บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้ชุดทดลองเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และการจำลองบนคอมพิวเตอร์ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่ใช้เพื่อออกแบบและวางแผนการวิจัยตามหัวข้อของเอกสารและงานวิจัยต่อไปนี้

1. สาระสำคัญและมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
2. เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุ
3. กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน
4. ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงตามทฤษฎี
5. วิธีการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
6. การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์
7. การใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานปฏิบัติการทดลอง
8. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาระสำคัญและมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้กำหนดสาระสำคัญและมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ไว้ ดังนี้

1. สาระสำคัญ

สาระสำคัญของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 มีทั้งหมด 8 สาระ ดังนี้

1) สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

สิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการดำรงชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม การทำงานของระบบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต วิวัฒนาการและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต และเทคโนโลยีชีวภาพ

2) สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

สิ่งมีชีวิตที่หลากหลายรอบตัว ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศ ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้และ

จัดการทรัพยากรธรรมชาติ ในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในสภาพแวดล้อมต่างๆ

3) สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

สมบัติของวัสดุและสาร แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค การเปลี่ยนสถานะ การเกิดสารละลายและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร สมการเคมี และการแยกสาร

4) สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่

ธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง แรงนิวเคลียร์ การออกแรงกระทำต่อวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงเสียดทาน โมเมนต์การเคลื่อนที่แบบต่างๆ ในชีวิตประจำวัน

5) สาระที่ 5 พลังงาน

พลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน สมบัติและปรากฏการณ์ของแสง เสียง และวงจรไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

6) สาระที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก

โครงสร้างและองค์ประกอบของโลก ทรัพยากรทางธรณี สมบัติทางกายภาพของดิน หิน น้ำ อากาศ สมบัติของผิวโลก และบรรยากาศ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก ปรากฏการณ์ทางธรณี ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ

7) สาระที่ 7 ดาราศาสตร์และอวกาศ

วิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพ ปฏิสัมพันธ์ และผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลก ความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ

8) สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา และจิตวิทยาศาสตร์

2. มาตรฐานการเรียนรู้

มาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 มี ดังนี้

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้าง และหน้าที่ของระบบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเอง และดูแลสิ่งมีชีวิต

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้เทคโนโลยีชีวภาพที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในระบบนิเวศ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก นำความรู้ไปใช้ในในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจสมบัติของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารการเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยา มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุในธรรมชาติ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวน การสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก

มาตรฐาน ว 6.1 เข้าใจกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลกและภายในโลก ความสัมพันธ์ของกระบวนการต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และสัณฐานของโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 7 ดาราศาสตร์และอวกาศ

มาตรฐาน ว 7.1 เข้าใจวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซีและเอกภพ การปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะและผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ การสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 7.2 เข้าใจความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศที่นำมาใช้ในการสำรวจอวกาศและทรัพยากรธรรมชาติ ด้านการเกษตรและการสื่อสาร มีกระบวนการสืบเสาะ หาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างมีคุณธรรมต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุ

เนื้อหาวิชาฟิสิกส์เรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุในหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมฟิสิกส์ เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (สสวท., 2553) มีดังนี้ การตกอย่างอิสระ (free fall) เป็นการเคลื่อนของวัตถุที่ปล่อยให้ตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียว ไม่คิดแรงต้านทานหรือแรงเสียดทานโดยขนาดของความเร็วและความเร่งของวัตถุ ศึกษาจากการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระ

การทดลอง 2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระ

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาการหาความเร่งของวัตถุที่ตกอย่างอิสระ

วิธีการทดลอง

1. ยึดเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่ต่อกับหม้อแปลงโวลต์ต่ำบนขอบโต๊ะที่สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร

2. ยึดถุงทรายให้ติดกับปลายด้านหนึ่งของแถบกระดาษ

3. สอดแถบกระดาษเข้าไปในช่องของเครื่องเคาะสัญญาณเวลาโดยให้ถุงทรายอยู่ด้านล่างและให้อยู่ชิดกับตัวเครื่องเคาะสัญญาณเวลามากที่สุดดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 การติดตั้งชุดทดลอง

ที่มา: สสวท. (2553)

4. จัดเครื่องเคาะสัญญาณเวลา จนแถบกระดาษอยู่ในแนวดิ่งเปิดสวิตซ์ให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน

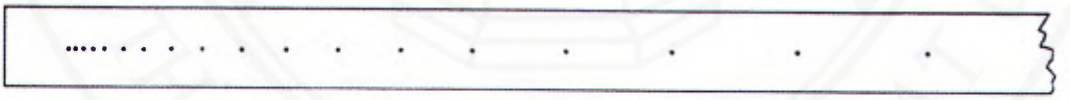
5. ปล่อยให้ถุงทรายตกลงสู่พื้น นำแถบกระดาษที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเร็วขณะหนึ่ง ณ เวลากึ่งกลางของแถบกระดาษในช่วงนั้น

6. บันทึกผลการคำนวณในตาราง เขียนกราฟระหว่างความเร็ว (v) กับเวลา (t) โดยให้ v อยู่บนแกนตั้งและ t อยู่บนแกนนอน

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลองตามหนังสือเรียน

แถบกระดาษ ตอนที่	ระยะทางใน 2 ช่วงจุด s (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด t (s)	ขนาดความเร็วเฉลี่ย ใน 2 ช่วงจุด v (cm/s)	เวลาตรงกึ่งกลาง แต่ละช่วง t (s)
1	4.6	2/50	115.0	1/50
2	6.2	2/50	155.0	3/50
3	7.7	2/50	192.5	5/50
4	9.2	2/50	230.0	7/50
5	10.7	2/50	267.5	9/50

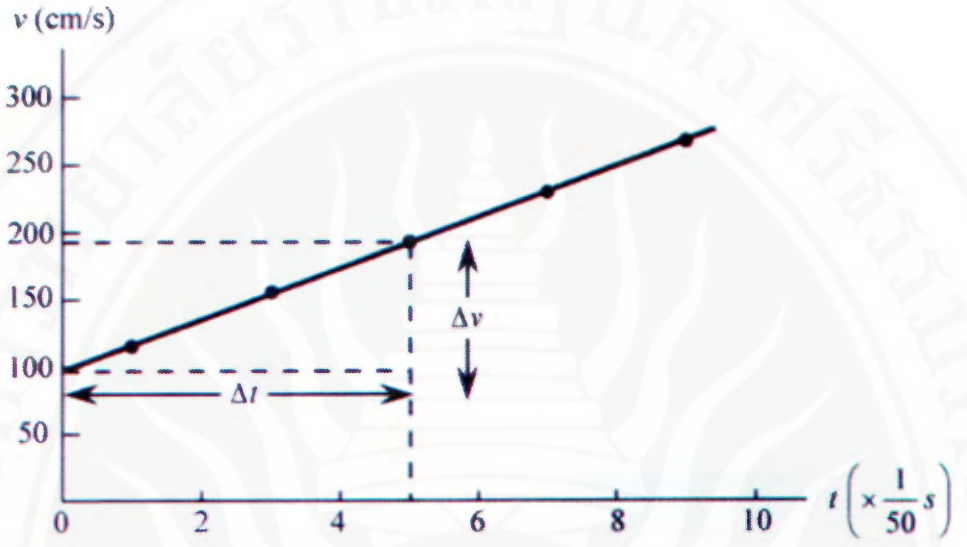
ตัวอย่างแถบกระดาษที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างแถบกระดาษที่ได้จากการทดลอง

