# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

สำเนาหนังสือราชการ

- รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือ
- หนังสือเชิญผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือ
- หนังสือขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

**1. ชื่อ** พันเอกศิรพงศ์ รดาธร
**สถานที่ทำงาน** โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
**วุฒิการศึกษา** วท.ม. ( ฟิสิกส์ ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**ประสบการณ์หรือความชำนาญ** อาจารย์กองวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นระยะเวลา 17 ปี

**2. ชื่อ** พันเอกบรรณสม สุพะรัง
**สถานที่ทำงาน** โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
**วุฒิการศึกษา** ค.อ.ม. ( ไฟฟ้า ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
**ประสบการณ์หรือความชำนาญ** อาจารย์กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นระยะเวลา 18 ปี
อาจารย์กองวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นระยะเวลา 6 ปี

**3. ชื่อ** พันโทชำนาญ สำเภาพ่อค้า
**สถานที่ทำงาน** โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
**วุฒิการศึกษา** วท.ม. ( ฟิสิกส์ประยุกต์ ) สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
**ประสบการณ์หรือความชำนาญ** อาจารย์กองวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เป็นระยะเวลา 15 ปี

ที่ ศธ 0522.16 (บ)/ ๒๘

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

๑๗ กุมภาพันธ์ 2551

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือวิจัย

เรียน พันเอกศิรพงศ์ รดาธร

สิ่งที่ส่งมาด้วย โครงการวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ชุด

เนื่องด้วย พันโทธัญญะ โพธิ์รัง นักศึกษาหลักสูตรปัณฑิตศึกษา แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองวิชากลศาสตร์ สำหรับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ตามโครงการวิทยานิพนธ์ที่แนบมาด้วยนี้

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าวนักศึกษาได้จัดทำเครื่องมือที่จะเก็บรวบรวมข้อมูล และได้รับความเห็นชอบเบื้องต้นจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ไว้ชั้นหนึ่งแล้ว แต่เพื่อให้เครื่องมือที่จัดทำนั้นมีความครอบคลุมเนื้อหาวิชา แนวปฏิบัติ และสอดคล้องกับหลักและกระบวนการวิจัย ทางสาขาวิชาจึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์ ได้โปรดพิจารณาตรวจสอบและให้ความคิดเห็นเพื่อการปรับปรุงเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษาผู้นี้ด้วย สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ นักศึกษาจะนำเรียนด้วยตนเอง

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี จึงขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิศวธีรานนท์)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์

ฝ่ายบัณฑิตศึกษา
โทร. 0 2503 2870
โทรสาร 0 2503 3566 -7

ที่ ศธ 0522.16 (บ)/ 34

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

12 กุมภาพันธ์ 2551

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือวิจัย

เรียน พันเอกบรรณสม สุพะรัง

สิ่งที่ส่งมาด้วย โครงการวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ชุด

เนื่องด้วย พันโทชัญญะ ไพธีรัง นักศึกษาหลักสูตรบัณฑิตศึกษา แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองวิชากลศาสตร์ สำหรับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ตามโครงการวิทยานิพนธ์ที่แนบมาด้วยนี้

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าวนักศึกษาได้จัดทำเครื่องมือที่จะเก็บรวบรวมข้อมูล และได้รับความเห็นชอบเบื้องต้นจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ไว้ชั้นหนึ่งแล้ว แต่เพื่อให้เครื่องมือที่จัดทำนั้นมีความครอบคลุมเนื้อหาวิชา แนวปฏิบัติ และสอดคล้องกับหลักและกระบวนการวิจัย ทางสาขาวิชาจึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์ ได้โปรดพิจารณาตรวจสอบและให้ความคิดเห็นเพื่อการปรับปรุงเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษาผู้นี้ด้วย สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ นักศึกษาจะนำเรียนด้วยตนเอง

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี จึงขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิศวธีรานนท์)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์

ฝ่ายบัณฑิตศึกษา
โทร. 0 2503 2870
โทรสาร 0 2503 3566 -7

ที่ ศธ 0522.16 (บ)/ 24

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

12 กุมภาพันธ์ 2551

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาเครื่องมือวิจัย

เรียน พันโทชำนาญ สำเภาพ่อค้า

สิ่งที่ส่งมาด้วย โครงการวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ชุด

เนื่องด้วย พันโทธัญญะ ไพธีรัง นักศึกษาหลักสูตรบัณฑิตศึกษา แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองวิชากลศาสตร์ สำหรับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ตามโครงการวิทยานิพนธ์ที่แนบมาด้วยนี้

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องดังกล่าวนักศึกษาได้จัดทำเครื่องมือที่จะเก็บรวบรวมข้อมูล และได้รับความเห็นชอบเบื้องต้นจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ไว้ขั้นหนึ่งแล้ว แต่เพื่อให้เครื่องมือที่จัดทำนั้นมีความครอบคลุมเนื้อหาวิชา แนวปฏิบัติ และสอดคล้องกับหลักและกระบวนการวิจัย ทางสาขาวิชาจึงขอความอนุเคราะห์จากท่านในฐานะผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและปฏิบัติการวิชาฟิสิกส์ ได้โปรดพิจารณาตรวจสอบและให้ความคิดเห็นเพื่อการปรับปรุงเครื่องมือการวิจัยของนักศึกษาผู้นี้ด้วย สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ นักศึกษาจะนำเรียนด้วยตนเอง

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคงจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างดี จึงขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

สุจินต์ วิศวธีรานนท์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจินต์ วิศวธีรานนท์)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์

ฝ่ายบัณฑิตศึกษา
โทร. 0 2503 2870
โทรสาร 0 2503 3566 -7

ที่ ศธ 0522.16 (บ)/ ๒๖

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

๒๐ กุมภาพันธ์ 2551

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาทดลองเครื่องมือ

เรียน ผู้อำนวยการ กฟส. สกศ. รร.จปร.

เนื่องด้วย พันไทธัญญะ โพธิ์รัง นักศึกษาหลักสูตรบัณฑิตศึกษา แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองวิชากลศาสตร์ สำหรับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ในการนี้ นักศึกษาจำเป็นจะต้องทดลองใช้เครื่องมือในการวิจัยโดยนักเรียนโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ทั้งนี้ จะมิให้เป็นการรบกวนเวลาเรียนตามปกติของนักเรียน และผลการวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์แก่งานวิชาการสืบไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่านในการอนุญาตให้นักศึกษาได้ทดลองเครื่องมือ ตามวันเวลา และรายละเอียดที่นักศึกษาเสนอมาพร้อมนี้ หวังว่าจะได้รับความกรุณาจากท่านและขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจินต์ วิศวธีรานนท์)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์

ฝ่ายบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-503-2870
โทรสาร 02-503-2870

ที่ ศธ 0522.16 (บ)/ 96

สาขาวิชาศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด
จังหวัดนนทบุรี 11120

12 กุมภาพันธ์ 2551

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษาเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการ กฟส. สกศ. รร.จปร.

เนื่องด้วย พันโทธัญญะ ไพธีรัง นักศึกษาหลักสูตรบัณฑิตศึกษา แขนงวิชาหลักสูตรและการสอน สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสร้างชุดทดลองวิชากลศาสตร์ สำหรับนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 1 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ในการนี้ นักศึกษาจำเป็นจะต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัยจากกองวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ในการอนุญาตให้นักศึกษาดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย ตาม วัน เวลา และรายละเอียดที่นักศึกษาเสนอมาพร้อมนี้ หวังว่าจะได้รับความกรุณาจากท่านและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจินต์ วิศวธีรานนท์)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาศึกษาศาสตร์

ฝ่ายบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-503-2870
โทรสาร 02-503-2870

# ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- ใบเนื้อหา
- วัตถุประสงค์การทดลอง
- อุปกรณ์การทดลอง
- วิธีการทดลอง
- วิธีใช้เครื่องนับสัญญาณแบบดิจิตอล และตัวตรวจวัดสัญญาณ
- ตารางบันทึกผลการทดลอง
- ใบงาน ( แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ )

# ใบเนื้อหาการทดลอง
# เรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง

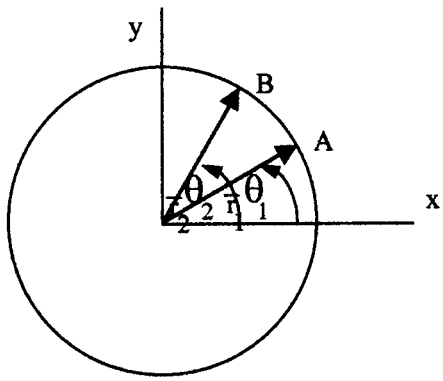
**วัตถุประสงค์**

หลังจากการทดลองครั้งนี้เสร็จแล้วนักเรียนนายร้อยจะมีความสามารถ

1. เข้าใจทฤษฎีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมแบบสมบูรณ์ได้
2. คำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลางได้
3. เปรียบเทียบผลการทดลองกับทฤษฎีแรงสู่ศูนย์กลางได้
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงสู่ศูนย์กลางได้
5. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกลับของสปริงแบบแขวนกับมวลและแรงดึงกลับของสปริงแบบแขวนกับรัศมีได้

การเคลื่อนที่เป็นวงกลมของอนุภาคใด ๆ ย่อมมีความเร่ง และพบว่าความเร่งนี้มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลมเสมอ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบ x y ดังรูป

1. ขณะที่เวลา $t_1$ กับ $t_2$ อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่ง A กับ B ซึ่งมีเวกเตอร์บอกตำแหน่งจากศูนย์กลาง O เป็น $\vec{r}_1$ กับ $\vec{r}_2$ โดยทำมุมกับแกน x เป็น $\theta_1$ และ $\theta_2$ เรเดียน ตามลำดับ




**ภาพที่ 1** อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบ x y

ในช่วงเวลา $t = t_2 - t_1$ มุมที่เปลี่ยนไประหว่างจุด A และ B คือ $\theta = \theta_2 - \theta_1$ ถ้า $\omega_{av}$ แทนอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ยของอนุภาคมีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

$$\omega_{av} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_1 - t_2} \qquad (1)$$

และ $\omega$ แทนอัตราเร็วเชิงมุมขณะใดขณะหนึ่ง

$$\omega = \frac{\lim}{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \qquad (2)$$

จากภาพที่ 1 ให้ R คือ รัศมีวงกลมที่อนุภาคเคลื่อนที่

$\Delta s$ คือ ความยาวส่วนโค้ง AB

V คือ อัตราเร็วเชิงเส้นขณะหนึ่ง

สามารถหาอัตราเร็วเชิงเส้นสัมพันธ์กับอัตราเร็วเชิงมุม ได้ดังนี้

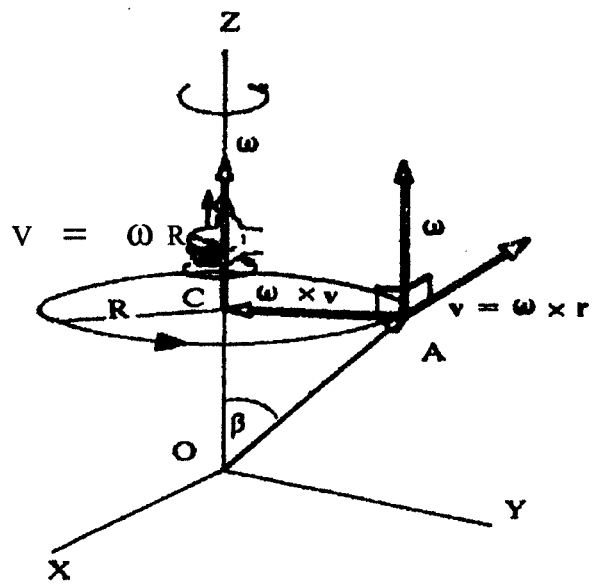
$$\Delta\theta = \frac{\Delta s}{R} \qquad (3)$$

$$\frac{\lim}{\Delta t \to o} \quad \frac{\Delta s}{\Delta t} = R \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

$$\frac{ds}{dt} = \omega R$$

ดังนั้นอัตราเร็วขณะหนึ่ง

$$v = \omega R \qquad (4)$$




**ภาพที่ 2** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของอนุภาค

พิจารณาภาพที่ 2 อนุภาคเคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมี R อยู่ในระนาบที่ขนานกับ x y โดยแกน z ผ่านศูนย์กลางของวงกลม C และในขณะที่อนุภาคอยู่ที่ A มีเวกเตอร์บอกตำแหน่ง $\vec{r}$ ซึ่งทำมุม $\beta$ กับแกน z

โดย $R = r \sin \beta$

อัตราเร็วของอนุภาคที่จุด A

$$V = \omega R = \omega r \sin \beta$$

สำหรับทิศของความเร็วเชิงมุมให้กำหนดตามกฎมือขวา ดังภาพที่ 2 คือ $\hat{k}$

ดังนั้น
$$\vec{\omega} = \frac{d\theta}{dt} \hat{k} \qquad (5)$$

ถ้า $\hat{v}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของ $\vec{V}$ ที่ A ความเร็วเชิงเส้นของอนุภาคจะเขียนได้

$$\vec{V} = \omega r \sin \beta \hat{v}$$

$$\vec{V} = \vec{\omega} \times \vec{r} \qquad (6)$$

ซึ่งสมการ (6) เมื่อจุด 0 อยู่บนแกนหมุนของอนุภาค

จากการศึกษาการเคลื่อนที่เป็นวงกลม เราทราบว่ามีความเร็วเชิงเส้น ความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงเส้น $a_r$ และความเร่งสู่ศูนย์กลาง $a_c$ แสดงได้ดังสมการ

$$a_r = \alpha R \qquad (7)$$

$$a_c = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R \qquad (8)$$

หรือพิจารณาจาก

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{\omega} \times \vec{r})$$

$$= \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \qquad (9)$$

เมื่อ $\vec{\omega}$ คงที่ จะได้ $\frac{d\vec{\omega}}{dt} = 0$

สมการ (9) จะได้

$$\vec{a} = \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt}$$

และจาก $\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$

ดังนั้น $\vec{a} = \vec{\omega} \times \vec{v}$ (10)

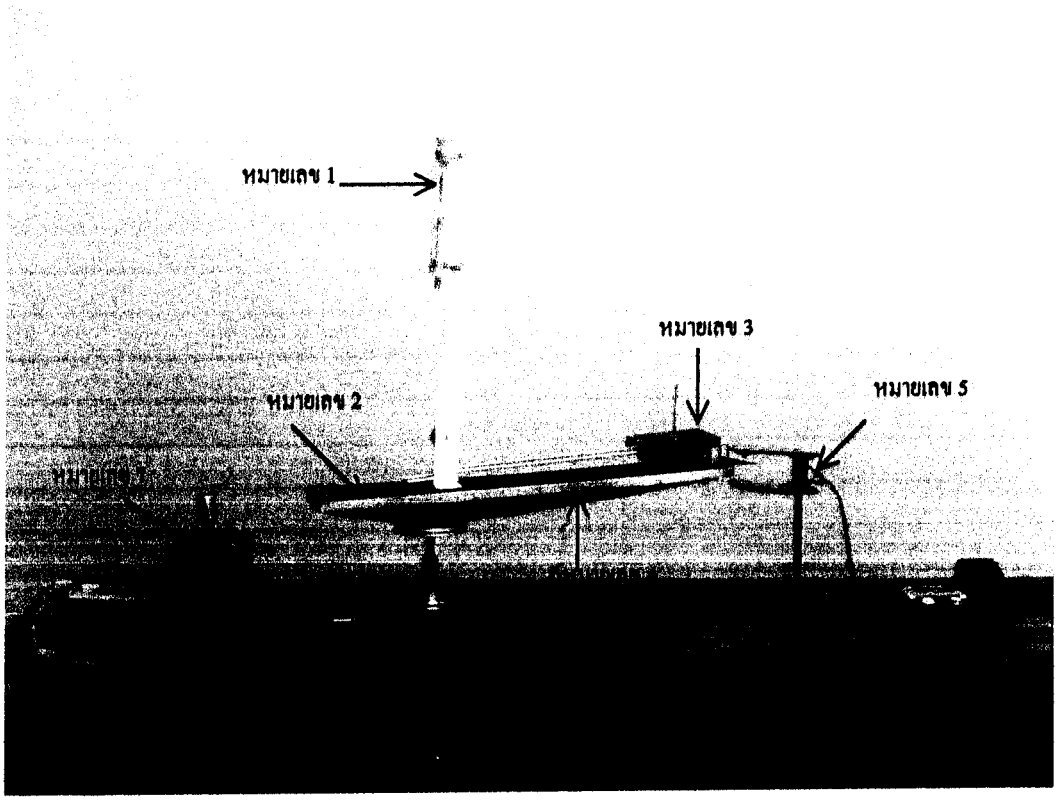
หรือ $\vec{a} = \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{v})$ (11)

สมการ (11) คือ ความเร่งเข้าสู่ศูนย์กลางของวงกลม

ดังนั้น แรงสู่ศูนย์กลางสามารถแสดงได้ ดังสมการ

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\omega^2 R = \frac{mv^2}{R} \quad (12)$$

แสดงชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลางที่สร้างขึ้น




ส่วนประกอบของอุปกรณ์

หมายเลข 1 เครื่องชั่งสปริง

หมายเลข 2 รางพลาสติก

หมายเลข 3 รถทดลอง

หมายเลข 4 สเกลวัดระยะทาง

หมายเลข 5 ส่วนตรวจวัดสัญญาณ (Sensor)

หมายเลข 6 มอเตอร์ไฟฟ้า

หมายเลข 7 เครื่องนับสัญญาณ

**วิธีใช้เครื่องนับสัญญาณแบบดิจิทัลและตัวตรวจวัดสัญญาณ**

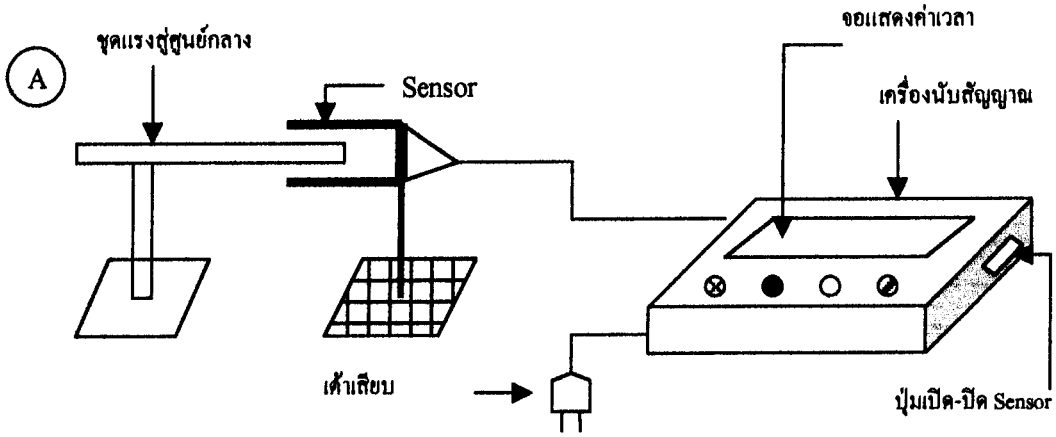
หน้าที่ของปุ่มกดและเปิด-ปิด

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ⊗ | ปุ่มสีแดง | มีหน้าที่ | เริ่มการทำงาน เป็นเมนูคำสั่ง | ย่อ | เมนู |
| ● | ปุ่มสีเหลือง | มีหน้าที่ | เริ่มต้นนับค่าใหม่ | ย่อ | ตั้งค่า |
| ○ | ปุ่มสีเขียว | มีหน้าที่ | เริ่มและหยุดโดยไม่ใช้ Sensor | ย่อ | เริ่ม |
| ⊘ | ปุ่มสีน้ำเงิน | มีหน้าที่ | ล้างข้อมูล | ย่อ | ล้างค่า |
| ▭ | ปุ่มเปิด – ปิด | มีหน้าที่ | เปิด – ปิด การทำงาน Sensor | ย่อ | เปิด/ปิด |

**วิธีการใช้งาน**

1. ติดตั้งอุปกรณ์ ดังภาพ

แสดงการติดตั้งเครื่องนับสัญญาณ และ Sensor




2. เสียบเต้าเสียบ (สังเกต จะได้ยินเสียง " ติ๊ก " ของรีเลย์ ถ้าปุ่มเปิด-ปิด กำลังอยู่ในสถานะเปิด ถ้าไม่มีเสียงแสดงว่า ปุ่มเปิด – ปิด อยู่ในสถานะ ปิด อยู่แล้วก็ใช้ได้เลย ถ้ายังไม่ปิดให้กดปิด ในตัวปุ่มเปิด-ปิด

3. กดปุ่มสีแดง 1 ครั้ง เข้าเมนูจับเวลา

4. ตั้งค่าความเร็วรอบเครื่อง (A) ให้คงตัว

5. กดปุ่มเปิดการทำงานของ Sensor ด้านขวามือ

7. สังเกตการตัดของ Sensor 1 รอบ จะได้เวลาออกมา อ่านค่าเวลาจากแสดงค่าเวลา

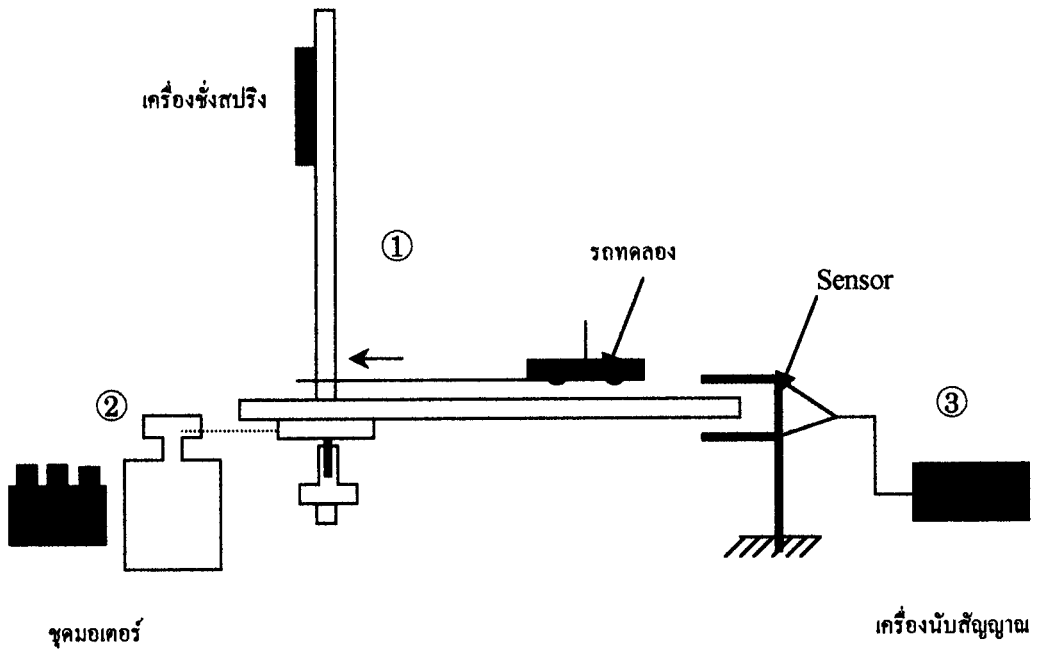
7. กดปุ่มสีน้ำเงิน 2 ครั้ง เพื่อล้างค่าคำสั่ง

8. กดปุ่มสีเหลือง เมื่อต้องการจับเวลาการทำงานใหม่

9. กดปิดปุ่มด้านขวามือ และทำซ้ำข้อ 4 – 8

อุปกรณ์การทดลอง

มีลำดับขั้นการประกอบชุดการทดลอง ดังภาพที่ 3




**ภาพที่ 3** แสดงลำดับขั้นการประกอบชุดการทดลองแรงสู่ศูนย์กลาง

ขั้นตอนการประกอบ มีลำดับการประกอบ ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลาง หมายเลข ① ซึ่งประกอบด้วย รถทดลอง เครื่องชั่งสปริง และโครงรางพลาสติก

ขั้นที่ 2 ติดตั้งชุดมอเตอร์ หมายเลข ② แล้วโยงสายพานเข้ากับ หมายเลข ①

ขั้นที่ 3 ติดตั้งชุดอิเล็กทรอนิกส์ หมายเลข ③ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องนับสัญญาณ และตัว Sensor

**วิธีการทดลอง**

**ตอนที่ 1** หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับมวล

1. ติดตั้งชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลาง ดังภาพที่ 11

2. เริ่มทดลองโดยกดปุ่มที่ 1 ของมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุน ให้ปรับความเร็วให้เหมาะสมจนกระทั่งความเร็วคงที่ กดปุ่มสีแดง 1 ครั้ง ที่เครื่องนับสัญญาณเวลาแบบดิจิทัล เพื่อเข้าเมนูจับเวลา และกดปุ่มเปิดการทำงานของ Sensor ที่ด้านข้างของเครื่องนับสัญญาณเวลาแบบดิจิทัล เพื่อจับเวลาครบ 1 รอบ นำค่าเวลาที่อ่านได้ไปคำนวณหาความเร็วเชิงมุม ($\omega$) ก่อน แล้ว

จึงนำไปบันทึกผลลงในช่องว่างที่กำหนดให้ ในขณะนั้นให้อ่านค่าแรงดึงกลับของสปริง ซึ่งเกิดจากแรงเหวี่ยงของมวลรถ นำค่าที่คำนวณและอ่านได้บันทึกผลลงในตารางที่ 1 และอ่านค่ารัศมีของรถทดลอง ซึ่งเคลื่อนที่บนรางจากจุดหมุนถึงศูนย์ถ่วงของรถทดลอง บันทึกค่าลงในตารางที่ 1 (ถ้าอ่านค่ารัศมีไม่ทันให้ปิดมอเตอร์ แล้วดึงรถทดลองออกจนกระทั่งแรงดึงกลับของสปริงเท่ากับค่าที่อ่านได้ก่อนหน้านี้แล้วจึงอ่านค่ารัศมี)

3. เมื่อทำการทดลองข้อ 2 เรียบร้อยแล้ว ให้ปิดมอเตอร์ กดปุ่มสีน้ำเงิน 2 ครั้ง เพื่อล้างค่าคำสั่งที่เครื่องนับสัญญาณเวลาแบบดิจิทัล และกดปุ่มสีเหลืองเพื่อต้องการจับเวลาการทำงานใหม่

4. เพิ่มมวลบนรถครั้งละ 10 กรัม, 20 กรัม, 30 กรัม, 40 กรัม และ 50 กรัม แล้วทำการทดลองตามลำดับข้อที่ 2, 3 (ทุกครั้งที่ทำการทดลองต้องกดปุ่มสีน้ำเงิน 2 ครั้ง ทุกครั้งที่ทำการทดลอง)

**ตอนที่ 2** หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางกับความเร็วเชิงมุม

1. กำหนดมวลรถทดลองและมวลที่เพิ่มให้คงตัว (มวลเพิ่มใช้ 10 กรัม)

2. ทำการทดลองตามลำดับข้อ 2, 3 ของการทดลองตอนที่ 1 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ 2

3. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 โดยเปลี่ยนความเร็วมอเตอร์เพิ่มขึ้นอีก 2 ค่า ทำการทดลองจนครบทั้ง 2 ครั้ง แล้วบันทึกค่าลงในตารางที่ 2 (ทุกครั้งที่ทำการทดลองต้องกดปุ่มสีน้ำเงิน 2 ครั้ง แล้วจึงกดปุ่มสีเหลืองเมื่อต้องการจับเวลาครั้งใหม่)

**สิ่งที่ต้องทำหลังการทดลอง**

**ตอนที่ 1**

1. คำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลางแล้วบันทึกลงในตารางที่ 1

2. เขียนกราฟ 2 รูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกลับของสปริงแบบแขวนกับมวล และแรงดึงกลับของสปริงแบบแขวนกับรัศมีตามลำดับในตารางที่ 1 (แกน Y คือ แรงดึงกลับของสปริง แกน X คือ มวล และรัศมี)

3. หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงสู่ศูนย์กลาง บันทึกลงในตารางที่ 1

**ตอนที่ 2**

1. คำนวณหาแรงสู่ศูนย์กลาง แล้วบันทึกลงในตารางที่ 2

2. หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงสู่ศูนย์กลาง บันทึกลงในตารางที่ 2

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

**เรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง**

ชื่อผู้ทดลอง 1. นนร. .....ชั้นปีที่.....ตอน.....เลขที่.....

2. นนร. .....ชั้นปีที่.....ตอน.....เลขที่.....

3. นนร. .....ชั้นปีที่.....ตอน.....เลขที่.....

4. นนร. .....ชั้นปีที่.....ตอน.....เลขที่.....

**ตารางที่ 1** ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางกับมวล

ความเร็วเชิงมุม ($\omega$) คงตัว เท่ากับ.....rad/s (คงที่)

มวลรถทดลอง.....กรัม

| มวล x $10^{-3}$ (kg) เพิ่มบนตัวรถทดลอง | แรงดึงกลับของสปริง (N) | คาบ (s) | รัศมี (m) | แรงสู่ศูนย์กลาง (N) จากคำนวณ | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงสู่ศูนย์กลาง |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 40 | | | | | |
| 50 | | | | | |

**ตารางที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางกับความเร็วเชิงมุม

มวลรถทดลองรวมมวลที่เพิ่ม.....kg (คงที่)

| ครั้งที่ | แรงดึงกลับของสปริง (N) | คาบ (S) | ความเร็วเชิงมุม $\omega$( rad/s) | แรงสู่ศูนย์กลาง (N) จากคำนวณ | รัศมีการหมุน (m) | เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแรงสู่ศูนย์กลาง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |

# ใบงาน

ชื่อผู้ทดลอง นนร. .....ชั้นปีที่.....ตอน.....เลขที่.....

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ (ข้อละ 1 คะแนน)

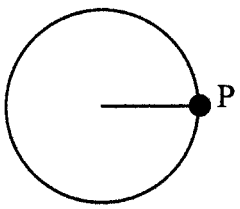
1. จากการทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง เมื่อรถทดลองเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับ ปริมาณใดที่นำไปเขียนกราฟแล้วได้กราฟเส้นตรง
   1. จำนวนน้ำหนักกับรัศมี เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมคงตัว
   2. จำนวนน้ำหนักกับแรงดึงกลับของสปริง เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมคงตัว
   3. รัศมีกับแรงดึงกลับของสปริง เมื่ออัตราเร็วเชิงมุมคงตัว
   4. รัศมีกับคาบ เมื่อจำนวนน้ำหนักคงที่

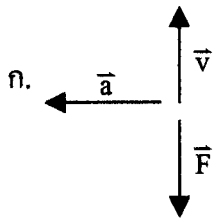
   คำตอบ

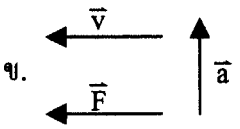
   ก. ข้อ 3 เท่านั้น ข. ข้อ 2, 3 เท่านั้น

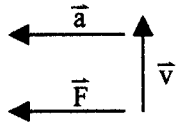
   ค. ข้อ 1, 3 เท่านั้น ง. ข้อ 2, 4 เท่านั้น

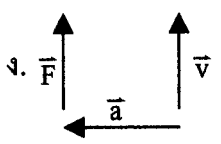
   จ. เป็นแบบอื่น ๆ
2. จากการทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง เมื่อรถทดลองหมุนเป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ ถ้าขณะหนึ่งรถทดลองมาอยู่ ณ ตำแหน่ง P ดังรูป เวกเตอร์ระหว่างความเร็ว $\vec{v}$ ความเร่ง $\vec{a}$ และแรง $\vec{F}$ ที่กระทำต่อรถทดลองในข้อต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

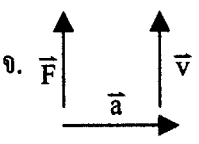



ก.



ข.



ค.



ง.



จ.


3. 1. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอนั้น ต้องมีแรงกระทำต่อวัตถุอยู่ตลอดเวลา
   2. ความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา นั่นคือวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งตลอดเวลา

   ข้อ 1 และ 2 เชื่อมโยงโดยใช้ความรู้ข้อใด

   ก. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน
   ข. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน
   ค. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน
   ง. กฎการเคลื่อนที่ทั้ง 3 ข้อของนิวตัน
   จ. จากนิยามของความเร่ง

4. อนุภาคตัวหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมในระนาบด้วยอัตราเร็วเชิงมุมคงตัว คำกล่าวต่อไปนี้ข้อใด<u>ผิด</u>

   ก. ณ จุดใด ๆ ที่ตรงข้ามกันบนวงกลม อนุภาคจะมีความเร็วเท่ากัน
   ข. ที่ทุก ๆ จุดบนวงกลม อนุภาคมีอัตราเร็วเท่ากัน
   ค. ที่ทุก ๆ จุดบนวงกลม ความเร่งสู่ศูนย์กลางของอนุภาค มีขนาดเท่ากัน
   ง. ที่ทุก ๆ จุดบนวงกลม แรงสู่ศูนย์กลางของอนุภาค มีขนาดเท่ากัน
   จ. คาบการโคจรของอนุภาคมีค่าคงตัว

5. จากการทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง ถ้า f เป็นความถี่ (จำนวนรอบที่รถทดลองเคลื่อนที่เป็นวงกลมใน 1 วินาที) เราจะได้ความสัมพันธ์ที่ถูกต้องคือ

   ก. $f^2 \propto R$ เมื่อจำนวนน้ำหนักคงตัว
   ข. $\frac{1}{f^2} \propto R$ เมื่อจำนวนน้ำหนักคงตัว
   ค. $f^2 \propto$ จำนวนน้ำหนัก เมื่อรัศมีการหมุนคงตัว
   ง. $f^2 \propto \frac{1}{\text{จำนวนน้ำหนัก}}$ เมื่อรัศมีการหมุนคงตัว
   จ. ถูกทั้ง ข และ ค

6. การเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ ถ้ารัศมีของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า โดยที่อัตราเร็ว ยังคงเท่าเดิม จะต้องใช้แรงสู่ศูนย์กลางเป็นอย่างไร

   ก. เท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเดิม
   ข. เท่าเดิม
   ค. เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า
   ง. เพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า
   จ. ข้อมูลไม่เพียงพอ

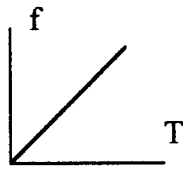
7. มวลผูกเชือกแล้วแกว่งให้เคลื่อนที่เป็นวงกลมตามแนวระดับบนพื้นลื่น เมื่อเชือกขาด มวลจะเคลื่อนที่เป็นอย่างไร

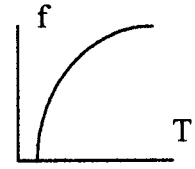
ก. วงกลม
ข. ส่วนโค้งของวงกลม
ค. วงรี
ง. พาราโบลา
จ. เส้นตรง

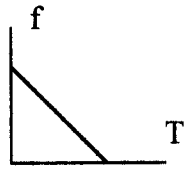
8. วัตถุ 2 ก้อน มวลเท่ากัน เคลื่อนที่เป็นวงกลมรัศมีต่างกัน แต่มีคาบของการเคลื่อนที่เท่ากัน ข้อความใดถูกต้อง

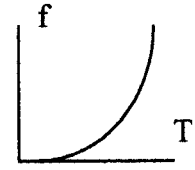
ก. ความเร่งสู่ศูนย์กลางเท่ากัน
ข. แรงสู่ศูนย์กลางเท่ากัน
ค. อัตราเร็วเชิงเส้นเท่ากัน
ง. อัตราเร็วเชิงมุมเท่ากัน
จ. ถูกทุกข้อ

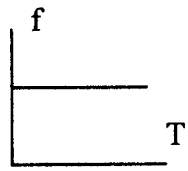
9. จากการทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง ถ้าให้รัศมีคงตัว แต่เปลี่ยนจำนวนน้ำหนักบนรถทดลอง จะพิจารณาว่ากราฟรูปไหนจะเป็นกราฟที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ ( f ) กับแรงดึงกลับของสปริง

ก.



ข.



ค.



ง.



จ.


10. จงพิจารณาคำกล่าวต่อไปนี้

1. แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอนั้นไม่ได้ทำให้เกิดงานเพราะ
2. แรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลมมีทิศตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

คำตอบที่ถูกต้อง คือ ข้อใด

ก. คำกล่าว 1 และ 2 ถูก และ 2 เป็นเหตุผลของ 1

ข. คำกล่าว 1 และ 2 ถูก แต่ 2 ไม่เป็นเหตุผลของ 1

ค. คำกล่าว 1 ถูก แต่ 2 ผิด

ง. คำกล่าว 1 ผิด แต่ 2 ถูก

จ. คำกล่าวทั้งสองผิด

**แบบการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**
**เกี่ยวกับการสร้างชุดทดลอง**
**เรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง**
**ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า**

แบบประเมินผลชุดนี้เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการใช้ชุดทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทดลองในวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป 1 PH 1002 ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

**คำชี้แจง** แบบประเมินผลชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 สอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดทดลอง ซึ่งแบ่งคำถามออกเป็น 3 ส่วน คือ คุณลักษณะของชุดทดลอง คุณลักษณะของใบเนื้อหาและใบงาน ประสิทธิภาพในการทดลอง

ตอนที่ 2 สอบถามเพื่อขอคำแนะนำ และข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ

**ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับชุดทดลอง**

**คำชี้แจง** 1. กรุณาอ่านคำแนะนำก่อนตอบแบบสอบถาม

2. แบบสอบถามทั้งหมดมี 24 ข้อ แต่ละข้อมีคำถามอยู่ทางซ้ายมือ และมีมาตราส่วนประมาณค่ากำกับไว้แต่ละข้อ โดยให้ขีด ✓ ลงในช่องทางขวามือที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน คือ

| | | |
|---|---|---|
| ดีมาก | มีค่าเท่ากับ | 5 |
| ดี | มีค่าเท่ากับ | 4 |
| ปานกลาง | มีค่าเท่ากับ | 3 |
| พอใช้ | มีค่าเท่ากับ | 2 |
| ควรปรับปรุง | มีค่าเท่ากับ | 1 |

ตัวอย่าง

| ข้อที่ | คำถามขอความคิดเห็น | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ❁ | ชุดทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง สามารถนำไปใช้งานได้ | ✓ | | | | |

จากตัวอย่างข้อที่ ❁ หมายความว่า ชุดทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลางสามารถนำไปใช้ทดลองได้ดีมาก มีค่าเท่ากับ 5 แต่ถ้าชุดทดลองนี้สามารถนำไปใช้งานได้ดีมากน้อย แตกต่างออกไปก็ให้ขีดเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องระดับคะแนนตามความคิดเห็นของท่าน

**ตารางที่ 1** แบบประเมินของผู้เชี่ยวชาญ

ตารางข้อคำถามเพื่อทำการประเมินชุดการทดลองเรื่อง แรงสู่ศูนย์กลาง

| ข้อที่ | คำถามขอความคิดเห็น | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **คุณลักษณะของเครื่องทดลอง** | | | | | |
| 1 | เครื่องทดลองมีขนาดเหมาะสม | | | | | |
| 2 | ในขณะทดลองมีความปลอดภัย | | | | | |
| 3 | อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเครื่องมีความทันสมัย | | | | | |
| 4 | อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเครื่องมีความแข็งแรง | | | | | |
| 5 | ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องทดลองคุ้มกับประโยชน์ที่ได้รับ | | | | | |
| 6 | ประสิทธิภาพของเครื่องเหมาะสม | | | | | |
| 7 | ค่าบำรุงรักษาต่ำ | | | | | |
| 8 | ง่ายต่อการเก็บรักษา | | | | | |
| | **คุณลักษณะของใบเนื้อหาและใบงาน** | | | | | |
| 9 | วัตถุประสงค์ในการทดลองมีความเหมาะสม | | | | | |
| 10 | เนื้อหาน่าสนใจ | | | | | |
| 11 | เนื้อหาทางทฤษฎีมีความสัมพันธ์กันอย่างดีกับเครื่องทดลอง | | | | | |
| 12 | ตารางบันทึกข้อมูลง่ายต่อการศึกษา | | | | | |
| 13 | ตารางบันทึกข้อมูลมีความเหมาะสม | | | | | |
| 14 | ภาษาที่ใช้อ่านเข้าใจง่าย | | | | | |
| 15 | บอกลำดับขั้นการทดลองได้อย่างชัดเจนตามลำดับขั้น | | | | | |
| 16 | มีความสะดวกในการประเมินผลการศึกษา | | | | | |
| | **ประสิทธิภาพในการทดลอง** | | | | | |
| 17 | ผลการทดลองชัดเจนตามทฤษฎี | | | | | |
| 18 | การเตรียมชุดทดลองมีความสะดวก | | | | | |
| 19 | การปฏิบัติการทดลองมีความสะดวก | | | | | |
| 20 | ลักษณะของชุดทดลองก่อให้เกิดแรงจูงใจ | | | | | |
| 21 | การปฏิบัติการทดลองก่อให้เกิดแรงจูงใจ | | | | | |
| 22 | สามารถใช้เครื่องทดลองทำการทดลองได้ครอบคลุมทุกวัตถุประสงค์ | | | | | |
| 23 | นักเรียนนายร้อยมีกิจกรรมในระหว่างการทดลอง | | | | | |
| 24 | เวลาที่ใช้ในการทดลองเหมาะสม | | | | | |
| | คะแนนรวมแต่ละช่อง | | | | | |
| | คะแนนรวมทุกช่อง ( 120 คะแนน ) | | | | | |

**ตอนที่ 2ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ**

**คำชี้แจง** โปรดแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

1. ความคิดเห็นอื่น ๆ เกี่ยวกับคุณลักษณะของชุดทดลอง.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่น ๆ เกี่ยวกับคุณลักษณะของใบเนื้อหา.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่น ๆ เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทดลอง.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

4. ความคิดเห็นทั่วไป.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

ผู้ทำการประเมิน.....

( )

วันที่ทำการประเมิน...../...../.....

## ภาคผนวก ค

1. ตารางการวิเคราะห์ ค่าความยาก ( p ) ค่าอำนาจจำแนก ( r ) ของแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
2. ตารางแสดงคะแนนทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียน สำหรับการทดสอบแบบเดี่ยว แบบกลุ่ม กลุ่มตัวอย่าง และค่า t

ตารางวิเคราะห์ค่าความยาก (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเที่ยง ($r_{tt}$) ของแบบทดสอบ **ก่อนเรียนและหลังเรียน**

| ข้อ | ค่าความยาก (p) | ค่าอำนาจจำแนก (r) | ผลการวิเคราะห์ p | r | ค่าความเที่ยงทั้งฉบับ $r_{tt}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.66 | 0.31 | ค่อนข้างง่าย | ค่อนข้างต่ำ | 0.63 |
| 2 | 0.56 | 0.63 | ปานกลาง | ปานกลาง | |
| 3 | 0.68 | 0.35 | ค่อนข้างง่าย | ค่อนข้างต่ำ | |
| 4 | 0.54 | 0.46 | ปานกลาง | ปานกลาง | |
| 5 | 0.46 | 0.62 | ปานกลาง | ปานกลาง | |
| 6 | 0.50 | 0.25 | ปานกลาง | ค่อนข้างต่ำ | |
| 7 | 0.68 | 0.44 | ค่อนข้างง่าย | ปานกลาง | |
| 8 | 0.56 | 0.63 | ปานกลาง | ปานกลาง | |
| 9 | 0.50 | 0.50 | ปานกลาง | ปานกลาง | |
| 10 | 0.66 | 0.31 | ค่อนข้างง่าย | ปานกลาง | |

ตารางแสดงคะแนนทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียนสำหรับการทดลองแบบเดี่ยว

| คนที่ | ก่อนเรียน | หลังเรียน |
|---|---|---|
| 1 | 4 | 18 |
| 2 | 10 | 20 |
| 3 | 17 | 27 |
| รวม | 31 | 65 |
| เฉลี่ย | 10.33 | 21.67 |

ตารางแสดงคะแนนทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียนสำหรับการทดลองแบบกลุ่ม

| คนที่ | ก่อนเรียน | หลังเรียน |
|---|---|---|
| 1 | 8 | 18 |
| 2 | 10 | 20 |
| 3 | 17 | 27 |
| 4 | 18 | 18 |
| 5 | 15 | 24 |
| 6 | 9 | 27 |
| 7 | 16 | 30 |
| 8 | 19 | 26 |
| 9 | 15 | 19 |
| รวม | 127 | 209 |
| เฉลี่ย | 14.11 | 23.22 |

ตารางแสดงคะแนนทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียนสำหรับการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

| คนที่ | ก่อนเรียน | หลังเรียน |
|---|---|---|
| 1 | 6 | 18 |
| 2 | 10 | 15 |
| 3 | 7 | 15 |
| 4 | 7 | 18 |
| 5 | 12 | 22 |
| 6 | 7 | 13 |
| 7 | 8 | 17 |
| 8 | 14 | 20 |
| 9 | 6 | 15 |
| 10 | 8 | 13 |
| 11 | 16 | 19 |
| 12 | 10 | 20 |
| 13 | 12 | 19 |
| 14 | 9 | 18 |
| 15 | 15 | 21 |
| 16 | 8 | 17 |
| 17 | 7 | 15 |
| 18 | 6 | 15 |
| 19 | 6 | 14 |
| 20 | 9 | 18 |
| 21 | 7 | 16 |
| 22 | 8 | 19 |
| 23 | 8 | 17 |
| 24 | 17 | 24 |
| 25 | 8 | 16 |
| 26 | 9 | 19 |

ตารางแสดงคะแนนทดสอบก่อนเรียนและทดสอบหลังเรียนสำหรับการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

| คนที่ | ก่อนเรียน | หลังเรียน |
|---|---|---|
| 27 | 14 | 21 |
| 28 | 6 | 17 |
| 29 | 4 | 15 |
| 30 | 11 | 20 |
| 31 | 10 | 16 |
| 32 | 13 | 19 |
| 33 | 9 | 17 |
| 34 | 15 | 22 |
| 35 | 16 | 21 |
| 36 | 6 | 15 |
| 37 | 17 | 27 |
| 38 | 4 | 14 |
| 39 | 11 | 22 |
| 40 | 12 | 23 |
| 41 | 11 | 21 |
| 42 | 8 | 19 |
| 43 | 8 | 15 |
| 44 | 2 | 14 |
| 45 | 18 | 25 |
| 46 | 8 | 16 |
| 47 | 4 | 13 |
| 48 | 7 | 15 |
| 49 | 8 | 19 |
| 50 | 4 | 13 |
| รวม | 469 | 892 |
| เฉลี่ย | 9.38 | 17.84 |

**T-Test**

One-Sample Statistics

| | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|
| PRE | 50 | 9.3800 | 3.92735 | .55541 |
| POST | 50 | 17.8400 | 3.32805 | .47066 |

One- Sample Test

Test Value = 0

| | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower | Upper |
| PRE | 16.888 | 49 | .000 | 9.3800 | 8.2639 | 10.4961 |
| POST | 37.904 | 49 | .000 | 17.8400 | 16.8942 | 18.7858 |

**ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ**

| บทเรียนหน่วยที่ | N | ระหว่างเรียน | | | หลังเรียน | | | $E_1$ | $E_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\sum x$ | A | X | $\sum x$ | B | X | | |
| 1. การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ | 50 | 410 | 10 | 8.20 | 435 | 10 | 8.70 | 82.00 | 87.00 |
| 2. การเคลื่อนที่แบบวงกลม | 50 | 413 | 10 | 8.26 | 437 | 10 | 8.74 | 82.60 | 87.40 |
| 3. การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิคอย่างง่าย | 50 | 412 | 10 | 8.24 | 261 | 6 | 8.70 | 82.40 | 87.00 |
| 4. การเคลื่อนที่แบบหมุน | 50 | 411 | 10 | 8.22 | 166 | 4 | 8.80 | 82.20 | 88.00 |
| N = 50 | | | | | $E_1 / E_2 = 82.76 / 87.50$ | | | | |

# ภาคผนวก ง

แบบสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อชุดทดลองที่สร้างขึ้น

**แบบสอบถาม**

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่แสดงความคิดเห็นที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียน และแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะที่นักเรียนต้องการ

| ข้อ | ข้อความ | เห็นด้วยอย่างยิ่ง | เห็นด้วย | ไม่แน่ใจ | ไม่เห็นด้วย | ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | การเรียนจากชุดทดลองมีความน่าสนใจ | | | | | |
| 2. | การเรียนจากชุดทดลองนักเรียนมีความเข้าใจเนื้อหามากกว่าการเรียนปกติ | | | | | |
| 3. | เนื้อหาของบทเรียนในใบงานมีการนำเสนอที่น่าสนใจ | | | | | |
| 4 | การเรียนจากชุดทดลองทำให้นักเรียนสามารถทบทวนความรู้ได้ตลอดเวลา | | | | | |
| 5. | การเรียนจากชุดทดลองทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการติดตามบทเรียน | | | | | |
| 6. | การเรียนจากชุดทดลองทำให้นักเรียนสามารถเรียนได้ด้วยตนเอง | | | | | |
| 7. | การเรียนจากชุดทดลองช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนบทเรียนล่วงหน้าได้ | | | | | |
| 8. | บทเรียนสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนทั่วไปได้ | | | | | |
| 9. | การเรียนจากชุดทดลองช่วยให้ผู้เรียนสามารถแสดงความคิดเห็นและสอบถามปัญหาได้โดยตรงกับผู้สอน | | | | | |
| 10. | นักเรียนต้องการเรียนจากชุดทดลองในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์อีก | | | | | |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

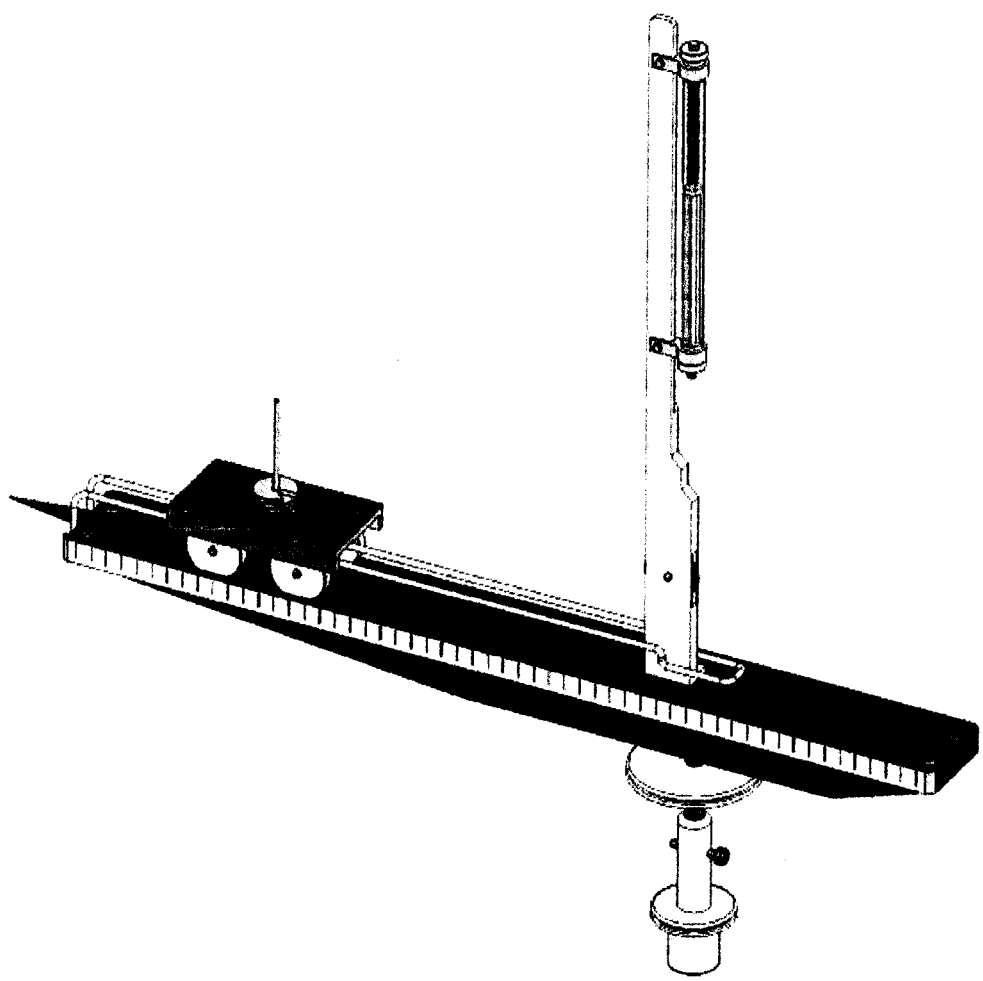
.....

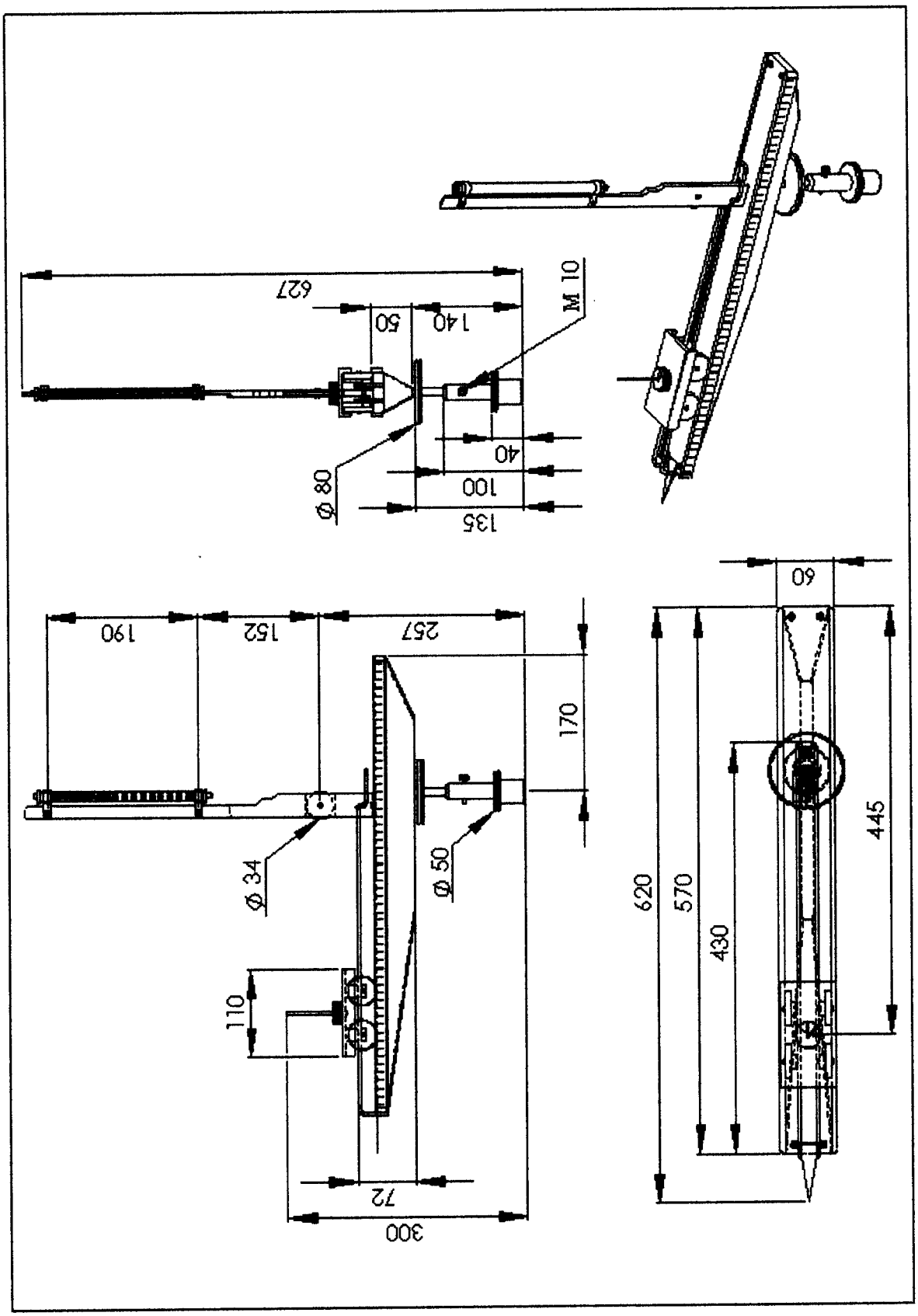
.....

# ภาคผนวก จ

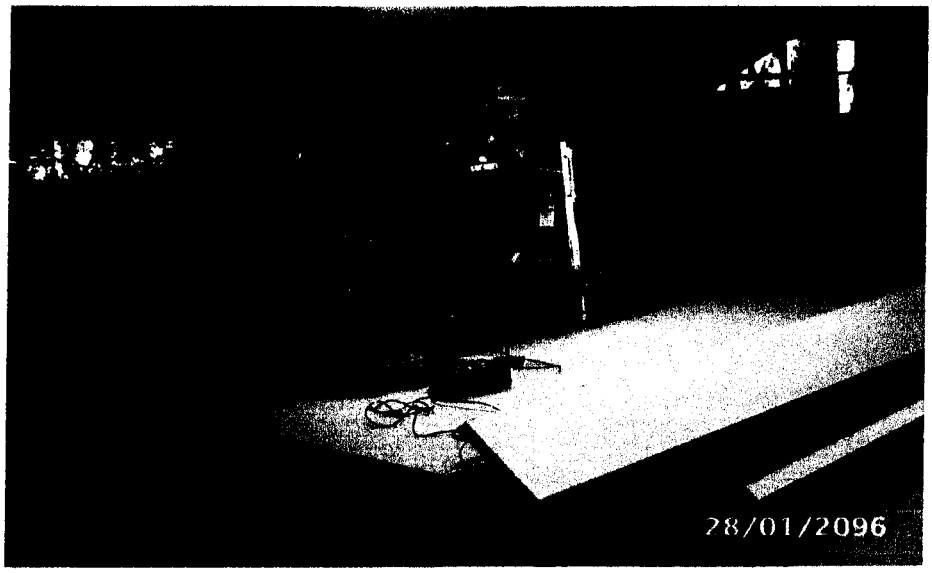
แบบโครงสร้างทางวิศวกรรมและการติดตั้งชุดทดลอง

# แบบโครงสร้างทางวิศวกรรม

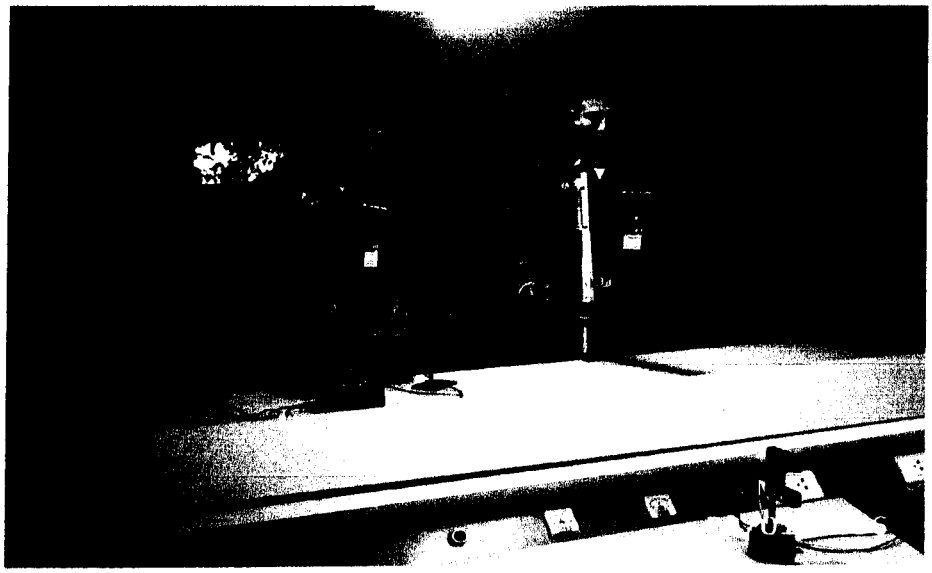



627
140
50
M 10
40
100
135
Ø 80
190
152
257
170
Ø 34
Ø 50
110
72
300
60
620
570
430
445

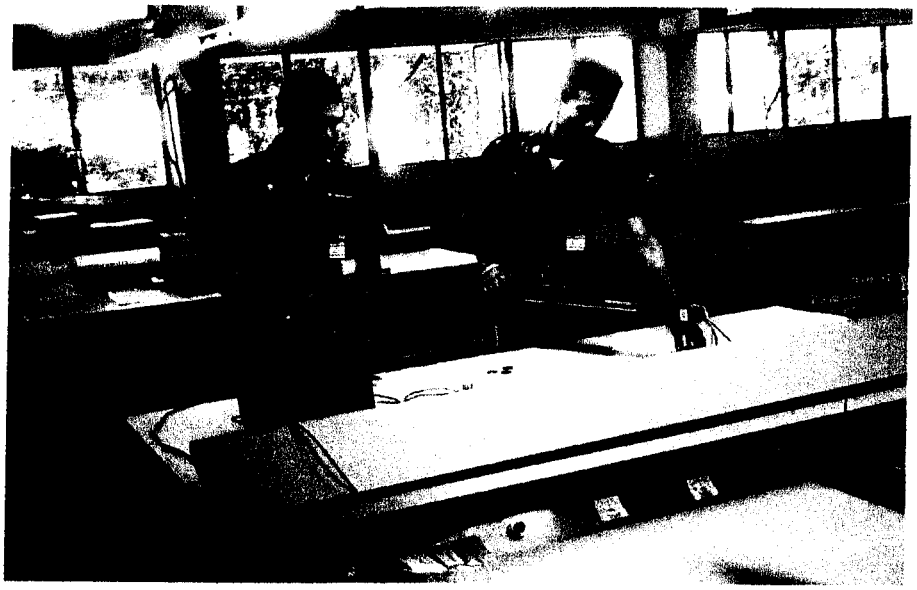
## การติดตั้งชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลาง



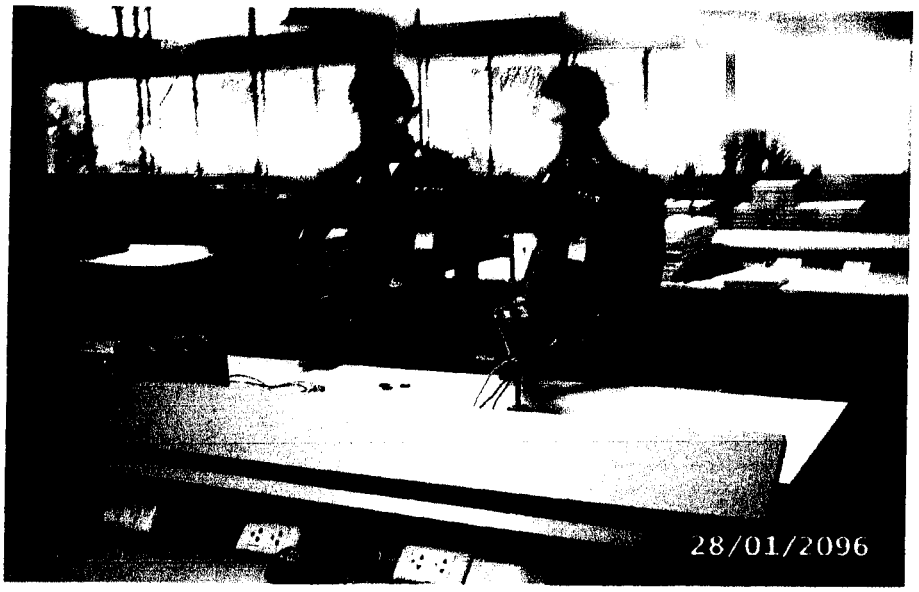

นักเรียนนายร้อยกำลังติดตั้งชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลางที่สร้างขึ้น



นักเรียนนายร้อยกำลังทดลองเก็บข้อมูลจากชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลางที่สร้างขึ้น



นักเรียนนายร้อยกำลังติดตั้งชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลางที่ผลิตมาจากประเทศเยอรมัน




นักเรียนนายร้อยกำลังทดลองเก็บข้อมูลจากชุดทดลองแรงสู่ศูนย์กลาง
ที่ผลิตมาจากประเทศเยอรมัน