตัดชิ้นเหล็กรูปสี่เหลี่ยมติดตั้งบนฐานที่เป็นเหล็กหนัก ๆ โรยผงทรายและสีขอบของเหล็กรูปสี่เหลี่ยมด้วยไม้สีไวโอลิน จะพบว่าเกิดแนวทรายขึ้นซึ่งเป็นแนวบัพของคลื่นนั่นเอง
9	เรโซแนนท์ของแก้วไวน์		เอานิ้วจุ่มน้ำแล้วสีวนรอบปากแก้วไวน์ที่ใส่น้ำเล็กน้อย ถ้าทำได้อย่างถูกต้อง จะได้ยินเสียงดังมาก

2.4 ความร้อน

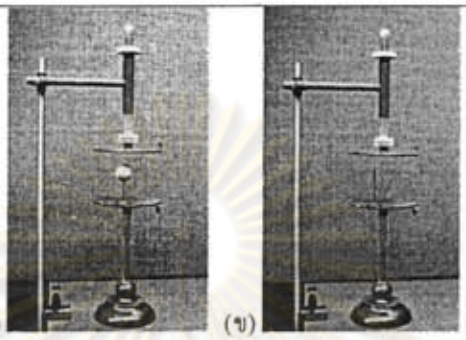
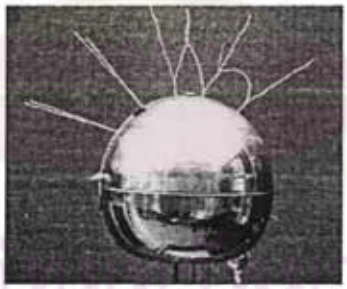
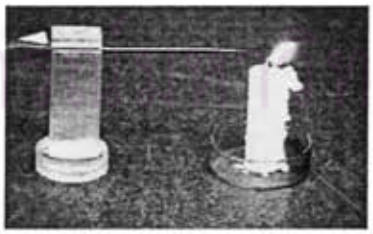
ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	Torchelli Tube		น้ำสีมีการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน สังเกตจากระดับน้ำในหลอดแก้วที่สูงขึ้น
2	ความจุความร้อนจำเพาะ		ลูกโป่งบรรจุอากาศเมื่อวางอยู่เหนือเปลวไฟจะแตก แต่เมื่อบรรจุน้ำภายในกลับไม่แตก ทั้งนี้เพราะน้ำเก็บพลังงานความร้อนได้มาก โดยอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย
3	จุดเดือด		น้ำเดือดในบีกเกอร์รูปชมพูถูกทำให้เดือดอีกครั้งโดยการลดอุณหภูมิเหนือผิวน้ำด้วยน้ำแข็ง ซึ่งเป็นการลด

			ความดันและจุดเดือดของน้ำนั่นเอง
4	สัมประสิทธิ์การขยายตัว		แผ่นทองเหลืองและแผ่นเหล็กประกบและเชื่อมติดกันที่ปลาย เมื่อนำไปลนไฟแผ่นจะงอไปด้านเหล็ก เมื่อนำไปจุ่นไนโตรเจนเหลวแผ่นจะงอไปด้านแผ่นทองเหลือง ที่เป็นเช่นนี้เพราะวัตถุทั้งสองมีการขยายตัวไม่เท่ากัน
5	การพาความร้อน		หลอดบรรจุน้ำภายใน นำมุมหนึ่งของหลอดไปลนไฟเพื่อให้น้ำร้อน ใส่หยดสีที่รูด้านบนเพื่อให้เห็นทิศการไหลของกระแสน้ำร้อน
6	การนำความร้อน		ก้อนน้ำแข็งวางบนวัสดุโลหะและพลาสติก จะพบว่าน้ำแข็งบนแผ่นโลหะละลายได้เร็วกว่า
7	การเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจากความร้อน		ยางที่มีมวลถ่วง เมื่อได้รับความร้อนจะหดตัว ดึงมวลขึ้นได้
8	การพาความร้อน		กล่องที่มีปล่องควัน 2 ปล่อง ภายในจุดเทียน ทำให้อากาศไหลเวียนภายในดูทิศการไหลเวียนโดยจุดธูปไว้เหนือปล่อง

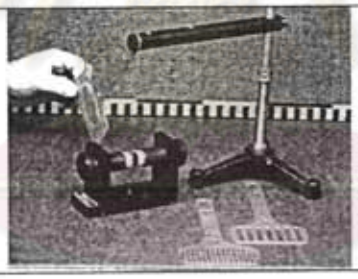
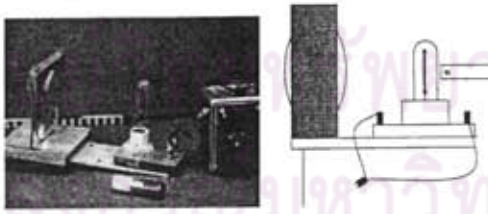
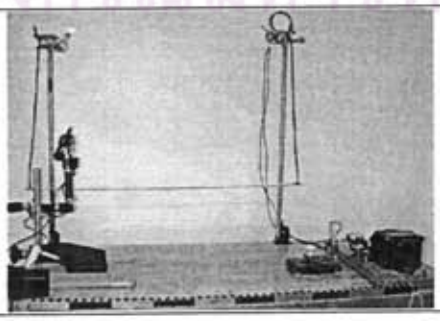
9	ความจุความร้อนจำเพาะ		วัสดุ 3 ชนิด คือ อะลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว มวลเท่ากัน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (แช่น้ำร้อน) ถูกวางในรางไม้เอียงที่บรรจุแวกซ์ สังเกตว่าวัสดุใดเคลื่อนที่เป็นระยะทางมากกว่ากัน
10	สภาพนำความร้อน		โลหะ 4 ชนิด ขนาดเท่ากัน นำมาลนไฟที่ปลายด้านหนึ่ง สังเกตการเพิ่มอุณหภูมิที่ปลายฝั่งตรงข้าม
11	แบบจำลองก๊าซ	(ก)  (ข)	ท่อพลาสติกใสภายในบรรจุเม็ดพลาสติก ฐานล่างสามารถหมุนได้เพื่อตีเม็ดพลาสติกให้กระดอนไปมา ทำให้เกิด "ความดัน" ดันฝาบนให้ลอยขึ้น (ก) เป็นโมเดลขนาดเล็กในขณะที่ (ข) เป็นโมเดลขนาดใหญ่
12	การแผ่รังสี		กระป๋องโลหะสองใบ ใบหนึ่งทาสีดำ อีกใบทาสีขาว บรรจุน้ำเดือด ใบที่ทาสีดำน้ำจะเย็นเร็วกว่าใบที่ทาสีขาว

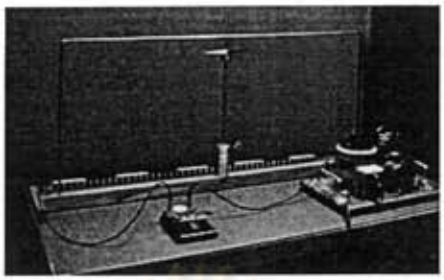
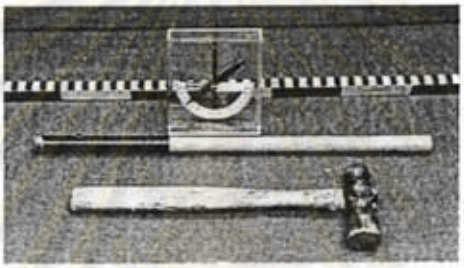
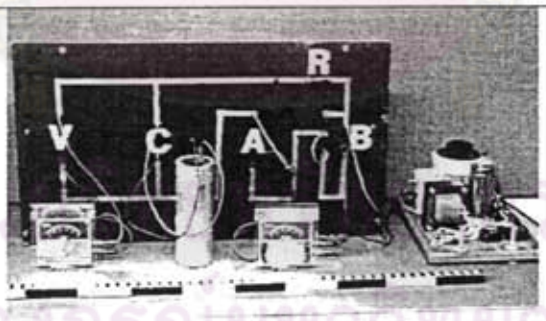
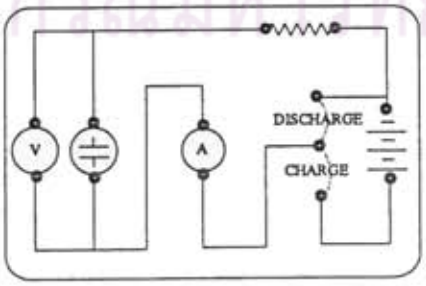
14	การต้มน้ำด้วยถ้วยกระดาษ		ต้มน้ำในถ้วยกระดาษ โดยที่กระดาษไม่ไหม้
15	Crooke's radiometer		ใบพัดสามารถหมุนได้เมื่อได้รับ "รังสี" ความร้อน
16	การรวมรังสีความร้อน		จานโลหะรูปพาราโบลอยด์ 2 อันวางหันหน้าเข้าหากัน ที่จุดโฟกัสของอันหนึ่งมีแหล่งกำเนิดความร้อน ที่จุดโฟกัสของอีกอันหนึ่งจะมีรังสีความร้อนมารวมอยู่
17	Free expansion		ถังดับเพลิงบรรจุก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อปล่อยให้ก๊าซขยายตัวอย่างรวดเร็วจะเกิดคล้ายหิมะ เพราะอุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วตามหลักการขยายตัวอย่างอิสระ

2.5 แม่เหล็ก-ไฟฟ้า

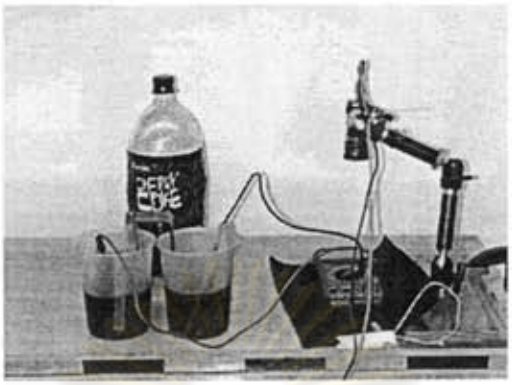
ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า	 (ก) (ข) (ค)	ต่อปลายสองด้านของแผ่นโลหะเข้ากับเครื่อง van der graaff วางทรงกลมดังรูป (ก) จนสังเกตเห็นการสปาร์ค นำเหล็กแหลมวางไว้ดังรูป (ข) จะพบว่าเกิดการสปาร์คยากขึ้น
2	Van der Graaff Generator		เส้นเชือกหลายเส้นอยู่บนเครื่องกำเนิน van der graaff เมื่อประจุเริ่มสะสมเชือกแต่ละเส้นมีประจุชนิดเดียวกันดังนั้นจึงออกแรงผลักกัน
3	แรงไฟฟ้า		ปลายโลหะต่อกับเครื่องกำเนิด van der graaff ซึ่งมีประจุบวก เนื่องจากเปลวไฟมีประจุบวกเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นเปลวไฟถูกผลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

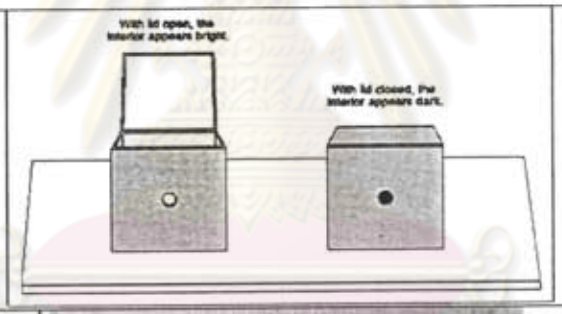
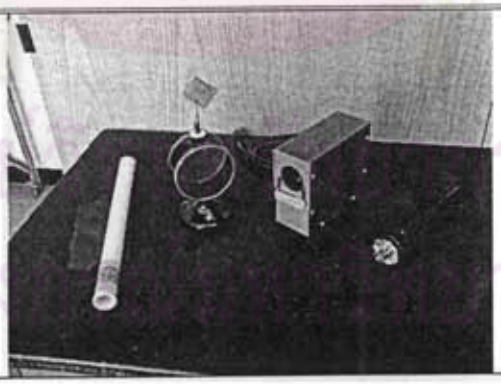
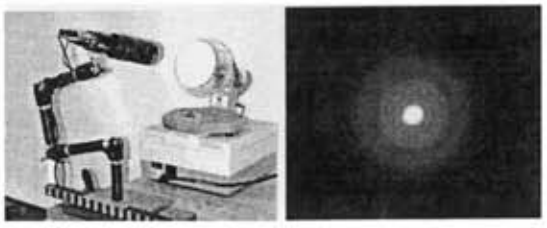
4	กระแสเอ็ดดี้		วงแหวนโลหะสวมอยู่ในแกนแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อจ่ายกระแสให้แม่เหล็กไฟฟ้า วงแหวนโลหะจะกระด้อนขึ้นแล้วตกลงเนื่องมาจากกระแสเอ็ดดี้ในวงแหวนโลหะที่สร้างสนามแม่เหล็กขั้วคราวด้านสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กไฟฟ้า
5	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ		ดึงแม่เหล็กเข้าออกจากขดลวดทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ วัดโดยต่อปลายขดลวดกับโวลท์มิเตอร์
6	กระแสเอ็ดดี้		แผ่นโลหะแกว่งผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดกระแสเอ็ดดี้ ทำให้เกิดการหน่วงการแกว่ง โลหะจะหยุดแกว่งเร็วขึ้น
7	แรงแม่เหล็ก-ไฟฟ้า		ต่อหลอดไฟแบบไส้และใช้เลนส์รวมแสงบนฉาก นำแม่เหล็กมาวางใกล้ ๆ จะพบว่าความสว่างของภาพจะเปลี่ยนไป
8	แรงแม่เหล็ก-ไฟฟ้า		ลวดสองเส้นวางขนานกัน เมื่อผ่านกระแสในทิศเดียวกันลวดจะดูดเข้าหากัน แต่ถ้าผ่านกระแสในทิศตรงข้ามลวดทั้งสองจะผลักกัน

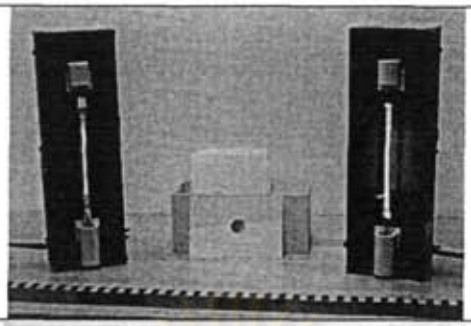
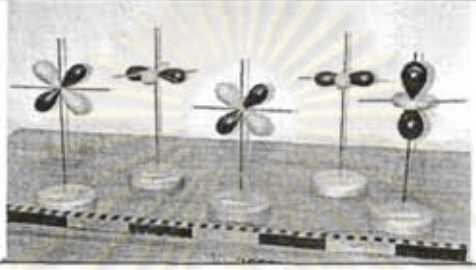
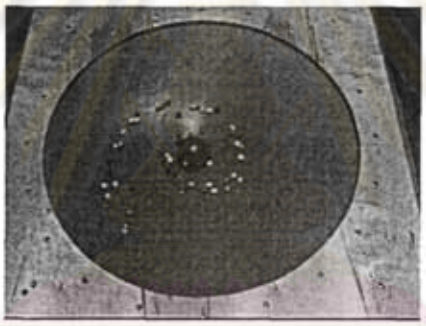
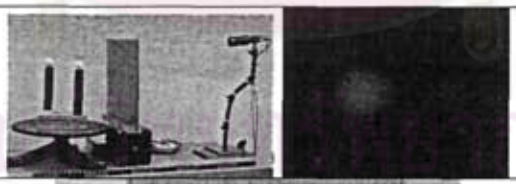
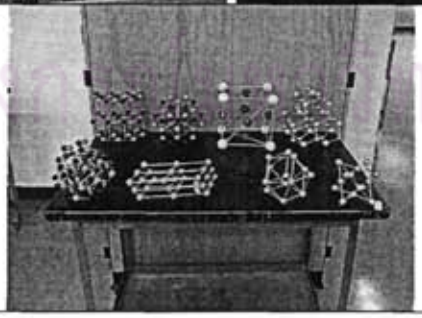
9	การทดลองของ Oersted		วางเข็มทิศไว้ใต้เส้นลวดที่จ่ายกระแสไฟฟ้าจะพบว่าเข็มทิศจะวางตัวตั้งฉากกับลวด บ่งบอกถึงสนามแม่เหล็กในทิศวนรอบเส้นลวด
10	โดเมนแม่เหล็ก		แท่งโลหะมีโดเมนแม่เหล็กกระจัดกระจายอย่างสุ่ม มีปฏิกริยากับขั้วเหนือและใต้ของแม่เหล็กพอ ๆ กัน วางแท่งโลหะให้อยู่ในแนวสนามแม่เหล็กโลกและใช้ค้อนเคาะแรง ๆ เพื่อให้โดเมนแม่เหล็กเรียงตัวใหม่ จะพบว่าคราวนี้แท่งโลหะจะมีปฏิกริยาต่อขั้วเหนือและใต้ของเข็มทิศต่างกัน
11	ตัวเก็บประจุ	 	วงจรแสดงการประจุตัวเก็บประจุและการคายประจุของตัวเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน ได้เรียนรู้ค่าคงที่เวลา (RC time constant)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12	แบตเตอรี่จากโค้ก		เซลล์ไฟฟ้า 1 เซลล์ ประกอบด้วยแผ่นสังกะสีและทองแดงจุ่มในน้ำอัดลม (โค้ก) ถ้าต้องการความต่างศักย์เพิ่มขึ้นให้ต่อหลายเซลล์ โดยให้แผ่นสังกะสีเซลล์หนึ่งต่อกับแผ่นทองแดงของอีกแผ่นหนึ่ง