ที่มา: สสวท. (2553)

ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดลอง



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดลอง

ที่มา: สสวท. (2553)

ตัวอย่างในการหาค่าความชันและค่าร้อยละของความคลาดเคลื่อนเทียบกับทฤษฎี

การหาความชันของกราฟ $= \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{192-100}{(5/50)-0} = 920\ cm/s^2 = 9.2\ m/s^2$

$= 920\ cm/s^2$

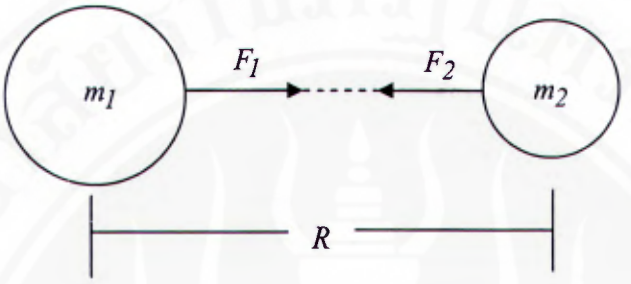
$= 9.2\ m/s^2$

ร้อยละของความความเคลื่อน $= \frac{(\text{ค่าที่ทดลองได้} - \text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี})}{\text{ค่าที่ได้จากทฤษฎี}} \times 100$

$= \frac{9.2-9.8}{9.8} \times 100$

$= 6$

กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน



ภาพที่ 2.4 แรงดึงดูดระหว่างมวลของวัตถุคู่หนึ่ง

กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตันกล่าวว่า

"วัตถุทั้งหลายในเอกภพจะออกแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุคู่หนึ่งๆ จะแปรผันตรงกับผลคูณระหว่างมวลของวัตถุทั้งสอง และจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสองนั้น" (สสวท., 2553)

$$F_1 = F_2 = \frac{Gm_1m_2}{R^2} \quad \text{----------} \quad 2.1$$

เมื่อ F_1 คือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุ

F_2 คือแรงที่วัตถุดึงดูดโลก

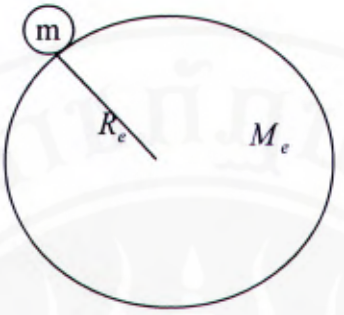
G คือค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล

m_1 คือมวลของโลก

m_2 คือมวลของวัตถุ

R คือระยะห่างระหว่างวัตถุ

นิวตัน สามารถใช้ทฤษฎีนี้ อธิบายถึงแรงโน้มถ่วงของโลกได้ถูกต้อง และ สามารถใช้คำนวณวงโคจรของดาวเคราะห์ได้ใกล้เคียงมากๆ จนเป็นที่ยอมรับในวงการวิทยาศาสตร์สมัยนั้น และถ้าเรานำมวลก้อนหนึ่งวางไว้ที่ผิวโลก โลกก็จะออกแรงดึงดูดวัตถุนั้น ตามกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน ซึ่งเราทราบแล้วว่าแรงที่โลกดึงดูดวัตถุคือน้ำหนักของวัตถุก้อนนั้น



ภาพที่ 2.5 แรงดึงดูดระหว่างโลกกับวัตถุที่วางบนผิวโลก

ดังนั้นเราสามารถหาความเร่งที่ผิวโลกได้ดังนี้

$$\text{จาก } F = \frac{GM_e m}{R_e{}^2} \quad \text{---------- 2.2}$$

เมื่อ M_e คือมวลของโลก (5.98×10^{24} kg)

m คือมวลของวัตถุใด ๆ

G คือค่าคงตัวความโน้มถ่วงสากล (6.67×10^{-11} $N.m^2/kg^2$)

R_e คือรัศมีของโลก

g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ผิวโลก

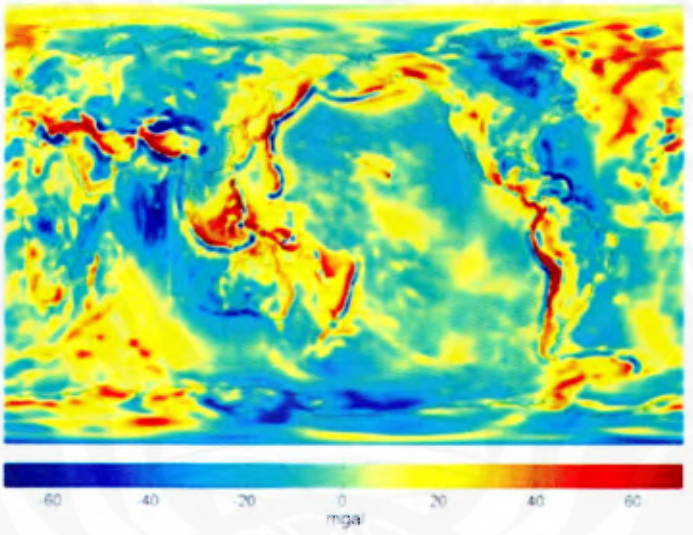
แรงที่โลกดึงดูดวัตถุเท่ากับแรงที่วัตถุดึงดูดโลก ซึ่งที่แรงที่โลกดึงดูดวัตถุคือน้ำหนักของวัตถุนั่นเองดังนั้นจากสมการที่ 2.2 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$mg = \frac{GM_e m}{R_e{}^2}$$

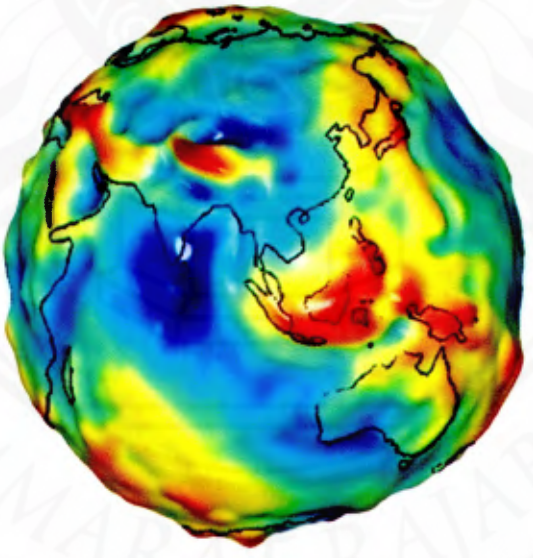
$$g = \frac{GM_e}{R_e{}^2} \quad \text{---------- 2.3}$$

จากสมการ 2.3 สรุปได้ว่า ณ ตำแหน่งใดๆ ค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจะแปรผกผันกับระยะทางจากจุดศูนย์กลางของโลกยกกำลังสอง แต่เนื่องจากโลกไม่ได้เป็นทรงกลมโดยพื้นผิวโลกมีสภาพภูมิประเทศที่ต่างกัน ดังนั้นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ณ ตำแหน่งต่างๆ บนผิวโลกจึงมีค่าแตกต่างกัน

นักวิจัยของศูนย์วิจัยอวกาศ มหาวิทยาลัยเท็กซัส (Tapley B, et al., 2007) ได้สร้างแบบจำลองค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.6 ระดับค่า g ของแต่ละสีบนแบบจำลอง
ที่มา: แบบจำลองแรงโน้มถ่วง GRACE03 (2555)



ภาพที่ 2.7 แบบจำลองค่า g ทวีปเอเชียและทวีปออสเตรเลีย
ที่มา: แบบจำลองแรงโน้มถ่วง GRACE03 (2555)

สำหรับการวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติทำการวัด ณ จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ปทุมธานี อุบลราชธานี อุดรธานี เชียงใหม่ ชุมพร และจังหวัดสงขลา ได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกดังแสดงในตารางที่ 2.2 (สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ, 2549)

ตารางที่ 2.2 ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

ลำดับที่	จังหวัด	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
1	กรุงเทพ	9.78297
2	ปทุมธานี	9.78312
3	อุบลราชธานี	9.78322
4	อุดรธานี	9.78415
5	เชียงใหม่	9.78426
6	ชุมพร	9.78198
7	สงขลา	9.78120

จากตารางสรุปได้ว่าค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในประเทศไทยเมื่อใช้ความละเอียดที่ระดับเกล มีค่าเท่ากับ 9.78 เมตร/วินาที^{2} เท่ากันทุกจังหวัด โดยนักธรณีฟิสิกส์ได้กำหนดให้ปริมาณ 1 เซนติเมตร/วินาที^{2} เท่ากับ 1 เกล (gal) ซึ่งค่าความเร่งของความโน้มถ่วงของโลกที่ผิวโลกมีค่าประมาณ 9.8 m/s^2 หรือ 980 เกล แต่เนื่องจากในงานสำรวจวัดค่าความโน้มถ่วงของโลกนั้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความเร่งของความโน้มถ่วงของโลก มีค่าน้อยมาก จึงใช้หน่วยมิลลิแกล (milligal) ซึ่งเท่ากับ 1/1000 แกล หรือเท่ากับ 10^{-5} เมตร/วินาที^{2} เป็นหน่วยที่ใช้ในงานสำรวจ

ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎี

เนื่องจากสัณฐานของโลกไม่ได้เป็นทรงกลมแท้ แต่จะมีลักษณะคล้ายผลส้มคือ บริเวณขั้วโลกจะแบนลงและบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะป่องออก ดังนั้นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณขั้วโลกจึงมีค่ามากกว่าความเร่งบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ

$$g = \frac{GM_e}{R_e{}^2}$$

นอกจากนี้การหมุนรอบแกนของโลกจะเกิดแรงสู่ศูนย์กลางขึ้นแรงชนิดนี้จะส่งผลให้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเปลี่ยนไปตามสภาพของแนวแรงสู่ศูนย์กลาง ณ ตำแหน่งละติจูดต่างๆ ซึ่งแนวแรงสู่ศูนย์กลางจะมีค่ามากบริเวณเส้นศูนย์สูตร และมีค่าเท่ากับศูนย์บริเวณขั้วโลก จากผลการหมุนและระยะห่างจากศูนย์กลางทำให้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกบริเวณเส้นศูนย์สูตรกับบริเวณขั้วโลกแตกต่างกันโดยที่ บริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งเป็นละติจูดที่ 0 องศา จะมีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 978.0 เซนติเมตร/วินาที^{2} บริเวณขั้วโลกทั้งสองเป็นละติจูดที่ 90 องศาเหนือ และละติจูดที่ 90 องศาใต้ จะมีค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 983.2 เซนติเมตร/วินาที^{2} (วิภาดา งานสม, 2553) การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ณ ละติจูดต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสูตรแรงโน้มถ่วงสากล (international gravity formula) ซึ่งมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พุทธศักราช 2473 (ค.ศ. 1930) ใช้สมการที่ 2.4 ในการคำนวณ มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 13 มิลลิเกล ต่อมาในปีพุทธศักราช 2510 (ค.ศ. 1967) เทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นการวัดค่าต่างๆ ทำได้ละเอียดมากขึ้น จึงพัฒนามาเป็นสมการที่ 2.5 และหลังจากนั้นในปีพุทธศักราช 2527 (ค.ศ. 1984) ทางสมาคมมาตรวิทยาระหว่างประเทศ (International Association of Geodesy: IAG) ได้พัฒนาระบบการสำรวจมาเป็นระบบจีโอดีติก (geodetic) ซึ่งประกอบด้วยหมุดหลักฐานที่รังวัดเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่าย มีค่าพิกัดบนระบบอ้างอิง และใช้เทคนิควิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) เป็นระบบที่ให้ค่าความถูกต้องสูงถึง 1:1,000,000 เรียกว่าระบบเวิลด์จีโอดีติก (World Geodetic System 1984: WGS84) ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับจากนานาประเทศว่ามีความถูกต้องและมีความเป็นสากล (Ahern, J.L., 2011) ดังแสดงในสมการ 2.6

$$g_o = 9.78049(1+0.0052884\sin^2\lambda - 0.0000059\sin^4 2\lambda) \quad \text{---------- 2.4}$$

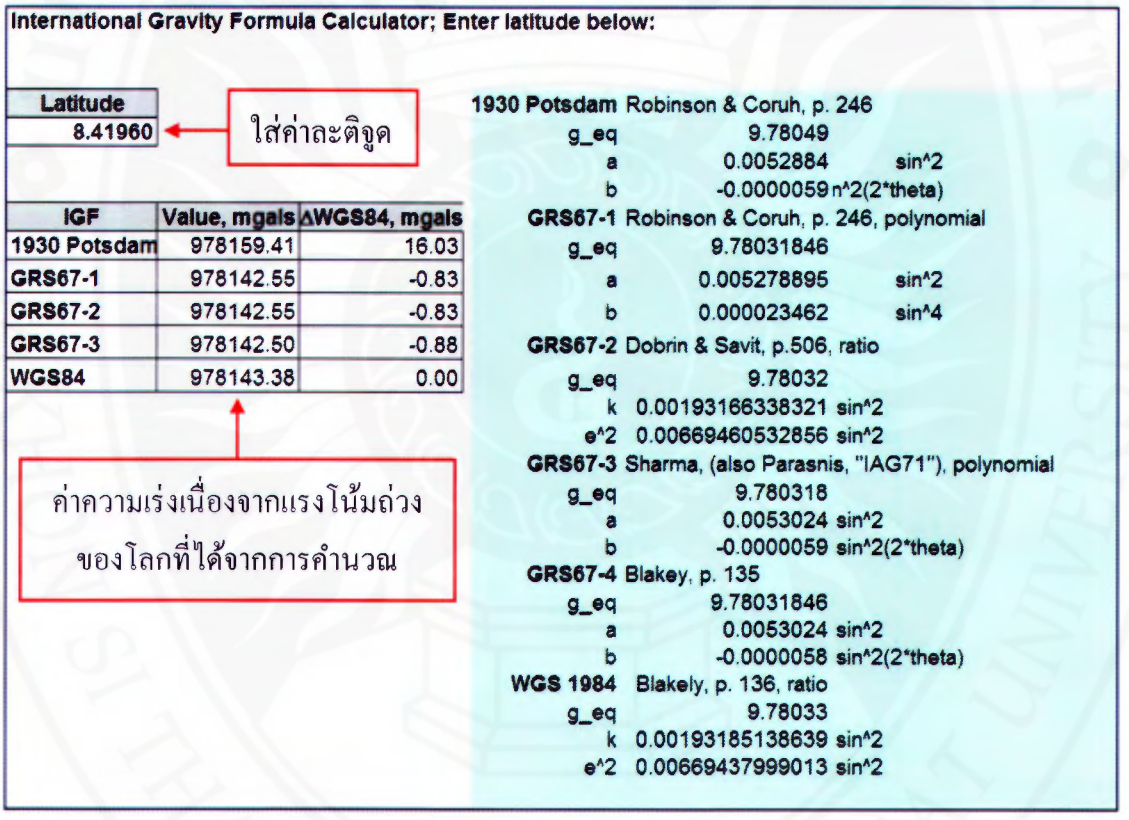
$$g_o = 9.78031846(1+0.0053024\sin^2\lambda - 0.0000058\sin^4 2\lambda) \quad \text{---------- 2.5}$$

$$g_o = 9.7803267714\left(\frac{1+0.00193185138639\sin^2\lambda}{\sqrt{1-0.00669437999013\sin^2\lambda}}\right) \quad \text{---------- 2.6}$$

โดยที่ g_o คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎี

λ คือค่าของละติจูด

เรียกค่า g_o นี้ว่า ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามทฤษฎี (theoretical gravity) หรือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกปกติ (normal gravity) ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่าย ๆ โดยการใช้เครื่องคำนวณแรงโน้มถ่วงสากล (International Gravity Formula Calculator) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดลอง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ซึ่งตั้งอยู่ตำแหน่งละติจูดที่ 8 องศา 41 ลิปดา 96 ฟิลิปดาเหนือ จึงแทนค่า θ = 8.4196 ในการคำนวณค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การคำนวณค่าความเร่ง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ที่มา: เครื่องคำนวณแรงโน้มถ่วงสากล (2555)

จากภาพที่ 2.8 พบว่าค่า g มีค่าเท่ากับ 978143.38 มิลลิเกล หรือเท่ากับ 9.7814338 เมตร/วินาที^{2} สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะใช้ค่า 978.14 เซนติเมตร/วินาที^{2} เป็นค่าทางทฤษฎี

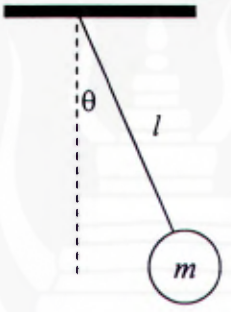
วิธีการหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

วิธีการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น การปล่อยให้วัตถุตกอย่างอิสระ การวัดคาบการแกว่งของลูกตุ้ม การวัดแบบการบิดของคาน การวัดการยืดของระบบมวลสปริง แต่วิธีที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย มี 2 วิธีด้วยกันคือ การแกว่งแบบลูกตุ้มอย่างง่ายและการตกอย่างอิสระของวัตถุ

1. การแกว่งแบบลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum)

ภาพที่ 2.9 อุปกรณ์การทดลองลูกตุ้มอย่างง่าย
ที่มา: ชุดทดลองลูกตุ้มอบ่างง่าย (2554)

ลูกตุ้มอย่างง่าย เป็นวิธีการหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยการใช้มวล m ผูกด้วยเชือกเบายาว l ดังภาพที่ 2.10 แกว่งอย่างอิสระในกรณีที่มุมของการแกว่งน้อยกว่า 5 องศา การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก อย่างง่าย



ภาพที่ 2.10 ลูกตุ้มอย่างง่าย

$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

หรือ $$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad \text{---------- 2.7}$$

ยกกำลังสองสมการ 2.6 และจัดรูปใหม่ จะได้ดังนี้

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{g}\right) l \qquad \text{---------- 2.8}$$

นำสมการ 2.8 ไปเขียนกราฟระหว่าง T^2 (แกน y) กับ ความยาวเชือก l (แกน x) ความชันของกราฟ (slope) จะเท่ากับ $\frac{4\pi^2}{g}$ แสดงว่า

$$slope = \frac{4\pi^2}{g}$$

$$g = \frac{4\pi^2}{slope} \qquad \text{---------- 2.9}$$

จากสมการ 2.9 สามารถหาค่า g จากหลักการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายได้

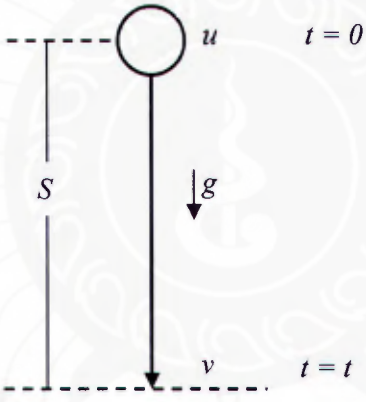
2. การตกอย่างอิสระของวัตถุ

การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยวิธีการตกอย่างอิสระของวัตถุ หมายถึง การปล่อยให้วัตถุตกลงมาอย่างอิสระภายใต้สนามความโน้มถ่วงของโลก ถ้ากำหนดให้วัตถุมวล m ตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เราจะพบว่าค่าความเร่งของวัตถุจะมีค่าคงที่เขียนแทนปริมาณนี้ด้วยสัญลักษณ์ g

$$a = g = \frac{dv}{dt} \qquad \text{----------2.10}$$

$$dv = g \cdot dt \qquad \text{---------- 2.11}$$

ถ้าให้ขณะเวลาเริ่มต้น t = 0 วัตถุมีความเร็วเริ่มต้น u เมื่อเวลาผ่านไป t มีความเร็วปลายเป็น v และมีการกระจัด s ดังภาพที่ 2.11 นำไปแทนในสมการที่ 2.11 จะได้



ภาพที่ 2.11 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในสมการการเคลื่อนที่

$$\int_u^v dv = g\int_0^t dt$$

$$v - u = g \cdot t \qquad \text{---------- 2.12}$$

$$v = u + gt \qquad \text{---------- 2.13}$$

จาก $v = \frac{ds}{dt}$ แทนในสมการ 2.13

จะได้ $\frac{ds}{dt} = u + gt$

$$\int_0^s ds = \int_0^t u.dt + \int_0^t gt.dt$$

$$s = ut + \frac{1}{2}gt^2$$

เมื่อวัตถุตกจากจุดหยุดนิ่ง ($u = 0$) ลงมาในแนวดิ่งเป็นระยะทาง s เมตร ภายในเวลา t วินาที จะได้ว่า

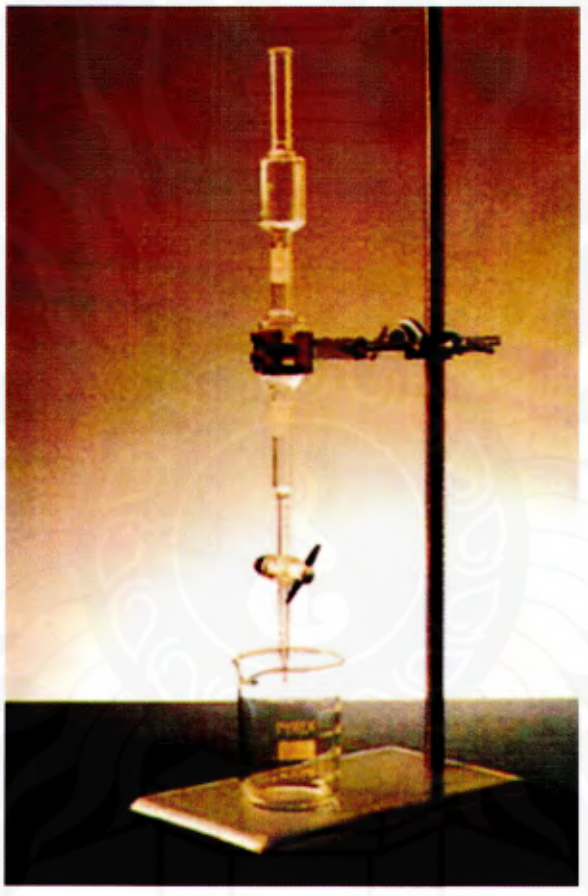
$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{---------- 2.14}$$

จากสมการที่ 2.14 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด s เป็นแกนตั้งกับ t^2 เป็นแกนนอน จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่า 2 เท่าของความชันของกราฟ (slope) คือค่า g ตามสมการที่ 2.15

$$g = \frac{2s}{t^2} \quad \text{---------- 2.15}$$

การหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยวิธีการตกอย่างอิสระของวัตถุ สามารถทำได้หลายวิธีและเรียกชื่อแตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุที่ตกหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการจับเวลา เช่น การใช้บิวเร็ต การใช้กล้องดิจิตอล การใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา และการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ ซึ่งทุกวิธีจะนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกตามสมการที่ 2.15

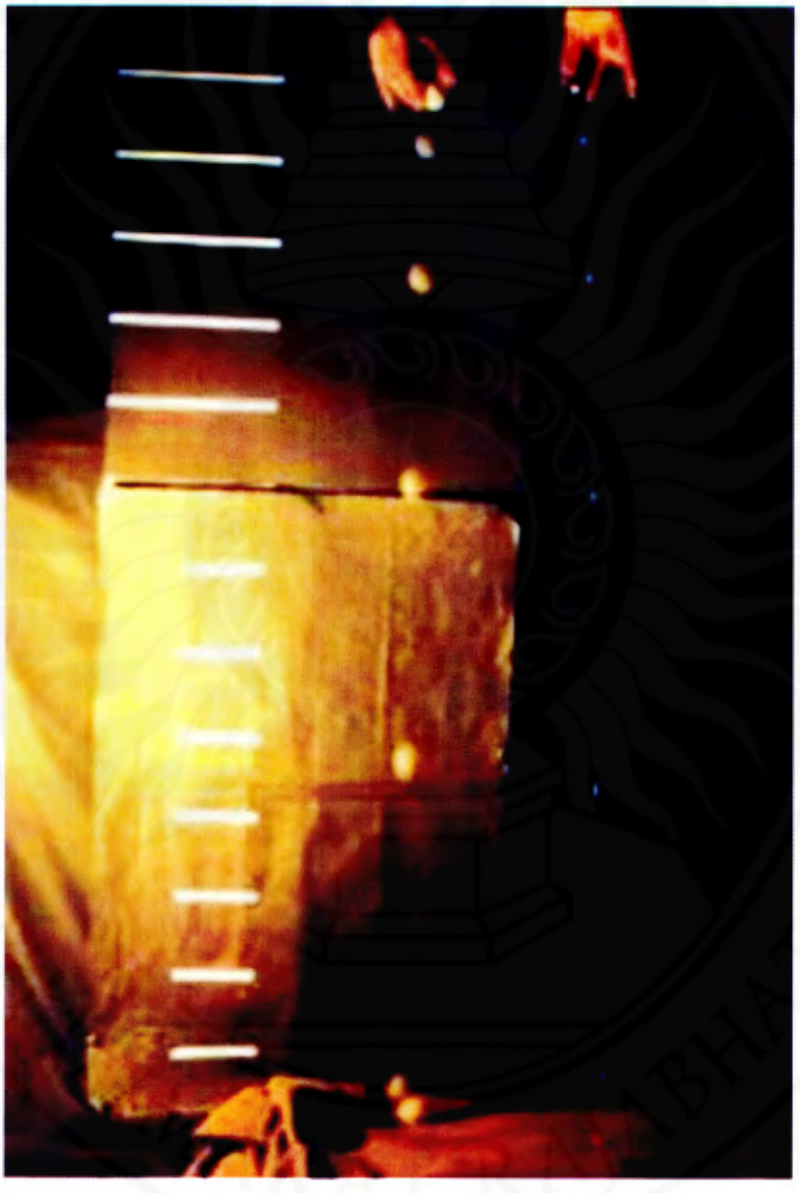
การหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยวิธีการใช้บิวเร็ต มีวิธีการทดลองดังนี้ ปล่อยหยดน้ำจากปลายท่อของบิวเร็ต โดยเมื่อหยดแรกถึงพื้นหยดที่สองต้องถูกปล่อยลงมาพอดี นับจำนวนหยดน้ำพร้อมทั้งจับเวลา นำค่าเฉลี่ยของเวลา กับระยะทางจากปลายท่อบิวเร็ตถึงพื้น หาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก วิธีการนี้จะต้องมีความชำนาญในการปรับบิวเร็ตและต้องปล่อยหยดน้ำจำนวนมากจึงจะได้ค่าเวลาที่แม่นยำ วิธีการนี้จึงต้องใช้เวลานานในการทดลอง



ภาพที่ 2.12 การหาความเร่งโดยใช้หยดน้ำจากบิวเร็ต

ที่มา: Finkarin (2007)

การหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยการจับความเร็วด้วยกล้องดิจิตอล มีขั้นตอนคือ ทำขีดสเกลให้เห็นชัดเจน แล้วใช้กล้องที่สามารถถ่ายภาพต่อเนื่องได้หลายๆ ภาพต่อวินาทีหาค่าของเวลาจากจำนวนภาพที่บันทึกได้ต่อเวลา เช่น ถ้ากล้องสามารถบันทึกได้ 20 ภาพต่อวินาที ถ้าในการทดลองถ่ายภาพได้ 5 ภาพ แสดงว่าใช้เวลา $\frac{5}{20}$ วินาที หาค่าความเร่งจากระยะทางกับเวลา



ภาพที่ 2.13 การหาความเร่งโดยใช้การจับความเร็วด้วยกล้องดิจิตอล
ที่มา: การทดลองหาค่าแรงโน้มถ่วง (2553)

การหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่แสดงในภาพที่ 2.14 เป็นชุดทดลองตามหนังสือเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่ใช้ในการสอนวิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง การเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าความเร่งของวัตถุที่ตกแบบเสรี

ภาพที่ 2.14 การหาความเร่งโดยใช้เครื่องเคาะสัญญาณเวลา
ที่มา: สสวท. (2553)

การหาความเร่งโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยเซ็นเซอร์ที่ใช้อาจจะแตกต่างกัน แต่มีหลักการเดียวกันคือ เซ็นเซอร์จะทำหน้าที่จับเวลาที่มีความละเอียดสูง แล้วนำค่าของระยะทางกับเวลาไปหาค่าความเร่ง

ภาพที่ 2.15 การหาความเร่งโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ

ที่มา: Free Fall Apparatus (2011)

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์

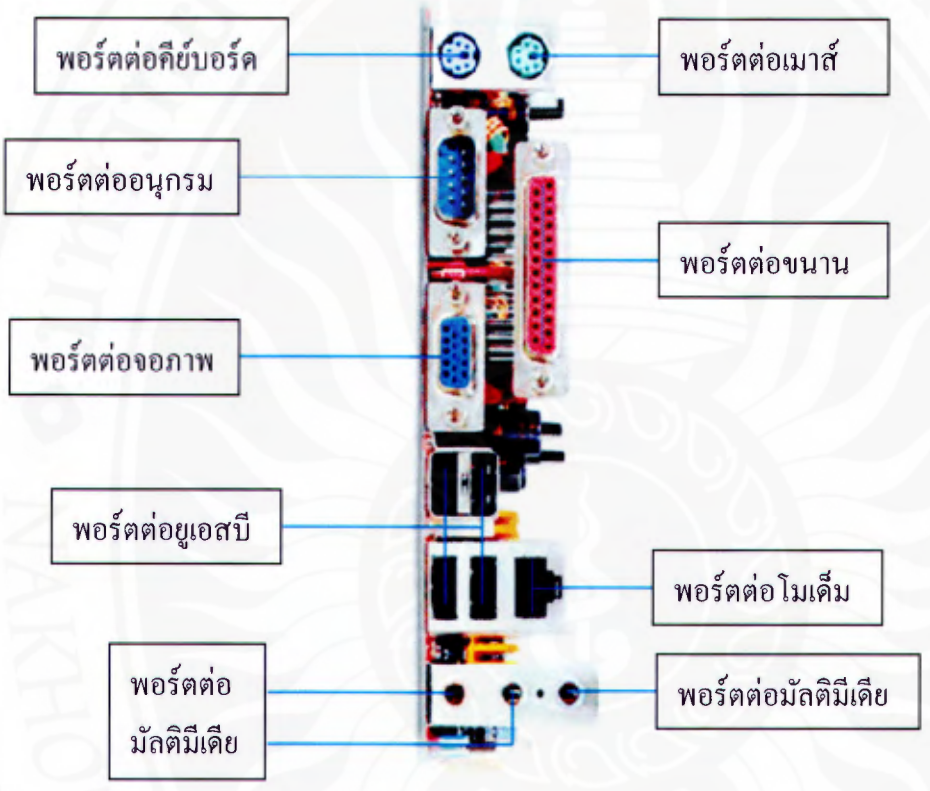
การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่าการอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์คือ การทำงานติดต่อร่วมกันระหว่างหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) กับอุปกรณ์อื่นๆ โดยการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องทำงานติดต่อกับหน่วยความจำหลัก (random access memory : RAM) และหน่วยความจำที่ติดมากับเครื่องคอมพิวเตอร์ (read-only memory : ROM) แล้วยังต้องมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกที่มีการป้อนข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล (input) การนำออกผลลัพธ์ของข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลโดยหน่วยประมวลผลกลาง (output) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบสมบูรณ์และระบบต่างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะทำงานต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์พีซี จะใช้การสื่อสารผ่านพอร์ต

พีซี (PC) หมายถึง คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personal computer) ซึ่งมีหลายประเภท เช่น คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (desktop computer) คอมพิวเตอร์แบบรับข้อมูลด้วยการเขียนบนจอภาพ (tablet computer) และคอมพิวเตอร์แบบพกพา (laptop computer/notebook) ดังแสดงในภาพที่ 2.16

ภาพที่ 2.16 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลชนิดต่างๆ

ที่มา: พีระ โค้วเจริญ (2554)

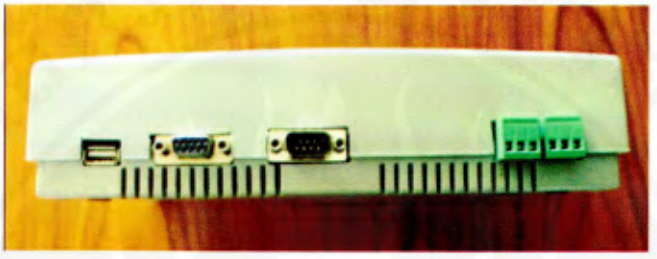
พอร์ต (port) หมายถึง ช่องทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งมีอยู่หลายประเภท เช่น พอร์ตต่อคีย์บอร์ด พอร์ตต่อเมาส์ พอร์ตต่อจอภาพ พอร์ตต่ออนุกรม พอร์ตต่อขนาน พอร์ตต่อยูเอสบี พอร์ตต่อโมเด็ม และพอร์ตต่อมัลติมีเดีย ดังแสดงในภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 พอร์ตชนิดต่างๆ

ที่มา: วิชิต คำพิภาค (2554)

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ใช้พอร์ตต่ออนุกรมและพอร์ตต่อยูเอสบีเป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างตัวคอมพิวเตอร์กับชุดทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 พอร์ตที่ใช้ในชุดทดลอง

การใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานปฏิบัติการทดลอง

การใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานปฏิบัติการทดลอง หมายถึง วิธีการทดลองโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือพื้นฐานในการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งจะต้องสร้างและพัฒนาสื่อการสอนที่เรียกว่าตัวต้นแบบ ซึ่งตัวต้นแบบหมายถึง ระบบการทำงาน ที่เป็นความคิดที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้สมมติฐานของระบบใหม่ เช่น ระบบที่มีคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐาน ประกอบด้วยโปรแกรมการทำงานที่รับข้อมูลเข้า มีกระบวนการคำนวณ การพิมพ์และการแสดงผลลัพธ์ สำหรับตัวต้นแบบของงานวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย

1. ชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

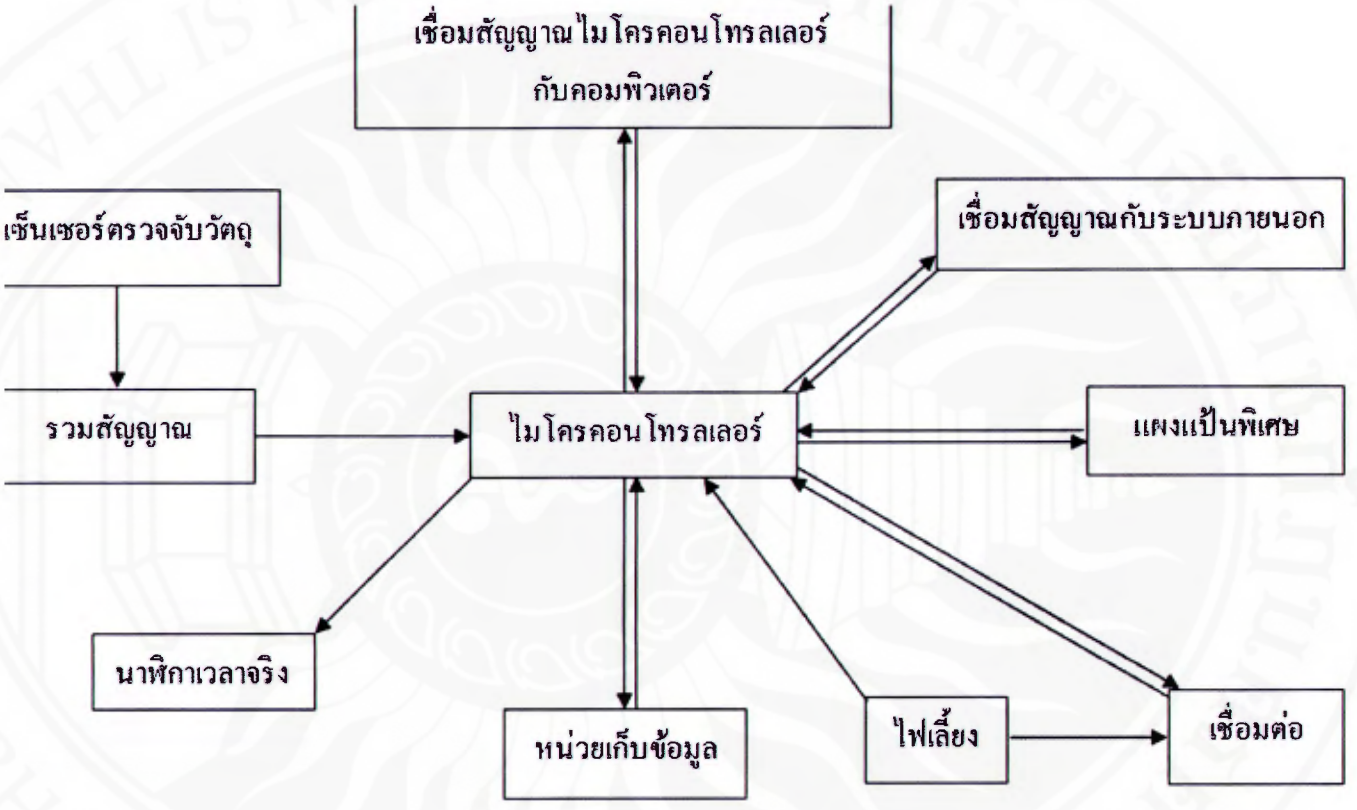
ชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ชุดนี้จะมีการบันทึกข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลได้ในเวลาจริง (real time) เป็นแบบอัตโนมัติ โดยวงจรย่อยจำนวน 10 วงจร ประกอบด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ชุดเชื่อมต่อข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ ชุดนาฬิกาเวลาจริง (real time clock) ชุดเซ็นเซอร์ (sensor) ตรวจจับวัตถุ ชุดหน่วยเก็บข้อมูล ชุดรวมสัญญาณ (multiplexing) ชุดเชื่อมต่อ (connector) ชุดไฟเลี้ยง ชุดเชื่อมต่อกับระบบภายนอก (module) และชุดแผงแป้นพิเศษ (keypad) โดยมีการทำงานสัมพันธ์กันมีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 2.19

2. ชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ

การทำชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุ เป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยออกแบบและสร้างขึ้นเองซึ่งจะต้องต่อชุดทดลองการตกอย่างอิสระของวัตถุชุดนี้เข้ากับชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3. โปรแกรม

โปรแกรมควบคุมการทดลอง เขียนด้วย Visual Basic ซึ่งโปรแกรม Visual Basic นี้เป็นภาษาโปรแกรมภาษาหนึ่ง พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ บรรจุอยู่ภายใต้ผลิตภัณฑ์ที่ชื่อว่า Microsoft Visual Studio นิยมเรียกย่อๆ ว่า VB ที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows และโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลใช้ โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งโปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภทแผ่นตารางทำการ (spread sheet) ใช้สำหรับงานตาราง คำนวณ และนำเสนอข้อมูลตัวเลขด้วยกราฟแบบต่างๆ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลายที่ช่วยให้ผู้ใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.19 ชุดเครื่องมือวัดและเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาความเร่งของวัตถุที่ตกอย่างอิสระ พบว่าผู้ที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีตัวอย่างของผู้ศึกษาดังนี้

สายันต์ โสดาจันทร์ (2552) ทำการวิจัยเรื่องการสร้างเครื่องมือเพื่อพิสูจน์ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างง่าย ด้วยวิธีการตกอย่างอิสระซึ่งใช้แม่เหล็กไฟฟ้าในการปล่อยวัตถุ และใช้นาฬิกาแบบดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 วินาทีโดยสามารถปรับความสูงและมวลของลูกเหล็กได้ เมื่อวัตถุถูกปล่อยนาฬิกาเริ่มจับเวลาและเมื่อวัตถุตกถึงพื้นซึ่งมีวงจรปิดการทำงานของนาฬิกา จากการวิจัยพบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกอย่างเสรี สูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 และหลังการทดลองนักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิชาฟิสิกส์แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกอย่างเสรี

มานะ อินทรสว่าง (2552) วิจัยเรื่องเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการหาค่าโน้มถ่วงโดยใช้หลอดไดโอดเปล่งแสง โดยสร้างชุดทดลองที่มีแนวคิดมาจากการตกอย่างอิสระของวัตถุ เมื่อปล่อยให้ไดโอดเปล่งแสงที่ทราบค่าความถี่ตกลงมา บันทึกภาพและเส้นทางการเคลื่อนที่ของไดโอด คำนวณค่าความโน้มถ่วงจากภาพถ่ายจากการศึกษาพบว่ามีค่าเท่ากับ 980±0.02 เซนติเมตรต่อวินาที^{2} ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ณ กรุงเทพ จะมีค่า 978 เซนติเมตรต่อวินาที^{2}

วิภาดา งานสม (2553) วิจัยเรื่องการตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกโดยตัวเก็บประจุทรงกระบอก สร้างเครื่องมือวัดค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ณ พื้นผิวโลก เพื่อตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระบบมวลสปริงกับค่าความจุภายในตัวเก็บประจุทรงกระบอก เมื่อค่าความจุภายในตัวเก็บประจุทรงกระบอกแปรผันตามความยาวของอุปกรณ์ตัวนำทรงกระบอกส่วนในแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากระบบมวลสปริง ได้ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ – 0.0003 เซนติเมตรต่อวินาที^{2} และค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก ณ ตำแหน่งทดสอบอ้างอิงเท่ากับ 978.310 เซนติเมตรต่อวินาที^{2}

ศิริพงษ์ มีมั่งคั่ง (2553) วิจัยเรื่องชุดทดลองหาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแบบประหยัดโดยวิธีตกแบบเสรี ด้วยวิธีจับเวลาการตกของลูกเหล็กจากขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ระดับความสูง 0.40 จนถึง 1.15 เมตร ซึ่งจะเพิ่มระดับความสูงครั้งละ 0.05 เมตร แล้วนำระยะทางกับกำลังสองของเวลา ไปเขียนกราฟเพื่อนำไปหาค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลกเปรียบเทียบกับค่าที่หาได้จากชุดทดลองเครื่องหมายการค้ายี่ห้อหนึ่ง โดยทำการทดลอง

ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา พบว่าชุดทดลองที่สร้างขึ้นวัดค่าได้ 9.76 เมตรต่อวินาที^{2} เมื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเชิงทฤษฎี ณ ละติจูดของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ 14 องศา 59 ลิปดา 5 พิลิปดาเหนือจะมีค่าเท่ากับ 9.838 เมตรต่อวินาที^{2} ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.20 ขณะที่ชุดทดลองของเครื่องหมายการค้ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.12

ผลสรุปจากงานวิจัยทั้ง 4 เรื่องพบว่าการสร้างเครื่องมือเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีหลายวิธี โดยเครื่องมือที่สร้างขึ้นทุกชิ้น สามารถหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้ถูกต้องแม่นยำกว่าเครื่องมือที่ใช้กันทั่วไปในห้องปฏิบัติการซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ พบว่ามีผู้ทำการวิจัยดังตัวอย่างต่อไปนี้

