คู่มือปฏิบัติการ: การทดลองเรื่อง กฎของฮุค (Hooke's Law)

วัตถุประสงค์การทดลอง

1.เพื่อหาค่าคงตัวของสปริง (k) ด้วยวิธีสถิตศาสตร์ (Static Method) จากระยะยืดของสปริง

2.เพื่อหาค่าคงตัวของสปริง (k) ด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Method) จากการสั่นของสปริง

3.เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะยืด และมวลกับคาบการแกว่ง

อุปกรณ์การทดลอง

-ขาตั้งพร้อมที่จับ (Stand and Clamp)

-สปริงเหล็ก

-ถาดรองแขวนน้ำหนัก และตุ้มน้ำหนักขนาดก้อนละ 5 กรัม (จำนวน 5-6 ก้อน)

-ไม้บรรทัด หรือตลับเมตร

-นาฬิกาจับเวลา

ทฤษฎีและหลักการ

1. กฎของฮุค (Hooke's Law) และวิธีสถิตศาสตร์ (Static Method)

เมื่อเราออกแรงกระทำต่อวัตถุที่มีความยืดหยุ่น เช่น สปริง วัตถุนั้นจะเปลี่ยนรูปทรงไปจากเดิม (ยืดออกหรือหดเข้า) และในขณะเดียวกัน โครงสร้างภายในของวัตถุจะสร้าง "แรงดึงกลับ (Restoring Force: F_R)" ออกมาเพื่อพยายามดึงตัวเองกลับสู่สภาพสมดุลเดิม

ในปี ค.ศ. 1676 โรเบิร์ต ฮุค (Robert Hooke) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ค้นพบความสัมพันธ์นี้และตั้งเป็น กฎของฮุค (Hooke's Law) ซึ่งกล่าวว่า: "ภายในพิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ขนาดของแรงดึงกลับของสปริงจะแปรผันตรงกับระยะทางที่สปริงยืดออกหรือหดเข้าจากตำแหน่งสมดุล" เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$F_R = -kx$$

โดยที่ F_R คือ แรงดึงกลับของสปริง (หน่วยเป็น นิวตัน) เครื่องหมายลบแสดงว่าแรงนี้มีทิศทางตรงข้ามกับทิศที่สปริงยืดออกเสมอ

k คือ ค่าคงตัวของสปริง หรือ ค่าสติฟเนส (Spring Constant / Stiffness) เป็นค่าที่บอกความแข็งของสปริง (หน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร) x คือ ระยะที่สปริงยืดออกหรือหดเข้าจากตำแหน่งสมดุลเดิม (หน่วยเป็นเมตร)

2. การสั่นของสปริง และวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Method)

ใน การทดลองตอนที่ 2 (วิธีพลศาสตร์) เมื่อเราดึงมวล m ที่แขวนอยู่กับสปริงให้ยืดออกจากตำแหน่งสมดุลเล็กน้อยแล้วปล่อย มวลจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำรอยเดิมผ่านตำแหน่งสมดุล การเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion: SHM)

จากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (F = ma) และกฎของฮุค (F = -kx) จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$-kx = ma$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย มีความเร่งเป็น $a = -\omega^2 x$ (เมื่อ ω คือความถี่เชิงมุม) แทนค่าลงในสมการจะได้

$$m\omega^2 x + kx = 0$$

ได้ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ แทนค่า $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ดังนั้น

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

ข้อสังเกต: มวล m ในตอนที่ 2 นี้ ตามทฤษฎีแล้วจะต้องรวม **มวลของสปริงบางส่วน** เข้าไปด้วย เรียกว่า Effective Mass ของสปริง ซึ่งมีค่าประมาณ 1/3 ของมวลสปริงทั้งหมด ดังนั้นกราฟเส้นตรงที่ได้อาจจะไม่ตัดจุดกำเนิด (0,0) แต่จะตัดแกน X ในฝั่งติดลบ ซึ่งจุดตัดนั้นจะบอกมวลยังผลของสปริง แต่จะไม่ส่งผลต่อค่าความชัน (Slope)

ตอนที่ 1: การหาค่า k ของสปริงจากระยะยืดในแนวดิ่ง (Static Method)

ในตอนนี้เราจะใช้หลักการของกฎของฮุคโดยตรง ซึ่งกล่าวว่าแรงดึงกลับของสปริงจะแปรผันตรงกับระยะที่สปริงยืดออก สมการคือ F = kx (โดย F = mg)

ขั้นตอนการทดลอง

1.บันทึกตำแหน่งเริ่มต้น:ตั้งต้นระบบ แขวนสปริงเข้ากับขาตั้งในแนวดิ่ง แขวนถาดรองน้ำหนักเปล่า บันทึกตำแหน่งปลายสปริงบนไม้บรรทัดให้

เป็นตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น (x0)

2. **เพิ่มมวลทีละ 5 กรัม:**เก็บข้อมูลระยะยืด วางตุ้มน้ำหนักขนาด 5 กรัมลงบนถาด บันทึกตำแหน่งปลายสปริงใหม่ นำไปลบกับ x0 เพื่อหา

ระยะยืด (x) ทำซ้ำโดยเพิ่มมวลทีละ 5 กรัม จนครบ 25-30 กรัม

3 แปลงหน่วยและคำนวณแรง แปลงมวล (m) จากกรัมให้เป็นกิโลกรัม และคำนวณแรงเนื่องจากน้ำหนัก F = mg (ใช้ g = 9.8 m/s^2)

4 เขียนกราฟหาค่า k นำข้อมูลไปเขียนกราฟโดยให้ **แรง F อยู่บนแกน Y** และ **ระยะยืด x อยู่บนแกน X** ลากเส้นตรงเฉลี่ยผ่านจุด

จากสมการเส้นตรง y = mx เมื่อเทียบกับ F = kx จะได้ว่า **ความชันของกราฟ (Slope) มีค่าเท่ากับค่าคงตัวของสปริง (k)**

ตอนที่ 2: การหาค่า k ของสปริงจากการสั่นในแนวดิ่ง (Dynamic Method)

เมื่อดึงมวลที่ห้อยอยู่กับสปริงให้ยืดออกเล็กน้อยแล้วปล่อย มวลจะสั่นขึ้นลงแบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion) คาบการสั่น (T) จะสัมพันธ์กับมวลตามสมการ $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

เมื่อยกกำลังสองทั้งสองข้างจะได้ $T^2 = \frac{4\pi^2}{k}m$

ขั้นตอนการทดลอง

1เตรียมมวลเริ่มต้น:ใส่ตุ้มน้ำหนัก ใส่ตุ้มน้ำหนักเริ่มต้น (เช่น 5 กรัม หรือ 10 กรัมรวมถาดรอง) บนสปริงที่แขวนอยู่

2กระตุ้นการสั่นและจับเวลา:วัดคาบการเคลื่อนที่ ดึงมวลลงมาด้านล่างเล็กน้อย (ประมาณ 1-2 ซม.) แล้วปล่อยให้สั่นในแนวดิ่ง **ใช้นาฬิกาจับเวลาเมื่อมวลสั่นครบ 20 รอบ** นำเวลารวมมาหารด้วย 20 เพื่อหา **คาบ (T)** ของการสั่น 1 รอบ

3เพิ่มมวลและทดลองซ้ำ: เพิ่มตุ้มน้ำหนักทีละ 5 กรัม บันทึกเวลารวม 20 รอบ และคำนวณหาค่าคาบ T ในทุกๆ ค่ามวล

4คำนวณหา T กำลังสอง: นำค่าคาบ T ที่ได้ในแต่ละมวลมาทำการ **ยกกำลังสอง**

5 การเขียนกราฟ นำข้อมูลไปเขียนกราฟโดยให้ **T^2 อยู่บนแกน Y** และ **มวลรวมทั้งหมด (m) อยู่บนแกน X** (รวมมวลถาดรองด้วย)

การคำนวณ จากสมการ $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} m$ มื่อเทียบกับสมการเส้นตรง y = slope x +c

จะพบว่า Slope = $\frac{4\pi^2}{k}$

ดังนั้น จะคำนวณหาค่า k ได้จากสูตร: $k = \frac{4\pi^2}{slope}$

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1 เปรียบเทียบค่า k ที่ได้จากตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ว่ามีความใกล้เคียงกันหรือไม่ และวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน (เช่น การจับเวลาที่คลาดเคลื่อน หรือสปริงยืดเกินพิกัดยืดหยุ่น)

2.สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง ตามจุดประสงค์ที่ต้องการทดลอง