2.6 ฟิสิกส์ยุคใหม่และดาราศาสตร์

ลำดับที่	หัวเรื่อง	รูปแสดงการสาธิต	คำบรรยาย
1	กล่องดำ		กล่องที่มีฝาปิดเปิดได้ เมื่อปิดกล่องเราจะไม่สามารถเห็นอะไรภายในกล่องได้เลย
2	Magnesium Photoelectric Effect		ประจุถูกใส่บนแผ่นแมกนีเซียมของ electroscope เมื่อฉายแสง UV บนแผ่นแมกนีเซียมจะเห็นว่าประจุบนแผ่นแมกนีเซียมลดลง
3	การเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอน		อิเล็กตรอนจากขั้วคาโธดถูกยิงเข้าใส่กราไฟท์เกิดการเลี้ยวเบนบนฉากรับเสมือนว่าอิเล็กตรอนเป็นคลื่น

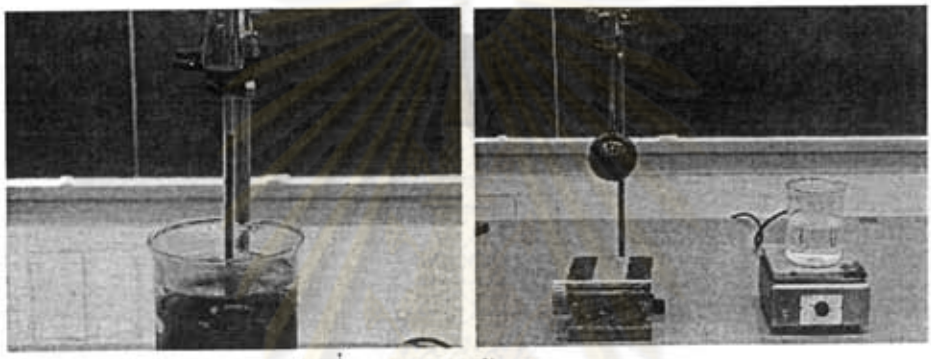
4	สเปกตรัมไม่ต่อเนื่อง		ใช้เกรตติ้งส่องดูสเปกตรัมจากพลาสมาของก๊าซหลายชนิด
5	ออร์บิทอล		โมเดลแสดงออร์บิทอลของอิเล็กตรอน
6	accretion disk		ลูกบิลเลียดและลูกแก้วหลายลูกถูกโยนลงบนแผ่นยางยืดได้ ขณะที่ลูกบิลเลียดซึ่งมีมวลมากเคลื่อนที่ไป มันจะพยายามดึงลูกแก้วเข้าใกล้ ทำให้เกิดโมเดลรูปสไปรอล คล้ายสไปรอลของกาแลคซี่
7	ดาวเคราะห์คู่		โมเดลแสดงภาพสังเกตของดาวคู่
8	โครงผลึก		โมเดลพันธะของอะตอมแบบต่าง ๆ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 การคัดเลือกชุดสาธิต

ในขั้นแรกนี้ได้ทำการคัดเลือกการทดลองที่เหมาะสมต่อการพัฒนาและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการมีจำนวนทั้งสิ้น 16 การทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

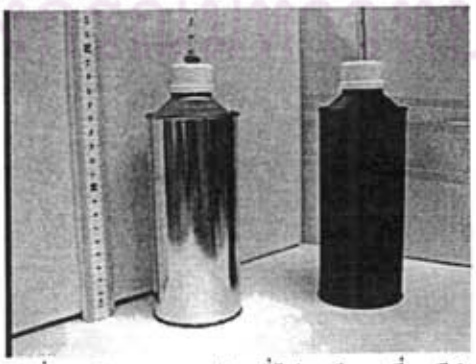
<u>การทดลองที่ 1</u> เรื่อง การขยายตัวของของเหลว



รูปที่ 3.1 การขยายตัวของของเหลว

ใส่น้ำผสมสีลงในขวดรูปชมพู่จนระดับน้ำขึ้นถึงแขนเล็กน้อย ทำเครื่องหมายเป็นระดับอ้างอิง ต้มน้ำในบีกเกอร์จนเดือด นำขวดรูปชมพู่ที่เตรียมไว้จุ่มลงในบีกเกอร์ ปรับระดับของขวดให้เหมาะสมแล้วยึดด้วยขาตั้ง จะสังเกตุเห็นว่าระดับน้ำสีในขวดค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากของเหลวที่ขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ข้อควรระวังระหว่างทดลองคือ ควรสวมถุงมือขณะทดลอง และไม่ควรใส่น้ำในบีกเกอร์มากเกินไป เพราะน้ำอาจล้นออกมาเมื่อจุ่มขวดรูปชมพู่ลงในบีกเกอร์ อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย น้ำผสมสี น้ำบริสุทธิ์ ขวดรูปชมพู่แขนยาวพอสมควร บีกเกอร์ เตาไฟฟ้า ขาตั้งสำหรับยึดขวดแก้วรูปชมพู่ และ ถุงมือ

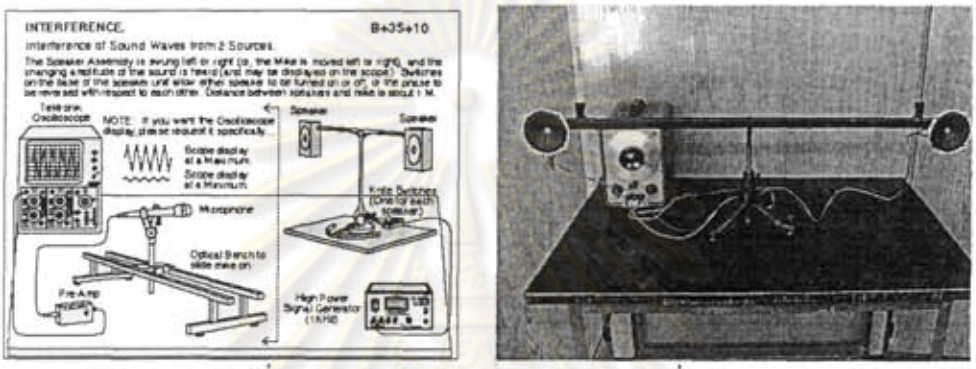
<u>การทดลองที่ 2</u> เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน



รูปที่ 3.2 ลักษณะกระป๋องที่ไม่ทาสีและที่ทาสีดำ

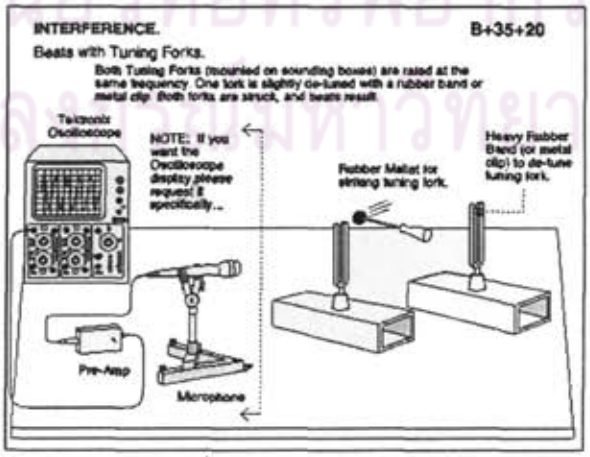
วัตถุที่มีสีดำนอกจากจะดูดกลืนพลังงานความร้อนได้ดีแล้วก็ยังสามารถคายความร้อนได้ดีอีกด้วย เราทดลองโดยเติมน้ำร้อนลงในกระป๋องทั้ง 2 ใบซึ่งใบหนึ่งมาสีดำที่ผิว อีกใบซึ่งมีสีเงินอยู่แล้วไม่ต้องมาสี ควรเติมให้มีปริมาตรเท่าๆ กัน ปิดฝาให้แน่น นำเทอร์โมมิเตอร์เสียบผ่านฝาเข้าไปในกระป๋องทั้ง 2 ใบ สังเกตการลดลงของอุณหภูมิในกระป๋อง กระป๋องสีดำจะเย็นเร็วกว่ากระป๋องสีเงิน อุปกรณ์ประกอบด้วย กระป๋องผิวสีดำและเงิน เจาะรูที่ฝาเพื่อเสียบเทอร์โมมิเตอร์ กาต้มน้ำ และเทอร์โมมิเตอร์หรือเทอร์โมคัปเปิ้ล

<u>การทดลองที่ 3</u> **เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง**



รูปที่ 3.3 การจัดชุดสาธิตการแทรกสอดของคลื่นเสียง

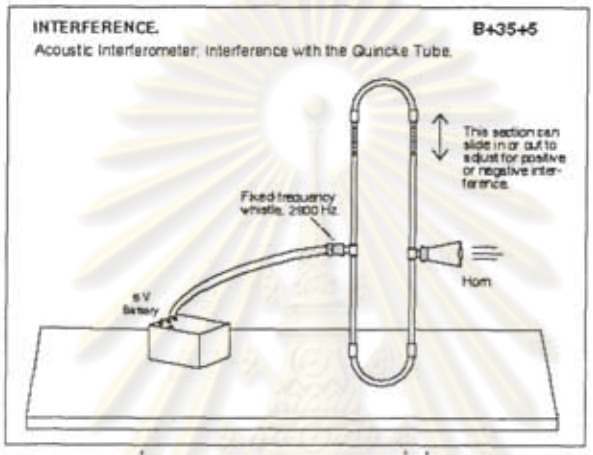
ก) การแทรกสอดของคลื่นคือการรวมคลื่น ซึ่งมีทั้งทำให้เกิดการหักล้างและการเสริมกัน การทดลองกับคลื่นเสียงทำได้โดยติดลำโพง 2 ตัวเข้ากับปลายทั้งสองข้างของแขนเหล็ก ต่อลำโพงเข้ากับเครื่องกำเนิดความถี่เสียง ติดไมโครโฟนกับขาตั้งบนรางให้มีระยะห่างจากลำโพง 1 เมตร การทดลองทำได้ 2 วิธีคือ หมุนลำโพงไปรอบๆ และยึดไมโครโฟนไว้กับที่ หรือให้ลำโพงอยู่กับที่แล้วเลื่อนไมโครโฟนไปตามรางเลื่อน ทั้ง 2 วิธี จะสังเกตเห็นว่าแอมพลิจูดของคลื่นเสียงที่เข้าสู่ไมโครโฟนจะเปลี่ยนไปและทดลองปรับลำโพงให้มีเฟสต่างกัน อุปกรณ์การทดลองที่ใช้ได้แก่ เครื่องกำเนิดความถี่เสียง 1 kHz ลำโพงพร้อมสวิทช์ปิด – เปิด ไมโครโฟน ออสซิลสโคป ภาคขยายส่วนหน้า แขนหมุนสำหรับติดลำโพง รางพร้อมขาตั้งสำหรับยึดไมโครโฟน



รูปที่ 3.4 การเกิดเสียงบีตส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข) การทดลองอีกแบบคือการเปลี่ยนจากลำโพงเป็นส้อมเสียง 2 อัน โดยวางบนกล่องเสียงกล่องละอัน ติดคลิปโลหะไว้ที่ปลายของส้อมเสียงอันหนึ่ง ยึดไมโครโฟนให้อยู่นิ่งกับที่ ทดลองโดยใช้ค้อนยางตีที่ปลายของส้อมเสียงอันที่ไม่ได้ติดคลิป จะทำให้เกิดบีตส์ของส้อมเสียงทั้ง 2 อัน ซึ่งคลื่นเสียงของการเกิดบีตส์ดูได้จากหน้าจอของออสซิลโลสโคป อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย ส้อมเสียง กล่องเสียง ค้อนยาง คลิปโลหะ

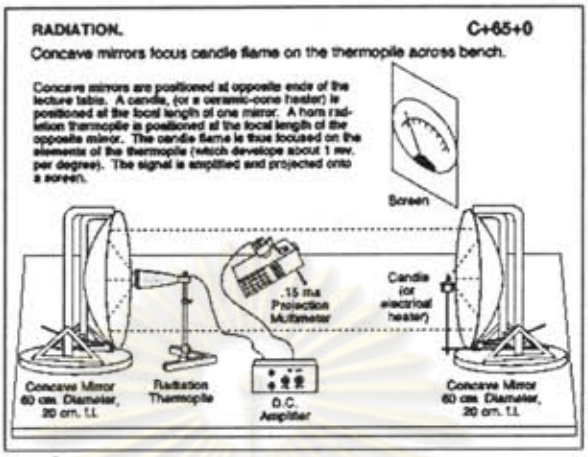


รูปที่ 3.5 การแทรกสอดในท่อที่เลื่อนได้

ค) การทดลองการปรับความยาวก้านท่อให้เหมาะสมจะพบว่าเสียงดังสุดและค่อยสุดได้ ทั้งนี้เพราะคลื่นเสียงเดินทาง 2 เส้นทางด้วยระยะทางที่ไม่เท่ากับ ผลต่างระยะทางจะทำให้การรวมคลื่นขาออกต้องคำนึงถึงผลต่างเฟสของเสียงด้วย การทดลองนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์กำเนิดเสียงความถี่คงที่ ท่อรูปตัวโอที่ปรับความยาวได้ เมื่อเปิดสัญญาณเสียงจะได้ยินเสียงจากลำโพง การยืดหรือหดท่อจะทำให้การแทรกสอดของเสียงในท่อเปลี่ยนไป ดังนั้นเสียงที่ได้ยินก็จะเปลี่ยนไปด้วยขึ้นกับว่าเกิดการแทรกสอดแบบเสริมหรือหักล้างในท่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

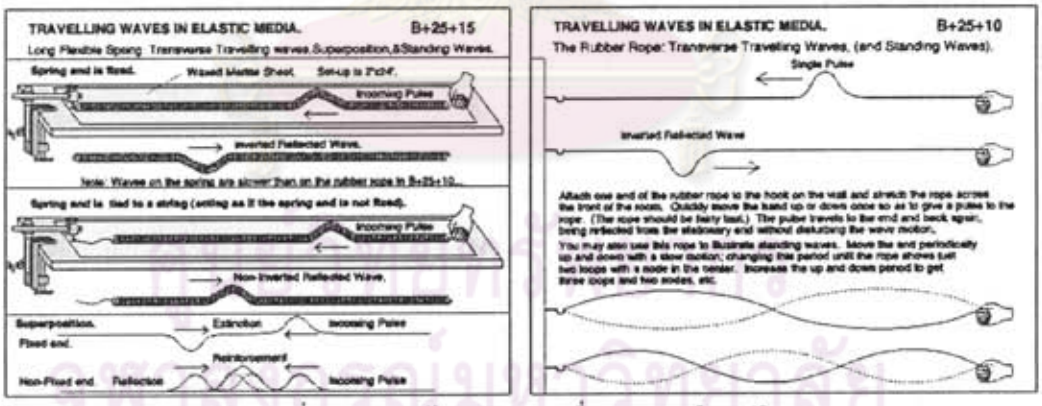
การทดลองที่ 4 เรื่อง การส่งรังสีความร้อน