สุรพล โฉมฉายแสง (2551) การพัฒนาชุดสื่อวิดีทัศน์ปฏิสัมพันธ์วิชาปฏิบัติการฟิสิกส์1 เรื่องความเร่งโน้มถ่วง สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้สร้างเครื่องมือในรูปแบบสื่อวิดีทัศน์ปฏิสัมพันธ์ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 เรื่องความเร่งโน้มถ่วงในรูปแบบซีดีรอม โดยยึดการเรียนรู้ด้วยตัวเองแบบมีปฏิสัมพันธ์ ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนสามารถทำการทดลองในห้องปฏิบัติการทดลองได้โดยไม่ต้องใช้คู่มือในการทดลองและสามารถใช้อุปกรณ์การทดลองได้ถูกต้องตามกระบวนการเรียนรู้จากวีดีทัศน์ปฏิสัมพันธ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบคะแนนผลการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติทดสอบ T-test ผลปรากฏว่ากลุ่มเป้าหมายมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

(โซคอลอฟ, ลอร์ และทอร์นตัน, 2007) ได้ศึกษาการใช้คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ เป็นเครื่องมือเพื่อการเรียนรู้และอำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียนในการทดลองทางฟิสิกส์ ซึ่งมีชุดปฏิบัติการทางฟิสิกส์ในสาขา กลศาสตร์ วงจรไฟฟ้า ความร้อนและอุณหพลศาสตร์ แสงและเลนส์ เมื่อนักเรียนได้ใช้ชุดปฏิบัติการดังกล่าว ทำให้นักเรียนเข้าใจง่ายขึ้นรวมทั้งช่วยกระตุ้นและส่งเสริมให้นักเรียนชอบเรียนวิชาฟิสิกส์

สรุปผลจากการศึกษางานวิจัยทั้งสองเรื่องพบว่าการใช้คอมพิวเตอร์เป็นสื่อในการเรียนการสอนช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง มีความเข้าใจง่ายขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและกระตุ้นให้นักเรียนชอบเรียนวิชาฟิสิกส์มากขึ้น

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ชุดการทดลองทางฟิสิกส์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ มีตัวอย่างดังนี้

นันทชัย ทองแป้น (2542) ได้ทำวิจัยพัฒนาชุดต้นแบบเครื่องมือวัดทางฟิสิกส์ (กลศาสตร์) เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการของแสง อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ในการพัฒนาเครื่องมือตรวจจับเวลาการเคลื่อนที่ของวัตถุ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการนำข้อมูลไปประมวลผล วิเคราะห์ผล และแสดงผลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ จากการทดสอบชุดเครื่องมือพบว่า สามารถวัดเวลาได้ละเอียด 1/1000 วินาที เมื่อใช้ชุดเครื่องมือในการทดลองเรื่องการตกอย่างอิสระของวัตถุ เพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก พบว่า การวัดเวลาจำนวน 20 ครั้ง มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยร้อยละ 0.03 และหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ณ ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้ 9.826 เมตรต่อวินาที^{2} โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.265 นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ชุดเครื่องมือดังกล่าวกับการเรียนการสอน หรืองานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ทุกชนิดของการเคลื่อนที่

ปราโมทย์ เสตสุวรรณ และปิยะรัตน์ พราหมณี (2549) วิจัยเรื่องการพัฒนาชุดทดลองทางฟิสิกส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการอ่านค่าและประมวลผล ซึ่งได้ออกแบบระบบควบคุมการจับเวลาอัตโนมัติโดยควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 สื่อสารด้วยพอร์ตอนุกรม และพัฒนาชุดโปรแกรมให้ทำการเก็บข้อมูลและคำนวณผลข้อมูลโดยให้ทำงานได้อัตโนมัติ ด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0 นอกจากนี้ยังสามารถนำไปปรับใช้กับการทดลองอื่นๆ โดยยังใช้อุปกรณ์ส่วนใหญ่ร่วมกัน เพียงแต่เปลี่ยนชุดอุปกรณ์ตรวจจับและโปรแกรมควบคุมและประมวลผลสำหรับการทดลองนั้นๆ และได้ทดสอบงานวิจัยนี้กับชุดทดลองการเคลื่อนที่แบบเพนดูลัม เพื่อวัดคาบเวลา และสามารถเชื่อมโยงข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณและแสดงผลเป็นกราฟ และบันทึกข้อมูลการทดลองเก็บลงบนฐานข้อมูล ซึ่งสามารถเรียกขึ้นมาดูและนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ภายหลัง

ผลสรุปจากงานวิจัยทั้งสองเรื่องพบว่าการใช้ชุดทดลองทางฟิสิกส์เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อนำมาใช้ในการเรียนการสอนฟิสิกส์ จะขจัดปัญหาเกี่ยวกับการบันทึกผลการทดลอง ทำให้เรียนสามารถทำการทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลได้รวดเร็วและถูกต้อง สามารถเรียกขึ้นมาดูและนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ภายหลัง แล้วถ้านำข้อมูลเหล่านี้ไปประมวลผลและนำเสนอผลการทดลองออกมาเป็นกราฟ ทำให้นักเรียนสามารถแปลความหมายได้ทันที

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจำลองทางฟิสิกส์ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่มีผู้วิจัยมาแล้วมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

(อาร์วินด์ และเฮอร์ด, 2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสอนฟิสิกส์เรื่องการเคลื่อนที่ในแนววงกลม เป็นการสอนแบบการจำลองควบคู่กับการบรรยาย ซึ่งมีตัวอย่างและแบบฝึกหัดให้นักเรียนได้ศึกษา โดยทดลองสอนกับนักเรียนจำนวน 47 คน ศึกษาว่าจะมีวิธีการจำลองอย่างไรเพื่อให้นักเรียนเข้าในความคิดรวบยอดของการเคลื่อนที่ในแนววงกลม และให้นักเรียนเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อศึกษาให้เข้าใจมากขึ้น

(ไทเล็ก, 2000) ทำการวิจัยเรื่องการจำลองการเคลื่อนที่ของแบบโพรเจกไทล์ด้วย Mathematica อธิบายการใช้ระบบพีชคณิตทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำงานเกี่ยวกับการคำนวณในรูปสัญลักษณ์ การคำนวณเชิงตัวเลขและการสร้างภาพกราฟฟิก (Computer Algebra System :CAS) เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ที่ไม่มีแรงต้านทานของอากาศ วัตถุจะเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง เดิมจะแก้สมการการเคลื่อนที่ด้วยแคลคูลัสและเขียนด้วยปากกา เพื่อวิเคราะห์แนวการเคลื่อนที่ แต่งานวิจัยนี้ใช้ระบบพีชคณิตทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำงานเกี่ยวกับการคำนวณในรูปสัญลักษณ์ การคำนวณเชิงตัวเลขและการสร้างภาพกราฟฟิก และเขียนด้วยโปรแกรม Mathematica ทำให้เข้าใจการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบโปรเจกไทล์มากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้ได้อภิปรายเกี่ยวกับ การสร้างโปรแกรมการจำลองการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ที่ไม่มีแรงต้านทานของอากาศด้วย

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างเครื่องมือเพื่อหาค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้วนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการจำลองทางทฤษฎีและผลการทดลองที่ใช้ชุดทดลองตามหนังสือเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี