การทดลองที่ 4
เรื่องสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

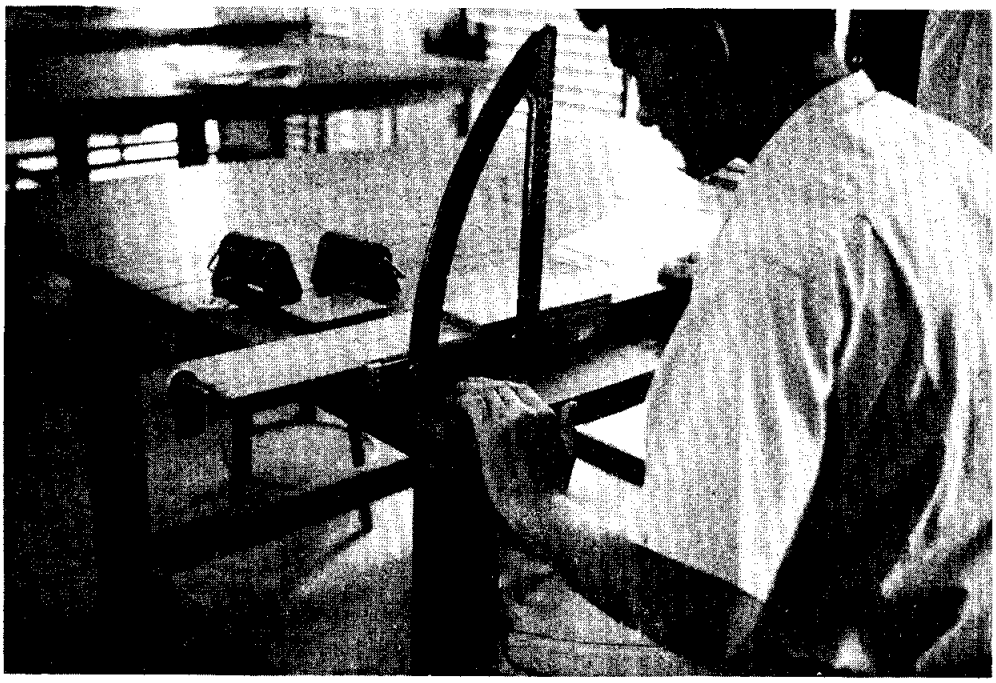
1. หาแรงต่าง ๆ ที่กระทำบนผิวสัมผัสคู่หนึ่งได้
2. หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่นั้นได้

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. ชุดทดลองหาความเสียดทานของไม้
2. น้ำหนักแบบสอดแขวน 1 ชุด
3. ไม้บรรทัด
4. จานสำหรับวางน้ำหนัก

ทฤษฎี

เมื่อเทหวัตถุอันหนึ่งลื่นไถลไปบนเทหวัตถุอีกอันหนึ่ง จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสนั้น ๆ โดยมีทิศขนานกับผิวสัมผัส แรงต้านดังกล่าวเรียกว่าแรงเสียดทาน เช่น ลากสมุดบนโต๊ะจากขวาไปซ้าย จะเกิดแรงเสียดทานแก่สมุดมีทิศไปทางขวา และในขณะเดียวกันก็เกิดแรงเสียดทานแก่โต๊ะด้วยขนาดเท่ากัน แต่มีทิศไปทางซ้าย แรงเสียดทานนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อยังไม่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น เช่น เราออกแรงในแนวระดับลากของหนัก ๆ ไปบนพื้นราบ ถ้าเราออกแรงไม่พอ ของก็ไม่เคลื่อนที่ ขณะนี้จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่เกิดขึ้นด้วยขนาดเท่ากับแรงที่เราลาก จนกระทั่งเราออกแรงพอดีที่ทำให้เทหวัตถุเริ่มต้นเคลื่อนที่ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นตอนนี้จะมีค่ามากที่สุดของเทหวัตถุคู่นั้น เมื่อเทหวัตถุเริ่มเคลื่อนที่แล้ว เราไม่ต้องใช้แรงดึงมากเท่าที่กล่าว เทหวัตถุนั้นก็ยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ จึงเห็นได้ว่าเมื่อเทหวัตถุเคลื่อนที่แล้ว แรงเสียดทานมีค่าลดน้อยลง



ภาพสไลด์แสดงการใช้เครื่องมือทดลองในการทดลองที่ 4

โดยทั่วไปแรงเสียดทานมีอยู่ 2 ชนิด คือ แรงเสียดทานสถิต (ยังไม่เคลื่อนที่) และแรงเสียดทานจลน์ (เคลื่อนที่แล้ว) จากการทดลองพบว่า แรงเสียดทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกริยาตั้งฉาก เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$f_s \leq \mu_s R \qquad \text{.....(4.1)}$$

เมื่อ f_s = แรงเสียดทานสถิต

μ_s = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานสถิต

R = แรงปฏิกริยาตั้งฉาก

เครื่องหมาย < ใช้เมื่อยังไม่มีการเคลื่อนที่ เครื่องหมาย = ใช้เมื่อเริ่มต้นเคลื่อนที่ และในกรณีที่เคลื่อนที่แล้ว เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$f_k = \mu_k R \qquad \text{.....(4.2)}$$

เมื่อ f_k = แรงเสียดทานจลน์

μ_k = สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์

R = แรงปฏิกริยาตั้งฉาก

วิธีทำ

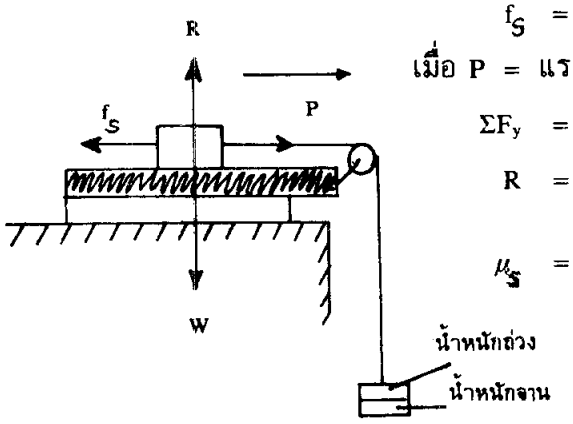
ตอนที่ 1 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อพื้นอยู่ในแนวระดับ

เมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ แสดงว่า

$$\Sigma F_x = 0$$

$$f_S = P \qquad \text{.....(4.3)}$$

เมื่อ P = แรงเนื่องจากน้ำหนักของจานและน้ำหนักถ่วง



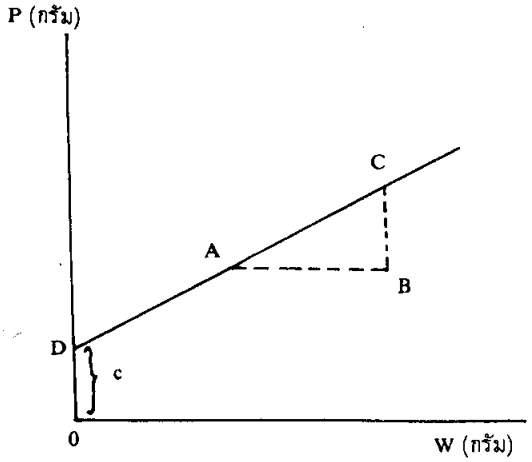
รูปที่ 4.1

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R = W \qquad \text{.....(4.4)}$$

$$\mu_S = \frac{f_S}{R} = \frac{P}{W} \qquad \text{.....(4.5)}$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่างแรงเสียดทาน**สถิต f,** หรือ P (บนแกน y) กับแรงปฏิกริยาตั้งฉาก R หรือ W (บนแกน X) จะได้กราฟเป็นเส้นตรง แสดงว่าแรง P แปรค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ W และหาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจลน์ได้จากสมการ (4.5)
ดังนั้นจากสมการของกราฟเส้นตรง จึงได้ว่า



$$P = W + c \qquad \text{.....(4.6)}$$

ถ้า W = O แสดงว่าวัตถุไม่มีน้ำหนักเลย จะได้แรง P = c คือเป็นแรงเสียดทานระหว่างรอกเชือกนั่นเอง อ่านค่า c จากกราฟ คือ OD สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานอาจหาได้จากกราฟ

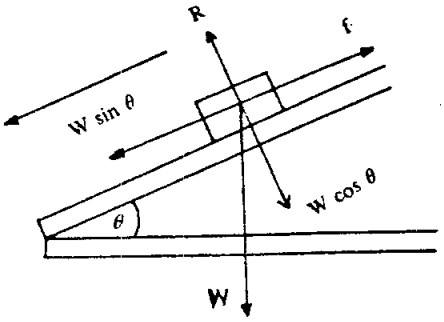
$$\mu = \frac{BC}{AB} \qquad \text{.....(4.7)}$$

รูปที่ 4.2

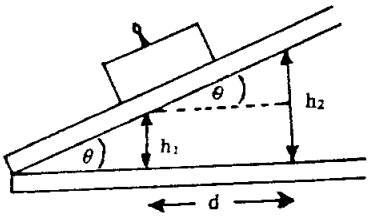
ขอให้สังเกตว่า สัมประสิทธิ์ของความเสียดทานที่หาได้จากกราฟ จะเป็นสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานที่แท้จริง ไม่มีความเสียดทานของรอกที่ใช้เข้ามาเพิ่ม จึงควรดำเนินการทดลองตามลำดับดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักวัตถุ W
2. จัดเครื่องมือดังรูป 4.1
3. ใส่น้ำหนักถ่วงที่จานทีละน้อย ใช้มือเคาะบนพื้นเบา ๆ เป็นการเตือนให้วัตถุเริ่มเลื่อนออกจากที่ (ในกรณีที่วัตถุยังไม่เคลื่อนที่เท่านั้น)
4. บันทึกน้ำหนักวัตถุ W และน้ำหนักที่ใช้ P (น้ำหนักของจาน+น้ำหนักถ่วงบนจาน)
5. เพิ่มน้ำหนักบนวัตถุโดยการวางน้ำหนักแบบสอดแขวนลงบนวัตถุครั้งละ 100 กรัม จนครบ 400 กรัม ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4
6. คำนวณค่า μ แต่ละครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของ μ สำหรับตอนที่ 1
7. เขียนกราฟระหว่าง P กับ W โดยใช้จุดเริ่มต้นจากสเกลเป็นศูนย์กรัมทั้งสองแกน หาค่า μ และ c จากกราฟ

ตอนที่ 2 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ลง จะเกิดแรงกระทำต่อวัตถุ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4

เมื่อวัตถุอยู่บนระนาบเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ น้ำหนักของวัตถุที่อยู่บนระนาบเอียงสามารถแยกออกได้เป็นสององค์ประกอบ ดังรูปที่ 4.3

องค์ประกอบที่มีทิศลงตามระนาบเอียง = $W \sin \theta$

องค์ประกอบที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบเอียง = $W \cos \theta$ .....(4.8)

ถ้า θ **เป็นมุมที่พอดี** ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลง จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

แรงที่กระทำให้วัตถุเคลื่อนที่ $F_x = W \sin \theta$

แรงต้านการเคลื่อนที่ $f_s = \mu_s R = \mu_s W \cos \theta$

$$\therefore \quad F_x = f_s$$

$$\mu_s = \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta} = \tan \theta \qquad \text{.....(4.9)}$$

ในกรณีของความเสียดทานจลน์ เมื่อ**วัตถุเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงตัว** จะได้ความสัมพันธ์ คือ

$$F_x - f_k = 0$$

$$\therefore \quad F_x = f_k$$

$$\mu_k = \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta} = \tan \theta \qquad \text{.....(4.10)}$$

จากสมการ (4.9) และ (4.10) จะเห็นได้ว่า μ_s และ μ_k มีค่าเท่ากัน ไม่ขึ้นกับน้ำหนักของ W หรือมวลของวัตถุที่วางอยู่บนระนาบเอียง

การหาค่า θ ทำได้โดยการวัดค่า h_1 และ h_2 แล้วหาค่า $h_2 - h_1$ เมื่อ h_1 และ h_2 ห่างกันเท่ากับ d ตามแนวระดับ จะหา $\tan\theta$ ได้ ตามรูปที่ 4.4

$$\tan\theta = \frac{h_2 - h_1}{d} \qquad \text{.....(4.11)}$$

จึงดำเนินการทดลองตามลำดับนี้

1. วางวัตถุบนพื้นซึ่งอยู่ตามแนวระนาบ

2. ค่อย ๆ ยกพื้นเอียงให้สูงขึ้นทีละน้อยจนวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ลงช้า ๆ อย่างสม่ำเสมอตามรูปที่ 4.3

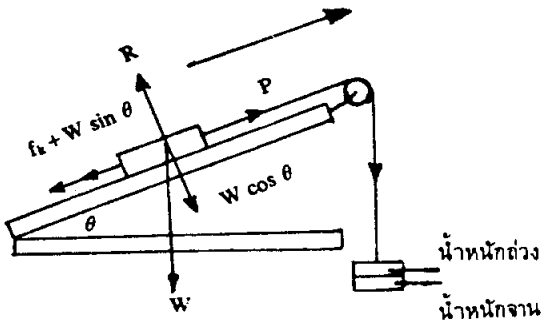
3. บันทึกน้ำหนักวัตถุและค่ามุมของพื้นเอียงที่ทำกับแนวระดับ โดยวัดค่า h_1, h_2 และ d ตามรูปที่ 4.4

4. เพิ่มน้ำหนักแบบสอดแขวนบนวัตถุครั้งละ 100 กรัมจนครบ 400 กรัม แล้วทำซ้ำข้อ 2 และข้อ 3

5. หาค่า μ แต่ละครั้ง และค่าเฉลี่ยของ μ สำหรับตอนที่ 2

ตอนที่ 3 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ขึ้น

จัดชุดพื้นเอียงดังรูปที่ 4.5 กำหนดให้พื้นเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ แรงกระทำต่อพื้นเอียง คือ



รูปที่ 4.5

$$\Sigma F_x = 0$$

$$P = f_k + W \sin\theta$$

$$f_k = P - W \sin\theta \qquad \text{.....(4.12)}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R = W \cos\theta \qquad \text{.....(4.13)}$$

$$\mu = \frac{f_k}{R}$$

$$= \frac{P - W \sin\theta}{W \cos\theta}$$

$$\mu = \frac{P}{W \cos\theta} - \tan\theta \qquad \text{.....(4.14)}$$

จึงดำเนินการทดลองตามลำดับดังนี้

1. จัดพื้นเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ ให้มุมเอียงเล็กกว่า θ ในตอนที่ 2
2. จัดชุดพื้นเอียงตามรูปที่ 4.5
3. ใส่น้ำหนักลงบนจาน ค่อย ๆ เคาะพื้นเบา ๆ จนวัตถุพอดีเคลื่อนที่ขึ้น
4. บันทึกน้ำหนักวัตถุ W และน้ำหนักที่ใช้ P
5. เพิ่มน้ำหนักแบบสอดแขวนลงบนวัตถุครั้งละ 100 กรัม จนครบ 400 กรัม แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และข้อ 4
6. หาค่า P ของแต่ละครั้งและค่าเฉลี่ยของ μ สำหรับตอนที่ 3

แสดงตัวอย่างการคำนวณแต่ละตอน ให้ μ_1, μ_2, μ_3 แทนสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานในตอนที่ 1, 2 และ 3 จากนั้นหาค่าเฉลี่ยซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างคู่สัมผัสนั่นเอง

$$\mu = 1/3\ (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)$$

หาเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า μ เป็นมาตรฐาน

สรุปประเด็นสำคัญ

โดยการหาแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุและแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก จะหาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสนั้นได้จากการคำนวณโดยตรงและจากกราฟ

กิจกรรม

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ให้อยู่ในลักษณะตามที่กำหนดให้ 3 แบบ
2. บันทึกผลการทดลองตามรายละเอียดในตารางให้ครบถ้วนและถูกต้อง

แบบทดสอบการทดลองที่ 4

1. การทดลองในตอนใดที่แสดงว่าแรงเสียดทานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก
   1. เมื่อพื้นอยู่ในแนวระดับ, P/W = คงที่
   2. เมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ลงบนพื้นเอียง, $\tan \theta$ = คงที่
   3. เมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียง, $(P/W \cos \theta) - \tan \theta$ = คงที่
   4. ถูกทุกข้อ
2. กราฟระหว่างน้ำหนักถ่วงที่พอดีทำให้วัตถุเคลื่อนที่ (P) บนพื้นระนาบกับน้ำหนักวัตถุ (W) เป็นเส้นตรงตัดกับแกนดิ่งโดยไม่ผ่านจุด (0, 0) แสดงว่าอย่างไร
   1. แรงเสียดทานแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก
   2. แรงเสียดทานระหว่างรอกกับเชือกไม่เป็นศูนย์
   3. แรงเสียดทานจลน์มากกว่าแรงเสียดทานสถิต
   4. ข้อ 1 และ 2 ถูกต้อง
3. ความชันของกราฟในข้อ 2 หมายถึงอะไร
   1. ส.ป.ส.ของความเสียดทานสถิต
   2. ส.ป.ส.ของความเสียดทานจลน์
   3. ส.ป.ส.ของความเสียดทานที่แท้จริง
   4. ข้อ 2 และ 3 ถูกต้อง
4. การเคาะพื้นเบา ๆ ขณะที่ใส่น้ำหนักถ่วงจานทีละน้อย เพื่อวัตถุประสงค์ใด
   1. เพื่อกระตุ้นให้วัตถุเขยื้อนตัวออกไป
   2. เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้น
   3. เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง
   4. เพื่อลดแรงปฏิกิริยาตั้งฉาก
5. กรรมวิธีในข้อ 4 จะใช้ในกรณีใด
   1. เมื่อพื้นอยู่ในแนวระดับ
   2. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียง
   3. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่บนพื้นเอียง
   4. ข้อ 1 และ 3 ถูกต้อง
6. ในการทดลองนี้มีแรงเสียดทานเนื่องจากกรณีใดที่จะต้องพิจารณาเพื่อหา ส.ป.ส.ของแรงเสียดทาน
   1. ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุกับพื้น
   2. ความต้านทานของอากาศ
   3. ความเสียดทานของรอกกับเชือก
   4. ข้อ 1 และ 3 ถูกต้อง
7. ความเสียดทานระหว่างรอกกับเชือกเกี่ยวข้องกับการทดลองตอนใด
   1. เมื่อพื้นอยู่ในแนวระดับ
   2. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ลงจากพื้นเอียง
   3. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ขึ้นบนพื้นเอียง
   4. ข้อ 1 และ 3 ถูกต้อง

8. เมื่อปฏิบัติตามขั้นตอนทั้งหมดในการทดลองนี้จะยังคงมีปริมาณใดที่ไม่สามารถหาได้บ้าง

1. ส.ป.ส.ของความเสียดทานสถิต 2. ส.ป.ส.ของความเสียดทานจลน์
3. ส.ป.ส.ของความเสียดทานที่แท้จริง 4. ไม่มีข้อที่ถูกต้อง

9. การหาค่ามุมของพื้นเอียงซึ่งกระทำกับพื้นระนาบในการทดลองนี้จะทำโดยวิธีใด

1. ใช้ไม้โปรแทรกเตอร์ 2. อ่านจากสเกลองศาที่ติดกับพื้นเอียง
3. วัดระยะสูงของพื้นเอียงและระยะอื่น ๆ 4. ถูกทุกข้อ

10. ในการทดลองแต่ละตอนจะต้องใช้ผิวสัมผัสคู่เดียวกันทุกขั้นตอนหรือไม่

1. คู่เดียวกันหมด 2. คู่ใดก็ได้ 3. 1 และ 2 ต่างกัน 4. 2 และ 3 เหมือนกัน

แนวตอบ

1. 4	2. 2	3. 3	4. 1	5. 4
6. 4	7. 4	8. 1	9. 2	10. 1

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง สัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

ผู้รายงาน ชื่อ.....เลขรหัส.....

ผู้ร่วมงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2. ....

3. ....

4. ....

ทำการทดลองวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....Section.....กลุ่ม.....

น้ำหนักไม้ = ...กรัม น้ำหนักจาน = ...กรัม

ตอนที่ 1 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อพื้นอยู่ในแนวระดับ

ครั้งที่	น้ำหนักวัตถุ W (กรัม)	น้ำหนักที่พอดีทำให้วัตถุเคลื่อนที่ P (กรัม)				μ
		1	2	3	เฉลี่ย	
1						
2						
3						
4						
5						
					ค่าเฉลี่ย	

ค่า μ จากกราฟ =

ค่า c จากกราฟ = (หน่วย)

ตอนที่ 2 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ลง

กำหนดให้ d = เซนติเมตร

ครั้งที่	น้ำหนักวัตถุ (กรัม)	h_2 (ซ.ม.)	h_1 (ซ.ม.)	$h_2 - h_1$ (ซ.ม.)	μ
1					
2					
3					
4					
5					
				ค่าเฉลี่ย	

ตอนที่ 3 หาสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเมื่อวัตถุพอดีเคลื่อนที่ขึ้น

$\tan\theta$ = $\cos\theta$ =

ครั้งที่	น้ำหนักวัตถุ W (กรัม)	น้ำหนักที่พอดีทำให้วัตถุเคลื่อนที่ขึ้น P (กรัม)				$\mu = \frac{P}{W\cos\theta} - \tan\theta$
		1	2	3	เฉลี่ย	
1						
2						
3						
4						
5						
					ค่าเฉลี่ย	

ตารางสรุปสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานจากการทดลองทั้งสามตอน

	μ_{ave}	% error
μ_1 μ_2 μ_3 $\mu_{expt} = \frac{1}{3}(\mu_1+\mu_2+\mu_3)$		

วิธีคำนวณ

สรุปผลการทดลอง