รูปที่ 3.6 การส่งผ่านรังสีความร้อนด้วยจานพาราโบลอยด์

การส่งพลังงานความร้อนแบบมีทิศทางสามารถจัดแสดงได้โดยการจัดจานสะท้อนความร้อนรูปพาราโบลาให้ห่างกันประมาณ 4 เมตร ที่จุดโฟกัสด้านหนึ่งวางโคมไฟ ที่จุดโฟกัสอีกด้านวางเทียนไขหรือเทอร์มิเตอร์ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์จะสูงขึ้น อุปกรณ์การทดลองหลัก ๆ ประกอบไปด้วย จานรูปพาราโบลอยด์บุด้วยอลูมิเนียมฟอยด์สำหรับสะท้อนรังสีอินฟาเรด โคมไฟขนาด 100 วัตต์ทำหน้าที่ให้ความร้อน เทอร์โมมิเตอร์

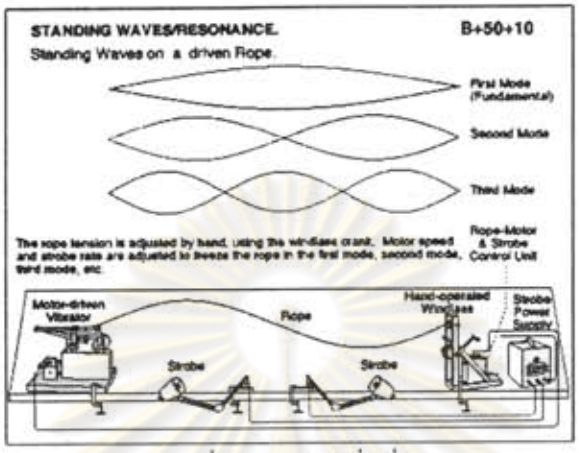
การทดลองที่ 5 เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น



รูปที่ 3.7 การสะท้อนกลับของคลื่นตามขวางในสปริง

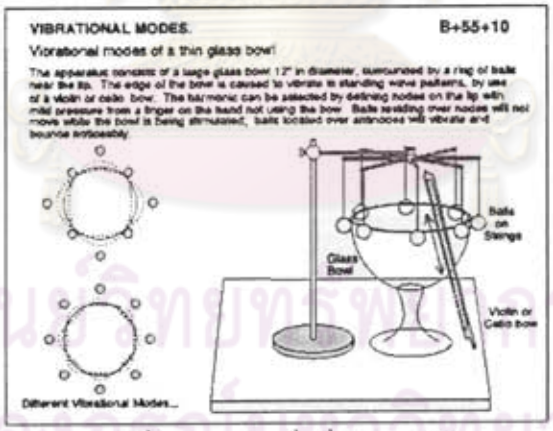
คลื่นกลในตัวกลางยืดหยุ่นสามารถนำมาสาธิตโดยวางแผ่นรองสปริงลงบนโต๊ะ ยึดขายึดสปริงเข้ากับขอบโต๊ะ วางสปริงลงบนแผ่นรอง ยึดปลายด้านหนึ่งกับขายึด ใช้มือจับปลายอีกข้างขยับไปมา จะเกิดคลื่นในสปริง และสังเกตว่าคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา การรวมกันของคลื่นตกกระทบกับคลื่นสะท้อนจะเป็นแบบหักล้าง เปลี่ยนใช้สปริงเส้นที่ถูกยืดปลาย กรณีนี้ คลื่นสะท้อนจะมีเฟสเดียวกับคลื่นตกกระทบและการรวมกันจะเป็นแบบเสริม อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย ขายึดสปริง สปริงโลหะ และแผ่นรองลดแรงเสียดทาน หรืออาจใช้เชือกแทนก็ได้

<u>การทดลองที่ 6</u> เรื่อง คลื่นนิ่ง



รูปที่ 3.8 การเกิดคลื่นนิ่ง

ก) คลื่นนิ่งคือคลื่นที่มีลักษณะพิเศษคือมีจุดซึ่งหยุดนิ่ง และแต่ละบริเวณของเชือกจะมีแอมพลิจูดที่คงที่ ในการทดลองนี้เราสามารถแสดงได้โดยสร้างอุปกรณ์กำเนิดการสั่นและนำเชือกมาผูกยึดดังรูป เนื่องจากความตึงเชือกมีผลต่อความถี่ธรรมชาติของเชือก ดังนั้นจึงต้องจัดระยะให้เชือกไม่ตึงหรือหย่อนจนเกินไป ยึดอุปกรณ์ให้อยู่นิ่ง อุปกรณ์การทดลองหลักอยู่ที่การสร้างอุปกรณ์กำเนิดการสั่นซึ่งต้องสามารถสั่นกลับไป-มาได้

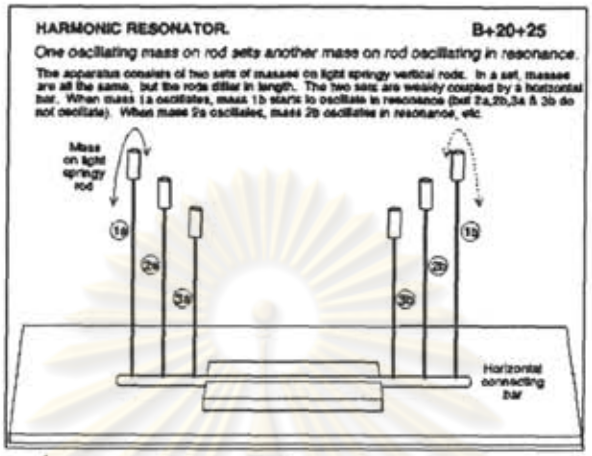


รูปที่ 3.9 การเกิดคลื่นนิ่งในสองมิติ

ข) คลื่นนิ่งยังสามารถเกิดในวัตถุอื่น ๆ ได้เช่น แก้ว ในรูปเราใช้ไม้สีไวโอลินสีกับขอบแก้ว แก้วจะเกิดการสั่น ให้เอานิ้วแตะเบาๆ ที่ขอบแก้วตำแหน่งต่างๆ เพื่อทราบตำแหน่งของจุดบัพและปฏิบัพ จากนั้นแขวนลูกปิงปองไว้ใกล้ ๆ ตำแหน่งบัพและปฏิบัพดังกล่าว ตำแหน่งละลูก เมื่อทดลองใช้ไม้สีที่ขอบแก้วอีกครั้ง ลูกปิงปองที่อยู่ตรงกับตำแหน่งบัพจะไม่ขยับ แต่ลูกปิงปองที่อยู่ตรงกับตำแหน่งปฏิบัพจะขยับออกห่างจากขอบแก้ว

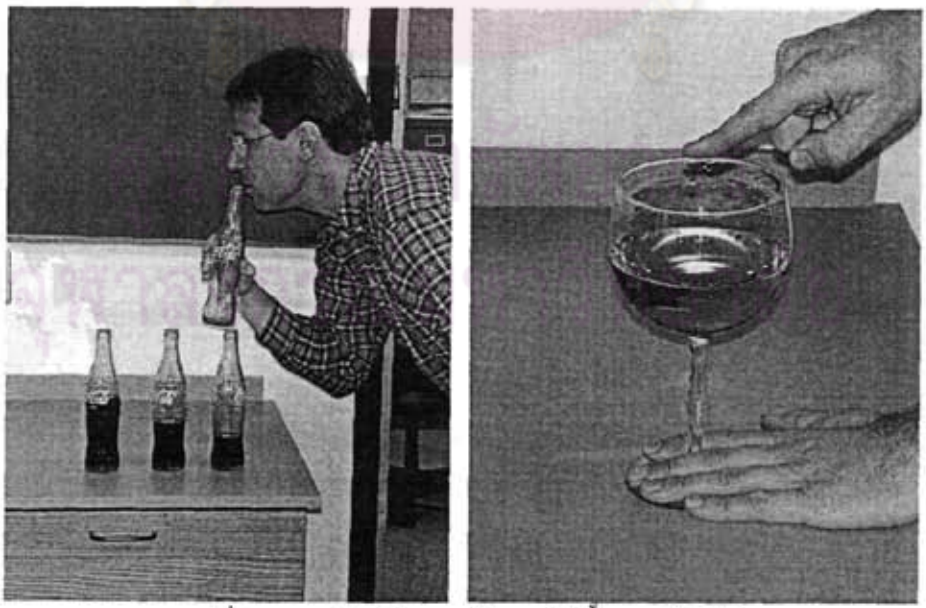
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองที่ 7</u> เรื่อง เรโซแนนซ์



รูปที่ 3.10 การเกิดเรโซแนนซ์ในแท่งโลหะความยาวต่างกัน

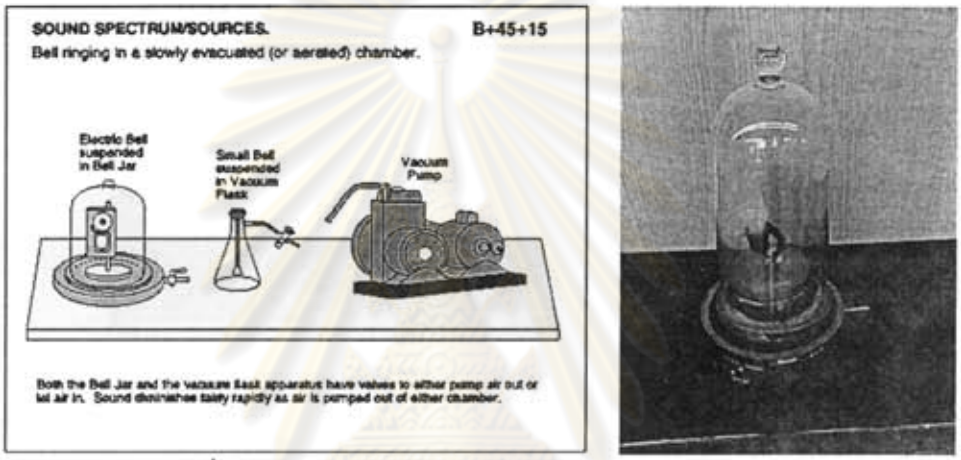
ก) เรโซแนนซ์หรืออภินาทคือสภาวะของวัตถุที่มีการสั่นอย่างรุนแรงอันเป็นผลเนื่องมาจากจังหวะการกระทำของแรงต่อวัตถุสอดคล้องกับความถี่ธรรมชาติการสั่น ปรากฏการณ์นี้เห็นได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การไกวเปลและการแกว่งชิงช้าที่ผู้ผลักต้องออกแรงเป็นจังหวะที่สอดคล้องกับการสั่นของแปลหรือชิงช้า ในการทดลองนี้เราจะใช้การแกว่งของมวลติดปลายแท่งโลหะดังรูป ความถี่ของแท่งโลหะจะขึ้นกับความยาวของแท่งโลหะ ถ้าหากเราทำให้แท่งซ้ายมือสุดสั่น จะพบว่าแท่งขวามือสุดซึ่งยาวเท่ากันจะสั่นมากสุด อุปกรณ์การทดลองจะประกอบด้วยแท่งโลหะต่างความยาวอย่างละ 2 แท่ง ก้อนมวล และฐานยึด



รูปที่ 3.11 การเกิดเรโซแนนซ์ในขวดใส่น้ำและแก้วไวน์

ข) การทดลองง่าย ๆ อีกแบบคือใช้ขวดโค้กแทนท่อปลายเปิด 1 ข้าง เพื่อศึกษาการแทรกสอดของเสียง โดยเติมน้ำลงในขวดให้มีระดับความสูงลดหลั่นกัน จากนั้นทดลองเป่าลมที่ปากขวดหรือด้านข้าง จะเกิดเสียงดังแตกต่างกัน หรืออาจใช้แก้วไวน์แทนขวดโค้กก็ได้ โดยผู้ทดลองถูนิ้วไปรอบ ๆ ขอบแก้ว กรณีการเกิดบีตส์ ใช้ขวดเพียง 2 ใบ เติมน้ำให้มีระดับความสูงเกือบเท่ากัน ขณะทดลองเป่าลมควรจัดให้ขวดทั้ง 2 อยู่ใกล้กัน ผู้ทดลองต้องเป่าลมพร้อมๆ กัน ให้เกิดเสียงดังสม่ำเสมอและนานพอ

<u>การทดลองที่ 8</u> เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง

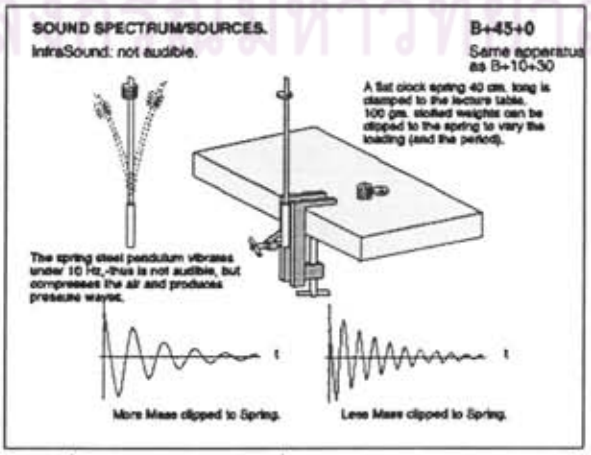


รูปที่ 3.12 ชุดสาธิตแสดงว่าเสียงต้องอาศัยอากาศในการส่งผ่าน

คลื่นเสียงเป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางอากาศในการเคลื่อนที่ ในชุดสาธิตนี้เราใส่ทั้งกริ่งสัญญาณและหลอดไฟในโถแก้ว เปิดสวิตช์กริ่งสัญญาณและหลอดไฟ เมื่อเริ่มดูดอากาศออกจากภาชนะ ความดังของสัญญาณเสียงจะค่อยๆ ลดลง แต่แสงจากหลอดไฟยังคงสว่างเท่าเดิมเพราะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดลองที่ 9</u> เรื่อง แหล่งกำเนิดคลื่นเสียง



รูปที่ 3.13 การสร้างเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ด้วยแท่งโลหะ

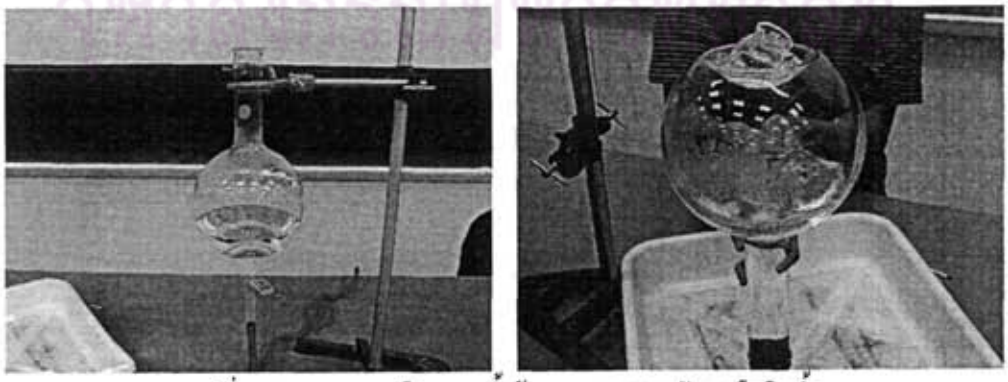
เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยินได้อยู่ระหว่างความถี่ 20-20,000 เฮิรตซ์ ในการทดลองนี้เราจะทำการสร้างเสียงโดย ยึดสปริงกับโต๊ะให้แน่น ติดมวลที่ปลายของสปริง ทดลองเพิ่มมวลเพื่อให้คาบการสั่นของสปริงเปลี่ยนไป เนื่องจากสปริงสั่นด้วยความถี่น้อยกว่า 10 Hz จึงไม่ได้ยินเสียง แต่ก็ทำให้เกิดการอัดอากาศที่อยู่รอบๆ เกิดคลื่นความดันดังรูป โดยความยาวคลื่นจะแปรผันตรงกับน้ำหนักของมวลที่ปลายสปริง

<u>การทดลองที่ 10</u> เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน

รูปที่ 3.14 การหดตัวของยางยืด

เรามักนึกถึงผลของความร้อนว่าทำให้วัตถุขยายตัว อาทิ การยาวออกของรางรถไฟในเวลากลางวันที่มีแดดร้อน ในการทดลองนี้เรานำยาง 3 ถึง 4 เส้น มามัดต่อกันเป็นเส้นยาว ติดปลายด้านบนกับขาตั้ง นำมวลหนัก 200 ถึง 500 กรัมมาแขวนที่ปลายด้านล่าง ปรับระดับขาตั้งให้มวลวางลงบนโต๊ะได้พอดี ใช้เครื่องเป่าผมให้ความร้อนแก่ยาง โดยขยับขึ้นลงให้ความร้อนกระจายทั่วทั้งเส้นยาง เมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่ามวลจะเริ่มลอยสูงจากโต๊ะ ไม่ใช่ยางยืดออก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นเสมอไปว่าความร้อนทำให้วัตถุขยายตัว

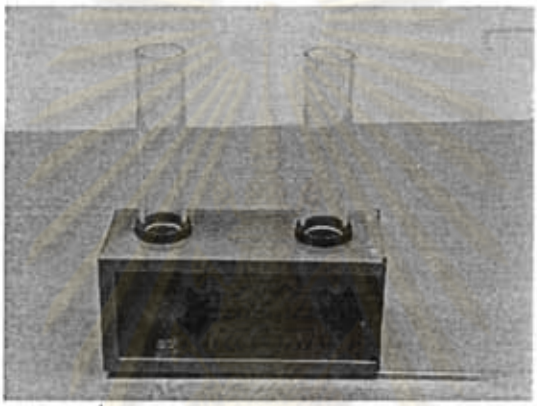
<u>การทดลองที่ 11</u> เรื่อง จุดเดือดของน้ำ



รูปที่ 3.15 การลดจุดเดือดของน้ำด้วยการลดความดันเหนือผิวน้ำ

สถาวะการเดือดคือสภาวะที่ความดันไอน้ำเท่ากับความดันบรรยากาศเหนือผิวน้ำนั้น ในการทดลองนี้เราให้ความร้อนแก่น้ำในขวดรูปชมพู่ซึ่งดัดแปลงฐานให้มีรูปุ่มเล็กน้อย ให้ความร้อนจนเดือดจึงเอาตะเกียงออก พลิกขวดกลับหัวลง นำน้ำแข็งมาวางลงบนก้นขวดบริเวณที่นุ่มลง จะพบว่าเราสามารถทำให้น้ำในขวดเดือดอีกครั้งโดยไม่ต้องให้ความร้อน ทั้งนี้เป็นเพราะการลดอุณหภูมิอย่างทันทีทันใดทำให้ความดันอากาศเหนือผิวน้ำลดลง ถ้าลดลงจนเท่ากับความดันไอ ก็จะเห็นสภาวะเดือดอีกครั้ง

<u>การทดลองที่ 12</u> เรื่อง การพาความร้อน



รูปที่ 3.16 การพาความร้อนด้วยอากาศร้อน

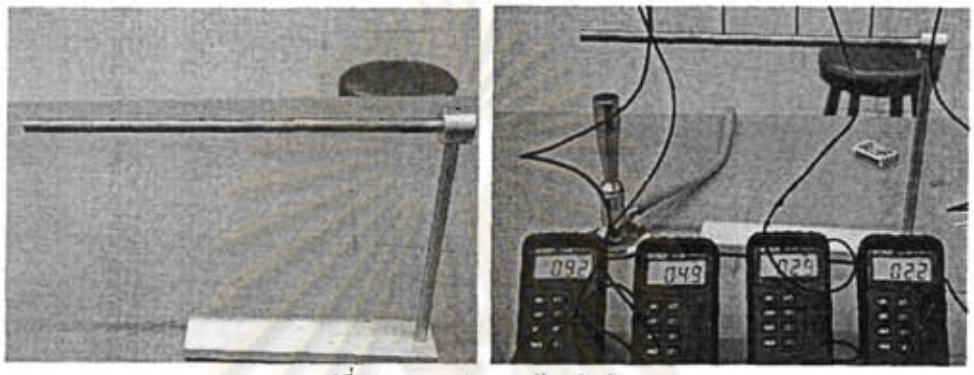
ก) ความร้อนสามารถถ่ายเทได้ 3 วิธีคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ในการทดลองนี้เราสาธิตการพาความร้อนด้วยอากาศ การทดลองประกอบด้วยการใส่หลอดแก้วลงในกล่อง จุดเทียนไขแล้ววางในกล่องใต้หลอดแก้ว ดังรูป ปิดกระจกใสด้านหน้า จุดธูปแล้วนำมาจ่อที่ปากหลอดแก้วอันที่ไม่มีเทียนไขวางอยู่ จะสังเกตเห็นว่าควันจากธูปจะไหลลงไปตามหลอดแก้ว เข้าไปในกล่องผ่านเทียนไขและลอยขึ้นไปตามหลอดแก้วอันที่มีเทียนไขวางอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.17 ท่อแก้วที่ใช้ในการสาธิตการพาความร้อนด้วยน้ำร้อน

ข) การพาความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งคือการพาความร้อนด้วยน้ำ ดำเนินการใส่น้ำลงในหลอดแก้ว ให้ความร้อนที่มุมข้างหนึ่งของหลอดแก้วด้วยตะเกียง แล้วหยดน้ำหมึกลงในหลอดแก้วน้ำหมึกจะค่อยๆ เคลื่อนที่อยู่ภายในหลอดแก้ว แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำในหลอดแก้วนั่นเอง

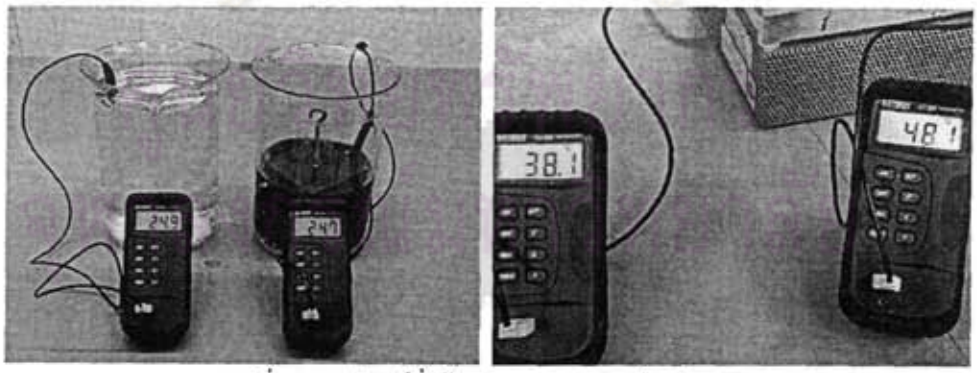
<u>การทดลองที่ 13</u> เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ



รูปที่ 3.18 การนำความร้อนในโลหะ

ปรากฏการณ์การนำความร้อนในโลหะสามารถแสดงได้โดยการวัดอุณหภูมิตามความยาวของแท่งโลหะที่ปลายด้านหนึ่งมีไฟลนให้ความร้อน ในรูปเรายึดแท่งทองแดงกับขาตั้งในลักษณะวางขนานกับพื้น นำเทอร์โมมิเตอร์มาติดที่แท่งทองแดงบริเวณที่เจาะรูไว้ทั้ง 4 รู ใช้ตะเกียงลนที่ปลายแท่งทองแดง สังเกตอุณหภูมิของแท่งทองแดงที่เปลี่ยนไป ที่ตำแหน่งต่างๆ

<u>การทดลองที่ 14</u> เรื่อง ความจุความร้อนจำเพาะ



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์ที่ใช้แสดงความจุความร้อนจำเพาะ

ความจุความร้อนจำเพาะคือความสามารถในการเก็บความร้อนโดยที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนไปตามพลังงานความร้อนที่สะสม ในธรรมชาตินำ้เป็นสารที่มีความจุความร้อนสูงมาก ดังนั้นสำหรับปริมาณความร้อนที่เท่ากันน้ำจึงมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปช้ามาก ในการทดลองเราใส่ผงอลูมิเนียมและน้ำลงในบีกเกอร์ 1ใบ ส่วนอีกใบใส่น้ำ

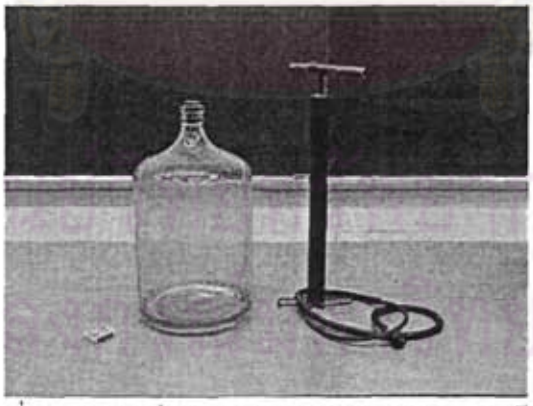
ชั่งน้ำหนักให้ทั้ง 2 บีกเกอร์หนักเท่ากันแล้วนำไปตั้งบนเตาไฟฟ้า จุ่มเทอร์โมมิเตอร์ลงในบีกเกอร์ทั้ง 2 สังเกตอุณหภูมิในบีกเกอร์ที่เปลี่ยน เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งจะเห็นว่าบีกเกอร์ที่ใส่น้ำเท่านั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นช้ากว่า

<u>การทดลองที่ 15</u> เรื่อง การเปลี่ยนรูปพลังงาน

รูปที่ 3.20 พลังงานความร้อนที่เปลี่ยนรูปมาจากพลังงานกลโดยการทุบวัตถุ

การทดลองนี้เราจะสาธิตการเปลี่ยนรูปพลังงานจากพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อนโดยการนำเทอร์โมคัปเปิ้ลมาติดกับแผ่นตะกั่ว แล้วนำไปวางบนฐานตะกั่ว ใช้ค้อนตีลงบนแผ่นตะกั่ว สังเกตอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากมิเตอร์แสดงผล

<u>การทดลองที่ 16</u> เรื่องการขยายตัวอิสระ



รูปที่ 3.21 อุปกรณ์สาธิตการขยายตัวอย่างฉับพลันของก๊าซ

ก๊าซที่ขยายตัวอย่างรวดเร็วจะมีอุณหภูมิที่ลดลง ในการทดลองนี้เราสาธิตโดยใส่น้ำลงในเหยือกเล็กน้อย แล้วหย่อนไม้ขีดไฟลงในเหยือก 1 ก้าน ปั๊มลมเข้าไปในเหยือกช้า ๆ จนกระทั่งจุกปิดกระเด็นออกมาเอง ที่สภาวะนี้จะสังเกตเห็นหมอกขาว ๆ เกิดขึ้นภายในเหยือก ที่เป็นเช่นนี้เพราะอากาศในเหยือกมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิที่ลดลงประกอบกับควันที่มีอยู่เล็กน้อย ช่วยการก่อตัวของหมอก ข้อควรระวังคือเหยือกต้องแข็งแรงพอสมควรมิฉนั้นอาจแตกได้

3.2 ผลการคัดเลือกและขั้นตอนดำเนินงาน

จากผลการสำรวจเอกสารในระยะที่ 1 และการสำรวจอุปกรณ์ที่มีอยู่ในภาควิชา คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกการทดลองต่อไปนี้สำหรับการสร้างในระยะต่อไป ได้แก่การทดลองที่ **2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16**

เนื่องจากสื่อการสอนแต่ละชิ้นมีกระบวนการสร้างที่แตกต่างกัน จึงไม่สามารถเขียนอธิบายในภาพรวมของการสร้างได้แต่มีหลักการคร่าว ๆ คือ

- ออกแบบสื่อการสอนโดยการร่างและคำนวณพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
- ซื้อวัสดุ
- สร้างและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า
- ทดสอบและปรับปรุงสื่อการสอน

ทั้งนี้รายละเอียดจะปรากฏในบทที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

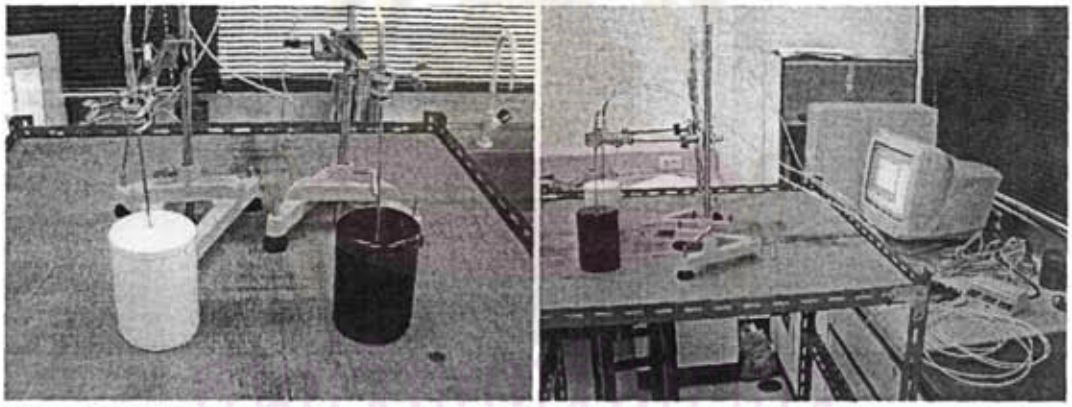
<u>การทดลองที่ 1</u> เรื่อง การขยายตัวของของเหลว

ไม่ได้จัดทำ

<u>การทดลองที่ 2</u> เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน

พลังงานความร้อนสามารถถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณอุณหภูมิต่ำกว่าได้ 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี เป็นที่ทราบกันว่าวัสดุสีดำสามารถดูดกลืนพลังงานความร้อนได้ดี ในการทดลองนี้เราจะสังเกตถึงความสามารถในการคายพลังงานในรูปของการแผ่รังสีของวัสดุสีดำและสีขาวว่าสีใดจะคายได้ดีกว่ากัน

ในการทดลองนี้เรานำกระป๋องโลหะซึ่งเป็นกระป๋องนมมาขูดสีออกจนหมดแล้วพ่นด้วยสีชนิดเดียวกัน กระป๋องหนึ่งพ่นสีขาว อีกกระป๋องพ่นสีดำ และเจาะรูที่ฝาบนเพื่อเสียบเทอร์โมมิเตอร์ หลังจากสีแห้งนำกระป๋องแต่ละใบใส่น้ำเดือดในปริมาณที่เท่ากันและเสียบเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับการทดสอบนี้เราใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบแพททินัม-100 ซึ่งต่อกับคอมพิวเตอร์สำหรับเก็บข้อมูล ชุดทดลองเป็นดังรูปที่ 4.1



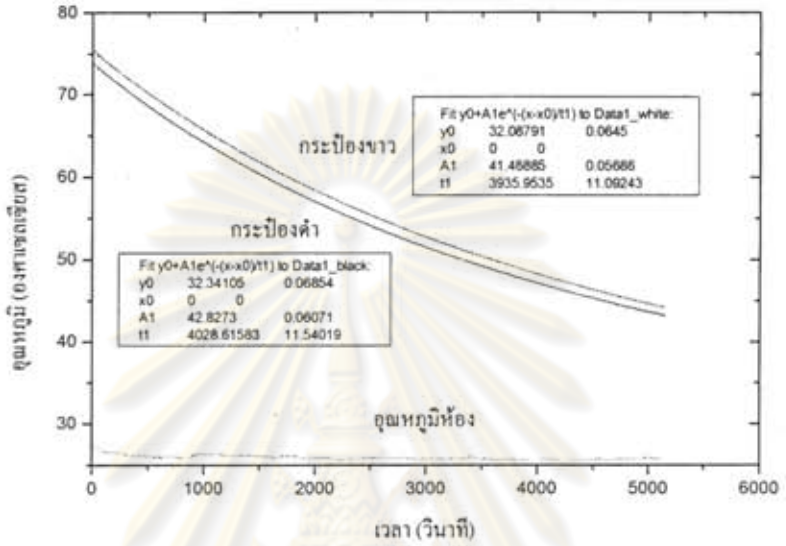
(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 (ก) กระป๋องอะลูมิเนียมที่พ่นสีขาดและสีดำพร้อมหัววัดอุณหภูมิ (ข) ระบบการวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

