

实验二 简谐振动的研究

自然界中存在着各种振动现象，最简单、最基本的振动是简谐振动。简谐振动是物理量随时间按正弦或余弦规律进行变化的振动。由数学知识知道，任何一个复杂的函数均能用正弦和余弦函数展开，因此任何一个复杂的振动也可以由许多不同频率和振幅的简谐振动合成。讨论简谐振动是研究复杂振动现象的基础。

【实验目的】

1. 观察简谐振动现象；
2. 测定弹簧的倔强系数；
3. 测定振动周期 T 随振子质量 m 变化的情况；
4. 学习使用气垫导轨、焦利氏秤和计时仪器；
5. 测定弹簧的有效质量。

【实验原理】

1. 胡克定律

在弹性限度内，弹簧的伸长量 x 与其所受的拉力 F 成正比，这就是胡克定律：

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

比例系数 k 称为弹簧的倔强系数。在本实验中 k 可以由焦利氏秤测得，焦利氏秤的示意图如图 1 所示。一个可以升降的套杆 A，A 上有米尺刻度，并附有读数游标 H。A 顶点悬挂一弹簧 S，弹簧下端悬挂一个带有刻痕标记的小镜子 C。镜子下端挂一个砝码托盘。镜子通过一个固定的玻璃管 D。D 上也有刻痕标记。G 为调节套杆升降的旋扭， I_1 、 I_2 为调节仪器垂直螺丝。E 为放物平台。

初始时，可调节 G，使小镜子上的刻痕、玻璃管上的刻痕以及在小镜子中的像三者重合，简称“三线对齐”。读出标尺刻度 L_1 。

当在砝码托盘内加载重物 m 时，弹簧拉伸，三线不再对齐，可再次调节 G，使三线对齐，同时记下刻度 L_2 ， k 可由此得到：

$$k = \frac{mg}{L_2 - L_1} \quad (2)$$

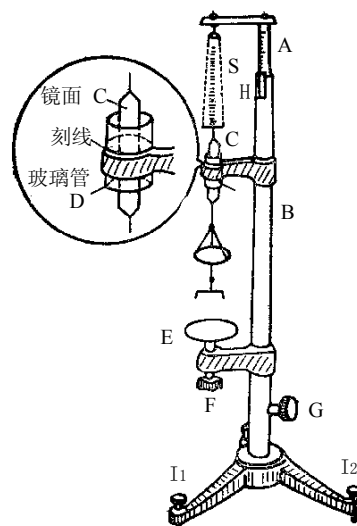


图 1 焦利氏秤的示意图

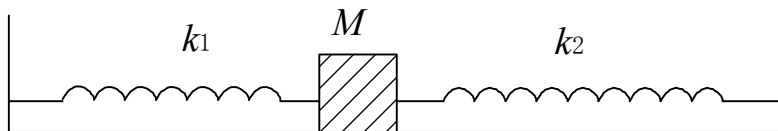


图2 简谐振动示意图

2. 弹簧振子的简谐运动方程

本实验中所用的是倔强系数分别为 k_1 和 k_2 的弹簧， k_1 和 k_2 分别由焦利氏秤测得。 k_1 和 k_2 如图2所示联结在一个质量为 M 的物体上，它们在光滑的水平气垫导轨上作简谐振动，弹簧的另外两端是固定在气垫导轨上。记 M 的平衡位置为坐标原点，该点 $x = 0$ 。如果忽略阻尼和弹簧质量，则当 M 距平衡位置为 x 时，只受弹性恢复力 k_1x 和 k_2x 的作用，根据牛顿第二定律，其运动方程为：

$$(k_1 + k_2)x + M \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \quad (3)$$

方程的解为

$$x = A \cos(\omega_0 t + \phi_0) \quad (4)$$

其中 $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{M}}$ 是振动系统的固有角频率， A 是振幅， ϕ_0 是初位相。 ω_0 由系统本身决定，也称固有频率， A 和 ϕ_0 由初始条件决定。系统的固有周期

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_1 + k_2}} \quad (5)$$

本实验通过改变 M 测出相应的 T ，用以考察 T 与 M 的关系。

3. 弹簧质量的影响

当弹簧的质量不可忽略时，振子的有效质量为振动物体的质量与弹簧有效质量的和，振动系统的角频率可记作

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{M + m_0}} \quad (6)$$

m_0 为弹簧的有效质量，在数值上等于弹簧质量的三分之一。

【实验内容】

1. 测量弹簧的倔强系数

(1) 将焦利氏秤调节至垂直状态后，将弹簧 1 按图 1 要求挂在焦利氏秤上。调“三线合一”，并记录标尺位置 L_1 ，加砝码 5 克，记录位置 L_2 ；

(2) 重复以上加砝码过程，记录位置变化 6 个点；

(3) 用最小二乘法计算弹簧 1 的倔强系数 k_1 ；

(4) 用弹簧 2 替换弹簧 1，重复以上过程，计算 k_2 。

2. 验证振动周期与振子质量的关系

(1) 将气垫导轨调至水平。

(a) 以目测的方法调整导轨单脚螺钉，使导轨初步水平；

(b) 将滑块安上两个距离固定的挡光片，并打开自动计数器的电源，调整计数器面板上的功能档为“a”。使滑块运动通过导轨上两个固定的光电门，当滑块通过两个光电门的速度基本一致时（挡光板的通过时间差不超过 3 ms），可认为气垫导轨水平。若误差较大，可调节单脚螺钉，使气垫导轨水平。

(2) 将滑块联上两个弹簧，装上单挡光片，自动计数器面板上的功能档放在“T”档。当振子连续在某一光电门左右振动时，计数器记录 10 个周期的时间，记录振子质量 M_1 和振动周期 T_1 。

(3) 在振子上加砝码 5 克，重复实验内容 (2)，记录质量 M_2 ，振动周期 T_2 。

(4) 重复 (3) 工作，共记录 5~6 个点，作图，观察 M 与 T^2 是否线性。

(5) 考虑折合质量，计算 $k = k_1 + k_2$ 值，并和实验值比较。

【注意事项】

1. 作简谐振动的弹簧绝对不能用手随便拉伸，以免超过其弹性限度，不能恢复原状。

2. 调节焦利氏秤时，应使小镜子在玻璃管内能自由振动，而不与管壁发生摩擦，每次加砝码时应托住码盘，以免引起振动导致测量误差。

【预习思考题】

1. 实验前为什么要将气垫导轨调水平？如何调整？

2. 实验前为什么要将焦利氏秤调垂直？如何调整？

【思考题】

1. 滑块的振幅在振动过程中不断减少，是什么原因？对实验结果有无影响？

2. 如果 $M \sim T^2$ 图不是一条直线，说明什么？

3. 为测准弹簧的伸长量，你采取了那些方法？有效吗？