

实验题目：设计用单摆测重力加速度g

学号：2 姓名：以苗 班级：20110001 成绩：10
 同组人： 实验日期、时段 126 日第4时段 教师签名：王

一、实验目的与要求

1. 进行简单设计性实验基本方法的训练，根据已知条件和测量要求，学会误差分析原则选适当的仪器和测量方法。
2. 学习累加法的原理和应用
3. 分析基本误差来源，提出进行修正与估算的方法

二、实验仪器

单摆仪、游标卡尺、螺旋测微器、电子秒表、米尺

三、实验原理(用自己语言组织)

1. 用 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ，测出 T 与 L，计算 g 的大小
2. 不确定度均分原理，若已知各测量量之间的函数关系，可写出不确定度传递公式，按均分原理，分配到各个分量中。

在忽略空气阻力和浮力的情况下，由单摆振动时的能量守恒，可得质量为 m 的小球在摆角 θ 处动能和势能之和为常数（设摆球在最低点的势能为零，即： $\frac{1}{2}mL^2(\frac{d\theta}{dt})^2 + mgL(1 - \cos\theta) = E_0$ ）。

(1) 中： L：单摆摆长， θ 摆角， E_0 ： 小球总机械能。因小球在摆幅 θ_m 处释放： $E_0 = mgL(1 - \cos\theta_m)$ (2)

$$\text{将(2)代入(1), 得 } \frac{\sqrt{L}}{4}T = \sqrt{\frac{L}{g}} \int_{\theta_m}^{2\pi} \frac{d\theta}{\sqrt{2g(1 - \cos\theta)}} \quad (3)$$

河北工业大学物理实验中心网址：<http://wlzx.hebut.edu.cn>

网上选课地址：<http://202.113.124.190>

(3) 中, T 为单摆振动周期, 令 $k = \sin \frac{\theta_0}{2}$, 并作变量 $\sin \varphi = \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\sin \frac{\theta_0}{2}}$,

$$\text{则有: } T = 4\sqrt{\frac{l}{g}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1-k^2 \sin^2 \varphi}} \quad (4)$$

(4) 是一个椭圆积分, 近似计算得: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} (1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta_0}{2} + \dots) \quad (5)$

在摆角很小 ($\theta < 5^\circ$) 时, 单摆周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} (1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\theta_0}{2})$$

①倒推:

$$E_g = \frac{\delta g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(2 \frac{\delta T}{T}\right)^2} \leq 0.5\%$$

②不确定度等量分配

$$\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 = \left(2 \frac{\delta T}{T}\right)^2 \leq \left(\frac{0.5\%}{2}\right)^2$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{\delta l}{l} \leq 0.4\% \Rightarrow \delta l \leq l \times 0.4\% \\ \frac{\delta T}{T} \leq 0.2\% \Rightarrow \delta T \leq T \times 0.2\% \end{cases}$$

③对于 l : $l_{max} = 1.0000 \text{ m} \Rightarrow \delta l \leq 4 \text{ mm}$

若选米, 单次测量

$$\delta l = l_{avg} = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = \frac{2 \text{ mm}}{\sqrt{3}} < 4 \text{ mm}$$

④对于 T : $T \approx 2.5 \text{ s} \quad (l = 1.0000 \text{ m})$

$$\Rightarrow \delta T \leq 2 \times 0.2\% = 0.004 \text{ s}$$

用秒表: 单次测量

$$\delta T = \frac{0.1s}{\sqrt{3}} > 0.004 \text{ s} \times$$

解决方法: 黑积放大 $t = nT$

$$\text{代入} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 t}{(nT)^2} = \frac{10^4 \pi^2 l}{T^2}$$

四、实验内容与步骤

1. 使用游标卡尺测量直径 D, 重复 5 次.

2. 装好实验装置, 使摆线、镜像与摆幅测量标尺中线三合一

3. 用米尺测出摆线长度 l, 重复 5 次

4. 将小球摆出 5° , 经过摆幅中间时开始计时, 测 50 个周期, 计下

数据 t,

5. $T = \frac{t}{50}$. $l = (\frac{\theta}{2}) + L$, 用 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 算出 g 的大小

五、数据记录(数据表格自拟)

次数 时间	1	2	3	平均值
$t(s)(50T)$	100.56	100.59	100.53	100.56

表 1. 摆长 $l = 1.0000$ m, $t = 50T$ 的时间测量

摆长 l(m)	0.5000	0.6000	0.7000	0.8000	0.9000	1.0000
$t(s)(50T)$	71.29	78.19	84.34	90.09	95.50	100.59
$T(s)(t/50)$	1.42	1.56	1.69	1.80	1.91	2.01
T^2	2.0164	2.4455	2.8453	3.2465	3.6481	4.0401

表 2. 不同摆长时, $t = 50T$ 的时间测量

河北工业大学物理实验中心网址: <http://wlzx.hebut.edu.cn>

• 207 •

网上选课地址: <http://202.113.124.190>

六、数据处理(要有详细过程,包括不确定度计算等)

$$\Delta l = 2 \text{ mm} \quad \Delta t = 0.1 \text{ s}$$

~~直接测量量结果表示为:~~

~~时间:~~

$$\delta_t = t_p \sqrt{\frac{\sum(t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = 1.32 \cdot \sqrt{\frac{\sum(t_i - \bar{t})^2}{3 \cdot 2}} = 0.0229 \text{ s}$$

$$\delta_s = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} = \frac{0.1}{\sqrt{3}} \text{ s} = 0.0577 \text{ s}$$

$$\delta_t = \sqrt{\delta_A^2 + \delta_s^2} = 0.06 \text{ s}$$

$$t = (100.56 \pm 0.06) \text{ s}$$

$$\delta_l = \frac{\Delta l}{\sqrt{3}} = \frac{2 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.0012 \text{ m}$$

$$l = (1.0000 \pm 0.0012) \text{ m}$$

$$g = 10^4 \pi \frac{l}{t^2} = 10^4 \pi \cdot \frac{1.000 \text{ m}}{(100.56 \text{ s})^2} = 9.7600 \text{ m/s}^2$$

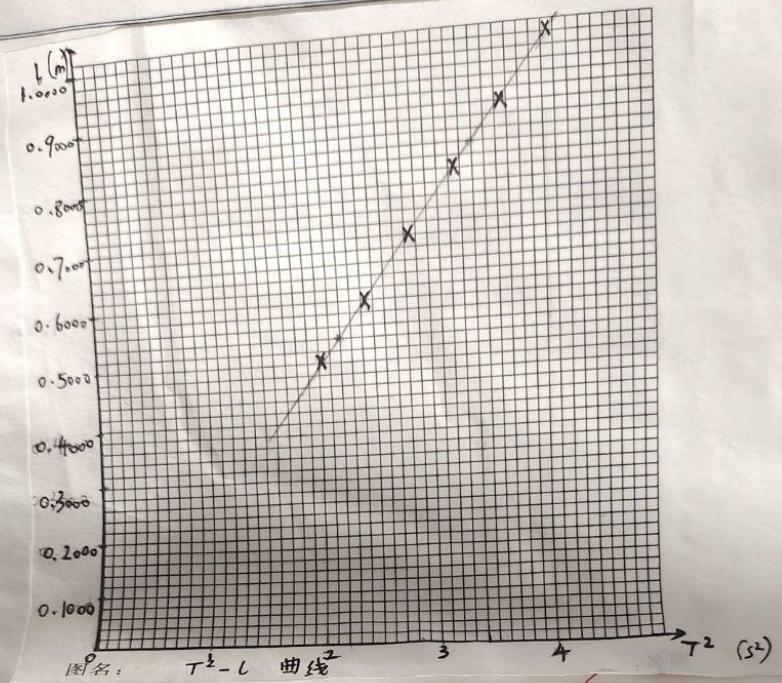
$$E_g = \sqrt{\left(\frac{\delta_l}{l}\right)^2 + \left(2 \frac{\delta_t}{t}\right)^2} \times 100\% = \sqrt{\left(\frac{0.0012}{1.0000}\right)^2 + \left(2 \cdot \frac{0.06}{100.56}\right)^2} \times 100\% = 0.16\%$$

$$\therefore E_g = 0.16\% < 0.5\%$$

$$\delta g = g \cdot E_g = 0.0156 \text{ m/s}^2 = 0.02 \text{ m/s}^2$$

结果表示: $\begin{cases} g = (9.7600 \pm 0.0156) \text{ m/s}^2 \\ E_g = 0.16\% \end{cases} \quad (9.76 \pm 0.02) \text{ m/s}^2$

物理实验报告



$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = 4\pi^2 \frac{\Delta L}{\Delta T^2} = 4\pi^2 \frac{(0.84 - 0.54)m}{(3.4 - 2.2)s^2} = 9.8696 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{|g - g_0|}{g_0} = 0.69\%$$

七、实验分析

1. 摆长 ~~从支架处绳端到小球重心，用米尺测量~~

2. 注意周期的计数，找摆过小球摆一来回算一周期

3. 测量周期时，人会有反应时间，且使用秒表时也会有延迟，所以

需要测量几十次减小误差。

思考题与思维拓展：

次数	1	2	3	平均值		
$t_{\text{d}}(50T)$	100.56	100.59	100.53	100.56		
$t_{\text{d}}(50T)$	0.5000 61.29 71.29	0.6000 78.19 1.56	0.7000 84.34 1.69	0.8000 90.09 1.80	0.9000 95.50 1.91	1.0000 100.59 2.01
$T(s) \left(\frac{t}{50}\right)$	1.22 1.42 1.4884	2.4455	2.8453 3.2465 3.6481	3.2465 3.6481 4.0401		
T^2	2.0164		71. 5. 26			