ในการทดลองนี้ กระป๋องทั้งสองใบถูกจัดวางบนพื้นไม้เพราะไม้นำความร้อนได้ไม่ดีนัก ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างน้ำในกระป๋องทั้งสองใบจึงคาดว่าจะมาจากความแตกต่างของการแผ่รังสี โดยรังสีความร้อนส่วนใหญ่จะแผ่ออกทางด้านข้าง หลังจากใส่น้ำเดือดแล้วรีบปิดฝาและบันทึกอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ เราพบว่าการทำให้น้ำในกระป๋องทั้งสองมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากันทำได้ยาก ในที่นี้น้ำในกระป๋องขาวมีอุณหภูมิเริ่มต้นสูงกว่ากระป๋องดำเล็กน้อย อุณหภูมิในกระป๋องทั้งสองลดลงซึ่งเส้นกราฟทั้งสองเกือบขนานกัน ทำให้สรุปว่ากระป๋องดำคายความร้อนได้ดีกว่ากระป๋องขาวไม่ได้ เพื่อคำนวณหาอัตราการลดลงของอุณหภูมิ เราจึงดำเนินการฟิตสมการ

I24340625

$y_0 + A_1 \exp\left(-\frac{x - x_0}{t_1}\right)$ โดยค่า t_1 เป็นอัตราการลดลงของอุณหภูมิซึ่งมีค่าเท่ากับ 3936 C^{o-1} สำหรับกระป๋องขาวและ 4029 C^{o-1} สำหรับกระป๋องดำ ซึ่งแสดงว่ากระป๋องดำมีอัตราการคายพลังงานความร้อนที่ดีกว่า



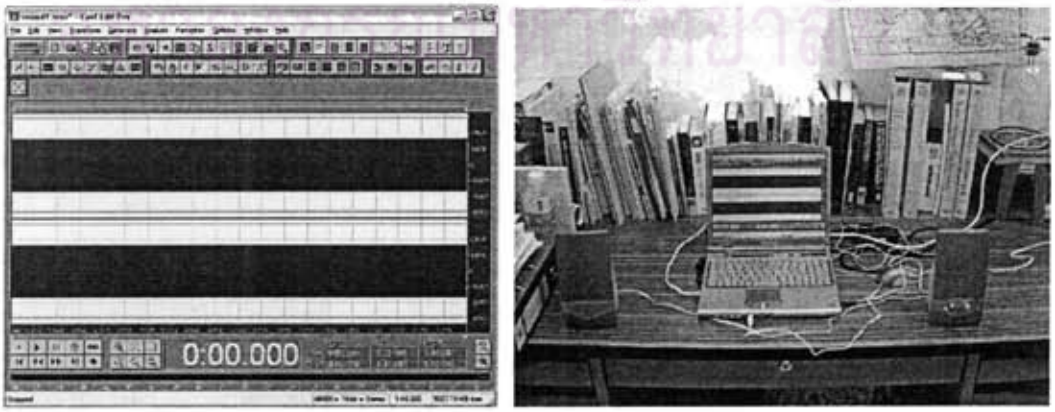
รูปที่ 4.2 อุณหภูมิของกระป๋องดำและขาวขณะคายพลังงานงานความร้อน ข้อมูลการทดลองและสมการการฟิตทับกันพอดี

ข้อเสนอแนะเพื่อให้การสาธิตในห้องมีความน่าเชื่อถือจำเป็นอย่างยิ่งที่น้ำในกระป๋องทั้งสองมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากันและมีปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งเมื่อเป็นดังนี้การสังเกตอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ก็จะบอกได้ทันทีถึงอัตราการคายพลังงานที่ต่างกัน

<u>การทดลองที่ 3</u> เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง

การสาธิตเรื่องการแทรกสอดของคลื่นเสียงแบ่งออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

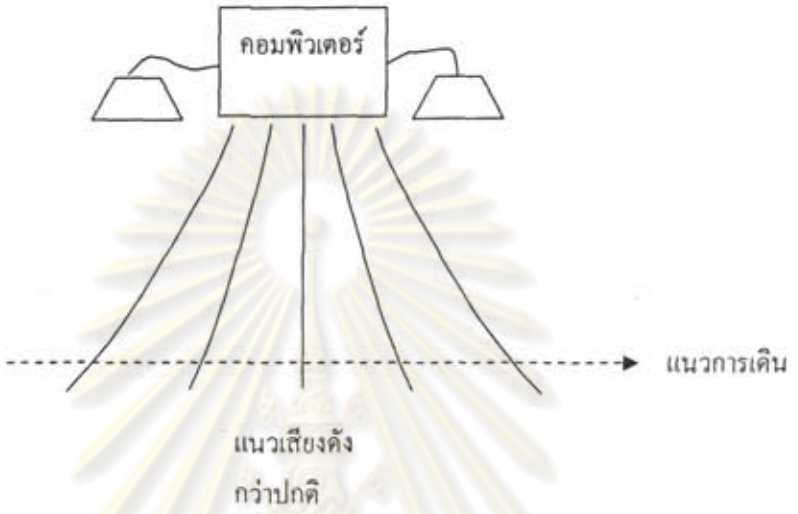
<u>ชุดที่ 1</u> เป็นการใช้คอมพิวเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณและต่อสัญญาณเข้ากับลำโพงดังรูปที่ 4.3



(ก) (ข)

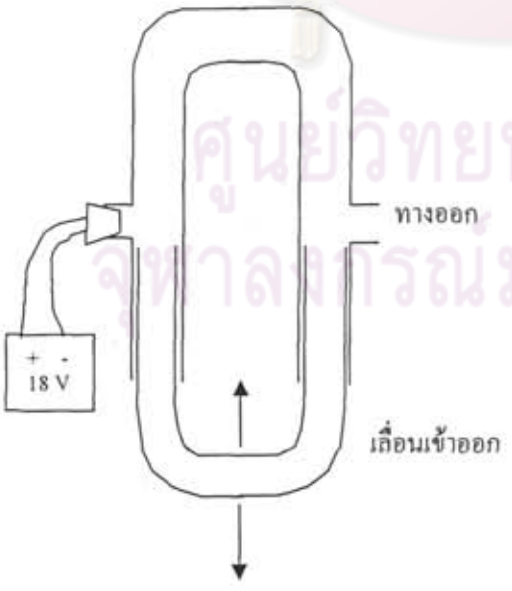
รูปที่ 4.3 (ก) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับสร้างเสียงความถี่คงที่ (ข) การวางลำโพงเพื่อสาธิตการแทรกสอด

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ CoolEdit Pro ถูกใช้เพื่อสร้างเสียงความถี่เดียว เราเลือกใช้ช่วงความถี่ประมาณ 100-1,000 เฮริตซ์และวางลำโพงให้ห่างกันประมาณ 1 เมตร



รูปที่ 4.4 รูปจำลองแสดงแนวการเดินตัดแนวเสียงดังกว่าปกติ

เมื่อเราเดินจากซ้ายมือไปขวามือโดยใช้หันหูเพียงข้างเดียวหันไปทางคอมพิวเตอร์ เราจะได้ยินเสียงของลำโพงซึ่งดังอยู่แล้วแต่จะมีบางบริเวณที่เสียงดังกว่าปกติ นั่นคือแนวแทรกสอดแบบเสริมกันของเสียงนั่นเอง



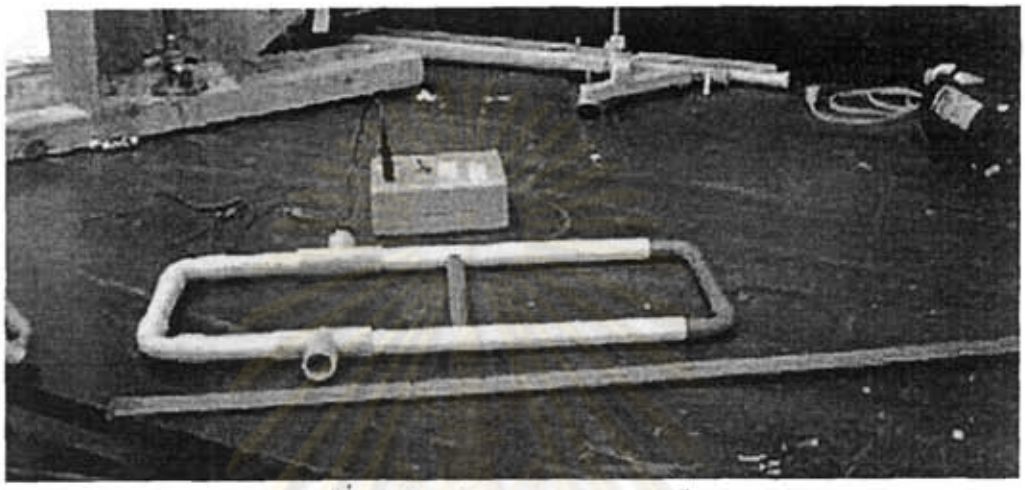
รูปที่ 4.5 การออกแบบชุดสาธิตการแทรกสอดของคลื่นเสียง

<u>ชุดที่ 2</u>

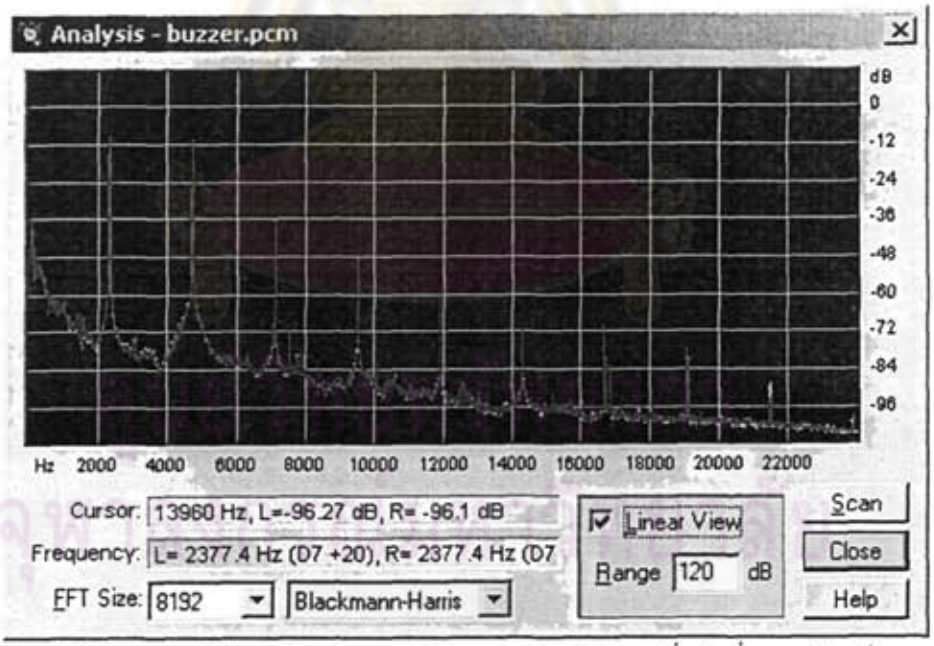
ชุดสาธิตนี้เป็นการแบ่งเสียงออกเป็นสองขบวนและให้มาพบกันอีกครั้งที่ทางออก เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นและมีแหล่งกำเนิดเดียวกัน ดังนั้นมีเฟสเริ่มต้นเหมือนกัน สำหรับคลื่นเสียงขบวนที่วิ่งในท่อที่อยู่นิ่งเฟสของคลื่นจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากทางเข้าจนถึงทางออก เนื่องจากระยะทางดังกล่าวมีค่าคงที่ดังนั้นเฟสที่เพิ่มขึ้นจึงคงที่ ในทางตรงข้ามสำหรับคลื่นเสียงขบวนที่วิ่งผ่านท่อที่สามารถเลื่อนเข้าหรือออกได้ เฟสที่เพิ่มขึ้นจะไม่คงที่โดยแปรผันตามระยะยืดหด ทำให้เมื่อคลื่นทั้งสองขบวนมาพบกันที่ทางออกจึงมีโอกาสที่เฟสจะเหมือนหรือต่างกันได้ ในชุดสาธิตนี้เราสนใจกรณีที่เฟสขาออกตรงกัน นั่นคือจะเกิดการเสริมกันของคลื่นเสียง เกิดเสียงดังมากกว่าปกติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปชุดสาธิตที่สร้างเป็นไปตามรูปที่ 4.6 โดยใช้ท่อพีวิซีและข้อต่อขนาดต่าง ๆ ซึ่งมีขายตามร้านท่อน้ำทั่วไป แหล่งกำเนิดเสียงเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า Buzzer ซึ่งเป็นอุปกรณ์กำเนิดเสียงโดยปรากฏการณ์เพียโซ ใช้กำลังขับจากเซลล์แห้งขนาด 18 โวลต์เป็นอย่างน้อย สัญญาณที่ออกมาจาก Buzzer เป็นเสียงความถี่เดียว

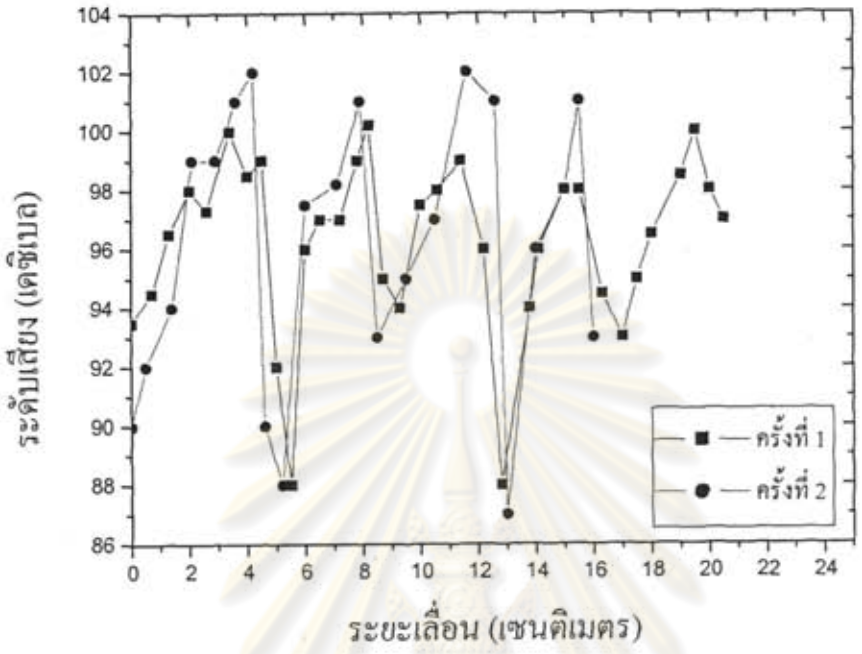


รูปที่ 4.6 ท่อสาธิตการแทรกสอดของเสียง



รูปที่ 4.7 ฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของสัญญาณจาก Buzzer แสดงว่ามีความถี่หลักที่ 2400 เฮิรตซ์และความถี่ฮาร์โมนิกที่เป็นจำนวนเท่าของความถี่หลัก

เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง เสียงขาออกถูกวัดด้วยไมโครโฟน ซึ่งต่อกับเครื่อง Heterodyne Analyzer เพื่อใช้วัดระดับเสียงในหน่วยเดซิเบล ไมโครโฟนถูกวางห่างจากทางออกของท่อที่ระยะ 15 เซนติเมตร ระดับเสียงที่ระยะเลื่อนต่าง ๆ เป็นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ระดับเสียงในหน่วยเดซิเบลที่ระยะเลื่อนต่าง ๆ

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่าระดับเสียงมีลักษณะเป็นคาบโดยจะมีเสียงดังสุดที่ระยะเลื่อนโดยประมาณคือ 4, 8, 12 และ 16 เซนติเมตร ซึ่งระยะระหว่างระยะเลื่อนดังสุดติดกันจึงมีค่าประมาณ 4 เซนติเมตร ค่าทฤษฎีของระยะระหว่างระยะเลื่อนดังสุดติดกันจะเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (เพราะเป็นท่องอ) จากอัตราเร็วเสียงในอากาศมีค่าเป็น $v(t) = 331 + 0.6t$ เมื่อ t เป็นอุณหภูมิในหน่วยของศาเซลเซียสและการทดลองทำในห้องปรับอากาศอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นมีอัตราเร็วเสียงเท่ากับ 343 เมตรต่อวินาที เราสามารถใช้สูตร $\lambda = \frac{v}{f}$ ได้ผลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นว่าระยะ 4 เซนติเมตรที่ได้ใกล้เคียงกับระยะเลื่อนระหว่างตำแหน่งดังสองครั้งติดกันเนื่องจากความถี่ 4,800 เฮิรตซ์ ผลของระยะเลื่อนเนื่องจากความถี่ 2,400 ไม่สามารถสังเกตได้เพราะว่าซ้อนทับกับผลของความถี่ 4,800 เฮิรตซ์พอดี

