

# 《基础物理实验》实验报告

实验名称: 气轨弹簧振子的简谐振动 指导教师: 余运林晨 yuyunlinchen21@mails.ucas.ac.cn

姓名: 丁毅 学号: 2023K8009908031 班级/专业: 2308/电子信息 分组序号: 2-05

实验日期: 2024.12.17 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	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	2
3.3 简谐振动的机械能	3
3.4 瞬时速度的测量	3
4 实验内容	3
5 实验数据及数据处理	4
5.1 实验仪器调试	4
5.2 测量弹簧振子的振动周期并考察振动周期和振幅的关系	4
5.3 研究弹簧振子振动周期与振子质量之间的关系	4
5.4 研究速度与位移的关系	6
5.5 研究机械能是否守恒	6
5.6 改变振幅 $A$ , 测出相应的 $v_{max}$ , 由 $v_{max}^2-A^2$ 图像求 $k$	7
5.7 其他相关参数	8
5.8 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 ( $\Delta P=50\text{cm}$ ), 计算平均速度	8
5.9 改变导轨倾角, 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 ( $\Delta P=50\text{cm}$ ), 计算平均速度	9
5.10 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 ( $\Delta P=60\text{cm}$ ), 计算平均速度	10
5.11 落球法测定液体在不同温度的粘度	11
6 思考题	12
7 实验总结与心得体会	13
附录 A 原始数据记录表	14
附录 B Matlab 源码	17

## 1 实验目的

- (1) 观察简谐振动现象, 测定简谐振动的周期。
- (2) 求弹簧的倔强系数  $k$  和有效质量  $m_0$ 。
- (3) 观察简谐振动的运动学特征。
- (4) 验证机械能守恒定律。
- (5) 用极限法测定瞬时速度。
- (6) 深入了解平均速度和瞬时速度的关系。

## 2 实验仪器

气垫导轨、滑块、附加砝码、弹簧、U 型挡光片、平板挡光片、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, 若不考虑滑块运动的阻力, 可以认为滑块的振动是理想的简谐振动。

设质量为  $m_1$  的滑块初始时处于平衡位置, 此时每个弹簧的初始伸长量为  $x_0$ , 当滑块偏离平衡点  $x$  时, 受弹性力  $-k_1(x+x_0)$  与  $-k_1(x-x_0)$  的作用, 其中  $k_1$  是弹簧的倔强系数。根据牛顿第二定律, 列出其运动方程:  $-kx = m\ddot{x}$ , 其中  $k = 2k_1$ 。

式中的  $m$  与弹簧质量  $m_1$  并不相同。因为事实上弹簧也是有一定质量的, 这导致了实际的运动并非严格的简谐振动, 而是需要考虑弹簧内部形成的驻波, 详细推导需要采用分离变量法解微分方程, 这里直接给出结果: 若在近似的仍欲采用简谐振动的结论, 则可考虑只取一级近似, 引入“弹簧有效质量”  $m_0$

由一级近似可计算得  $m = m_1 + m_0$ ,  $m_0$  为弹簧质量的  $\frac{1}{3}$ , 这样对应该方程的解为:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

其中周期与固有频率的关系为

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

将上式两边平方可以得到

$$T^2 = \frac{4\pi^2 (m_1 + m_0)}{k} \quad (3)$$

在实验中, 我们改变  $m_1$ , 测出相应的  $T$ , 采用作图法获得  $T - m_1$  的曲线, 理论上该曲线应为一 条直线, 直线的斜率为  $\frac{4\pi^2}{k}$ , 采用最小二乘法可以计算出该直线的斜率, 进而算出劲度系数到  $k$  的值。同时, 可以从该条直线的截距获取  $m_0$  的值。也可采用逐差法求解  $k$  和  $m_0$  的值。

### 3.2 简谐振动的运动学特征

运动方程两边同时对时间求导, 即可得到

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4)$$

由此可见, 速度  $v$  与时间有关, 且随时间的变化关系也为简谐振动, 角频率为  $\omega_0$ , 振幅为  $A\omega_0$ , 而且度  $v$  的相位比位移  $x$  超前  $\frac{\pi}{2}$

联立  $x-t$  方程与  $v-t$  方程, 消去时间  $t$ , 即可得到

$$v^2 = \omega_0^2 (A^2 - x^2) \quad (5)$$

当  $x = A$  时,  $v = 0$ ; 当  $x = 0$  时,  $v = \pm A\omega_0$ , 此时  $v$  取最大值

本实验可以通过观察  $x$  和  $v$  随时间的变化规律, 以及  $x$  和  $v$  之间的相位关系。利用拟合的方法算出角频率。

### 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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 \quad (6)$$

由于此前在第一个实验项目中, 已经测得弹簧的劲度系数为  $k$ , 因此可以直接算得系统的弹性势能为 (以  $m_1$  位于平衡位置时系统的势能为零)

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 \quad (7)$$

所以系统的机械能为

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (8)$$

上式中的  $k$  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  $v$ , 从而计算弹性势能和振动势能, 并验证他们之间的相互转换关系和机械能守恒定律是否吻合。

### 3.4 瞬时速度的测量

设变速运动的物体在  $\Delta t$  时间中经过的路程为  $\Delta s$ , 则其平均速度为  $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

当  $\Delta t$  与  $\Delta s$  均趋于 0 时, 平均速度的极限就为物体的瞬时速度。

在实验中, 在倾斜的气轨上, 于 A 点处放置一光电门, 在滑块上先后安装上挡光距离不同的 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  $\Delta t$  及挡光距离  $\Delta s$ 。(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:

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = v_0 + \frac{1}{2}a \cdot \Delta t \quad (9)$$

其中  $a$  为物体在 A 点附近的加速度本实验可以通过改变挡光距离  $\Delta s$  观察平均速度和瞬时速度的关系, 分别画出  $v-t$  图和  $v-x$  图, 利用外推法求出瞬时速度。

## 4 实验内容

- (1) 学会光电门测速和测周期的使用方法。
- (2) 调节气垫导轨至水平状态, 通过测量任意两点的速度变化, 验证气垫导轨是否处于水平状态。
- (3) 测量弹簧振子的振动周期并考察振动周期和振幅的关系。滑块的振幅  $A$  分别取 10.0、20.0、30.0、40.0 cm 时, 测量其相应振动周期。分析和讨论实验结果可得出什么结论?
- (4) 研究振动周期和振子质量之间的关系。在滑块上加骑码 (铁片)。对一个确定的振幅 (如取  $A=40.0$  cm) 每增加一个骑码测量一组周期  $T$ 。(骑码不能加太多, 以阻尼不明显为限。) 作  $T^2-m$  的图, 如果  $T$  与  $m$  的关系式如公式所示, 则  $T^2-m$  的图应为一条直线, 其斜率为  $4\pi^2/k$ , 截距为  $4\pi^2 m_0/k$ 。用最小二乘法做直线拟合, 求出  $k$  和  $m_0$ 。
- (5) 研究速度和位移的关系。在滑块上装上 U 型挡光片, 可测量速度。作  $v^2-x^2$  的图, 看该图是否为一条直线, 并进行直线拟合, 看斜率是否为  $-\omega_0^2$ , 截距是否为  $A^2\omega_0^2$ , 其中  $\omega_0 = 2\pi/T$ ,  $T$  可测出。

- (6) 研究振动系统的机械能是否守恒。固定振幅（如取  $A=40.0\text{ cm}$ ），测出不同  $x$  处的滑块速度，由此算出振动过程中经过每一个  $x$  处的动能和势能，并对各  $x$  处的机械能进行比较，得出结论。
- (7) 研究平均速度与瞬时速度的关系，利用外推法求出瞬时速度。在气轨下面只有一个螺丝的一端，小心将气轨抬起来，把垫块放到这个螺丝的下面。测量具有不同  $\Delta s$  的挡光片在距离 A 点为 50cm 处从静止开始自由下滑，从 A 点开始在  $\Delta s$  所用的时间  $\Delta t$ ，求出平均速度  $\bar{v}$ ，作  $\bar{v}-\Delta t$  图和  $\bar{v}-\Delta s$  图，将图线性外推求出瞬时速度  $v_0$ 。
- (8) 通过改变气轨的倾斜角度  $\theta$ （增加垫块数量），重复上述实验。
- (9) 通过改变 A 点到 P 点的距离  $l$ （设置 60 cm 处），重复上述实验。

## 5 实验数据及数据处理

### 5.1 实验仪器调试

调试结果如下表所示，其中  $\eta = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \times 100\%$ 。

表 1: 气垫导轨调试数据

$v_1$ (cm/s)	$v_2$ (cm/s)	误差 $\eta$
43.10	42.83	-0.63 %
47.08	47.62	+1.15 %
46、68	46.15	-1.14 %

由调试结果知道，导轨已经十分接近水平状态。

### 5.2 测量弹簧振子的振动周期并考察振动周期和振幅的关系

滑块的振幅  $A$  分别取 10.0, 20.0, 30.0, 40.0 cm 时，测量其振动周期

表 2: 振子振动周期与振幅的关系

振幅 $A$ (cm)	10	20	30	40
$T_1$ (ms)	1591.20	1595.08	1594.49	1594.16
$T_2$ (ms)	1591.31	1595.00	1594.69	1594.09
$T_3$ (ms)	1591.30	1595.04	1594.64	1594.28
$T_4$ (ms)	1591.30	1594.76	1594.36	1594.35
$T_5$ (ms)	1591.37	1594.92	1594.35	1594.42
$\bar{T}$ (ms)	1591.30	1594.96	1594.51	1594.26

已知理论上，周期与振幅无关。观察可以发现，当振幅不同时，测得的四个周期值均较为接近，根据实验结果来看可以认为，在误差的允许范围内，周期的大小与振幅无关。将得到的 4 个周期再做一次平均，可以得到带有条形挡光片的滑块做简谐运动的周期大约为 1593.76 ms。

### 5.3 研究弹簧振子振动周期与振子质量之间的关系

振子的振幅  $A$  取 40.0 cm，得到数据如下：

表 3: 振子周期与质量的关系

$m$ (g)	220.60	233.14	258.08	270.57	295.54
$T_1$ (ms)	1593.83	1637.80	1721.70	1762.28	1840.45
$T_2$ (ms)	1593.88	1637.95	1721.68	1761.72	1840.69
$T_3$ (ms)	1594.13	1638.06	1721.74	1762.04	1840.55
$T_4$ (ms)	1594.16	1638.07	1721.76	1762.34	1840.54
$T_5$ (ms)	1594.30	1638.12	1721.92	1762.39	1840.62
$T_6$ (ms)	1594.20	1638.29	1722.05	1762.74	1840.69
$T_7$ (ms)	1594.12	1638.38	1721.99	1762.72	1840.82
$T_8$ (ms)	1594.18	1638.51	1722.45	1762.60	1840.81
$T_9$ (ms)	1594.34	1638.36	1721.84	1762.72	1840.73
$T_{10}$ (ms)	1594.40	1638.50	1722.15	1762.72	1840.86
$\bar{T}$ (ms)	1594.15	1638.20	1721.93	1762.43	1840.68

依据上面数据作线性拟合，并绘制图像：

$$y = 1.1296 \times 10^4 x + 4.9812 \times 10^4 \quad (10)$$

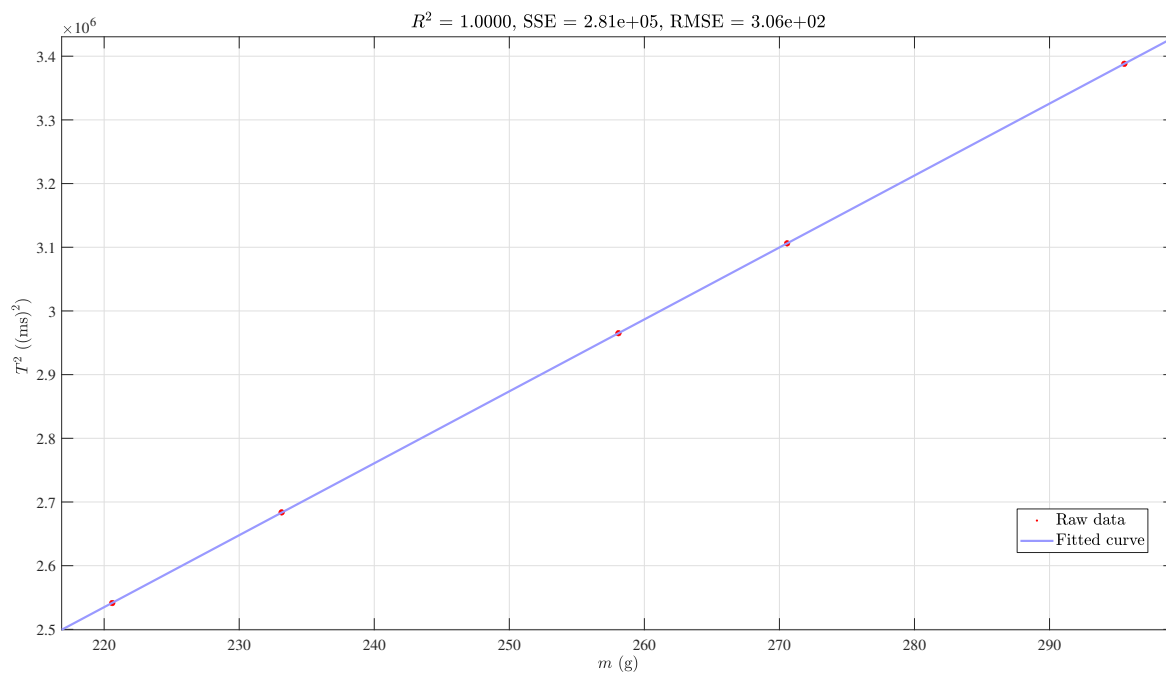


图 1: 振子周期与质量的关系

根据图像和相关拟合参数可知，拟合程度极好。图像斜率和截距分别为：

$$a = 1.1296 \times 10^4 \text{ (ms)}^2/\text{g} = 11.296 \text{ s}^2/\text{kg}, \quad b = 4.9812 \times 10^4 \text{ (ms)}^2 = 0.049812 \text{ s}^2 \quad (11)$$

由实验原理部分，可知斜率为  $\frac{4\pi^2}{k}$ ，截距为  $\frac{4\pi^2 m_0}{k}$ ，计算可得：

$$k = \frac{4\pi^2}{a} = 3.4949 \text{ N/m}, \quad m_0 = \frac{bk}{4\pi^2} = 4.4097 \text{ g} \quad (12)$$

也即弹簧的劲度系数为 3.4949 N/m，弹簧的有效质量为 4.4097 g。

## 5.4 研究速度与位移的关系

振子的振幅  $A$  取 40.0 cm, 得到数据如下:

表 4: 速度与位移的关系

位移 $x$ (cm)	10	15	20	25	30
$v_1$ (cm/s)	148.37	141.64	132.98	120.05	100.30
$v_2$ (cm/s)	148.81	142.25	132.80	121.31	98.66
$v_3$ (cm/s)	148.59	142.65	132.62	119.90	100.00
$\bar{v}$ (cm/s)	148.59	142.18	132.80	120.42	99.65

依据上面数据作线性拟合, 并绘制图像:

$$y = -15.049x + 2.3644 \quad (13)$$

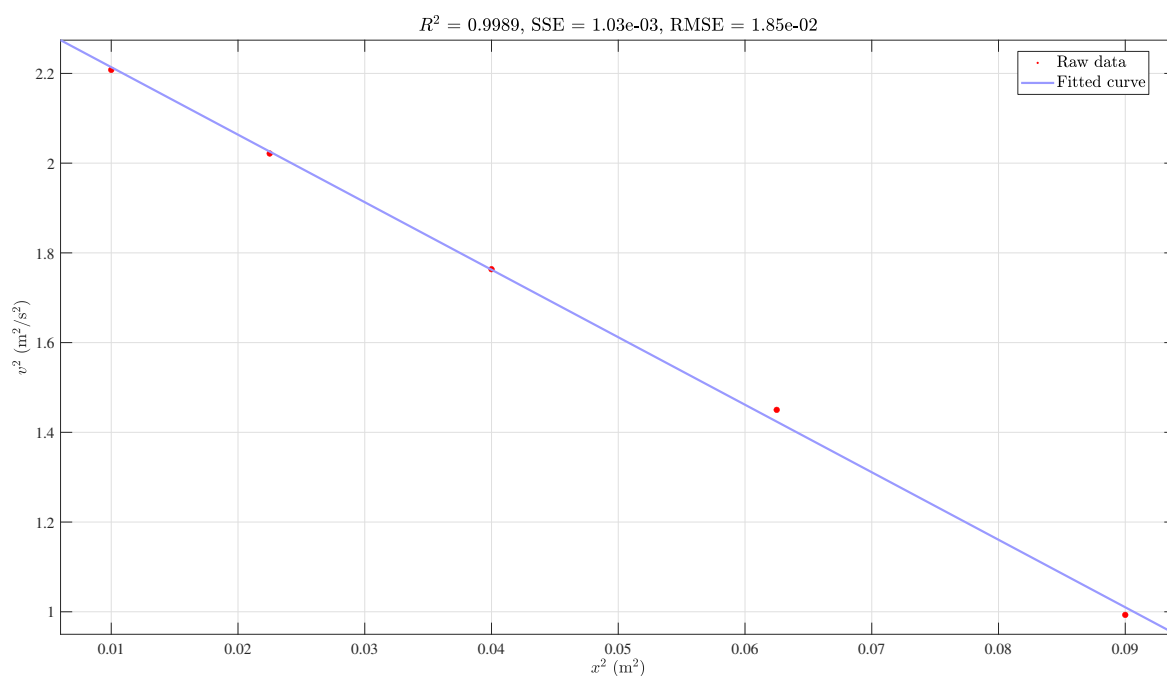


图 2: 速度与位移的关系

拟合直线斜率  $a = -1.5049$ , 截距  $b = 2.3644$ , 由原理部分公式可知:

$$\omega_0 = \sqrt{-a} = 3.8793 \text{ rad/s}, \quad T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 1619.67 \text{ ms} \quad (14)$$

这与前面得到的 1593.76 ms 十分接近, 在误差范围内可认为两者相等。

## 5.5 研究机械能是否守恒

振子的振幅  $A$  取 40.0 cm, 数据如下表所示, 其中  $m = m_0 + m_1 = 225.01 \text{ g}$ 。

表 5: 不同位置的机械能情况

$x$ (m)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
$v$ (m/s)	1.4859	1.4218	1.3280	1.2042	0.9965
$E_k$ (J)	0.2484	0.2274	0.1984	0.1631	0.1117
$E_p$ (J)	0.0175	0.0393	0.0699	0.1092	0.1573
$E$ (J)	0.2659	0.2667	0.2683	0.2724	0.2690

由机械能数据和下图可以认为, 振动系统的机械能在振动过程中不变, 与理论结果相符。

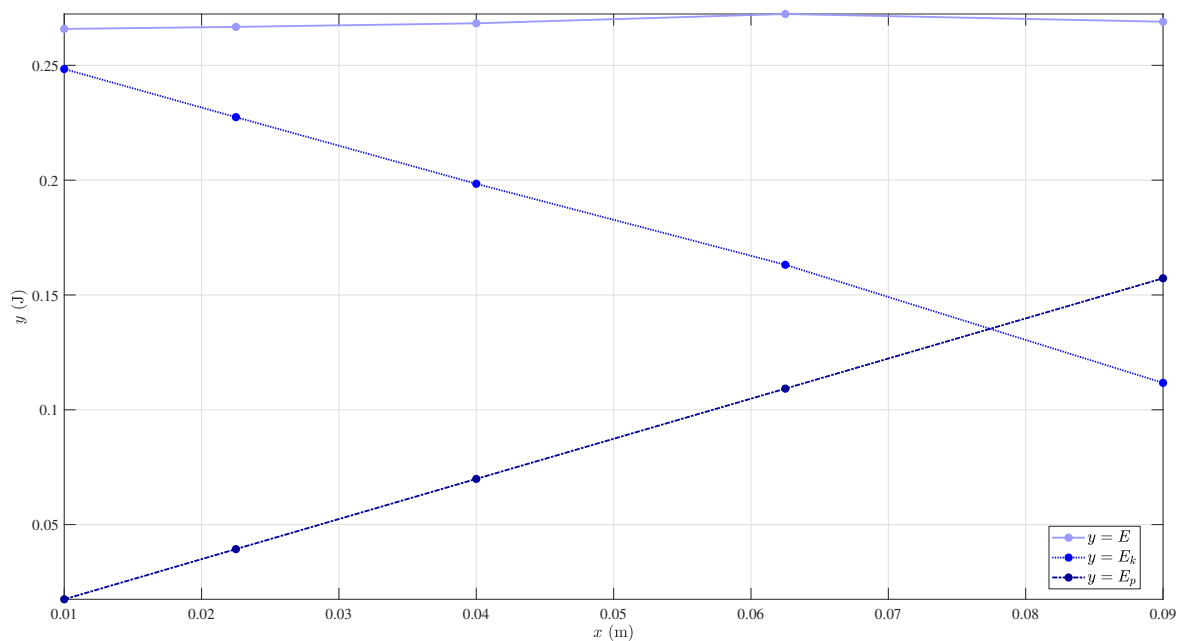


图 3: 不同位置的机械能情况

### 5.6 改变振幅 $A$ , 测出相应的 $v_{max}$ , 由 $v_{max}^2-A^2$ 图像求 $k$

不同振幅  $A$  下的最大速度如下:

表 6: 振幅与最大速度的关系

$A$ (cm)	10	15	20	25	30
$v_{max,1}$	38.90	57.64	76.92	96.34	115.47
$v_{max,2}$	39.09	57.67	76.80	96.33	115.21
$v_{max,3}$	39.21	57.87	77.04	96.25	115.20
$v_{max}$	39.07	57.73	76.92	96.31	115.29

依据上面数据作线性拟合, 并绘制图像:

$$y = 14.796 x \quad (15)$$

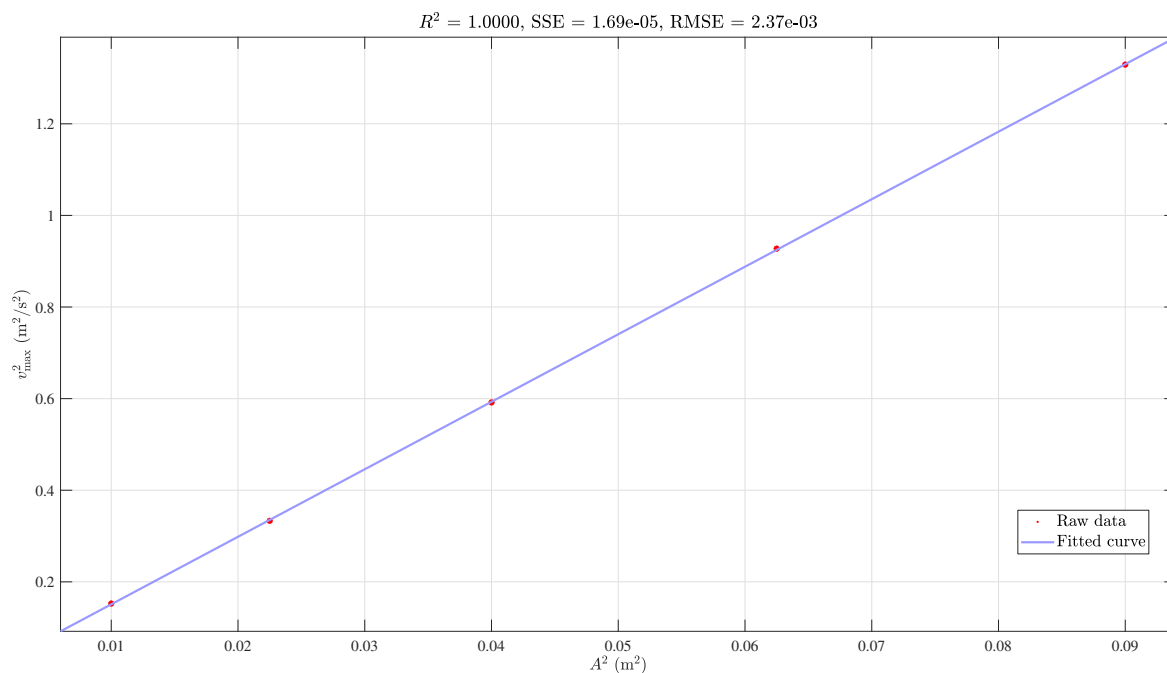


图 4: 振幅与最大速度的关系

拟合直线斜率  $a = 14.796$ , 于是:

$$\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \implies k = ma = 3.3292 \text{ N/m} \quad (16)$$

这与之之前  $k = 3.4949 \text{ N/m}$  的结果较为接近。

## 5.7 其他相关参数

- (1) 滑块质量  $m_1$ : 217.99 g
- (2) 条形挡光片质量: 2.61 g
- (3) U 型挡光片质量: 11.83 g

## 5.8 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 (AP=50cm), 计算平均速度

此小节我们设定  $A_p = 50 \text{ cm}$ , 并添加一块垫片以改变倾斜角度, 得到数据如下:

表 7: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第一次)

挡光片宽度	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\overline{\Delta t}$ (ms)	$\bar{v}$ (cm/s)
1 cm	27.62	27.53	27.59	27.79	27.79	27.66	0.361
3 cm	81.29	81.70	81.30	81.70	81.41	81.48	0.368
5 cm	135.22	135.17	135.57	135.61	135.51	135.42	0.369
10 cm	262.67	262.40	263.47	262.62	263.20	262.87	0.380

利用关系式  $\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}a\Delta t$ , 作线性拟合, 可以得到:



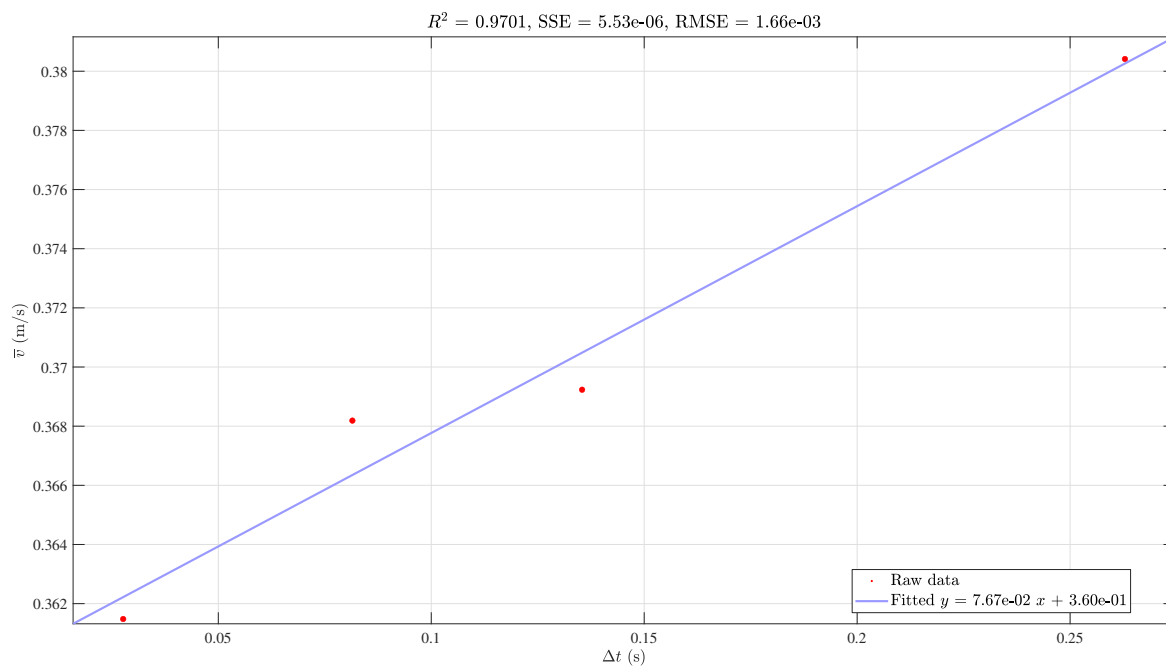


图 5: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第一次)

由截距可得  $v_0$  :

$$v_0 = 0.360 \text{ m/s} \quad (17)$$

## 5.9 改变导轨倾角, 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 (AP=50cm), 计算平均速度

在上一小节的基础上, 再添加一块垫片以增加倾斜角度, 得到数据如下:

表 8: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第二次)

挡光片宽度	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\overline{\Delta t}$ (ms)	$\bar{v}$ (m/s)
1 cm	20.36	20.30	20.31	20.38	20.32	20.33	0.4918
3 cm	60.01	60.22	60.20	60.19	60.15	60.15	0.4987
5 cm	99.80	100.05	99.86	100.10	99.96	99.95	0.5002
10 cm	195.24	195.10	195.52	195.70	195.22	195.36	0.5119

利用关系式  $\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}a\Delta t$ , 作线性拟合, 可以得到:

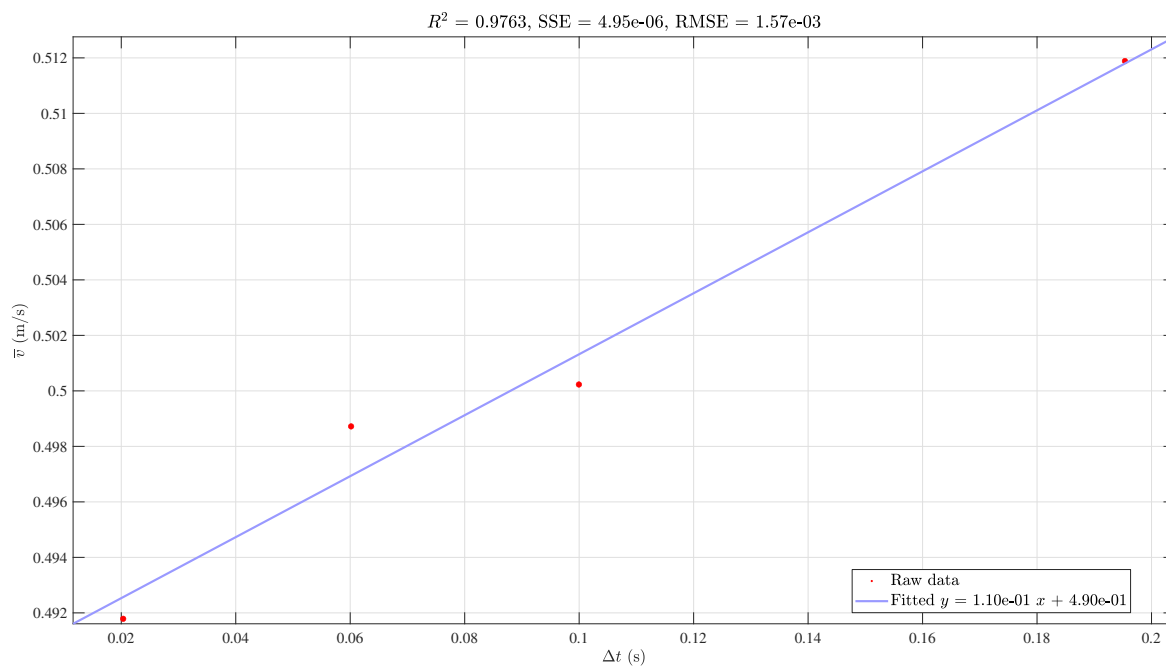


图 6: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第二次)

由截距可得  $v_0$  :

$$v_0 = 0.490 \text{ m/s} \quad (18)$$

### 5.10 测定瞬时速度与不同 U 型挡光片通过光电门所用的时间 (AP=60cm), 计算平均速度

在上一小节的基础上, 保持倾斜角度不变, 调整 AP 距离为 60 cm, 得到数据如下:

表 9: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第三次)

挡光片宽度	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\bar{\Delta t}$ (ms)	$\bar{v}$ (m/s)
1 cm	18.54	18.56	18.56	18.52	18.53	18.5420	0.5393
3 cm	54.85	54.98	54.82	54.95	54.96	54.9120	0.5463
5 cm	91.47	91.44	91.18	91.17	91.40	91.3320	0.5475
10 cm	179.12	179.54	179.28	179.52	179.22	179.3360	0.5576

利用关系式  $\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}a\Delta t$ , 作线性拟合, 可以得到:

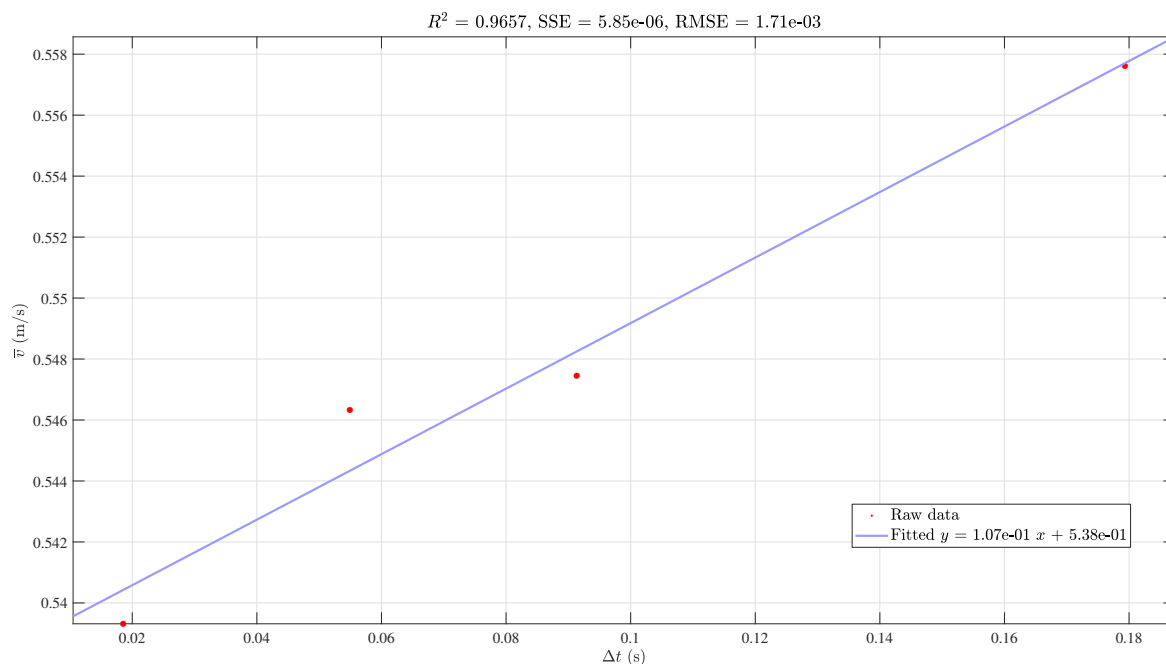


图 7: 挡光片宽度与平均速度的关系 (第三次)

由截距可得  $v_0$  :

$$v_0 = 0.538 \text{ m/s} \quad (19)$$

### 5.11 落球法测定液体在不同温度的粘度

此小节的计算公式为:

$$v_0 = \frac{D}{\bar{t}}, \quad \eta_{\text{expe}} = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18v_0 \left(1 + \frac{2.4d}{D}\right)}, \quad \text{error} = \frac{\eta_{\text{expe}} - \eta_{\text{stan}}}{\eta_{\text{stan}}} \times 100\% \quad (20)$$

其中  $\eta_{\text{expe}}$  为实验测得的粘度系数,  $\eta_{\text{stan}}$  为标准值,  $D = 0.2 \text{ m}$ ,  $\rho = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_0 = 0.95 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $d = 1.12 \text{ mm}$ ,  $g = 9.8015 \text{ m/s}^2$ ,  $\bar{t}$  为此温度液滴下落的平均时间。所得数据及结果如下:

表 10: 落球法测定液体在不同温度的粘度

温度 (°C)	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$t_3$ (s)	$t_4$ (s)	$t_5$ (s)	$\bar{t}$ (s)	$v_0$ (m/s)	$\eta_{\text{expe}}$ (Pa·s)	$\eta_{\text{stan}}$ (Pa·s)	error (%)
25	25.10	25.53	25.50	25.31	25.55	25.40	0.0079	0.5863	0.6210	-5.5881
30	19.52	19.47	19.44	19.47	19.20	19.42	0.0103	0.4483	0.4510	-0.5989
35	14.87	14.06	14.31	14.08	14.16	14.30	0.0140	0.3300	0.3120	5.7695
40	10.41	10.03	10.09	10.10	10.00	10.13	0.0198	0.2338	0.2310	1.1916
45	7.44	7.41	7.31	7.28	7.34	7.36	0.0272	0.1698	0.1720	-1.2739
50	5.60	5.50	5.50	5.50	5.47	5.51	0.0363	0.1273	0.1260	1.0217
55	4.13	4.18	4.20	4.19	4.18	4.18	0.0479	0.0964	0.0980	-1.6322

如图所示:

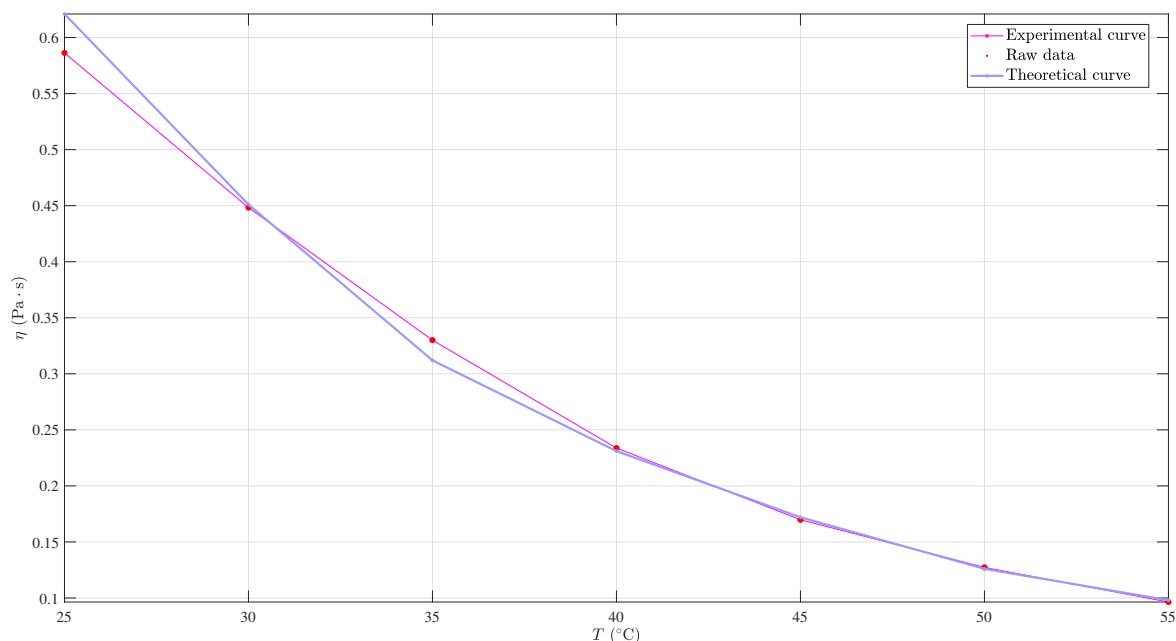


图 8: 液体在不同温度下的粘度

## 6 思考题

**6.1 仔细观察, 可以发现滑块的振幅是不断减小的, 那么为什么还可以认为滑块是做简谐振动? 实验中应如何尽量保证滑块做简谐振动?**

振幅不断减小是由于存在阻尼, 而我们之所以仍认为滑块作简谐振动, 是因为气垫导轨摩擦较小, 对实验结果的影响不是很大, 事实上实际运动是欠阻尼简谐振动。在不考虑耗散的情况下, 可近似认为是简谐运动。

实验中, 我们使用气垫导轨以消除滑动摩擦; 保证气垫导轨的水平; 先打开气垫导轨再放置滑块; 用光电门和数字毫秒计测量周期和速度, 这些都可以尽量保证其做简谐振动。

**6.2 试说明弹簧的等效质量的物理意义, 如不考虑弹簧的等效质量, 对实验结果有什么影响?**

因为实际上, 弹簧本身的质量不可忽略, 而质量的存在会导致弹簧内产生驻波, 因而, 严格来说, 此时运动已经不满足简谐振动方程。为使简谐振动的原理尽可能被满足, 亦即减小误差, 我们考虑将这部分造成的影响用“等效质量”的概念代替: 如果忽略高阶小量的话, 那么就可以认为振动时仍保持质量线性分布, 并且弹簧质量远小于滑块质量, 由此大致上便解决了问题, 更方便分析、计算。

如不考虑弹簧的等效质量, 则可能会出现能量不守恒等情况, 总机械能偏小, 造成误差。

**6.3 测量周期时, 光电门是否必须在平衡位置上? 如不在平衡位置会产生什么不同的效果?**

理论上并不需要, 这对我们的测量结果并没有影响。

不过, 在实际操作的过程中, 由于存在能量耗散, 导致振幅减小, 如果不在平衡位置将会不便测量, 造成较大的误差。此外, 不在平衡位置导致每次测量的时候不处于周期的同一位置, 这也势必会很不方便测量。

**6.4 气垫导轨如果不水平, 是否能进行该实验?**

理论上来说, 如果只是为了观察简谐运动的性质, 那么其实是不需要调平的, 而且甚至于说, 在忽略弹簧重力的情况下, 机械能守恒的验证也并不会受到影响。只不过此时的公式会更加繁杂, 需要考虑修正, 这

是不够便利的。

### 6.5 使用平板形挡光片和两个光电门，如何测量滑块通过倾斜气轨上某一点的瞬时速度？

目标还是测量“瞬时”速度，因而实验思路大致上其实是不变的，仍然是通过改变距离，进而改变  $\Delta s$ ，并测得其相应的  $\Delta t$ ，通过线性拟合得到类似的结论。

### 6.6 气垫导轨如果不水平，对瞬时速度的测定有什么影响？

并不影响。事实上，测定瞬时速度的实验，还会要求我们的气垫导轨不水平。

### 6.7 每次测量滑块和 U 型挡光片总质量不同是否对瞬时速度测定有影响？

理论上应该是没有的，因为加速度与具体的质量值有关，进而，速度值也与具体的质量值无关。不过，不排除总质量不同导致表面积不同、进而导致阻力不同等情况造成的影响。

## 7 实验总结与心得体会

此次“气垫导轨”实验共分为两个部分，分别是弹簧振子的简谐运动和倾斜导轨上滑块的瞬时速度，实验步骤均比较简单。实验的一个重要思想线性拟合，以及“将复杂的乘除依赖关系转化为变量间的线性关系”，令我印象深刻；另一重点是数据的计算与拟合，在处理的过程中，我也学到很多。实验总体上是成功的，每个小节的实验都大致符合理论，实验数据和图像也具有较强的说服力。

特别地，在本次实验，我利用了 Matlab 软件对实验数据作进一步的处理和分析，包括换算、拟合、可视化等，相比于常规数据处理和画图方法，这大大提高了数据分析处理的速度的准确度，也提高了作图的美观性。在今后的实验和研究工作中，我还会继续深入学习和应用类似地计算软件，增强自己的科学计算能力。科研不是考试，我们应该充分利用好自己能接触到的资源，合理使用工具，更高效地发展自身。

另外，这次实验让我感受到，实验“结束”并不意味着实验就已经完成，事实上这仅是数据测量的结束。在课后，我们还需要重新整理实验原理和过程，换算、分析、拟合实验数据，作出合适的数据图，解释可能存在的误差等。在根据已有数据求所需结果时，如何才能最大程度地利用已有数据，同时又尽可能地降低二次误差。上面这些内容都需要体现在最终的实验报告中，一点点累加起来，着实花费了我很多精力。

但最后回过头来，我认为一切都是值得的。当处理完毕的结果有力地验证了理论值时，当实验数据图像与理论较好地契合时，心中便迸发出无尽的喜悦，也深深感受到物理“理论与实验结合”的魅力<sup>①</sup>。

<sup>①</sup>本次实验的预习报告是撰写实验报告的前半部分，内容是重复的，因此不再给出；实验数据记录表和 Matlab 源码附在附录中



中国科学院大学

University of Chinese Academy of Sciences

## 基础物理实验原始数据记录

实验名称 气轨上弹簧振子的简谐振动及瞬时速度的测定 地点 教学楼 716

学生姓名 丁毅 学号 2023K8009902031 分班分组座号 2-05-6 号 (例: 1-04-5 号)

实验日期 2024 年 12 月 17 日 成绩评定 教师签字 余远林

### 1. 试验仪器的调试

$$\eta = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \times 100\%$$

	V1 (cm/s)	V2 (cm/s)	误差%
1 → 2	43.10	42.83	-0.63%
1 ← 2	47.08	47.62	+1.15%
1 → 2	46.68	46.15	-1.14%
1 ← 2	45.10	45.91	+1.80%

### 2. 测量弹簧振子的振动周期并考察振动周期和振幅的关系

滑块的振幅 A 分别取 10.0, 20.0, 30.0, 40.0cm 时, 测量其相应振动周期

左端原长  
11.40cm  
57.20cm

	10cm	20cm	30cm	40cm
T1 (ms)	1591.20	1595.08	1594.49	1594.16
T2 (ms)	1591.31	1595.00	1594.69	1594.09
T3 (ms)	1591.30	1595.04	1594.64	1594.28
T4 (ms)	1591.30	1594.76	1594.36	1594.35
T5 (ms)	1591.37	1594.92	1594.35	1594.42
T (ms)				

左原:  
57.80cm

### 3. 研究振动周期和振子质量之间的关系

右弹: 6.76g 左弹: 6.24g

滑块的振幅 A 取 40.0cm

块+弹: 220.60g, 弹: 2.61g

m <sub>i</sub> (g)	1 0	2 12.54	3 24.94	4 12.49	5 24.97
T1 (ms)	1593.83	1637.80	1721.70	1762.28	1840.45
T2 (ms)	1593.88	1637.95	1721.68	1761.72	1840.69
T3 (ms)	1594.13	1638.06	1721.74	1762.04	1840.55
T4 (ms)	1594.16	1638.07	1721.76	1762.34	1840.54
T5 (ms)	1594.30	1638.12	1721.92	1762.39	1840.62
T6 (ms)	1594.20	1638.29	1722.05	1762.74	1840.69
T7 (ms)	1594.12	1638.38	1721.99	1762.72	1840.82
T8 (ms)	1594.18	1638.51	1722.45	1762.60	1840.81
T9 (ms)	1594.34	1638.36	1721.84	1762.72	1840.73
T10 (ms)	1594.40	1638.50	1722.15	1762.72	1840.86
T (ms)					



11.83

4. 研究速度和位移的关系

块 + U = 229.82 g

滑块的振幅 A 取 40.0cm

70cm +	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
V1 (cm/s)	148.37	141.64	132.98	120.05	100.30
V2 (cm/s)	148.81	142.25	132.80	121.31	98.66
V3 (cm/s)	148.59	142.65	132.62	119.90	100.00
V (cm/s)					

5. 研究振动系统的机械能是否守恒

滑块的振幅 A 取 40.0cm

	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
V (cm/s)	128.5				
Ek (J)					
Ep (J)					
E (J)					

6. 改变弹簧振子的振幅 A, 测相应的  $V_{max}$ , 由  $V_{max}^2 - A^2$  关系求 k, 与实验内容 3 的结果进行比较

	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
$V_{max1}$ (cm/s)	38.90	57.64	76.92	96.34	115.47
$V_{max2}$ (cm/s)	39.09	57.67	76.80	96.33	115.21
$V_{max3}$ (cm/s)	39.21	57.87	77.04	96.25	115.20
$V_{max}$ (cm/s)					

7. 实验中可能用到的其他相关参数

滑块的质量: 217.99 g

条型挡光片质量: 2.61 g

U 型挡光片质量: 11.83 g



8. 测定瞬时速度，测量不同 U 挡光片通过光电门所用的时间（AP 距离为 50cm），计算平均速度。

挡光片宽度 (cm)	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\Delta t$ (ms)
1 (cm)	27.62	27.53	27.59	27.79	27.79	27.70
3 (cm)	81.29	81.70	81.30	81.70	81.41	81.49
5 (cm)	135.22	135.17	135.57	135.61	135.51	135.43
10 (cm)	262.67	262.40	263.47	262.62	263.20	263.25

9. 测定瞬时速度，改变导轨倾斜角度，测量不同 U 挡光片通过光电门所用的时间（AP 距离为 50cm），计算平均速度。

挡光片宽度 (cm)	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\Delta t$ (ms)
1 (cm)	20.36	20.30	20.31	20.38	20.32	20.35
3 (cm)	60.01	60.22	60.20	60.19	60.15	60.25
5 (cm)	99.80	100.05	99.86	100.10	99.96	99.95
10 (cm)	195.24	195.10	195.52	195.70	195.22	195.25

10. 测定瞬时速度，改变 AP 距离为 60cm，测量不同 U 挡光片通过光电门所用的时间，计算平均速度。

挡光片宽度 (cm)	$\Delta t_1$ (ms)	$\Delta t_2$ (ms)	$\Delta t_3$ (ms)	$\Delta t_4$ (ms)	$\Delta t_5$ (ms)	$\Delta t$ (ms)
1 (cm)	18.54	18.56	18.56	18.52	18.53	18.54
3 (cm)	54.85	54.98	54.82	54.95	54.96	54.95
5 (cm)	91.47	91.44	91.18	91.17	91.40	91.35
10 (cm)	179.12	179.54	179.28	179.52	179.22	179.35



## 附录 B Matlab 源码

```
1 %% Ex_05 气垫导轨
2
3 %% 表 2
4 data = [
5 1591.20 1595.08 1594.49 1594.16
6 1591.31 1595.00 1594.69 1594.09
7 1591.30 1595.04 1594.64 1594.28
8 1591.30 1594.76 1594.36 1594.35
9 1591.37 1594.92 1594.35 1594.42
10 ];
11 data = [
12 data
13 mean(data)
14 ];
15 %MyPrint_xlsx(data, 2)
16 vpa(mean(data(end, :)))
17
18 %% 表 3
19 data = [
20 1593.83 1637.80 1721.70 1762.28 1840.45
21 1593.88 1637.95 1721.68 1761.72 1840.69
22 1594.13 1638.06 1721.74 1762.04 1840.55
23 1594.16 1638.07 1721.76 1762.34 1840.54
24 1594.30 1638.12 1721.92 1762.39 1840.62
25 1594.20 1638.29 1722.05 1762.74 1840.69
26 1594.12 1638.38 1721.99 1762.72 1840.82
27 1594.18 1638.51 1722.45 1762.6 1840.81
28 1594.34 1638.36 1721.84 1762.72 1840.73
29 1594.40 1638.50 1722.15 1762.72 1840.86
30 ];
31 data = [
32 data
33 mean(data)
34 ];
35 %MyPrint_xlsx(data, 2)
36
37
38 m = [220.60, 12.54, 24.94, 12.49, 24.97];
39 for i = 1:5
40     X(i) = sum(m(1:i));
41 end
42 Y = data(end, :).^2;
43 stc = MyFit_linear(X, Y);
44 stc.label.x.String = '$m$ (g)';
45 stc.label.y.String = '$T^2\ (\mathrm{(ms)}^2)$';
46 %MyExport_pdf_docked
47
48 k = 4*pi^2/11.296
49 m_0 = 0.049812*k/(4*pi^2)*1000
50
51 %% 表 4
52 data = [
53 148.37 141.64 132.98 120.05 100.30
54 148.81 142.25 132.80 121.31 98.66
55 148.59 142.65 132.62 119.90 100.00
56 ];
57 data = [
58 data
59 mean(data)
60 ];
```

```

61 %MyPrint_xlsx(data, 2)
62 X = ((10:5:30)*0.01).^2;
63 Y = (data(end, :)*0.01).^2;
64 stc = MyFit_linear(X, Y);
65 stc.label.x.String = '$x^2\ \mathrm{m^2}$';
66 stc.label.y.String = '$v^2\ \mathrm{m^2/s^2}$';
67 %MyExport_pdf_docked
68 omega_0 = sqrt(15.049)
69 T = vpa(2*pi/omega_0)*1000
70
71 %% 表 5
72 data = [
73 148.37 141.64 132.98 120.05 100.30
74 148.81 142.25 132.80 121.31 98.66
75 148.59 142.65 132.62 119.90 100.00
76 ];
77
78 m = (220.60 + 4.4097)*10^(-3)
79 vpa(m*1000)
80 k
81 data = mean(data)*0.01;
82 data = [
83 ((10:5:30)*0.01).^2
84 data
85 0.5*m*data.^2
86 0.5*k*((10:5:30)*0.01).^2
87 ];
88
89 data = [
90 data
91 data(3, :) + data(4, :)
92 ]
93 %MyPrint_xlsx(data, 4)
94 stc = MyPlot(data(1, :), [data(5, :); data(3, :); data(4, :)]);
95 stc.legend.String = ["$y = E$"; "$y = E_k$"; "$y = E_p$"];
96 stc.label.x.String = '$x$ (m)';
97 stc.label.y.String = '$y$ (J)';
98 %MyExport_pdf_docked
99
100 %% 表 6
101 data = [
102 38.90 57.64 76.92 96.34 115.47
103 39.09 57.67 76.80 96.33 115.21
104 39.21 57.87 77.04 96.25 115.2
105 ];
106
107 data = [
108 (10:5:30)
109 data
110 mean(data)
111 ];
112 %MyPrint_xlsx(data, 2)
113
114 stc = MyFit_proportional((data(1, :)*0.01).^2, (data(end, :)*0.01).^2);
115 stc.label.x.String = '$A^2\ (\mathrm{m^2})$';
116 stc.label.y.String = '$v_{\max}^2\ (\mathrm{m^2/s^2})$';
117
118 X = (data(1, :)*0.01).^2;
119 Y = (data(end, :)*0.01).^2;
120 %MyExport_pdf_docked
121
122 a = 14.796;

```

```
123 k = m*a
124
125 220.60 - 2.61
126
127 %% 表 8
128 data = [
129 27.62 27.53 27.59 27.79 27.79
130 81.29 81.70 81.3 81.70 81.41
131 135.22 135.17 135.57 135.61 135.51
132 262.67 262.40 263.47 262.62 263.20
133 ];
134 h = [1;3;5;10];
135 data = [
136 data, mean(data, 2), h*0.01./(mean(data, 2)*0.001)
137 ];
138
139 MyPrint_xlsx(data, 4)
140
141 stc = MyFit_linear(data(:, end-1)*0.001, data(:, end)');
142 stc.label.x.String = '$\Delta t\ (\mathrm{s})$';
143 stc.label.y.String = '$\overline{v}\ (\mathrm{m/s})$';
144 %MyExport_pdf_docked
145
146 %% 表 9
147 data = [
148 20.36 20.30 20.31 20.38 20.32
149 60.01 60.22 60.20 60.19 60.15
150 99.80 100.05 99.86 100.10 99.96
151 195.24 195.10 195.52 195.70 195.22
152 ];
153 h = [1;3;5;10];
154 data = [
155 data, mean(data, 2), h*0.01./(mean(data, 2)*0.001)
156 ];
157
158 MyPrint_xlsx(data, 4)
159
160 stc = MyFit_linear(data(:, end-1)*0.001, data(:, end)');
161 stc.label.x.String = '$\Delta t\ (\mathrm{s})$';
162 stc.label.y.String = '$\overline{v}\ (\mathrm{m/s})$';
163 %MyExport_pdf_docked
164
165 %% 表 10
166 data = [
167 18.54 18.56 18.56 18.52 18.53
168 54.85 54.98 54.82 54.95 54.96
169 91.47 91.44 91.18 91.17 91.40
170 179.12 179.54 179.28 179.52 179.22
171 ];
172 h = [1;3;5;10];
173 data = [
174 data, mean(data, 2), h*0.01./(mean(data, 2)*0.001)
175 ];
176
177 MyPrint_xlsx(data, 4)
178
179 stc = MyFit_linear(data(:, end-1)*0.001, data(:, end)');
180 stc.label.x.String = '$\Delta t\ (\mathrm{s})$';
181 stc.label.y.String = '$\overline{v}\ (\mathrm{m/s})$';
182 %MyExport_pdf_docked
183 %% 粘度系数
184 data = [
```

```
185 25.10 25.53 25.50 25.31 25.55
186 19.52 19.47 19.44 19.47 19.20
187 14.87 14.06 14.31 14.077 14.16
188 10.41 10.03 10.09 10.10 10.00
189 7.44 7.41 7.31 7.28 7.34
190 5.60 5.50 5.50 5.50 5.47
191 4.13 4.18 4.20 4.19 4.18
192 ];
193
194 eta_0 = [0.621; 0.451; 0.312; 0.231; 0.172; 0.126; 0.098]
195 D = 0.2;
196 v_0 = 0.2./mean(data, 2)
197 g = 9.8015;
198 rho = 7.8e3;
199 rho_0 = 0.95e3;
200 d=1.12e-3
201 eta = d^2*g*(rho-rho_0)./(18*v_0*(1 + 2.4*d/D));
202
203 data=[
204 data, mean(data, 2), v_0, eta, eta_0, MyGet_eta(eta_0, eta)*100
205 ];
206
207 %MyPrint_xlsx(data, 4)
208
209 MyPlot(25:5:55, eta')
210
211 stc = MyPlot_TheoAndExpe(25:5:55, eta', eta_0');
212 stc.leg.String = [ "Experimental curve"; "Raw data"; "Theoretical curve" ];
213 stc.label.x.String = '$T\ \mathrm{(^{\circ}C)}$';
214 stc.label.y.String = '$\eta\ \mathrm{(Pa \cdot s)}$';
215 %MyExport_pdf_docked
```