

《基础物理实验》实验报告

实验名称: 气轨上弹簧振子的简谐振动及瞬时速度的测定 指导教师: 某某
姓名: 尹超 学号: 2023K8009926003 专业: 人工智能 班级: 2313 座号: 4
实验日期: 2024.12.18 实验地点: 教学楼 716 是否调课/补课: 否 成绩:

目录

1	实验目的	2
2	实验仪器与用具	2
3	实验原理	2
3.1	弹簧振子的简谐运动	2
3.2	简谐运动的运动学特征描述	3
3.3	简谐振动的机械能	3
3.4	瞬时速度的测定	3
4	实验内容与步骤	4
4.1	概述	4
4.2	实验步骤	4
4.3	实验结果分析	5

§1 实验目的

- (1) 观察简谐振动现象, 运动特征, 测定简谐振动的周期。
- (2) 求弹簧的倔强系数和有效质量。
- (3) 观察简谐振动的运动学特征。
- (4) 验证机械能守恒定律。
- (5) 用极限方法测定斜面上物体运动瞬时速度。
- (6) 深入了解平均速度和瞬时速度的关系。

§2 实验仪器与用具

气垫导轨、滑块、弹簧、砝码、平板及 U 型挡光片、光电门、数字毫秒计、天平等。

§3 实验原理

3.1 弹簧振子的简谐运动

在水平的气垫导轨上, 两个相同的弹簧中间系一个滑块, 滑块做往返振动, 如果不考虑滑块运动的阻力, 那么, 滑块的振动可以看成是简谐振动。

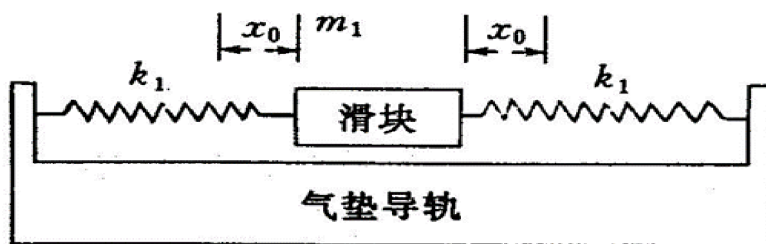


图 1: 弹簧振子示意图

由运动方程

$$-k_1(x + x_0) - [-k_1(x - x_0)] = m\ddot{x} \quad (1)$$

令 $k = 2k_1$

方程 (1) 的解为

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2)$$

其中, A 为振幅, $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 为振动系统的固有频率, φ_0 为初相位。

$$m = m_0 + m_1 \quad (3)$$

式中, m 为振动系统的有效质量; m_0 为弹簧的有效质量; m_1 为滑块和砝码的质量。

振动周期 T 与 ω_0 的关系为

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m_0 + m_1}{k}} \quad (4)$$

两边平方即可得到

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m_0 + m_1}{k} \quad (5)$$

在实验中, 我们改变滑块的质量 m_1 , 测量不同质量下的振动周期 T , 采用作图法获得 $T^2 - m$ 的图象, 通过直线拟合。

直线的斜率为

$$k = \frac{4\pi^2}{k} \quad (6)$$

同时可以从该条直线的截距获取 m_0 。

3.2 简谐运动的运动学特征描述

对 (2) 式在时间上进行求导即可得到

$$v(t) = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (7)$$

由 (7) 式可见, 速度 v 与时间有关, 且随时间的变化关系为简谐振动, 角频率为 ω_0 , 振幅为 $A\omega_0$, 而且速度 v 的相位比 x 超前 $\frac{\pi}{2}$

综合 (2) 式和 (7) 式, 消去时间 t , 可以得到

$$v^2 = \omega_0^2 (A^2 - x^2) \quad (8)$$

即当 $x = 0$ 时, 速度最大, 而当 $x = \pm A$ 时, 速度为 0。

3.3 简谐振动的机械能

在实验中, 任何时刻系统的振动动能为:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(m_0 + m_1)v^2 \quad (9)$$

系统的弹性势能为 (以 m_1 位于平衡位置时的系统势能为 0)

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (10)$$

系统的机械能为

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (11)$$

式中 k 和 A 均不随时间变化。通过测量滑块 m_1 在不同位置 x 的速度 v , 可以计算出系统在不同位置的动能 E_k 和势能 E_p , 从而验证机械能守恒定律。

3.4 瞬时速度的测定

在实验中, 我们通过测量滑块在不同位置的平均速度, 然后通过外推法求出滑块在某一位置的瞬时速度。

$$v = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (12)$$

我们常用极短时间 Δt 内的平均速度 v_1 和 v_2 的平均值作为瞬时速度 v_0 的近似值。

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (13)$$

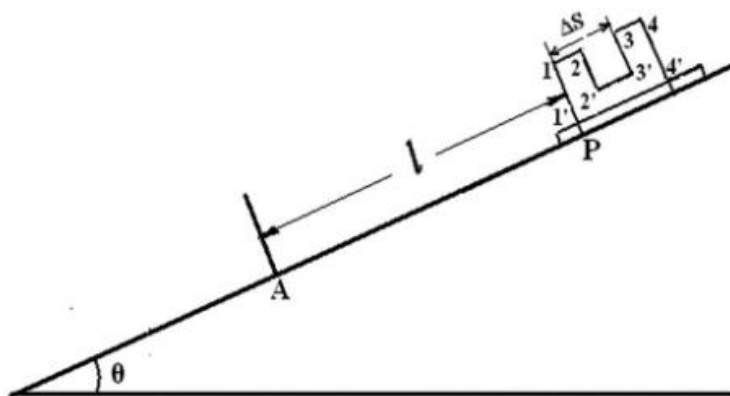


图 2: 测定瞬时速度示意图

在实验中, 在倾斜的气轨上, 于 A 点处放置一光电门, 在滑块上先后安装不同挡光距离的 U 形挡光片, 使各挡光片的第一挡光边距 A 点为 l 。滑块每次自 P 点由静止开始下滑, 分别测出相应的挡光时间 Δt 及挡光距离 Δs 。设滑块由静止下滑距离 l 后的瞬时速度为 v_0 (即第一挡光时滑块的瞬时速度), 则有:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = v_0 + \frac{a}{2} \Delta t \quad (14)$$

其中 a 为滑块在 A 附近的加速度。

§4 实验内容与步骤

4.1 概述

- (1) 掌握使用光电门测量物体速度和周期的方法。
- (2) 验证气垫导轨是否水平, 并理解其对实验结果的影响。
- (3) 探究弹簧振子的振动周期与振幅、质量的关系。
- (4) 分析振动系统的机械能守恒情况。
- (5) 研究平均速度与瞬时速度的关系, 并使用外推法求瞬时速度。

4.2 实验步骤

(1) 光电门测速与周期

使用光电门仪器学习如何测量物体的速度和周期。

(2) 气垫导轨水平状态验证

调整气垫导轨至水平状态。通过测量任意两点的速度变化来验证导轨是否真正水平。

(3) 弹簧振子振动周期与振幅关系

测量弹簧振子在不同振幅 (10.0、20.0、30.0、40.0 cm) 下的振动周期。分析实验结果, 探讨振幅变化对振动周期的影响。

(4) 振动周期与振子质量关系

在滑块上增加不同数量的骑码 (铁片), 测量增加质量后的振动周期。制作周期平方与质量的图表, 并使用最小二乘法进行直线拟合, 求出弹簧常数 k 和滑块质量 m_0 。

(5) 速度与位移关系

在滑块上安装 U 型挡光片, 测量不同位移下的速度。制作速度平方与位移平方的图表, 并进行直线拟合, 验证斜率和截距是否符合理论值。

(6) **机械能守恒验证**

在固定振幅下, 测量滑块在不同位置的速度, 并计算动能和势能。比较各位置的机械能, 得出能量是否守恒的结论。

(7) **平均速度与瞬时速度关系**

使用外推法, 通过测量不同位移下的平均速度, 求出瞬时速度 V_0 。

(8) **改变气轨倾斜角度**

通过增加垫块数量, 改变气轨的倾斜角度 θ , 并重复上述实验。

(9) **改变 A 点到 P 点的距离**

设置 A 点到 P 点的距离为 60cm, 并重复上述实验。

4.3 实验结果分析

对每个实验步骤中得到的数据进行分析 and 讨论, 得出结论, 并与理论预期进行对比, 验证实验结果的准确性。