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และระยะเลื่อน

ความถี่ (เฮิรตซ์)	ความยาวคลื่น (เซนติเมตร)	ระยะเลื่อนระหว่างตำแหน่งดังสองครั้งติดกัน (เซนติเมตร)
2,400	14	7
4,800	7	3.5

<u>การทดลองที่ 4</u> เรื่อง การรังส่งรังสีความร้อน

รังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 10^{-3} ถึง 10^{-6} เมตร หรือเทียบเท่ากับความถี่ตั้งแต่ $3x10^{11}$ ถึง $3x10^{14}$ เฮิร์ทซ์ มีสมบัติพิเศษที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนได้ง่ายเพราะความถี่อยู่ในช่วงของความถี่ธรรมชาติของการสั่นของโมเลกุลของวัสดุ รังสีนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่เราสามารถแสดงให้เห็นถึงสมบัติการสะท้อนของรังสีความร้อนได้ดังการทดลองต่อไปนี้

เราใช้จานโลหะรูปพาราโบลอยด์ วางหัวแร้งบัดกรีขนาด 40 วัตต์ที่ตำแหน่งโฟกัสของจานพาราโบลอยด์อันหนึ่งดังรูปที่ 4.9 (ก) โดยการใช้มือสัมผัสอากาศบริเวณรอบ ๆ จานในแนวรัศมีประมาณ 1 ฟุต จะรู้สึกได้ว่าอากาศที่ด้านหน้าของจานจะร้อนกว่าอากาศบริเวณอื่น ๆ

(ก) (ข)

รูปที่ 4.9 (ก) การจัดตำแหน่งหัวแร้งบัดกรีที่ตำแหน่งโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ และ (ข) การวางจานพาราโบลอยด์อีกอันหนึ่งเพื่อสะท้อนรังสีความร้อนไปยังแผ่นโลหะสีดำซึ่งดูดกลืนพลังงานและมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ต่อมาวางมือไว้ด้านหน้าห่างจากจานประมาณ 1 เมตร โดยหันหลังมือเข้าหาจาน ทิ้งไว้สักครู่เพื่อรู้สึกถึงอุณหภูมิห้อง ณ ขณะนั้น หลังจากนั้นนำจานพาราโบลอยด์อีกอันหนึ่งมาวางโดยหันหน้าเข้าหาจานอันแรกดังรูปที่ 4.9 (ข) โดยให้ตำแหน่งของมืออยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสของจานใบที่สอง จะรู้สึกได้ว่ามือร้อนขึ้นที่เป็นเช่นนี้เพราะรังสีความร้อนถูกโฟกัสโดยจานอันที่สอง เพื่อบันทึกอุณหภูมิที่แท้จริงที่จุดโฟกัสของจานพาราโบลอยด์ที่รับพลังงานความร้อน เราอาจใช้แผ่นโลหะพ่นสีดำที่ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิซึ่งเป็นเทอร์โมคับเปิลชนิดเคแทน ผลการทดลองในห้องปรับอากาศซึ่งมีอุณหภูมิอากาศอยู่ที่ประมาณ 26-27 องศาเซลเซียสจะพบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นในช่วง 27-28 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการให้เพิ่มมากขึ้นให้ปรับจานทั้งสองให้ห่างกันน้อยลง ถ้าวางจานห่างกันประมาณ 50 เซนติเมตรอุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็นระหว่าง 30-32 องศาเซลเซียส

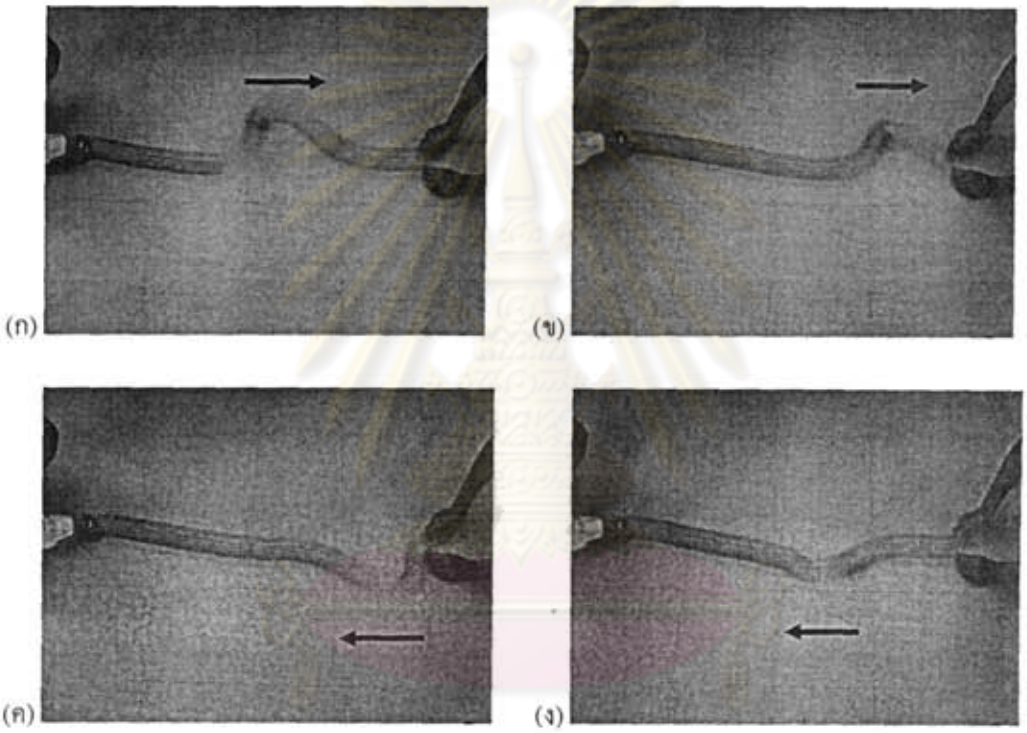
เทคนิคและข้อควรระวังได้แก่

- ระวังความร้อนเนื่องจากหัวแร้ง
- ควรทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิไม่สูงเกินไปเพื่อให้สังเกตการเปลี่ยนอุณหภูมิได้ง่ายขึ้น

<u>การทดลองที่ 5</u> เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น

การสาธิตคลื่นกลในตัวกลางยืดหยุ่นสามารถทำได้โดยใช้ชุดสปริงซึ่งมีขายที่ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ เราสามารถสาธิตได้ดังนี้

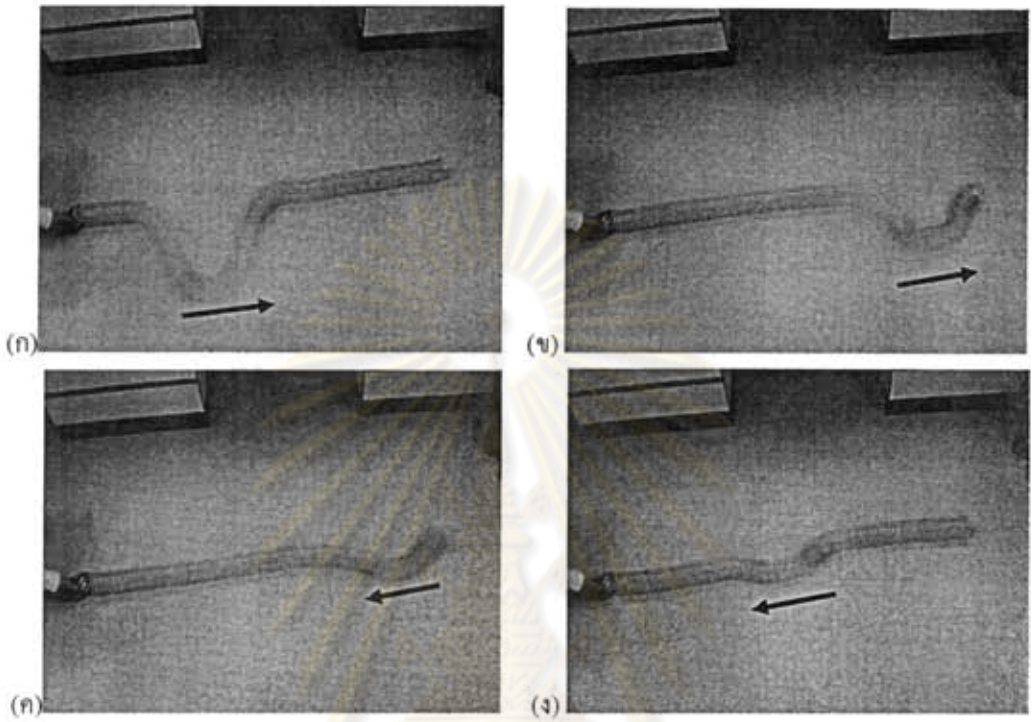
<u>ชุดที่ 1 การสะท้อนกลับจากปลายตรึง</u>



รูปที่ 4.10 คลื่นถูกสร้างจากด้านซ้ายมือแล้ววิ่งเข้าหาปลายสปริงด้านขวามือซึ่งยึดไว้กับพื้น ผลการสะท้อนทำให้ลูกคลื่นชี้ไปในทิศคนละด้านกับขาเข้า ซึ่งในทางฟิสิกส์เราเรียกว่ามีเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

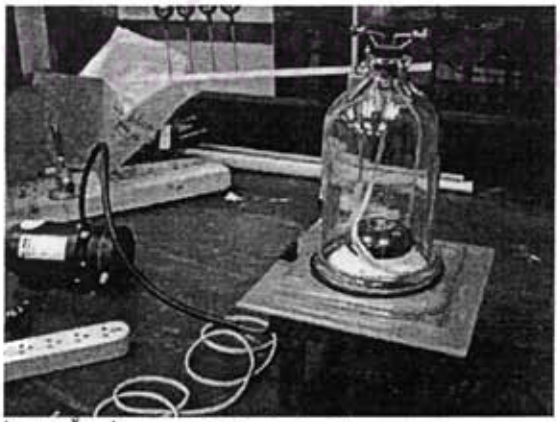
ชุดที่ 2 การสะท้อนจากปลายอิสระ



รูปที่ 4.11 คลื่นถูกสร้างจากด้านซ้ายมือแล้ววิ่งเข้าหาปลายสปริงด้านขวามือซึ่งผูกกับเชือกอีกเส้นหนึ่งทำให้เป็นปลายอิสระ ผลการสะท้อนทำให้ลูกคลื่นยังคงชี้ไปในด้านเดียวกันกับขาเข้า ซึ่งในทางฟิสิกส์เราเรียกว่าเฟสไม่เปลี่ยนแปลง

การทดลองที่ 8 เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง

คลื่นเสียงเป็นคลื่นที่ต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ในชุดสาธิตนี้เรานำกริ่งสัญญาณไปใส่ในโถแก้วที่สามารถทำให้เป็นสุญญากาศได้

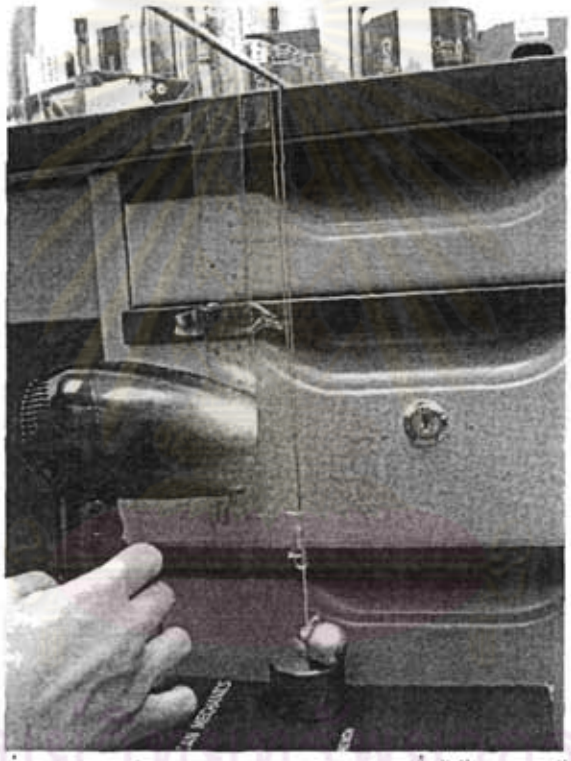


รูปที่ 4.12 ชุดสาธิตที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าเสียงต้องอาศัยตัวกลาง (อากาศ) ในการเคลื่อนที่

ในการทดลองนี้เราใช้ปั๊มสุญญากาศซึ่งสามารถสร้างสุญญากาศที่ความดันประมาณ 50 มิลลิบาร์ เมื่อปิดสวิตช์ให้กริ่งดังแล้วครอบแก้วไว้พบว่ายังได้ยินเสียงดังมาก แต่เมื่อเริ่มเดินเครื่องปั๊มสุญญากาศพบว่าเสียงกริ่งลดลงแต่ก็ยังคงได้ยินอยู่บ้าง

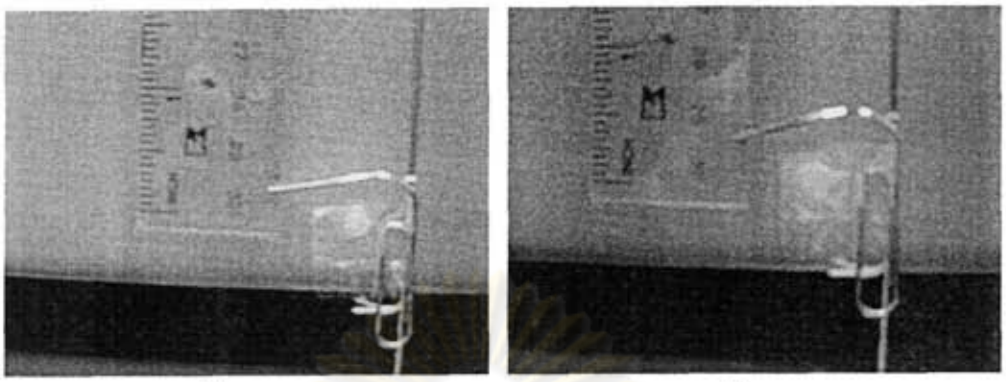
<u>การทดลองที่ 10</u> เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน

ความร้อนนอกจากจะทำให้วัตถุขยายตัวแล้วในบางกรณีความร้อนก็ทำให้วัตถุหดตัวด้วยเช่นกัน ในการทดลองนี้เราจะทำให้ยางหดตัวโดยแรงจากการหดตัวสามารถดึงวัตถุให้ขึ้นสูงได้



รูปที่ 4.13 ชุดสาธิตแสดงการหดตัวของวัตถุเมื่อได้รับความร้อน

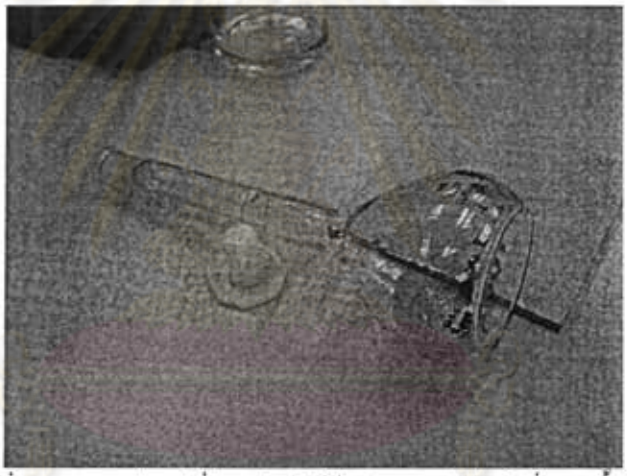
การทดลองประกอบไปด้วย ยางรัดของ 1 เส้นถ่วงด้วยมวล 450 กรัม ปลายด้านล่างติดเส้นลวดโดยปลายลวดชี้ตำแหน่งบนไม้บรรทัด ความยาวเริ่มต้นประมาณ 25 เซนติเมตร ทำการเป่าที่บริเวณด้านล่างของยางยืด พบว่ายางจะหดตัวอย่างรวดเร็วในช่วงแรกโดยหดเข้าเป็นระยะประมาณ 3-4 มิลลิเมตรและจะค้างอยู่ระยะหนึ่งก่อนที่จะยืดตัวออกถึงแม้ว่าจะมีที่เป่าผมเป่าอยู่ตลอดเวลา จากการทดลองพบว่าทุกครั้งที่หยุดเป่า ความยาวของยางจะยืดออกไปสู่ค่าเริ่มต้นค่าใหม่ที่ยาวกว่าค่าเดิม (ก่อนเป่า) เทคนิคคือต้องใช้เส้นเดียว ถ่วงให้ยืดมาก ๆ แต่ยางไม่ขาดเสียก่อน ผลการหดตัวแสดงดังรูปที่ 4.14



(ก) (ข)

รูปที่ 4.14 (ก) ตำแหน่งของปลายยางยืดก่อนเป้าความร้อนและ (ข) การหดของยางทำให้ปลายชี้โลหะสูงขึ้น

<u>การทดลองที่ 11</u> **เรื่อง จุดเดือดของน้ำ**



รูปที่ 4.15 ขวดรูปชมพู่ที่ดัดแปลงให้ก้นบุ๋มมากกว่าปกติเพื่อวางน้ำแข็ง

ได้ดำเนินการสร้างขวดรูปชมพู่โดยดัดแปลงให้ก้นบุ๋มมากกว่าปกติ ขวดดังกล่าวมีจุกพลาสติกสำหรับปิด เราได้ทดลองโดยต้มน้ำในขวดโดยเปิดฝาไว้ เมื่อน้ำเดือด นำน้ำลงและปิดจุก ขณะที่พยายามจะกลับด้านเอาฝาลงปรากฏว่าแรงดันน้ำได้ดันให้จุกกระเด็นออกมา อันเป็นผลเนื่องมาจากความดันไอน้ำ จึงทำให้เราไม่สามารถทดสอบการลดจุดเดือดของน้ำด้วยน้ำแข็งได้ข้อเสนอแนะเพื่อให้สามารถทำการทดลองได้คือใช้จุกยางที่แน่นกว่านี้ แต่ควรทำในตู้ที่ป้องกันการระเบิดกระเด็นของเศษกระจกได้เพราะไม่มีข้อมูลว่าขวดดังกล่าวทนแรงดันไอน้ำได้เท่าใด

<u>การทดลองที่ 12</u> เรื่อง การพาความร้อน

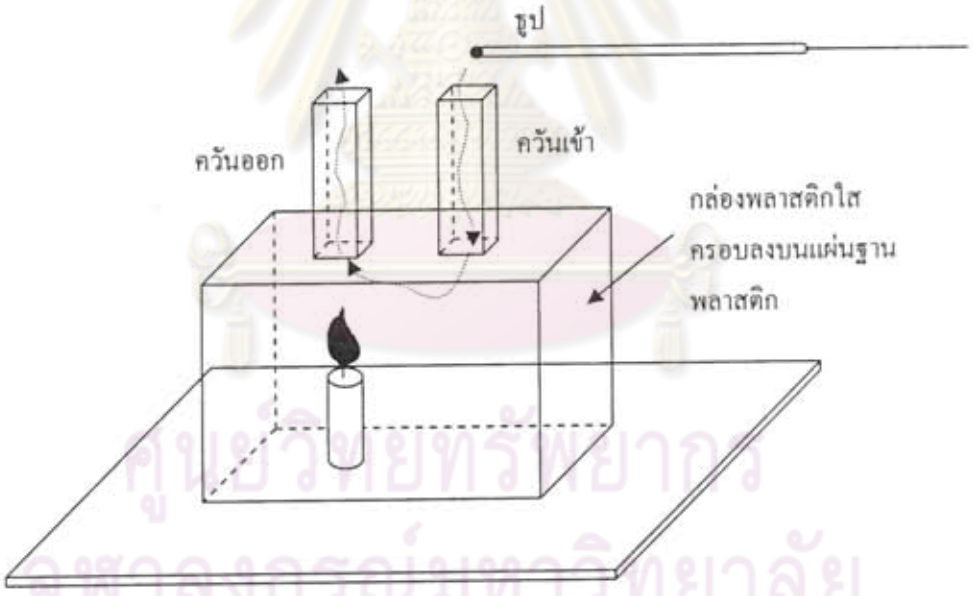
พลังงานความร้อนไหลจากบริเวณที่ร้อนไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า การไหลของพลังงานสามารถเป็นไปได้ 3 วิธีคือ

- การนำความร้อน เป็นการไหลของความร้อนโดยที่ตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การไหลของความร้อนจากหม้อโลหะมาสู่อาหารภายในหม้อ
- การพาความร้อน เป็นการไหลของความร้อนโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่ไปด้วย เช่น การไหลของอากาศร้อน
- การแผ่รังสี เป็นการไหลของความร้อนโดยที่ไม่อาศัยตัวกลาง กล่าวคือ ความร้อนถูกแผ่ออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ย่านอินฟราเรด)

เพื่อให้นิสิตมีความเข้าใจในปรากฏการณ์ดังกล่าว จึงได้ทำการสร้างแบบจำลองดังต่อไปนี้

<u>ชุดที่ 1 การพาความร้อนด้วยอากาศ</u>

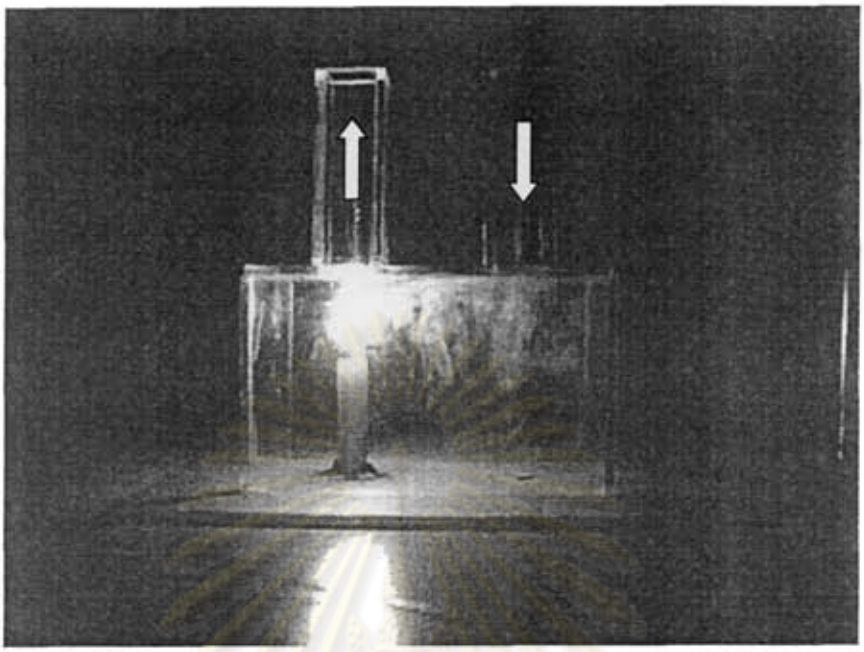
ในการทดลองนี้เราทำการสร้างกล่องที่มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.16 ชุดสาธิตการพาความร้อนด้วยอากาศ

ประเด็นการสร้างกล่องที่มีกระจกปิดด้านหน้าตามที่ได้อ้างไว้ในบทที่ 3 ทำให้การสร้างมีความยากลำบาก ในที่นี้เราเปลี่ยนเป็นสร้างกล่องที่ไม่มีฐานแต่จะวางครอบลงบนฐานอีกครั้งดังรูปที่ 4.16 และตัวกล่องทำจากพลาสติกใสที่ตัดและขึ้นรูปด้วยกาว

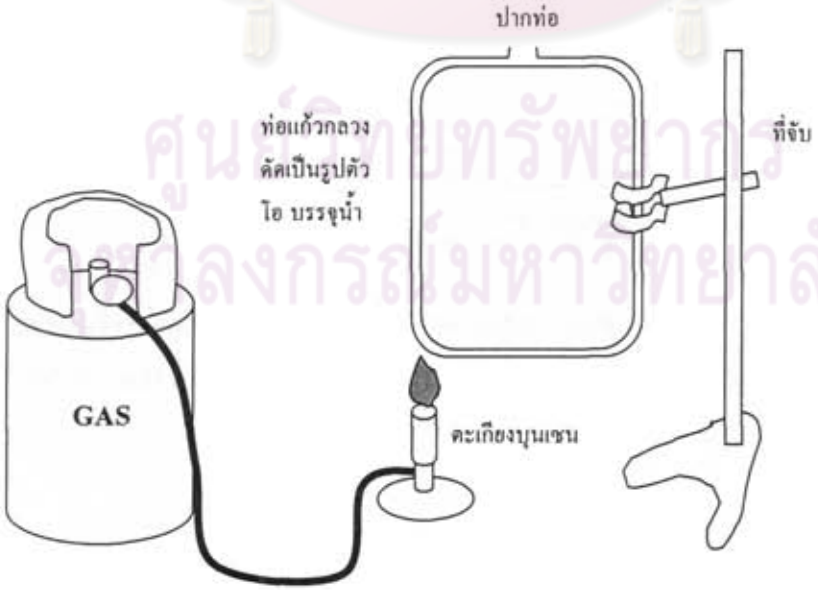
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ภาพแสดงการพาความร้อนโดยสังเกตจากการเคลื่อนที่ของควันธูปซึ่งเข้ามาจากท่อขวามือ ถูกดูด และปล่อยออกที่ท่อด้านซ้ายมือ เหนือตำแหน่งเปลวเทียน การดูดสังเกตได้ชัดเจนกว่าการปล่อย

ผลการทดลองพบว่าควันธูปถูกดูดลงมาได้อย่างชัดเจนแต่การปล่อยจากปล่องควันด้านซ้ายมือซึ่งมีเทียนอยู่ข้างใต้ไม่ค่อยชัดเจนนัก ข้อเสนอแนะที่ต้องปรับปรุงคือการสาธิตในห้องใหญ่จะทำได้ยากเพราะมองไม่เห็นควันธูป

ชุดที่ 2 การพาความร้อนด้วยน้ำร้อน



รูปที่ 4.18 การออกแบบชุดทดลองเรื่องการพาความร้อน

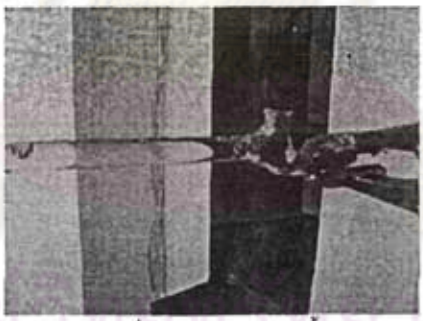
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิ้นส่วนสำคัญคือท่อแก้วที่ดัดงอเป็นรูปตัวโอและมีรูเปิดด้านบนเพื่อเติมสีน้ำ ซึ่งต้องสั่งทำเป็นพิเศษ อุปกรณ์อื่น ๆ สามารถหาซื้อได้ทั่วไป การทดลองมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เติมน้ำในท่อจนเต็มและทำการลนมุมหนึ่งของท่อแก้วด้วยไฟจากตะเกียงบุนเซน ดังรูปที่ 4.19

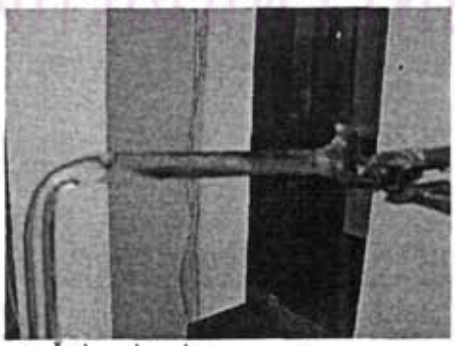
รูปที่ 4.19 การจัดชุดสาธิตเรื่องการพาความร้อนด้วยน้ำร้อน

ขั้นตอนที่ 2 ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิน้ำ เมื่อได้อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ทำการหยดสีน้ำลงไป ในที่นี้เลือกใช้สีน้ำเพราะสามารถล้างออกจากท่อได้



รูปที่ 4.20 การหยดสีน้ำ

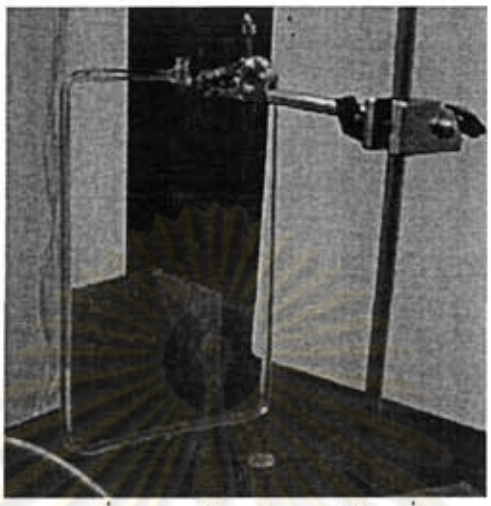
ขั้นตอนที่ 3 สังเกตว่าน้ำสีมีการไหลเกิดขึ้น บ่งบอกว่าน้ำมีการไหลเวียนภายใน



รูปที่ 4.21 สีน้ำเริ่มเคลื่อนที่ไปตามการไหลของกระแสน้ำร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

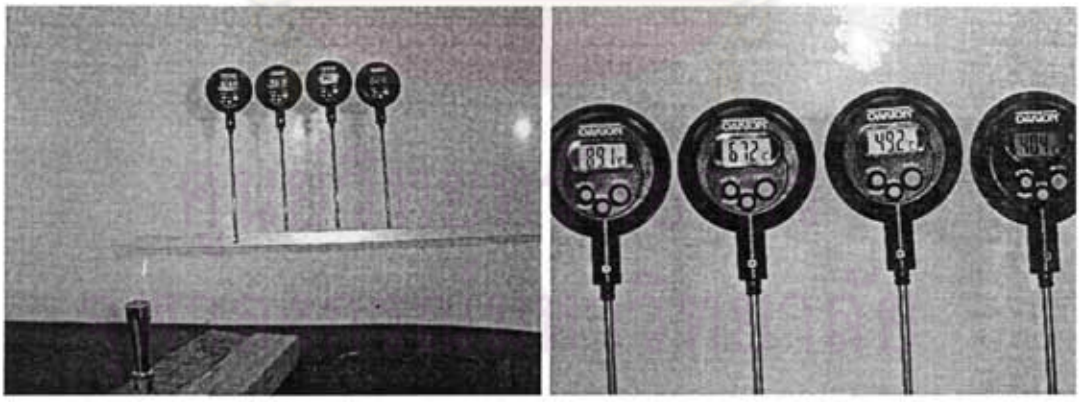
ขั้นตอนที่ 4 เมื่อทิ้งไว้ซักครู่จะเห็นว่าน้ำสีกระจายไปทั่ว



รูปที่ 4.22 การไหลเวียนของสีโดยทั่ว

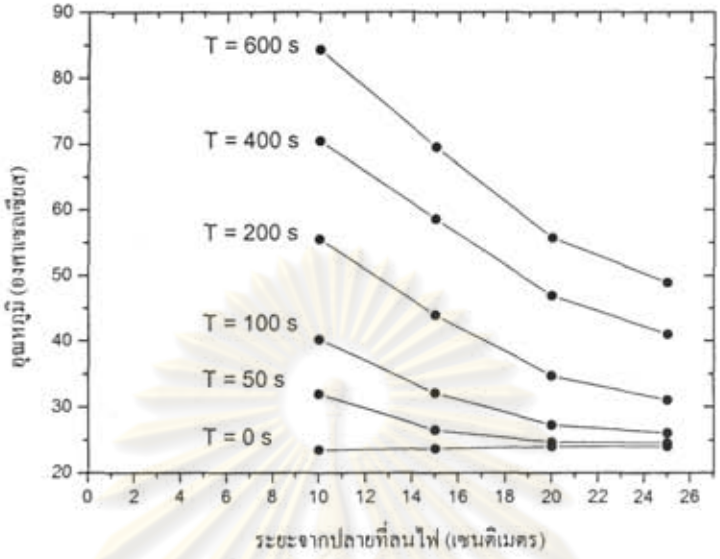
การทดลองที่ 13 เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ

ปรากฏการณ์การนำความร้อนในโลหะสามารถแสดงได้โดยการวัดอุณหภูมิตามความยาวของแท่งโลหะที่ปลายด้านหนึ่งมีไฟลนให้ความร้อน ในรูปเรายึดแท่งอะลูมิเนียมกับขาตั้งในลักษณะวางขนานกับพื้น นำเทอร์โมมิเตอร์มาเสียบกับรูที่เจาะไว้ ซึ่งในที่นี้เจาะให้ห่างกัน 5 เซนติเมตร สังเกตอุณหภูมิของแท่งทองแดงที่เปลี่ยนไป ที่ตำแหน่งต่างๆ



(ก) (ข)

รูปที่ 4.23 (ก) การจัดชุดสาธิตเรื่องการนำความร้อนในโลหะ และ (ข) อุณหภูมิที่สภาวะสมดุล



รูปที่ 4.24 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแท่งอะลูมิเนียมที่เวลาต่างๆ

ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ปลายด้านลนไฟจะมีอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่สูงกว่าด้านไกล โดยทฤษฎีแล้วกราฟที่ได้ควรเป็นกราฟเส้นตรงที่สภาวะสมดุล (ทิ้งไว้นานพอ ในที่นี้พบว่าหลังเวลา 600 วินาที อุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม) แต่การทดลองนี้ไม่ให้เส้นตรง ซึ่งคาดว่าจะเป็นผลเนื่องจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนกับอากาศด้วย

<u>การทดลองที่ 14</u> เรื่อง ความจุความร้อนจำเพาะ

เนื่องจากการทดลองนี้พบว่าตรงกับปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป 1 ที่ภาควิชาจัดสอน จึงไม่จำเป็นต้องทำเพิ่มเติม

<u>การทดลองที่ 16</u> เรื่องการขยายตัวอิสระ

การทดลองนี้ไม่ได้ทำเพราะเกรงอันตรายอันเกิดจากการระเบิดของขวดแก้ว จำเป็นต้องจัดหาตู้หรืออุปกรณ์ป้องกันการระเบิดเสียก่อน ในที่นี้ได้จัดทำการทดลองเพิ่มอีก 1 อันเพื่อทดแทนการทดลองที่ 16 คือการทดลองที่ 17

<u>การทดลองที่ 17</u> แบบจำลองความดันก๊าซ

ความดันของก๊าซเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่อย่างสุ่มของอนุภาคก๊าซ อนุภาคของก๊าซเคลื่อนที่ได้ก็เพราะได้รับพลังงานความร้อนจากอุณหภูมิที่ก๊าซนั้นอยู่ โดยทฤษฎีจลน์ของก๊าซแปรผันตรงกับอุณหภูมิของก๊าซ ดังสมการ

$$\overline{E}_k = \frac{3}{2} n k_B T$$

เนื่องจากพลังงานจลน์บ่งบอกถึงอัตราเร็วรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย (v_{rms}) ผ่านตามสมการ

$$\overline{E}_k = \frac{1}{2} m v_{rms}^2$$

ดังนั้นเมื่อก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้น อัตราเร็วรากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ในภาพรวมก๊าซเข้าชนผนังถี่ขึ้น ในแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะทำการรบกวนเม็ดแก้วจำนวนมากที่มีขนาดเล็ก ๆ ภายในทรงกระบอกโดยการใช้ฝาล่างของทรงกระบอกที่หมุนได้ โดยผิวของฝาล่างทำจากพลาสติกที่ถูกทำให้ขรุขระ ส่วนฝาบนมีหน้าที่แสดงผลของความดัน รูปทรงการสร้างมีดังนี้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.25 (ก) ชุดแบบจำลองเรื่องความดันในสภาวะหยุดนิ่ง (ข) ชุดแบบจำลองเรื่องความดันในสภาวะเคลื่อนไหวโดยการปรับค่าความต้านทานให้ต่ำลงจนกระทั่งมอเตอร์เริ่มทำงาน

ผลการทดสอบชุดจำลองเครื่องความดันนี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือเมื่อเราให้มอเตอร์เริ่มหมุนและฐานรองหมุนเร็วขึ้นจนทำให้เม็ดแก้วถูกตีกระเด็นอย่างสุ่ม ฝาด้านบนจะถูกดันยกสูงขึ้น ข้อเสนอแนะสำหรับการขยายขนาดสเกลก็คือการใช้มอเตอร์ที่มีกำลังสูงขึ้น และการจัดให้ฐานมีขนาดพอดีท่อทำได้ค่อนข้างยาก บางครั้งเม็ดแก้วจะติดอยู่ในช่องว่างระหว่างฐานกับผนังท่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การอภิปรายผล

ชุดสาธิตปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์สำหรับใช้สอนสำหรับนิสิตชั้นปีที่ 1 ที่ได้สร้างขึ้นใหม่หรือปรับปรุงจากของเดิมที่มีอยู่ในภาควิชาฟิสิกส์ ประกอบด้วยชุดสาธิตตามชื่อการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 2 เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน
การทดลองที่ 3 เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง
การทดลองที่ 4 เรื่อง การส่งรังสีความร้อน
การทดลองที่ 5 เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น
การทดลองที่ 8 เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง
การทดลองที่ 10 เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน
การทดลองที่ 12 เรื่อง การพาความร้อน
การทดลองที่ 13 เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ
การทดลองที่ 17 แบบจำลองความดันก๊าซ

จำนวนทั้งสิ้น 9 เรื่อง ซึ่งครอบคลุมเนื้อหารายวิชา 2304103 ฟิสิกส์ทั่วไป 1 ครึ่งหลัง (หลังสอบกลางภาคต้น) ได้แก่

บทที่ 7 คลื่นกลในตัวกลางยืดหยุ่น (การทดลองที่ 5)
บทที่ 8 เสียง (การทดลองที่ 3, 8)
บทที่ 9 ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ (การทดลองที่ 17)
บทที่ 10 อุณหพลศาสตร์ (การทดลองที่ 10)
บทที่ 11 ปรากฏการณ์ขนส่ง (การทดลองที่ 2, 4, 12, 13)
บทที่ 12 ของไหล (การทดลองที่ 12)

ผลการทดสอบของการทดลองแต่ละชุดให้ผลดังนี้

<u>การทดลองที่ 2</u> เรื่อง การแผ่รังสีความร้อน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการลดลงของอุณหภูมิของน้ำเดือดที่บรรจุอยู่ภายในกระป๋องโลหะที่พ่นสีขาวและสีดำอย่างละกระป๋อง พบว่าไม่สามารถสังเกตความแตกต่างของการลดลงของอุณหภูมิได้โดยตรง ต้องอาศัยการวิเคราะห์โดยการฟิตสมการและเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของการลดลงของอุณหภูมิ (ค่าพารามิเตอร์ของเทอม exponentialdecay) สันนิษฐานว่าความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของการลดของอุณหภูมิเป็นผลเนื่องมาจากการพาความร้อนของอากาศโดยรอบกระป๋องมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการคายความร้อนด้วยการแผ่รังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองที่ 3 เรื่อง การแทรกสอดของคลื่นเสียง

การทดลองนี้แบ่งออกเป็น 2 ชุด กล่าวคือในชุดแรกเป็นผลการแทรกสอดของคลื่นเสียงจากลำโพง 2 ตัว ที่ต่อกับแหล่งกำเนิดเสียงซึ่งได้แก่คอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมกำเนิดเสียงความถี่คงที่ โดยการเดินไปมาที่หน้าลำโพงและใช้หูฟังเพียงข้างเดียว จะได้ยินเสียงดังของลำโพงและเสียงที่ดังกว่าที่บางจุด ซึ่งถือว่าได้ผลดี การทดลองในชุดที่ 2 เป็นการแทรกสอดในท่อโดยใช้ Buzzer ซึ่งมีความถี่ 2,400 และ 4,800 เฮิรตซ์เป็นแหล่งกำเนิด พบว่าเมื่อเลื่อนท่อเข้าออกก็ได้ยินเสียงดัง และดังกว่า ตามทฤษฎีที่ควรเป็น แต่ข้อเสียของชุดนี้คือเสียงจาก Buzzer เป็นเสียงที่แหลมมากและดังมาก ดังนั้นจึงไม่ควรใช้สาธิตนานเกินไป

การทดลองที่ 4 เรื่อง การส่งรังสีความร้อน

การทดลองนี้เป็นการส่งผ่านรังสีความร้อนโดยการสะท้อนจากจานพาราโบลอยด์ 2 อันที่วางหันหน้าเข้าหากัน หัวแร้งบัดกรีถูกใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนถูกวางไว้ที่ตำแหน่งโฟกัสของจานพาราโบลอยด์อันหนึ่ง และทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสของจานพาราโบลอยด์อีกอันหนึ่ง การวัดอุณหภูมิทำได้ค่อนข้างลำบาก เพราะต้องมีวัสดุรับพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงวัดอุณหภูมิของวัสดุดังกล่าว ในที่นี้เราใช้แผ่นโลหะขนาดประมาณ 10X10 ตารางเซนติเมตรและติดเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค อุณหภูมิของแผ่นโลหะเพิ่มขึ้นเพียง 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งน้อยเกินไปที่จะทำให้การสาธิตนี้น่าเชื่อถือ ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงการสาธิตนี้คือใช้แหล่งกำเนิดความร้อนที่ให้กำลังความร้อนมากขึ้นและสาธิตในห้องที่ค่อนข้างเย็นเพื่อให้เห็นผลการเพิ่มอุณหภูมิที่มากขึ้น

การทดลองที่ 5 เรื่อง คลื่นในตัวกลางยืดหยุ่น

การสาธิตโดยการดัดสปริงโลหะให้เกิดคลื่นตามขวางเป็นการสาธิตที่ค่อนข้างง่ายและเป็นไปตามทฤษฎีของการสะท้อนกลับเมื่อปลายตรึงหรือปลายอิสระ

การทดลองที่ 8 เรื่อง ตัวกลางของคลื่นเสียง

การสาธิตนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านซึ่งในการสาธิตคืออากาศ เรานำกระดิ่งไฟฟ้าใส่ในโถแก้วและเปิดเสียงกริ่ง ซึ่งดังมาก เมื่อเริ่มปั๊มอากาศออกจากโถแก้วก็พบว่าเสียงดังลดลงมาก แต่เนื่องจากความดันที่ใช้มีค่าเพียง 50 มิลลิบาร์ดังนั้นเสียงยังคงได้ยินอยู่บ้างในระยะ 1-2 เมตร แต่เป็นเสียงที่ไม่กังวาน

การทดลองที่ 10 เรื่อง การขยายตัวจากความร้อน

การสาธิตการหดตัวของยางรัดของเป็นไปได้ยากในช่วงแรกของการทดสอบเพราะว่ายางไม่หดตัว การทดสอบกับมวลถ่วงหลาย ๆ ค่าพบว่าการสาธิตนี้จะทำได้ดีก็ต่อเมื่อเราถ่วงให้ยางยืดมาก ๆ จนกระทั่งยางไม่ยืดต่อไปอีกแล้ว ที่สภาวะนี้เมื่อยางได้รับความร้อนจึงจะหดตัวให้เห็น ระยะหดตัวประมาณ 5-6 มิลลิเมตรสำหรับยางยืดที่ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร

การทดลองที่ 12 เรื่อง การพาความร้อน

การสาธิตเรื่องการพาความร้อนถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ในชุดแรกเป็นการพาความร้อนด้วยอากาศร้อนโดยวางเทียนที่จุดไฟไว้ในกล่องซึ่งเจาะปล่อง 2 ปล่อง ปล่องหนึ่งเป็นทางเข้าและอีกปล่องเป็นทางออกของ

อากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศแสดงได้โดยใช้ควันธูป ผลการทดสอบให้ผลดี อากาศถูกดูดเข้าไปอย่างชัดเจนโดยสังเกตจากลำของควัน แต่อากาศที่ออกมาจากกล่องไม่สามารถสังเกตได้จากควันธูปเพราะควันคลุ้งไปทั่วในกล่อง ชุดสาธิตที่ 2 เป็นการพาความร้อนด้วยน้ำโดยการต้มน้ำที่บางส่วนของท่อแก้วรูปตัวโอเมื่อน้ำร้อน (ไม่จำเป็นต้องเดือด) เราหยดสีลงไป จะเห็นการไหลของสีตามการไหลของน้ำ

การทดลองที่ 13 เรื่อง การนำความร้อนในโลหะ

การสาธิตนี้แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอุณหภูมิบนแท่งเหล็กที่ปลายด้านหนึ่งลนไฟอยู่ในขณะที่ปลายอีกด้านปล่อยอิสระสัมผัสกับอากาศ ตามทฤษฎีแล้วสำหรับปลายสองด้านที่มีอุณหภูมิต่างกันคงที่ การกระจายตัวของอุณหภูมิควรเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ แต่จากการทดลองพบว่าไม่เป็นเช่นนั้น สันนิษฐานว่าเป็นเพราะเราไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิที่ปลายอิสระ อีกทั้งความร้อนก็อาจไหลออกจากแท่งโลหะโดยรอบด้วย ไม่ใช่เป็นการไหลแบบ 1 มิติตามที่หนังสือฟิสิกส์ทั่วไป 1 ใช้

การทดลองที่ 17 เรื่อง แบบจำลองความดันก๊าซ

ชุดสาธิตนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าความดันเกิดจากการฟุ้งกระจายของโมเลกุลก๊าซในภาชนะ ในที่นี้เราใช้เม็ดแก้วแทนโมเลกุลก๊าซและทำให้เม็ดแก้วฟุ้งโดยการหมุนฐานรองรับ ฐานมีลักษณะพิเศษคือผิวหน้าขรุขระทำให้เมื่อหมุนไปจะเกิดการชนเล็กน้อยกับเม็ดแก้วแต่ก็เพียงพอจะทำให้เม็ดแก้วกระเด็นไปทั่ว ความดันที่ได้แสดงได้จากการที่ฝาปิดด้านบนถูกยกตัวสูงขึ้น ชุดสาธิตนี้มีข้อบกพร่องเล็กน้อยที่ขนาดของฐานที่ต้องอยู่ภายในท่อพลาสติกใส ถ้าขนาดเล็กเกินไปจนกระทั่งเกิดช่องที่มีขนาดใหญ่กว่าเม็ดแก้ว เม็ดแก้วก็อาจไปสะสมอยู่ในช่องและทำให้ฐานไม่สามารถหมุนได้ ถ้าฐานใหญ่มากก็อาจคับหรือสีกับท่อพลาสติกได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

การสร้างชุดสาธิตเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1 เฉพาะครึ่งหลังของปีเทอมต้น เป็นไปได้ด้วยดีโดยได้ปรับปรุงและสร้างจำนวนทั้งสิ้น 9 ชุด ชุดสาธิตที่สร้างได้ผ่านการทดสอบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ต้องแต่เนื่องจากเป็นชุดสาธิตขนาดเล็กจึงยังไม่เหมาะแก่การใช้จริงในชั้นเรียน จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือใช้กล้องทีวีจับภาพผ่านเครื่องฉาย หรืออาจอัดเป็นวิดีโอไฟล์เพื่อใช้คอมพิวเตอร์แสดงผลก็ได้

ในการดำเนินงานนี้พบว่ามีปัญหาและอุปสรรคหลายประการที่ควรได้รับการสนับสนุนหรือส่งเสริมเพื่อการผลิตสื่อการสอนที่ใช้เวลาสั้นลง ประเด็นที่สำคัญได้แก่

1. ภาควิชาฟิสิกส์ควรมีบุคลากรฝ่ายสนับสนุนเพื่อช่วยจัดซื้อวัสดุและสร้างชิ้นส่วนย่อยต่าง ๆ ภายใต้การควบคุมของอาจารย์ผู้เสนอแนวความคิดของการสร้าง

2. ควรมีเครื่องมือพื้นฐานในการตัด เจาะ ที่จำเป็นต่อการสร้างชิ้นงานเบื้องต้นเพื่อให้สามารถทดสอบแนวความคิดและดูความเป็นไปได้ของการทำชุดสาธิต ณ ปัจจุบันเครื่องมือกระจายอยู่ทั่วไปทั้งในห้องปฏิบัติการและฝ่ายซ่อมสร้างของคณะวิทยาศาสตร์

3. ชุดสาธิตทางฟิสิกส์ในหัวข้อที่ยากอาทิ แม่เหล็ก-ไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้งบประมาณต่อชุดสาธิตมากกว่าชุดสาธิตด้านอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ผลการประเมินการสอนรายวิชาฟิสิกส์ทั่วไป 1, 2 และฟิสิกส์การแพทย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างภาคการศึกษาปลาย 2540 ถึงภาคการศึกษาต้น 2546
[2] http://www.mip.berkeley.edu/physics/physics.html
[3] http://sprott.physics.wisc.edu/demobook/intro.htm
[4] http://www.physics.umd.edu/deptinfo/facilities/lecdem/lecdem.htm
[5] http://www.mip.berkeley.edu/physics/guestbook.html

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย