ชุดทดลองโฟโตเกท

Photogate Set

nu lambda x phyphox series

Nu Lambda Scientific Co., Ltd.

เอกสารฉบับนี้สามารถ download ได้จาก nulambdasci.com

nu lambda x phyphox series

เป็นชุดทดลองที่ใช้หัววัดและอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่เพื่อวัดปริมาณทางฟิสิกส์ แล้วแสดงผลในแอพพิลเคชัน phyphox ผ่านทางสัญญาณ bluetooth โดยบริษัทนิวแลมบ์ดา ไซเอนทิฟิค จำกัด พัฒนาโมดูลหัววัด และโมดูลพิเศษเพิ่มเติมสำหรับการรับค่าและแสดงผลใน phyphox

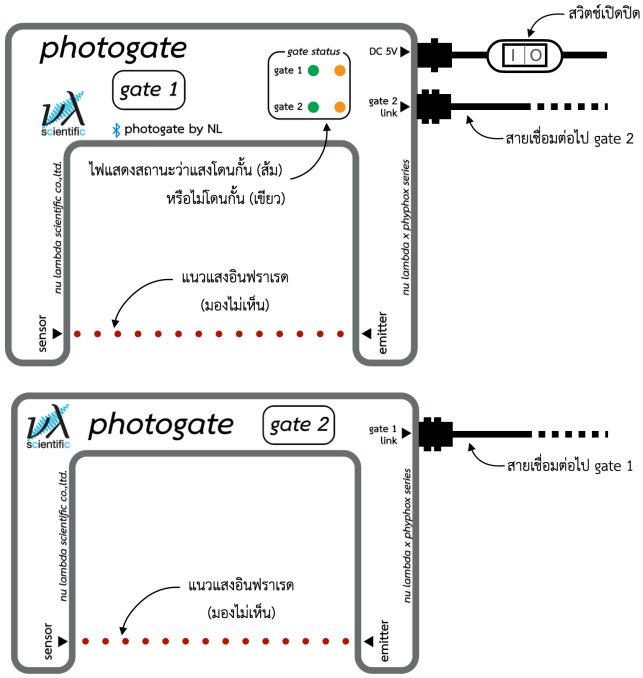
phyphox เป็น open source application ซึ่งพัฒนาโดย the 2nd Institute of Physics at the RWTH Aachen University ประเทศเยอรมนี ผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีทั้งในระบบ iOS และ Android

ส่วนประกอบในชุดทดลอง

Components of A Photogate Set

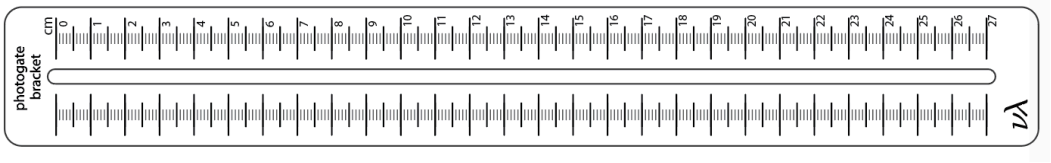
ชุดทดลองโฟโตเกทประกอบด้วย

1. โฟโตเกทหนึ่งชุดซึ่งประกอบด้วย gate 1 และ gate 2
2. แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 5V จำนวน 1 ชิ้น
3. สาย 3.5mm สำหรับต่อ gate1 กับ gate 2 เข้าด้วยกัน
4. รั้วตัดแสง 1 ชิ้น
5. รางยึดโฟโตเกท 1 ชิ้น
6. ชุดปล่อยลูกเหล็ก 1 ชุด
7. ชุดสกรูและน็อต 1 ชุด
8. กระดาษการ์ดสำหรับทำรางลูกแก้ว DIY 1 แผ่น

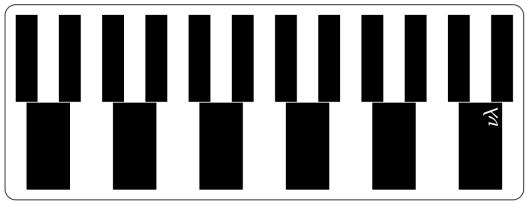


โฟโตเกท gate 1 และ gate 2

รางยึด



รั้วตัดแสง



ชุดปล่อยลูกเหล็ก

การทดลองหาค่าความเร่งจากการตกอย่างเสรีของรั้วตัดแสง

Determination of Acceleration of Free Falling Fence Experiment

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวจากการตกอย่างเสรีของรั้วตัดแสง

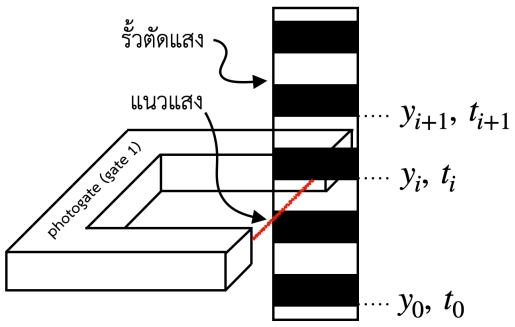
ทฤษฎี

วัตถุที่ตกอย่างเสรีภายใต้แรงโน้มถ่วงโลกเมื่อไม่คิดผลของแรงต้านอากาศจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว a ที่เท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก g โดยตำแหน่ง y ของวัตถุ ณ เวลา t ใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$y = y_0 + ut + \frac{1}{2}at^2 \qquad (1)$$

เมื่อ y_0 และ u คือตำแหน่งและความเร็วของวัตถุที่ $t = 0$ s ตามลำดับ

ในการทดลองนี้เราจะทดลองหาความเร่งของการตกอย่างเสรีของรั้วตัดแสงโดยที่เราจะปล่อยรั้วตัดแสงให้ตัดแนวแสงของโฟโตเกท (เป็นแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็น) แล้วบันทึกค่าเวลาที่แถบทึบแสงแต่ละแถบเริ่มตัดแนวแสง โดยที่โปรแกรมจับเวลาจะเริ่มจับเวลาเมื่อขอบล่างของแถบทึบแสงแรกเริ่มตัดแนวแสง และเราจะกำหนดให้ตำแหน่งของขอบล่างดังกล่าวเป็น $y_0 = 0.0$ cm และหลังจากนั้นขอบล่างของแถบที่ 1 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง y_1 จะตัดแนวแสงที่เวลา t_1 และขอบล่างของแถบที่ i ใด ๆ ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง y_i จะตัดแนวแสงที่เวลา t_i ดังที่แสดงใน**รูปที่ 1** โดยที่ทุก ๆ คู่ y_i กับ t_i ใด ๆ จะสัมพันธ์กันตามสมการที่ (1) และเมื่อเรานำข้อมูล (t_i, y_i) ไปวาดกราฟก็จะได้กราฟเส้นโค้งแบบพาราโบลาซึ่งต้องใช้โปรแกรมช่วยคำนวณเท่านั้นจึงจะวิเคราะห์หาความเร่ง a ออกมาได้



รูปที่ 1 แสดงรั้วตัดแสงขณะกำลังตัดผ่านแนวแสง

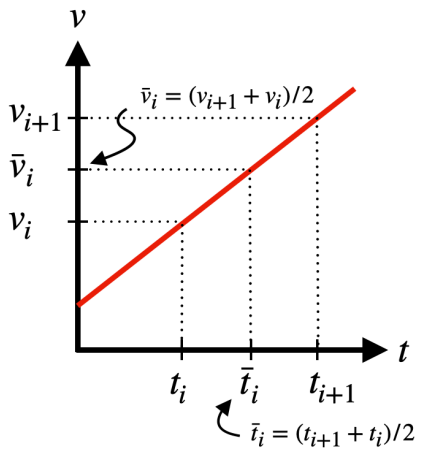
แต่หากเราพิจารณาความเร็วเฉลี่ย $\bar{v}_i$ ซึ่งได้มาจาก

$$\bar{v}_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{\Delta y_i}{\Delta t_i} \qquad (2)$$

ซึ่งในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว $\bar{v}_i$ จะเท่ากับความเร็วของวัตถุที่เวลา $\bar{t}_i$ ซึ่งเป็นเวลากึ่งกลางระหว่าง t_i และ t_{i+1} (**รูปที่ 2**) หรือเขียนได้ว่า

$$\bar{t}_i = \frac{t_i + t_{i+1}}{2} \qquad (3)$$

และความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{v}_i$ กับ $\bar{t}_i$ จะเป็นไปตามสมการ



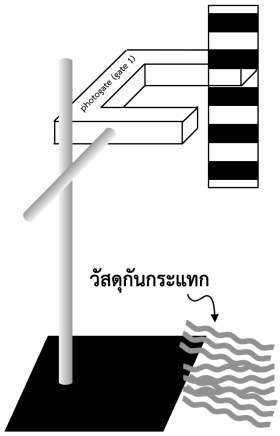
รูปที่ 2 แสดงกราฟ $v - t$ ของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว

$$\bar{v}_i = v_0 + a\bar{t}_i \qquad (4)$$

ดังนั้นหากเรานำข้อมูล (t_i, v_i) ไปวาดกราฟก็จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งมีความชันเป็นความเร่ง a ของรั้วตัดแสงที่ตกอย่างเสรีที่เราต้องการวิเคราะห์หา

อุปกรณ์

1. โฟโตเกท (gate 1) 1 อัน
2. รั้วตัดแสง 1 อัน
3. power adapter 1 ชุด
4. ผ้าหรือพลาสติกกันกระแทก 1 ผืน
5. smartphone หรือ tablet 1 เครื่อง



รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการจัดชุดทดลอง

วิธีจัดชุดการทดลอง

1. ยึดโฟโตเกทเข้ากับขาตั้งหรือขอบโต๊ะ โดยให้ระนาบของโฟโตเกทขนานกับพื้น และระยะห่างระหว่างโฟโตเกทกับพื้นมีค่ามากกว่าความยาวของรั้วตัดแสงพอสมควรเพื่อกันโฟโตเกทกระดอนกลับมากระทบโฟโตเกท
2. วางวัสดุกันกระแทกไว้ตรงตำแหน่งที่รั้วตัดแสงจะตกกระทบพื้นดังแสดงในรูปที่ 3
3. เสียบ power adapter แล้วเปิดสวิตช์ จะพบว่ามีไฟสีเขียวสว่างอยู่ที่ตำแหน่ง “gate 1” และหากเรานำมือไปกั้นระหว่าง sensor กับ emitter ไฟก็จะกลายเป็นสีส้ม
4. เชื่อมต่อโฟโตเกทเข้ากับ smartphone หรือ tablet ผ่าน application **phyphox** ตามขั้นตอนดังนี้ (สามารถติดตั้ง phyphox ได้ทั้งระบบ Android ผ่าน Play Store และระบบ iOS ผ่าน App Store)

ขั้นตอนการเชื่อมต่อโฟโตเกท

1. เข้า application phyphox แล้วกดปุ่มเพิ่มการทดลองซึ่งสำหรับ Andriod จะเป็นปุ่มสีส้มมีเครื่องหมายบวกตรงกลางอยู่ด้านล่างขวาของหน้าจอ สำหรับ iOS จะเป็นเครื่องหมายบวกอยู่มุมบนขวาของจอ
2. เลือก “Add experiment from QR code” แล้วสแกน QR code ในรูปที่ 4
3. จะมีหน้าต่าง pop-up ขึ้นมาให้เลือกเชื่อมต่อ ให้เลือก “photogate by NL”
4. application จะเข้าไปในหน้าพร้อมทำการทดลอง ซึ่งจะมี pop-up ขึ้นมาถามว่าเราต้องการบันทึกการทดลองนี้ไว้ใน collection หรือไม่ ให้ตอบ OK เพื่อความสะดวก (เราสามารถลบออกได้ภายหลัง) สำหรับ android บางเวอร์ชันเมื่อตอบ OK แล้ว phyphox จะกลับไปเริ่มต้นที่หน้าหลักใหม่ ผู้ทดลองสามารถเลื่อนหาการทดลองได้ใหม่ในหัวข้อ Nu Lambda Scientific

รูปที่ 4 phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

5. กดปุ่มเริ่มบันทึกการทดลองซึ่งเป็นปุ่มสามเหลี่ยมที่มุมบนขวา แล้วลองนำรั้วตัดแสงมาเลื่อนผ่าน photogate ช้า ๆ แล้วสังเกตการแสดงผลข้อมูล และสัญญาณไฟบนโฟโตเกท

6. เมื่อต้องการเริ่มบันทึกข้อมูลใหม่ให้กดปุ่ม reset

7. หากออกจาก application แล้วต้องการเข้ามาที่หน้าการทดลองนี้ใหม่ การทดลองนี้จะอยู่ในหมวดหมู่ Nu Lambda Scientific สีฟ้า ภายใน phyphox

ขั้นตอนการทดลอง

1. กดปุ่มเริ่มทำการทดลองใน phyphox (หรือ reset หากมีการลองเก็บข้อมูลก่อนหน้าแล้ว)

2. จับรั้วตัดแสงให้อยู่ในตำแหน่งเหนือโฟโตเกทระหว่าง sensor กับ emitter แต่ให้รั้วตัดแสงอยู่ใกล้กับด้าน sensor และให้ด้านที่มี**แถบทึบแสงหกแถบ**เป็นด้านที่ตัดแสง

3. ประคองรั้วตัดแสงให้นิ่งและตั้งดิ่ง แล้วจึงปล่อยรั้วตัดแสงให้ตกลงอย่างเสรี (อย่าลืมวางวัสดุกันกระแทกไว้ที่ตำแหน่งที่รั้วจะตก)

4. บันทึกเวลาที่แถบทึบแสงแต่ละแถบตัดผ่านแนวแสงซึ่งแสดงผลใน phyphox โดยที่เวลาที่แถบมืดแถบแรกตัดแนวแสงจะถูกกำหนดให้เป็น $t_0 = 0.0\ \text{ms}$

5. วิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อคำนวณหา $\bar{v}_i$ จากสมการที่ (2) และคำนวณ $\bar{t}_i$ จากสมการที่ (3)

6. วาดกราฟระหว่าง $\bar{v}_i$ และ $\bar{t}_i$ เพื่อคำนวณหาความเร่งของรั้วตัดแสงจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (4)

ขั้นตอนการทดลอง (กรณีต้องการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Excel)

1. วัดระยะห่างระหว่างขอบล่างของแถบทึบแสงที่อยู่ติดกันของแถบทึบแสงด้านที่มีทั้งหมด 12 แถบ แล้วบันทึกค่าที่ได้

2. เลือกโหมด 12-Stripe Fence จาก tab ด้านบนของ phyphox

3. กดปุ่มเริ่มทำการทดลองใน phyphox (หรือ reset หากมีการลองเก็บข้อมูลก่อนหน้าแล้ว)

4. จับรั้วตัดแสงให้อยู่ในตำแหน่งเหนือโฟโตเกทระหว่าง sensor กับ emitter แต่ให้รั้วตัดแสงอยู่ใกล้กับด้าน sensor และให้ด้านที่มี**แถบทึบแสง 12 แถบ**เป็นด้านที่ตัดแสง

5. ประคองรั้วตัดแสงให้นิ่งและตั้งดิ่ง แล้วจึงปล่อยรั้วตัดแสงให้ตกลงอย่างเสรี (อย่าลืมวางวัสดุกันกระแทกไว้ที่ตำแหน่งที่รั้วจะตก)

6. กดปุ่มหยุดเก็บข้อมูล แล้วเลือกเมนูที่เป็นปุ่มสามจุดเรียงกันในแนวตั้งซึ่งอยู่มุมบนขวาของ phyphox แล้วเลือก Export Data จากนั้นเลือก Excel แล้วกด OK แล้วจึงส่งไฟล์ที่ได้ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม Excel

7. เปิดข้อมูลที่ได้มาจาก phyphox ด้วยโปรแกรม Excel แล้วแทรกกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง y_i และ t_i จากนั้นเพิ่มเส้นแนวโน้มของจุดข้อมูล โดยให้เลือกเส้นแบบ polynomials อันดับ 2 และเลือกแสดงสมการบนกราฟ จากนั้นหาค่าความเร่งของรั้วตัดแสงจากสมการที่ได้

8. แทรกกราฟระหว่าง $\bar{v}_i$ และ $\bar{t}_i$ จากนั้นเพิ่มเส้นแนวโน้มของจุดข้อมูล โดยให้เลือกเส้นแบบ polynomials อันดับ 2 และเลือกแสดงสมการบนกราฟ จากนั้นหาค่าความเร่งของรั้วตัดแสงจากสมการที่ได้ด้วยการเทียบกับสมการที่ (1)

ผลการทดลอง

ระยะห่างระหว่างขอบล่างของแถบทึบแสงที่อยู่ติดกัน $y_{i+1} - y_i =$ _____ cm

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ลำดับ i	t_i (ms)	$\bar{t}_i = (t_i + t_{i+1})/2$ (ms)	$\bar{v}_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i}$ (cm/ms)
0	0.0		
1			
2			
3			
4			
5		-	-

หมายเหตุ ให้สังเกต t_i ที่แสดงผลใน phyphox หากค่าที่ได้หลังจุดทศนิยมเป็น .000, .250, หรือ 0.500 ms ทุกค่าแปลว่าหน่วยประมวลผลของโฟโตเกทถูกเปิดไว้นานและเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน ให้ปิดแล้วเปิดสวิตช์โฟโตเกทแล้วเริ่มทดลองใหม่

ความรู้เพิ่มเติม - พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่าง $\bar{v}_i$ กับ $\bar{t}_i$

ในหัวข้อทฤษฎีเราใช้ความสัมพันธ์ที่ว่า $\bar{v}_i$ ในสมการที่ (2) นั้นเท่ากับความเร็วของวัตถุที่เวลา $\bar{t}_i = (t_i + t_{i+1})/2$ ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว ซึ่งเป็นจุดสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยไม่ได้พิสูจน์เนื่องจากหากพิสูจน์ตั้งแต่เริ่มจะทำให้หัวข้อทฤษฎียาวเกินไปและยากต่อการจับใจความสำคัญ ดังนั้นการพิสูจน์จึงถูกยกมาไว้ในส่วนหลังการทดลองนี้

จากข้อมูลในการทดลองขอบล่างของแถบทึบแสงแรกซึ่งกำหนดให้อยู่ที่ตำแหน่ง $y_0 = 0.0$ cm ตัดแนวแสงที่เวลา $t_0 = 0.0$ ms ขอบล่างของแถบทึบแสงต่อไปหรือแถบที่ 1 อยู่ที่ตำแหน่ง y_1 ตัดแสงที่เวลา t_1 และขอบล่างของแถบทึบแสงที่ i ใด ๆ อยู่ที่ตำแหน่ง y_i ตัดแสงที่เวลา t_i ดังแสดงใน**รูปที่ 1** เรานิยามความเร็วเฉลี่ย $\bar{v}_i$ จาก

$$\bar{v}_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta t_i} = \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i} \tag{s1}$$

หากขณะที่ขอบล่างของแถบทึบแสงที่ i ตัดแสง รั้วตัดแสงกำลังตกลงด้วยความเร็ว v_i เราสามารถใช้สมการ $\Delta s = \frac{u+v}{2}\Delta t$ มาอธิบายในกรณีนี้และเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$y_{i+1} - y_1 = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \cdot (t_{i+1} - t_i) \tag{s2}$$

ซึ่งเมื่อหารด้วย $t_{i+t} - t_i$ ทั้งสองข้างก็จะได้ว่า

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i} = \bar{v}_i = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \tag{s3}$$

ซึ่งบอกเราว่า $\bar{v}_i$ ที่คำนวณมาจากสมการ (s1) นั้นเป็นความเร็วกึ่งกลางระหว่าง v_i และ v_{i+1} ซึ่งในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวเราสามารถใช้**รูปที่ 2** เพื่อสรุปว่า $\bar{v}_i$ เท่ากับความเร็วของวัตถุที่เวลากึ่งกลางระหว่าง t_i และ t_{i+1} หรือที่ในการทดลองนี้เราเรียกว่า $\bar{t}_i$ ตามที่เราต้องการพิสูจน์ หรือหากเราไม่ต้องการพิสูจน์จากกราฟ เราก็สามารถพิสูจน์โดยเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวซึ่งทำให้การคำนวณหาความเร่งจาก $a = \Delta v/\Delta t$ จะได้ค่าเท่ากันไม่ว่าจะเลือก Δt มาจากช่วงเวลาใดก็ตาม และสมมติว่า $\bar{v}_i$ มีเท่ากับความเร็วของวัตถุที่เวลา t' เราจะได้ว่า

$$a = \frac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{\bar{v}_i - v_i}{t' - t_i} \tag{s4}$$

แทน $\bar{v}_i$ จาก (s3) ลงไปใน (s4)

$$\frac{v_{i+1} - v_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{v_i/2 + v_{i+1}/2 - v_i}{t' - t_i} = \frac{(v_{i+1} - v_i)/2}{t' - t_i} \tag{s5}$$

เมื่อจัดรูปสมการใหม่ก็จะได้

$$t_{i+1} - t_i = 2(t' - t_i) \tag{s6}$$

ซึ่งทำให้

$$t' = \frac{t_i + t_{i+1}}{2} = \bar{t}_i \tag{s7}$$

นั่นคือ $\bar{v}_i$ มีค่าเท่ากับความเร็วของวัตถุที่เวลา $\bar{t}_i$ ตามที่เราต้องการพิสูจน์

การทดลองการตกอย่างเสรีของวัตถุ

Free Falling of an Object Experiment

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับเวลาของวัตถุที่ตกอย่างเสรี และวิเคราะห์หาความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก

ทฤษฎี

วัตถุที่ตกอย่างเสรีภายใต้แรงโน้มถ่วงโลกเมื่อไม่คิดผลของแรงต้านอากาศจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัว a ที่เท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก g โดยการกระจัด Δy ของวัตถุ ณ เวลา t ใด ๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$\Delta y = ut + \frac{1}{2}at^2 \tag{1}$$

เมื่อ u คือความเร็วของวัตถุที่ $t = 0$ s และให้ทิศชี้ลงตั้งฉากกับพื้นโลกเป็นบวก แต่หาก $u = 0$ หรือวัตถุถูกปล่อยจากหยุดนิ่งเมื่อเริ่มจับเวลา สมการที่ (1) ก็จะกลายเป็น

$$\Delta y = \frac{1}{2}gt^2 \tag{2}$$

หากเราวาดกราฟระหว่าง Δy กับ t ก็จะได้กราฟเส้นโค้งแบบพาราโบลา แต่หากเราวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Δy กับ t^2 กราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $g/2$

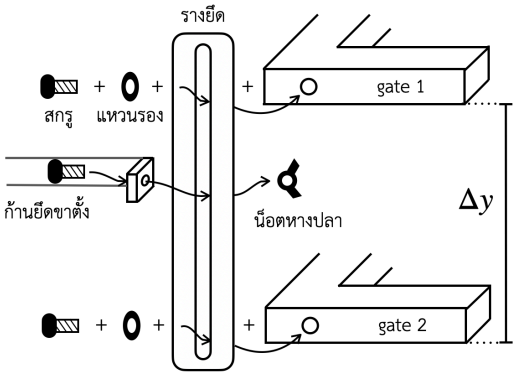
ในการทดลองนี้เราจะทดลองปล่อยลูกเหล็กทรงกลมจากความสูง Δy ต่าง ๆ แล้วจับเวลา t ที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวาดกราฟระหว่าง Δy กับ t^2 เพื่อทดสอบความเป็นเส้นตรง และวิเคราะห์ค่าความเร่งของลูกเหล็กจากความชันกราฟ

อุปกรณ์

1. โฟโตเกท (gate 1 และ gate 2) 1 คู่
2. ชุดปล่อยลูกเหล็ก 1 ชุด
3. ลูกเหล็ก 1 อัน
4. power adapter 1 ชุด
5. ผ้าหรือพลาสติกกันกระแทก 1 ผืน
6. smartphone หรือ tablet 1 เครื่อง
7. ไม้บรรทัด 1 อัน

วิธีจัดชุดการทดลอง

1. ยึดโฟโตเกททั้ง gate 1 และ gate 2 เข้ากับรางยึด (photogate bracket) โดยให้โฟโตเกททั้งสองวางตั้งฉากกับรางยึด และให้ gate 1 อยู่เหนือ gate 2 แล้วยึดรางยึดเข้ากับก้านยึดขาตั้ง โดยปรับให้รางยึดอยู่ในแนวดิ่ง (**รูปที่ 1**)

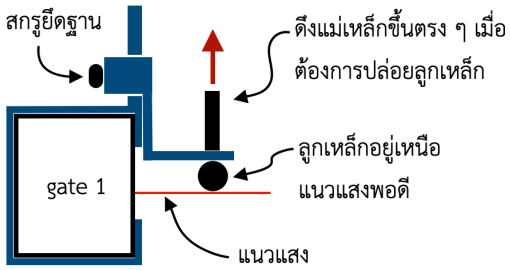


รูปที่ 1 การประกอบโฟโตเกทเข้ากับรางยึดและฐานปล่อยลูกเหล็ก

2. สวมชุดปล่อยลูกเหล็กเข้ากับขาด้าน sensor ของ gate 1 โดยให้ช่องสามเหลี่ยมด้านบนชุดปล่อยตรงกับเครื่องหมายสามเหลี่ยมระบุตำแหน่ง sensor พอดี แล้วขันสกรูยึดไม่ให้ขยับ

3. ประคองลูกตุ้มเหล็กไว้ใต้ฐานปล่อยแล้วนำแม่เหล็กมาดูดลูกตุ้มเหล็กเอาไว้จากด้านบนตรงตำแหน่งที่มีช่องวงกลมระบุไว้ สังเกตว่าใต้ฐานปล่อยจะมีช่องสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ไว้หากเราเลื่อนแม่เหล็กไปมาเล็กน้อยลูกเหล็กจะถูกยึดกับช่องเล็ก ๆ นี้พอดี

4. ต่อสาย gate 1 และ gate 2 เข้าด้วยกันแล้วเสียบ power adapter เข้ากับ gate 1 แล้วจึงเปิด photogate (gate 1 และ gate 2 ต้องต่อกันก่อนเปิด photogate เราจึงจะเห็นไฟสถานะเป็นสีเขียวทั้ง gate 1 และ gate 2)



รูปที่ 2 ฐานปล่อยลูกเหล็กและวิธีปล่อยลูกเหล็ก

5. ปรับระดับฐานปล่อยโดยคลายสกรูที่ยึดฐานไว้ให้หลวม (**รูปที่ 2**) แล้วลดระดับฐานลงมาจน gate 1 ขึ้นไฟสีส้มซึ่งแสดงว่า sensor ถูกกั้นอยู่ จากนั้นค่อย ๆ ยกฐานปล่อยขึ้นมาช้า ๆ จนไฟสถานะเปลี่ยนเป็นสีเขียวพอดีแล้วจึงขันสกรูให้แน่น เราสามารถทดสอบว่าระดับของฐานปล่อยนั้นดีแล้วหรือไม่ด้วยการใช้นิ้วเคาะฐานลงเบา ๆ ถ้าไฟสถานะเปลี่ยนเป็นสีส้มแสดงว่าฐานปล่อยอยู่ในระดับที่ดีแล้ว แต่หากเราต้องออกแรงกดฐานปล่อยลงมาแล้วไฟสถานะถึงจะเปลี่ยนสีแปลว่าระดับฐานปล่อยอยู่สูงเกินไป **ระดับของฐานปล่อยสำคัญต่อผลการทดลองมาก** ผู้ทดลองควรให้เวลากับการปรับระดับนี้ให้ดีก่อนเริ่มทดลอง

6. เชื่อมต่อโฟโตเกทเข้ากับ smartphone หรือ tablet ผ่าน application **phyphox** ตามขั้นตอนดังนี้ (สามารถติดตั้ง phyphox ได้ทั้งระบบ Android ผ่าน Play Store และระบบ iOS ผ่าน App Store)

ขั้นตอนการเชื่อมต่อโฟโตเกท

1. เข้า application phyphox แล้วกดปุ่มเพิ่มการทดลองซึ่งสำหรับ Andriod จะเป็นปุ่มสีส้มมีเครื่องหมายบวกตรงกลางอยู่ด้านล่างขวาของหน้าจอ สำหรับ iOS จะเป็นเครื่องหมายบวกอยู่มุมบนขวาของจอ

รูปที่ 3 phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

2. เลือก “Add experiment from QR code” แล้วสแกน QR code ใน**รูปที่ 3**

3. จะมีหน้าต่าง pop-up ขึ้นมาให้เลือกเชื่อมต่อ ให้เลือก “photogate by NL”

4. application จะเข้าไปในหน้าพร้อมทำการทดลอง ซึ่งจะมี pop-up ขึ้นมาถามว่าเราต้องการบันทึกการทดลองนี้ไว้ใน collection หรือไม่ ให้ตอบ OK เพื่อความสะดวก (เราสามารถลบออกได้ภายหลัง) สำหรับ android บางเวอร์ชันเมื่อตอบ OK แล้ว phyphox จะกลับไปเริ่มต้นที่หน้าหลักใหม่ ผู้ทดลองสามารถเลื่อนหาการทดลองได้ใหม่ในหัวข้อ Nu Lambda Scientific

5. กดปุ่มเริ่มบันทึกการทดลองซึ่งเป็นปุ่มสามเหลี่ยมที่มุมบนขวา แล้วลองนำรั้วตัดแสงมาเลื่อนผ่าน photogate ช้า ๆ แล้วสังเกตการแสดงผลข้อมูล และสัญญาณไฟบนโฟโตเกท

6. เมื่อต้องการเริ่มบันทึกข้อมูลใหม่ให้กดปุ่ม reset

ขั้นตอนการทดลอง

1. กดปุ่มเริ่มทำการทดลองใน phyphox (หรือ reset หากมีการลองเก็บข้อมูลก่อนหน้าแล้ว)

2. ปรับระยะระหว่าง gate 1 และ gate 2 ให้ห่างกัน 5.0 cm โดยที่ระยะห่างระหว่างแนวขอบล่างของ gate 1 และ gate 2 จะเท่ากับระยะห่างระหว่าง sensors ของทั้งคู่ และระยะนี้ก็คือ Δy ในสมการ (2)

3. ยึดลูกเหล็กและแม่เหล็กเข้ากับฐานปล่อย

4. กดปุ่ม reset ใน phyphox

5. ปล่อยลูกเหล็กให้ตกลงโดยยกแม่เหล็กขึ้นในแนวดิ่งอย่างรวดเร็ว หากเราไม่ได้ยกแม่เหล็กขึ้นในแนวดิ่งลูกเหล็กจะมีความเร็วต้นในแนวขนาดพื้นโลก และหากเรายกแม่เหล็กขึ้นไม่เร็วพอแรงดูดระหว่างแม่เหล็กกับลูกเหล็กจะมีผลต่อผลการทดลอง ผู้ทดลองควรฝึกปล่อยลูกเหล็กตามขั้นตอนนี้จนชำนาญแล้วจึงเริ่มบันทึกผลการทดลอง หากพบว่าลูกเหล็กไม่ตัด gate 2 แปลว่ารางยึดโฟโตเกทไม่ได้อยู่ในแนวดิ่ง ให้พยายามปรับรางยึดให้อยู่ในแนวดิ่งแล้วลองปล่อยลูกเหล็กดูใหม่

6. บันทึกเวลาที่แสดงใน phyphox ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้จากการเริ่มจับเวลาเมื่อลูกเหล็กเริ่มตัดผ่าน gate 1 และหยุดจับเวลาเมื่อลูกเหล็กเริ่มตัดผ่าน gate 2 ควรบันทึกเวลาให้ได้อย่างน้อย 5 ค่า

7. ทำการทดลองที่ระยะห่างระหว่าง gate 1 และ gate 2 เป็น 10.0, 15.0, 20.0, และ 25.0 cm

8. วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของเวลาในการตกของลูกเหล็กในแต่ละระยะห่างระหว่าง gate 1 และ gate 2

9. วาดกราฟระหว่าง Δy กับ t^2 แล้ววิเคราะห์หาความเร่งในการตกอย่างเสรีของลูกเหล็กตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (2) (การทดลองนี้เป็นการทดลองที่ดีที่ผู้ทดลองสามารถฝึกวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนจากการทดลอง)

ผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Δy cm	t (ms)	$\bar{t}$ ms	$\bar{t}^2$ ms^2	

การทดลองการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

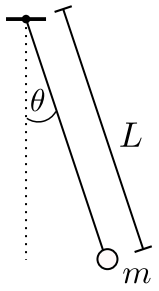
Simple Pendulum Oscillation Experiment

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อทำการทดลองหาค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงโลกโดยใช้ลูกตุ้มอย่างง่าย

ทฤษฎี

ลูกตุ้มอย่างง่าย (simple pendulum) ประกอบไปด้วยลูกตุ้มที่ผูกอยู่กับปลายเชือกด้านหนึ่ง ส่วนปลายเชือกอีกด้านถูกตรึงไว้ หากลูกตุ้มถูกทำให้แกว่งด้วยมุม θ ที่มีค่าน้อย ๆ เราจะประมาณได้ว่าคาบการแกว่งของลูกตุ้ม T นั้นมีค่า



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงลูกตุ้มอย่างง่าย

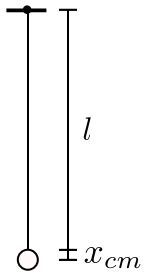
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (1)$$

เมื่อ L คือความยาวของเพนดูลัมวัดจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้ม และ

g คือขนาดของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (มีค่าประมาณ 9.78 m/s^2 ณ กรุงเทพมหานคร)

อย่างไรก็ตามการวัดความยาว L ของเพนดูลัมนั้นมักจะมีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก เนื่องจากเราต้องคาดคะเนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้ม และความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะส่งผลถึงความแม่นยำของค่า g ที่เราต้องการหาได้ ทางแก้หนึ่งของปัญหานี้คือ แทนที่จะวัดความยาวจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวลของลูกตุ้ม เราสามารถวัดความยาวจากจุดหมุน ถึงจุดที่เราทราบตำแหน่งชัดเจน เช่นปมมัดลูกตุ้ม เราเรียกความยาวนี้ว่า l และความยาวจากปมไปถึงจุดศูนย์กลางมวล x_{cm} ซึ่งมีค่าคงตัวตลอดการทดลอง โดยที่

$$L = l + x_{cm} \qquad (2)$$



รูปที่ 2 แสดงตัวแปรในสมการ (2)

ตอนนี้คาบการแกว่งของลูกตุ้มก็จะเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l + x_{cm}}{g}} \qquad (3)$$

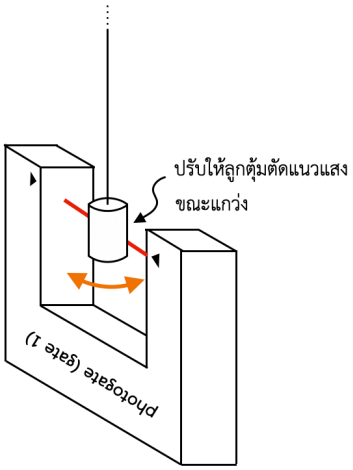
ซึ่งสามารถจัดรูปได้เป็น

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}l + \frac{4\pi^2}{g}x_{cm} \qquad (4)$$

ความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่าหากเราทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าความยาว l ไปหลายๆค่า แล้ววัดคาบการแกว่งที่สัมพันธ์กัน เมื่อเราวาดกราฟระหว่าง T^2 กับ l เราก็จะได้เส้นตรงที่มีความชัน $\frac{4\pi^2}{g}$ และตัดแกนตั้งที่ตำแหน่ง $\frac{4\pi^2}{g}x_{cm}$ โดยในการทดลองนี้เราจะวัดคาบ T โดยใช้โฟโตเกทซึ่งจะได้ค่าที่มีความแม่นยำสูง

วิธีจัดชุดการทดลอง

1. วางโฟโตเกทเฉพาะ gate 1 ไว้บนพื้นโดยให้ขาของโฟโตเกทชี้ขึ้นฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3
2. แขวนลูกตุ้มอย่างง่ายโดยให้ลูกตุ้มอยู่กึ่งกลางของแนวแสงพอดี
3. เชื่อมต่อโฟโตเกทเข้ากับสมาร์ทโฟนผ่าน phyphox ตามขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 3 การจัดโฟโตเกทและลูกตุ้ม

ขั้นตอนการเชื่อมต่อโฟโตเกท

1. เข้า application phyphox แล้วกดปุ่มเพิ่มการทดลองซึ่งสำหรับ Andriod จะเป็นปุ่มสีส้มมีเครื่องหมายบวกตรงกลางอยู่ด้านล่างขวาของหน้าจอ สำหรับ iOS จะเป็นเครื่องหมายบวกอยู่มุมบนขวาของจอ
2. เลือก “Add experiment from QR code” แล้วสแกน QR code ใน**รูปที่ 4**
3. จะมีหน้าต่าง pop-up ขึ้นมาให้เลือกเชื่อมต่อ ให้เลือก “photogate by NL”
4. application จะเข้าไปในหน้าพร้อมทำการทดลอง ซึ่งจะมี pop-up ขึ้นมาถามว่าเราต้องการบันทึกการทดลองนี้ไว้ใน collection หรือไม่ ให้ตอบ OK เพื่อความสะดวก (เราสามารถลบออกได้ภายหลัง) สำหรับ android บางเวอร์ชันเมื่อตอบ OK แล้ว phyphox จะกลับไปเริ่มต้นที่หน้าหลักใหม่ ผู้ทดลองสามารถเลื่อนหาการทดลองได้ใหม่ในหัวข้อ Nu Lambda Scientific
5. กดปุ่มเริ่มบันทึกการทดลองซึ่งเป็นปุ่มสามเหลี่ยมที่มุมบนขวา แล้วลองแกว่งลูกตุ้มให้ตัดผ่านแนวแสงของโฟโตเกท แล้วสังเกตการแสดงผลข้อมูล และสัญญาณไฟบนโฟโตเกท
6. เมื่อต้องการหยุดการเก็บข้อมูลให้กดปุ่ม pause ที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับปุ่มเริ่มทำการทดลองในข้อ 5. และเมื่อต้องการเริ่มบันทึกข้อมูลใหม่ให้กดปุ่ม reset

รูปที่ 4 phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ผูกเชือกเข้ากับลูกตุ้มที่ปลายข้างหนึ่ง ส่วนปลายอีกข้างผูกไว้กับแท่งเหล็กหรือราวที่แข็งแรงไม่โยกไปมา
2. ปรับความยาวเชือก l ให้ได้ค่าประมาณ 50 cm แล้ววัดความยาวเชือกเพื่อบันทึกค่าที่มีจำนวนนัยสำคัญที่ถูกต้อง (เราพยายามปรับความยาวเชือกให้ได้ใกล้เคียงกับ 50 cm แต่จริง ๆ อาจจะไม่ตรง 50.0 cm จริง เราควรวัดความยาวเชือกจริง ๆ แล้วบันทึกผลเช่น 49.8 cm หรือ 50.1 cm ไม่ใช่บันทึก 50 cm ลงไปเลย)
3. แกว่งลูกตุ้มด้วยมุมน้อย ๆ พยายามให้มีการแกว่งของลูกตุ้มในระนาบเดียวและเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับแนวแสง ระวังไม่ให้ลูกตุ้มแกว่งเป็นกรวย แล้วกดปุ่มเริ่มบันทึกผลข้อมูลใน phyphox โดยตั้งค่าให้บันทึกเวลาสำหรับการแกว่ง 5 คาบ แล้วบันทึกคาบเฉลี่ยที่ได้

4. ปรับความยาวเชือกเพิ่มอีกครั้งละประมาณ 10 cm แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 2. - 3. อีกอย่างน้อย 5 ความยาว โดยทุกครั้งที่ต้องการบันทึกผลการทดลองใหม่ให้กดปุ่ม reset ใน phyphox ก่อนเริ่ม

5. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่า g ด้วยการวาดกราฟเส้นตรงตามสมการที่ (4) ที่กล่าวไว้ในทฤษฎี

ตารางบันทึกผลการทดลอง

l (cm)	$\bar{T}$ (s)				

การทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

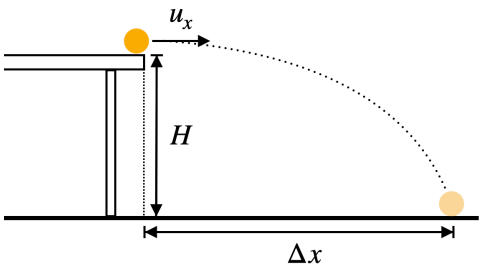
Projectile Motion Experiment

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของวัตถุและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของความเร็วต้นในแนวระดับของวัตถุกับระยะทางในแนวระดับที่วัตถุตกกระทบพื้น

ทฤษฎี

ในการพิจารณาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์นั้นเราสามารถแยกพิจารณาในสองแนวการเคลื่อนที่นั่นคือแนวที่ตั้งฉากกับผิวโลก และแนวที่ขนานกับผิวโลก โดยการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลกวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวซึ่งมีค่าเท่ากับความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก g ทิศชี้ลงเหมือนการตกอย่างเสรี ส่วนการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับผิวโลกวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุและตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการทดลองนี้

พิจารณาวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ออกจากขอบโต๊ะสูงจากพื้น H ด้วยความเร็ว u_x ในแนวขนานกับพื้นดัง**รูปที่ 1** ระยะทางจากแนวของขอบโต๊ะไปจนถึงจุดที่วัตถุตกกระทบพื้น Δx เป็นไปตามสมการ

$$\Delta x = u_x \Delta t \tag{1}$$

เมื่อ Δt คือช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่อยู่ในอากาศ (time of flight) ส่วนสมการที่บรรยายการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับผิวโลกสามารถเขียนได้ว่า

$$H = \frac{1}{2} g (\Delta t)^2 \tag{2}$$

ซึ่งสามารถจัดรูปเพื่อหา Δt ได้เป็น

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2H}{g}} \tag{3}$$

เมื่อนำ Δt จากสมการที่ (3) แทนลงไปในสมการที่ (1) เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Δx กับ u_x ดังนี้

$$\Delta x = \sqrt{\frac{2H}{g}} \cdot u_x \tag{4}$$

ซึ่งบอกว่าระยะทางในแนวระดับที่วัตถุเคลื่อนที่จนตกกระทบพื้น Δx แปรผันตรงกับความเร็วในแนวระดับ u_x

ในการทดลองนี้เราจะทำการทดลองเพื่อยืนยันความสัมพันธ์ในสมการที่ (4) โดยการเปลี่ยน u_x จากการปล่อยวัตถุซึ่งเป็นลูกแก้วทรงกลมให้กลิ้งลงจากพื้นเอียงที่ระดับต่างกัน แล้วจึงวัดค่า Δx เราจะวัด u_x ด้วยการจับเวลาที่ลูกแก้วเคลื่อนที่ในแนวขนานพื้นโต๊ะภายใต้ระยะทางคงตัว D โดยใช้โฟโตเกทแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา u_x

วิธีจัดชุดการทดลอง

1. ยึดโฟโตเกท gate 1 และ gate 2 เข้าด้วยกันด้วยรางยึดโดยให้ sensor ห่างกันเป็นระยะ $D = 5.0$ cm และให้ด้านหลังของ gate 1 หันเข้าหาด้านหน้าของ gate 2 ซึ่งจะทำให้ระยะ D เท่ากับระยะห่างระหว่างขอบหลัง gate 1 กับขอบหลัง gate 2 ดังแสดงใน**รูปที่ 2**

2. เสียบสายเชื่อม gate 1 และ gate 2 แล้วจึงเสียบสาย dc power adapter

3. วางโฟโตเกทที่ยึดกันกับรางยึดแล้วบนโต๊ะ โดยให้ขอบของ gate 2 อยู่ที่ขอบโต๊ะพอดี (**รูปที่ 2**)

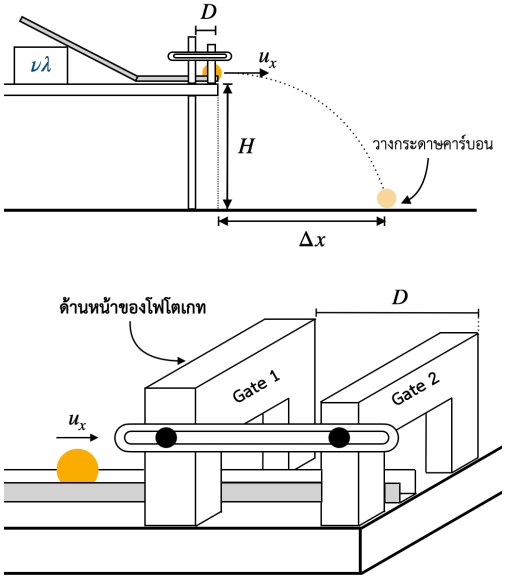
4. ติดตั้งรางสำหรับนำวิถีการเคลื่อนที่ของลูกแก้วโดยอาจจะพาดปลายรางด้านที่เป็นพื้นเอียงไว้กับกล่อง และให้ปลายรางอีกด้านอยู่ที่ขอบโต๊ะพอดี เลื่อนรางให้ลอดผ่านโฟโตเกทและใกล้กับด้านที่เป็น sensor

5. เล็งรางส่วนที่เป็นพื้นเอียงให้ตรงกับแนวของรางที่วางราบกับโต๊ะ ไม่เช่นนั้นวัตถุจะกระเด็นออกจากราง

6. ติดเทปกาวยึดรางสำหรับนำวิถี

7. เตรียมกระดาษคาร์บอนวางทับบนกระดาษขาวไว้บนพื้น

8. เปิดสวิตช์โฟโตเกทแล้วเชื่อมต่อ photogate กับ phyphox ตามขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงจัดตำแหน่งโฟโตเกทและรางนำวิถีลูกแก้ว

ขั้นตอนการเชื่อมต่อโฟโตเกท

1. เข้า application phyphox แล้วกดปุ่มเพิ่มการทดลองซึ่งสำหรับ Andriod จะเป็นปุ่มสีส้มมีเครื่องหมายบวกตรงกลางอยู่ด้านล่างขวาของหน้าจอ สำหรับ iOS จะเป็นเครื่องหมายบวกอยู่มุมบนขวาของจอ

2. เลือก “Add experiment from QR code” แล้วสแกน QR code ใน**รูปที่ 3**

3. จะมีหน้าต่าง pop-up ขึ้นมาให้เลือกเชื่อมต่อ ให้เลือก “photogate by NL”

4. application จะเข้าไปในหน้าพร้อมทำการทดลอง ซึ่งจะมี pop-up ขึ้นมาถามว่าเราต้องการบันทึกการทดลองนี้ไว้ใน collection หรือไม่ ให้ตอบ OK เพื่อความสะดวก (เราสามารถลบออกได้ภายหลัง) สำหรับ android บางเวอร์ชันเมื่อตอบ OK แล้ว phyphox จะกลับไปเริ่มต้นที่หน้าหลักใหม่ ผู้ทดลองสามารถเลื่อนหาการทดลองได้ใหม่ในหัวข้อ Nu Lambda Scientific

รูปที่ 3 phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

5. กดปุ่มเริ่มบันทึกการทดลองซึ่งเป็นปุ่มสามเหลี่ยมที่มุมบนขวา แล้วลองปล่อยลูกแก้วให้ตัดผ่านแนวแสงของโฟโตเกท แล้วสังเกตการแสดงผลข้อมูล และสัญญาณไฟบนโฟโตเกท

6. เมื่อต้องการหยุดการเก็บข้อมูลให้กดปุ่ม pause ที่อยู่ตำแหน่งเดียวกับปุ่มเริ่มทำการทดลองในข้อ 5. และเมื่อต้องการเริ่มบันทึกข้อมูลใหม่ให้กดปุ่ม reset

ขั้นตอนการทดลอง

1. ซ้อมปล่อยลูกแก้วลงตามรางพร้อมทดลองจับเวลาที่ลูกแก้วตัดผ่านโฟโตเกททั้งสองให้ชำนาญ หากพบว่าลูกแก้วหลุดจากรางหลังจากกลิ้งไปบนส่วนของรางที่ขนานกับพื้น แสดงว่ารางส่วนที่เป็นพื้นเอียงกับรางที่ขนานกับพื้นไม่ได้อยู่ในแนวเดียวกัน
2. วัดค่าความสูงของขอบล่างลูกแก้วก่อนตกเทียบกับพื้น H แล้วบันทึกค่าที่ได้เอาไว้
3. กำหนดตำแหน่งบนพื้นเอียงที่จะปล่อยลูกแก้วไว้อย่างน้อย 5 ตำแหน่ง เพื่อที่จะทำให้ได้ค่า u_x ต่างกันอย่างน้อย 5 ค่า
4. ปล่อยลูกแก้วจากตำแหน่งที่ 1 แล้วสังเกตจุดที่ลูกแก้วตก จากนั้นนำกระดาษคาร์บอนที่วางอยู่บนกระดาษขาวไปวางที่ตำแหน่งนั้น และควรยึดกระดาษขาวกับพื้นด้วยเทปใสด้วย
5. กดปุ่ม reset ใน phyphox แล้วปล่อยลูกแก้วจากตำแหน่งเดิม เมื่อลูกแก้วตกกระทบกระดาษคาร์บอนจะทิ้งรอยเป็นจุดเอาไว้บนกระดาษขาวด้านล่าง
6. บันทึกค่า t ที่อ่านได้จาก phyphox แล้ววัดระยะตกของลูกแก้ว Δx (ดูนิยามค่า Δx ใน**รูปที่ 1**) แล้วบันทึกผล
7. ทำการทดลองตามข้อ 4 - 6 แต่เปลี่ยนตำแหน่งปล่อยลูกแก้ว
8. วิเคราะห์หา u_x จากสูตร $u_x = D/t$ แล้ววาดกราฟระหว่าง u_x กับ Δx พร้อมทั้งลากเส้นตรงที่ดีที่สุด คำนวณหาความชันเส้นตรงที่ได้ แล้วคำนวณค่า g จากความชันจากความสัมพันธ์ในสมการที่ (4)

ผลการทดลอง

ระยะห่างระหว่างเซ็นเซอร์ของโฟโตเกททั้งสอง $D =$ _____ cm

ความสูงที่วัดจากขอบล่างของลูกแก้วก่อนตกเทียบกับพื้น $H =$ _____ cm

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตำแหน่งที่ปล่อยลูกแก้ว	ช่วงเวลาที่ลูกแก้วตัดผ่านโฟโตเกททั้งสอง t (ms)	$u_x = D/t$ (cm/ms)	Δx (cm)		
1					
2					
3					
4					
5					

หมายเหตุ: หากนักเรียนสามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของ u_x และ Δx ได้ สามารถเติมลงไปในคอลัมน์ที่ว่างอยู่ได้เลย

ใบงาน

สำหรับกิจกรรมสั้น ๆ ในห้องเรียนที่ไม่เน้นการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวาดกราฟ

ใบงาน: การเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงตัว

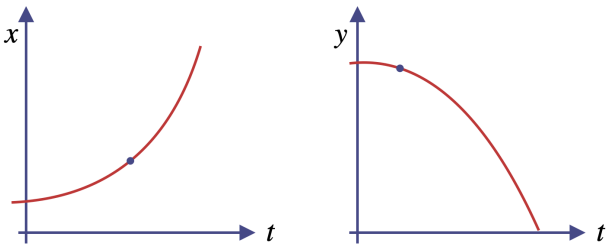
1. จงเขียนสูตรของความเร็วเฉลี่ย $v_{x,\text{avg}}$ ของวัตถุที่อยู่ที่ตำแหน่ง x_1 ที่เวลา t_1 แล้วเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง x_2 ที่เวลา t_2

2. จงวาดกราฟคร่าว ๆ ระหว่างตำแหน่ง x (แกนตั้ง) กับเวลา t (แกนนอน) ของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในทิศ $+x$

3. จงวาดกราฟคร่าว ๆ ระหว่างตำแหน่ง x (แกนตั้ง) กับเวลา t (แกนนอน) ของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในทิศ $-x$

4. จงลากเส้นกราฟลงไปในข้อ 2. และ 3. ในกรณีที่วัตถุมีขนาดของความเร็วมากกว่า และน้อยกว่าวัตถุในเส้นกราฟเดิม พร้อมระบุด้วยว่าเส้นใดเป็นเส้นใด ปริมาณใดของกราฟเป็นตัวบอกความเร็วของวัตถุ

5. ความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของวัตถุสามารถคำนวณได้จากการกระจัดของวัตถุ Δx ต่อเวลาที่ใช้ Δt เมื่อ Δt เข้าใกล้ศูนย์ วิชาแคลคูลัสบอกเราว่า ความเร็วของวัตถุ v_x ณ เวลา t ใด ๆ คือความชันของเส้นสัมผัสกราฟ $x-t$ ณ เวลา t จงลากเส้นสัมผัสสำหรับหาความเร็ว ณ จุดที่ทำเครื่องหมายไว้



6. จงเขียนสูตรของความเร่งเฉลี่ย $a_{x,\text{avg}}$ ของวัตถุที่มีความเร็ว v_{1x} ที่เวลา t_1 แล้วความเร็วเปลี่ยนไปจนมีค่าเป็น v_{2x} ที่เวลา t_2

7. จงวาดกราฟคร่าว ๆ ระหว่างตำแหน่ง v_x (แกนตั้ง) กับเวลา t (แกนนอน) ของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวในทิศ $+x$

8. สำหรับวัตถุที่เคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงตัว เรามีสมการแสดงความสัมพันธ์ของการกระจัด Δx ความเร็วต้น u ความเร็วปลาย v ความเร่ง a และเวลา t ทั้งหมดจำนวนสี่สมการ จงเขียนสมการทั้งสี่ลงในช่องว่างทางขวามือ

9. หากเรามีชุดข้อมูลตำแหน่งของวัตถุที่เวลาต่างกันดังนี้ (x_0, t_0), (x_1, t_1), และ (x_2, t_2) จงคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของวัตถุในช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 หรือ $v_{0x,\text{avg}}$ และในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 หรือ $v_{1x,\text{avg}}$

$v_{0x,\text{avg}} =$

$v_{1x,\text{avg}} =$

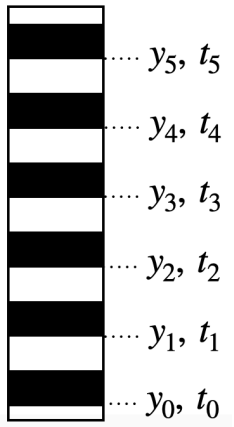
10. ในกรณีที่ความเร่งของวัตถุคงตัวเราสามารถพิสูจน์ได้ว่าความเร็วเฉลี่ยของวัตถุในช่วงเวลา t_0 ถึง t_1 หรือ $v_{0x,\text{avg}}$ มีค่าเท่ากับความเร็วของวัตถุ v_x ณ เวลากึ่งกลางระหว่าง t_0 กับ t_1 หรือ $(t_0 + t_1)/2 \equiv \bar{t}_0$ จงคำนวณหาความเร่งของวัตถุจากข้อมูลในข้อ 9.

11. ให้นักเรียนจัดชุดการทดลองโฟโตเกทตามที่แสดงท้ายใบงาน แล้วทดลองปล่อยรั้วตัดแสงให้ตกอย่างเสรีผ่านโฟโตเกท จากนั้นบันทึกผลที่ได้ลงในตารางบันทึกผล

12. วิเคราะห์หา $v_{0y,\text{avg}}, v_{1y,\text{avg}}, \ldots$ จากผลการทดลองที่ได้ โดยใช้สูตรจากข้อ 9. แล้วจึงคำนวณหาความเร่งของรั้วตัดแสงจากวิธีการในข้อ 10. สำหรับแต่ละคู่ของ v_{iy}

ตารางบันทึกผลการทดลอง

y (cm)	t (ms)	$v_{iy,\text{avg}}$ (cm/ms)	$\bar{t}_i$ (ms)	a_i (cm/ms^2)
$y_0 = 0.0$	$t_0 = 0.000$	$v_{0y,\text{avg}} =$	$\bar{t}_0 =$	
$y_1 =$	$t_1 =$			



13. จงอภิปรายเกี่ยวกับผลการทดลองที่ได้ ความเร่งของรั้วตัดแสงที่ตกอย่างเสรีมีลักษณะอย่างไร

14. นอกจากนั้นเรายังสามารถคำนวณความเร่งของรั้วตัดแสงได้จากสมการ $\Delta y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$ ซึ่งมีตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่สองตัวคือ u_y และ a_y ดังนั้นเราจึงต้องใช้สองสมการในการแก้ นั่นคือ (1) $y_1 - y_0 = u_y t_1 - \frac{1}{2} a_y t_1^2$ และ

(2) $y_2 - y_0 = u_y t_2 - \frac{1}{2} a_y t_2^2$

จงใช้ข้อมูล y_0, y_1, y_2, t_1, t_2 จากตารางบันทึกผลการทดลองมาแทนในสมการทั้งสอง แล้วจึงแก้ระบบสมการหา a_y

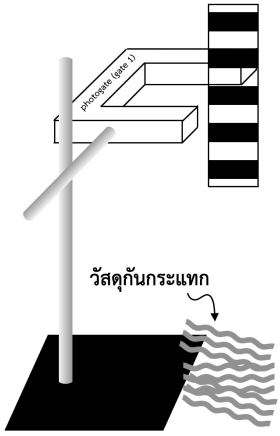
วิธีจัดชุดการทดลองสำหรับใบงานการเคลื่อนที่ในหนึ่งมิติด้วยความเร่งคงตัว

1. ยึดโฟโตเกทเข้ากับขาตั้งหรือขอบโต๊ะ โดยให้ระนาบของโฟโตเกทขนานกับพื้น และระยะห่างระหว่างโฟโตเกทกับพื้นมีค่ามากกว่าความยาวของรั้วตัดแสงพอสมควร

2. วางวัสดุกันกระแทกไว้ตรงตำแหน่งที่รั้วตัดแสงจะตกกระทบพื้นดังแสดงใน **รูปที่ 1**

3. เสียบ power adapter แล้วเปิดสวิตช์ จะพบว่ามีไฟสีเขียวสว่างอยู่ที่ตำแหน่ง “gate 1” และหากเรานำมือไปกั้นระหว่าง sensor กับ emitter ไฟก็จะกลายเป็นสีส้ม

4. เชื่อมต่อโฟโตเกทเข้ากับ smartphone หรือ tablet ผ่าน application **phyphox** ตามขั้นตอนดังนี้ (สามารถติดตั้ง phyphox ได้ทั้งระบบ Android ผ่าน Play Store และระบบ iOS ผ่าน App Store)



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการจัดชุดทดลอง

ขั้นตอนการเชื่อมต่อโฟโตเกท

1. เข้า application phyphox แล้วกดปุ่มเพิ่มการทดลองซึ่งสำหรับ Andriod จะเป็นปุ่มสีส้มมีเครื่องหมายบวกตรงกลางอยู่ด้านล่างขวาของหน้าจอ สำหรับ iOS จะเป็นเครื่องหมายบวกอยู่มุมบนขวาของจอ

2. เลือก “Add experiment from QR code” แล้วสแกน QR code ใน **รูปที่ 2**

3. จะมีหน้าต่าง pop-up ขึ้นมาให้เลือกเชื่อมต่อ ให้เลือก “photogate by NL”

4. application จะเข้าไปในหน้าพร้อมทำการทดลอง ซึ่งจะมี pop-up ขึ้น

รูปที่ 2 phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

มาถามว่าเราต้องการบันทึกการทดลองนี้ไว้ใน collection หรือไม่ ให้ตอบ OK เพื่อความสะดวก (เราสามารถลบออกได้ภายหลัง) สำหรับ android บางเวอร์ชันเมื่อตอบ OK แล้ว phyphox จะกลับไปเริ่มต้นที่หน้าหลักใหม่ ผู้ทดลองสามารถเลื่อนหาการทดลองได้ใหม่ในหัวข้อ Nu Lambda Scientific

5. กดปุ่มเริ่มบันทึกการทดลองซึ่งเป็นปุ่มสามเหลี่ยมที่มุมบนขวา แล้วลองนำรั้วตัดแสงมาเลื่อนผ่าน photogate ช้า ๆ แล้วสังเกตการแสดงผลข้อมูล และสัญญาณไฟบนโฟโตเกท

6. เมื่อต้องการเริ่มบันทึกข้อมูลใหม่ให้กดปุ่ม reset

7. หากออกจาก application แล้วต้องการเข้ามาที่หน้าการทดลองนี้ใหม่ การทดลองนี้จะอยู่ในหมวดหมู่ Nu Lambda Scientific สีฟ้า ภายใน phyphox

ขั้นตอนการทดลอง

1. กดปุ่มเริ่มทำการทดลองใน phyphox (หรือ reset หากมีการลองเก็บข้อมูลก่อนหน้าแล้ว)

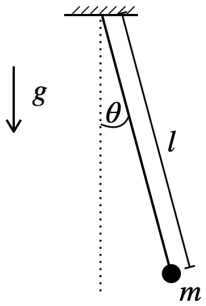
2. จับรั้วตัดแสงให้อยู่ในตำแหน่งเหนือโฟโตเกทระหว่าง sensor กับ emitter แต่ให้รั้วตัดแสงอยู่ใกล้กับด้าน sensor และให้ด้านที่มี**แถบทึบแสงหกแถบ**เป็นด้านที่ตัดแสง

3. ประคองรั้วตัดแสงให้นิ่งและตั้งดิ่ง แล้วจึงปล่อยรั้วตัดแสงให้ตกลงอย่างเสรี (อย่าลืมวางวัสดุกันกระแทกไว้ที่ตำแหน่งที่รั้วจะตก)

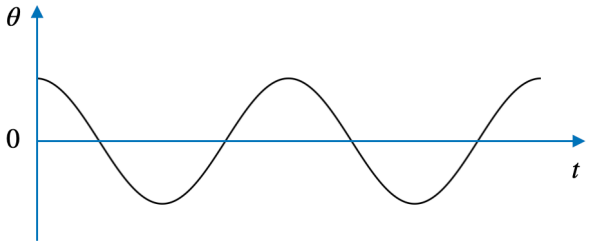
4. บันทึกเวลาที่แถบทึบแสงแต่ละแถบเริ่มตัดผ่านแนวแสงซึ่งแสดงผลใน phyphox โดยที่เวลาที่แถบมืดแถบแรกเริ่มตัดแนวแสงจะถูกกำหนดให้เป็น $t_0 = 0.0\ \text{ms}$

ใบงาน: การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

1. ลูกตุ้มอย่างง่ายประกอบไปด้วยมวล m ยึดอยู่ที่ปลายเชือกเบาและปลายเชือกอีกด้านตรึงอยู่กับจุดหมุน โดย l เป็นความยาวที่วัดจากจุดหมุนถึงจุดศูนย์กลางมวล หากลูกตุ้มแกว่งรอบแนวสมดุลด้วย**มุม θ เล็ก ๆ** การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย จงเขียนสูตรของคาบการแกว่ง T เมื่อลูกตุ้มแกว่งตามเงื่อนไขที่กล่าวมา

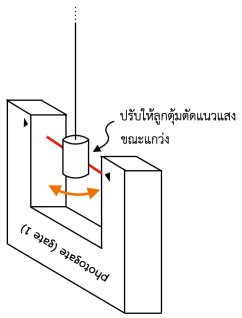


$T =$



2. หากที่ $t = 0$ s ลูกตุ้มถูกปล่อยจากหยุดนิ่งที่มุม θ_0 เล็ก ๆ เราสามารถเขียนฟังก์ชัน $\theta(t)$ ซึ่งอธิบายมุม θ ที่เวลา t ใด ๆ ได้ว่า $\theta(t) = \theta_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$ เราเรียก θ_0 ว่าแอมพลิจูดของการแกว่ง กราฟฟังก์ชัน $\theta(t)$ เป็นไปตามรูปทางซ้ายมือ จงเติมปริมาณ θ_0 และ T ลงในรูปดังกล่าว

3. ติดตั้งระบบลูกตุ้มอย่างง่ายโดยให้ความยาว l มีค่าประมาณ 0.50 m (หากใช้ดินน้ำมันเป็นลูกตุ้มแนะนำให้ปั้นเป็นทรงกระบอก) วางโฟโตเกท (gate 1) หงายขึ้น แล้วจัดตำแหน่งให้ลูกตุ้มแกว่งผ่านแนวแสงของโฟโตเกทดังรูป เปิดสวิตช์โฟโตเกทแล้วสแกน QR code ผ่านแอพ phyphox ในสมาร์ทโฟนเพื่อเพิ่มการทดลองและเชื่อมต่อกับโฟโตเกท



phyphox QR code สำหรับการทดลองนี้

4. วัดความยาว l จากระบบในข้อ 3. ให้แม่นที่สุดแล้วคำนวณหาคาบ T_{calc} จากสูตรในข้อ 1. โดยใช้ $g = 9.78$ m/s^2

$l =$ $T_{\text{calc}} =$

5. วัดคาบการแกว่งโดยใช้โฟโตเกท โดยให้วัดครั้งละ 1 คาบ* ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วบันทึกผลพร้อมคำนวณค่าเฉลี่ย

ครั้งที่	1	2	3	4	5
T (ms)					

$\bar{T}_{\text{exp}} =$

6. การทดลองนี้เราจะทดสอบว่าคาบการแกว่งไม่ขึ้นกับแอมพลิจูดของการแกว่งจริงหรือไม่ โดยทำการทดลองด้วยการปล่อยลูกตุ้มที่ระยะ 2.0 cm และ 4.0 cm แล้วทำการวัดคาบการแกว่งเปรียบเทียบกัน (การแกว่งทั้งสองยังถือว่าเป็นการแกว่งด้วยมุมที่เล็กมากอยู่)

วาดภาพวิธีจัดชุดการทดลองคร่าว ๆ พร้อมทั้งระบุตัวแปรควบคุมด้วย

หมายเหตุ การแกว่งที่ให้ผลการทดลองที่แม่นยำ ลูกตุ้มต้องแกว่งในระนาบเดียวไม่หมุนควงหรือส่ายไปมา

ผลการทดลอง **สรุป:**

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
$T_{2.0}$ (ms)						
$T_{4.0}$ (ms)						

7. การทดลองนี้เราจะทดสอบว่าคาบการแกว่งไม่ขึ้นกับมวลของลูกตุ้มจริงหรือไม่ โดยทำการทดลองเหมือนข้อ 6. ที่ระยะปล่อย 2.0 cm แต่เพิ่มมวลลูกตุ้มเข้าไปโดยไม่ทำให้ความยาว l เปลี่ยน (อาจจะปั้นดินน้ำมันเป็นแผ่นแบน แล้วนำไปม้วนรอบลูกตุ้มเดิม)

วาดภาพวิธีจัดชุดการทดลองคร่าว ๆ พร้อมทั้งระบุตัวแปรควบคุมด้วย

ผลการทดลอง **สรุป:**

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
$T_{2.0}$ (ms) (big mass)						

8. จากสูตรคาบการแกว่งในข้อ 1. เราสามารถสร้างลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีคาบตามที่เราต้องการได้ด้วยการเปลี่ยนความยาว l จงคำนวณค่าความยาว l_{1s} ซึ่งทำให้ลูกตุ้มแกว่งด้วยคาบ 1.00 วินาที เพื่อที่จะสร้างนาฬิกาลูกตุ้มที่บอกเวลาเป็นวินาที จากนั้นทำการปรับค่า l ของลูกตุ้มให้เป็น l_{1s} แล้วทำการวัดคาบการแกว่ง หากคาบการแกว่งที่ได้ไม่ถูกต้องในระดับ $1/100$ วินาที ให้ปรับความยาวจนสามารถให้คาบที่ถูกต้องในระดับดังกล่าว

จากการคำนวณ $l_{1s} =$

ผลการทดลอง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
T_{1s} (ms)						

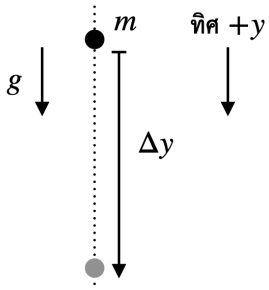
ได้ T_{1s} แม่นยำในระดับ $1/100$ วินาทีหรือไม่ _____ หากไม่ ต้องปรับเพิ่มหรือลด l _____

ผลการทดลองใหม่ในกรณีที่ต้องปรับ l

ครั้งที่	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
T_{1s} (ms)						

ใบงาน: การตกอย่างเสรี

1. วัตถุที่ตกอย่างเสรีภายใต้สนามโน้มถ่วงโลกหากผลของแรงต้านอากาศมีน้อยมากจนละเลยได้ จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก g คงตัว ในทิศชี้ลงตั้งฉากกับผิวโลก จงเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด Δy ความเร็วต้น u ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง g ของวัตถุที่เวลา t ใด ๆ โดยให้ทิศชี้ลงเป็นบวก



$\Delta y =$

2. หากเราทำการทดลองโดยเริ่มปล่อยวัตถุจากหยุดนิ่งให้ตกอย่างเสรี เวลา t ที่วัตถุใช้ในการตกลงมา Δy นั้นเป็นไปตามความสัมพันธ์ใด

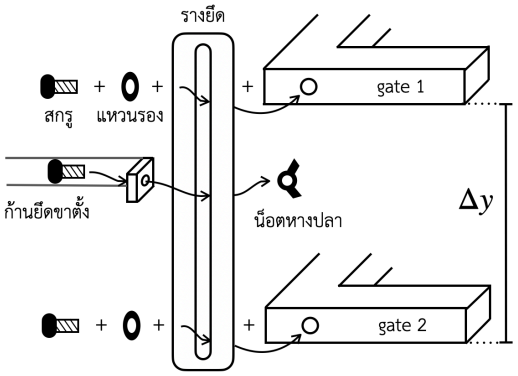
$t =$

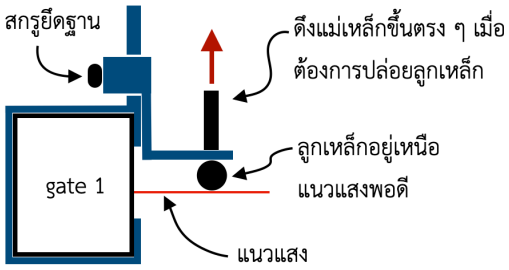
3. จงคำนวณเวลาที่ใช้ในกรณีที่วัตถุตกแบบข้อ 2. ลงมาเป็นระยะ $\Delta y = 0.20$ m ให้ใช้ $g = 9.78\ \mathrm{m/s^2}$

$t =$

4. ในการทดลองนี้เราจะปล่อยลูกเหล็กให้ตกจากหยุดนิ่งอย่างเสรีแล้วทำการวัดเวลาที่ลูกเหล็กใช้ในการตกลงมา 0.20 m แล้วนำมาเทียบกับผลการคำนวณในข้อ 3. โดยเราต้องใช้ photogate ทั้งหมด 2 ตัว ซึ่งยึดอยู่กับรางยึดที่มีสเกลให้วัดระยะห่างได้ สวมชุดปล่อยลูกเหล็กเข้ากับ gate 1 แล้วปรับให้ก้นลูกเหล็กอยู่เหนือแนวแสงพอดี ยึด gate 2 ให้อยู่ใต้ gate 1 และห่างจาก gate 1 0.20 m แล้วสแกน QR code ด้านล่างจากใน phyphox เพื่อเพิ่มโหมดจับเวลาสำหรับการทดลองนี้ (อ่านวิธีจัดชุดการทดลองแบบละเอียดได้จากการทดลองการตกอย่างเสรี) แล้วทำการทดลองเพื่อจับเวลาทั้งหมด 15 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, S.D.) และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error, S.E.)

phyphox QR code
สำหรับการทดลองนี้





ผลการทดลอง - เวลาที่ลูกเหล็กตกลงมา 0.20 m (ms)

ผลการทดลอง (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ได้ $\bar{t} =$ _____ ms

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\mathrm{S.D.} =$ _____ ms

ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน $\mathrm{S.E.} = \frac{\mathrm{S.D.}}{\sqrt{N}} =$ _____ ms

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ เวลาที่ลูกเหล็กใช้ตกอย่างเสรีจากหยุดนิ่งลงไป 0.20 m คือ $\bar{t} \pm \mathrm{S.E.} =$ _____ ms ซึ่งค่าที่คำนวณไว้จากทฤษฎีในข้อที่ 3. อยู่ / ไม่อยู่ ในช่วงของค่าที่ได้จากการทดลองดังกล่าว ทั้งนี้เราสามารถทำการทดลองให้ได้ค่าที่แม่นยำขึ้นได้ด้วยการ ...

ฟังก์ชันการใช้งานอื่น ๆ

More Functions of the Photogate

A. แสดงกราฟ $s-t$ และ $v-t$ พร้อมคำนวณความชันกราฟ

ฟังก์ชันนี้คล้ายกับฟังก์ชันที่ใช้ในการทดลองหาความเร่งของการตกอย่างเสรีของรั้วตัดแสงซึ่งแสดงเวลาที่แถบทึบแสงตัดแนวแสง แต่จะเพิ่ม tab สำหรับแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลา และความเร็วกับเวลาด้วย ผู้ทดลองสามารถกดลงบนกราฟ $s-t$ หรือ $v-t$ เพื่อคำนวณความชันกราฟได้ ทำให้สะดวกสำหรับการทดลองที่ต้องการทราบความเร่งของวัตถุอย่างรวดเร็ว เช่น การทดลองหาความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ลงพื้นเอียงที่มุมเอียงต่างกัน

ฟังก์ชันนี้ใช้เพียงแค่ gate 1 เท่านั้น หากผู้ทดลองต่อ gate 2 ด้วยสัญญาณที่เกิดจากการตัดแนวแสงของ gate 2 จะถูกนำมารวมกันกับสัญญาณจาก gate 1

QR code สำหรับ A.

B. แสดงกราฟ $s-t$ และ $v-t$ พร้อมกันทั้ง gate 1 และ gate 2

ฟังก์ชันนี้เหมือนฟังก์ชันแรกแต่จะสามารถใช้งานพร้อมกันทั้ง gate 1 และ gate 2 โดยที่ข้อมูลจากแต่ละ gate จะถูกแสดงแยกกันคนละกราฟ ฟังก์ชันนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่ต้องการทราบความเร็วของวัตถุสองอัน เช่น การทดลองการชนกันของวัตถุ

QR code สำหรับ B.

C. แสดงกราฟ $\theta-t$ และ $v-t$ ของรอก

ฟังก์ชันนี้เมื่อระบุจำนวนซี่หรือก้านของรอกแล้วให้รอกหมุนโดยที่ก้านของรอกตัดแนวแสงขณะหมุน โฟโตเกทจะบันทึกเวลาที่ก้านของรอกเริ่มตัดผ่าน จากนั้น phyphox จะคำนวณมุมที่รอกหมุนไป θ ที่เวลา t ที่ได้จากโฟโตเกทพร้อมทั้งแสดงกราฟ และนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาความเร็วเชิงมุม ω ของรอกพร้อมทั้งแสดงกราฟเทียบกับเวลา

ฟังก์ชันนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลที่แขวนอยู่กับรอก เช่น ปลายหนึ่งของเชือกผูกกับมวล m_1 ส่วนอีกปลายหนึ่งผูกกับมวล m_2 แล้วนำเชือกคล้องผ่านรอก หรือให้มวล m_1 วางอยู่บนโต๊ะราบแล้วคล้องเชือกผ่านรอกโดยที่ให้ปลายด้านที่ผูกกับ m_2 ห้อยอยู่ในแนวดิ่ง ข้อมูลการเคลื่อนที่ของมวลสามารถคำนวณได้จากการหมุนของรอกภายใต้เงื่อนไขที่เชือกเคลื่อนผ่านรอกแบบไม่ไถล

QR code สำหรับ C.