物理实验报告

南方科技大学 SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

学号：11910104　　姓名：王奕童　　日期：2020 年 03 月 13 日　　星期：五

1. 实验名称：实验：单摆测量重力加速度

2. 实验目的

3. 实验原理

1.利用单摆的周期公式推导出计算重力加速度的公式，并标明公式中的待测物理量。

单摆周期公式：$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}=\frac{4\pi^2 l}{(t/N)^2}=\frac{4\pi^2 N^2 l}{t^2}$

待测物理量：摆长 l，测量时间 t，周期数 N

2. 写出重力加速度 g 的不确定度公式。

重力加速度 g 的不确定度公式

$$\frac{\Delta g}{g}=\frac{\Delta l}{l}+\frac{2\Delta t}{t}$$

3. 根据误差均分原理，请估算：为了减小测量单摆周期 T 的误差，一次至少需要测量多少个周期？写出估算过程。

不确定度均分原理：$\frac{\Delta g}{g}<1\% \Rightarrow \frac{\Delta l}{l}<0.5\%$，$\frac{2\Delta t}{t}<0.5\%$

对 $\frac{2\Delta t}{t}$ 进行估算：$\Delta_{秒} \approx 0.01s$，开停秒表的总反应时间 $\Delta_{人} \approx 0.2s$

$\Delta t=\Delta_{秒}+\Delta_{人} \approx 0.2s$

假设单摆周期 $T=1.7s$，为保证 $\frac{2\Delta t}{t}<0.5\%$

$\therefore \frac{2\Delta t}{NT}<0.5\% \Rightarrow N>47$

$\therefore$ 一次至少需要测量 48 个周期

4. 实验器材

游标卡尺（精度$\triangle_{卡}$≈0.002cm），米尺（精度$\triangle_{米}$≈0.05cm），电子秒表（精度$\triangle_{秒}$≈0.01s），单摆支架，细线(尼龙线)，钢球，摆幅测量标尺。

5. 实验内容

①将摆线和摆球用单摆支架竖直悬挂，用精度$\triangle_{米}$≈0.05cm 的米尺测量摆线长 l，共测量 5 次，列表记录实验数据，求取平均值；
②使用精度$\triangle_{卡}$≈0.002cm 的游标卡尺测量钢球直径 d，共测量 5 次，列表记录实验数据，求取平均值；
③使用精度$\triangle_{秒}$≈0.01s 的电子秒表测量 50 个周期的时间 T,共测量 5 次,列表记录实验数据，求取平均值；
④进行摆线长 l，摆球直径 d 和时间 T 的不确定度计算；
⑤通过不确定度传递，计算重力加速度 g 的不确定度和相对误差；
⑥得出实验结论和结果表示。

6. 实验数据

测量摆球的直径、绳长、单摆周期，并列表记录数据。

（1）摆线长度测量 5 次，求出平均值：

	1	2	3	4	5	平均值
摆线长度 l (cm)	68.99	69.11	68.90	69.01	69.10	69.02

（2）摆球直径测量 5 次，求出平均值：

	1	2	3	4	5	平均值
摆球直径 d (mm)	20.00	20.36	20.00	19.50	20.00	19.97

（3）单摆周期每次测量 50 个周期，共测量 5 次，求出平均值

	1	2	3	4	5	平均值
测量时间 t (s)	83.89	83.71	83.84	84.00	83.93	83.87

7. 数据处理（不确定度的计算）

（1）根据公式，计算 g,参考深圳的重力加速度 g=9.7883m/s^2 计算 $\frac{\Delta g}{g}$

计算g: $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}=\frac{4\pi^2N^2l}{t^2}=\frac{4\pi^2\cdot50^2\cdot0.70}{(83.87)^2}=9.822m/s^2$

计算$\frac{\Delta g}{g}$: $\frac{\Delta g}{g}=\frac{\Delta l}{l}+\frac{2\Delta t}{t}=\frac{0.001}{0.70}+\frac{2\cdot0.01}{83.87}$

$=1.667\times10^{-3}$

（2）计算各个直接测量量的 A 类不确定度

①对于摆线长 l 的 A 类不确定度计算：

Statistics on Columns (13/03/2020 16:56:17)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

	N total	Mean	Standard Deviation	Sum	Minimum	Median	Maximum
A	5	69.022	0.08643	345.11	68.9	69.01	69.11

通过originLab计算:

对于摆线长度l的不确定度(A类):

标准差: $\sigma_l=0.08643$ cm

$\therefore u_{Al}=\frac{\sigma_l}{\sqrt{5}}=0.03867$ cm

②对于摆球直径 d 的 A 类不确定度计算：

Statistics on Columns (13/03/2020 17:01:50)

Notes

Input Data

Descriptive Statistics

	N total	Mean	Standard Deviation	Sum	Minimum	Median	Maximum
A	5	19.972	0.30646	99.86	19.5	20	20.36

通过originLab计算：
对于摆球直径d的不确定度(A类)：
标准差：$\sigma_d = 0.30646\ mm$
$\therefore u_{Ad} = \frac{\sigma d}{\sqrt{5}} = 0.1371\ mm$

③对于测量 50 个周期的测量时间 t 的 A 类不确定度计算：

Statistics on Columns (13/03/2020 17:08:21)
Notes
Input Data
Descriptive Statistics

	N total	Mean	Standard Deviation	Sum	Minimum	Median	Maximum
A	5	83.874	0.10877	419.37	83.71	83.89	84

通过originLab计算
对于50个周期的测量时间t的不确定度(A类)：
标准差 $\sigma_t = 0.10877s$
$\therefore u_{At} = \frac{\sigma t}{\sqrt{5}} = 0.0486\ s$

（3）计算各个直接测量量的 B 类不确定度
①对于摆线长 l 的 B 类不确定度计算：

B类不确定度计算：
对于摆线长l的B类不确定度
$u_B(L) = \frac{\sqrt{\Delta_{估}^2 + \Delta_{仪}^2}}{C} = \frac{\sqrt{0.5^2+0.8^2}}{3} = 0.31\ mm$

②对于摆球直径 d 的 B 类不确定度计算：

对于摆球直径d的B类不确定度
$u_B(D) = \frac{\sqrt{\Delta_{估}^2(D) + \Delta_{仪}^2(D)}}{C} = \frac{\sqrt{0.02^2+0.02^2}}{\sqrt{3}} = \cancel{0.016\ mm}\ 0.02\ mm$

③对于测量 50 个周期的测量时间 t 的 B 类不确定度计算：

对于测量时间t的B类不确定度：

$$u_B(t)=\frac{\sqrt{\Delta_{估}(t)+\Delta_{仪}(t)}}{C}\approx\frac{\Delta_{估}(t)}{C}=\frac{0.2}{3}s=0.07s$$

（4）计算各个直接测量量的合成不确定度

①对于摆线长 l 的合成不确定度计算：

合成不确定度计算（P=0.95）

当P=0.95时，$u_{0.95l}=\sqrt{(t_{0.95}u_A)^2+(k_p u_B)^2}$ ，n=5

$t_{0.95}$：P=0.95时的t因子，此时 $t_{0.95}=2.78$

k_p：P=0.95时的置信因子，此时 $k_p=1.96$

$$\therefore u_{0.95l}=\sqrt{(2.78\cdot 0.038)^2+(1.96\cdot 0.031)^2}\ \cancel{=1.23}$$

$$=\sqrt{(2.78\times 0.04)^2+(1.96\times 0.03)^2}=0.13cm$$

②对于摆球直径 d 的合成不确定度计算：

$$u_{0.95d}=\sqrt{(t_{0.95}\times u_A)^2+(k_p\times u_B)^2}\ ,\ n=5$$

$$=\sqrt{(2.78\times 0.14)^2+(1.96\times 0.02)^2}=0.39mm$$

③对于对于测量 50 个周期的测量时间 t 的合成不确定度计算：

$$u_{0.95t}=\sqrt{(t_{0.95}u_A)^2+(k_p u_B)^2}$$

$$=\sqrt{(2.78\times 0.05)^2+(1.96\times 0.07)^2}=0.20s$$

（5）计算间接测量量摆长 l 的不确定度传递和合成

$$u(l)=\sqrt{(u(L))^2+\left(\frac{1}{2}u(D)\right)^2}$$

不确定度的传递　P=0.95

$$u(l)=\sqrt{u(L)^2+[\frac{1}{2}u(D)]^2}$$

$$=\sqrt{(0.13)^2+(\frac{1}{2}\times 0.03)^2}=0.1309\text{cm}$$

（6）计算 u(g)的不确定度传递和合成

$$\frac{u(g)}{g}=\sqrt{\left(\frac{u(l)}{l}\right)^2+\left(\frac{2u(T)}{T}\right)^2}$$

不确定度的传递　P=0.95

$$u(l)=\sqrt{u(L)^2+[\frac{1}{2}u(D)]^2}$$

$$=\sqrt{(0.13)^2+(\frac{1}{2}\times 0.03)^2}=0.1309\text{cm}$$

$$\frac{u(l)}{l}=\frac{0.1309}{70.022}\qquad \frac{u(t)}{T}=\frac{0.20}{83.87}\approx 0.0024$$

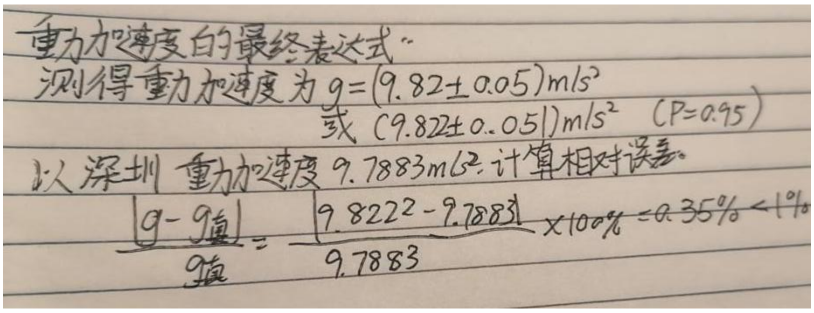
$$\frac{u(g)}{g}=\sqrt{(\frac{u(l)}{l})^2+(\frac{2u(t)}{T})^2}\approx 0.0051$$

（7）计算 u(g)

$$\frac{u(g)}{g}=\sqrt{(\frac{u(l)}{l})^2+(\frac{2u(t)}{T})^2}\approx 0.0051$$

$$\therefore u(g)=0.0051\cdot 9.822=0.0505\,m/s^2,\ P=0.95$$

（8）列明测得重力加速度的最终表达式，要求(p=0.95)



重力加速度的最终表达式：

测得重力加速度为 $g=(9.82\pm0.05)m/s^2$

或 $(9.822\pm0.051)m/s^2$ $(P=0.95)$

以深圳重力加速度 $9.7883m/s^2$ 计算相对误差

$$\frac{|g-g_{值}|}{g_{值}}=\frac{|9.8222-9.7883|}{9.7883}\times100\%=0.35\%<1\%$$

8. 误差分析（定性分析系统误差）

实验误差分析：

（1）单摆的周期公式是在θ角较小的情况下才近似成立的。若摆角不能满足足够小，则摆角项中的高次项可能会带来误差；

（2）摆线的质量和伸缩系数有可能对实验带来误差；

（3）空气会使单摆受到空气阻力的影响，从而可能带来误差

9. 实验结论（简要概括实验内容及结果）

本次实验利用单摆实验装置进行重力加速度的测量，测量结果为 $g=(9.82\pm0.05)\mathrm{m/s^2}$，或者

$g=(9.822\pm0.051)\mathrm{m/s^2}$，$P=0.95$

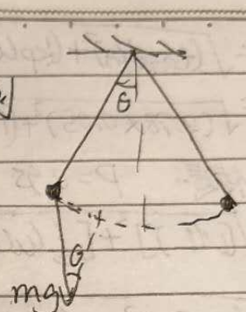
通过对本实验，学习了如何应用误差均分原则，如何选用适当的仪器，完成单摆的设计性试验。学习了近似处理和等效转换的物理实验思想。

10. 思考题

1. 实验中，把单摆从平衡位置拉开一个小角度，角度应该小于5°，请解释原因？

思考题1答：(忽略绳伸缩与质量)

由图可知，当摆线拉开角度为θ时，摆球将受到重力力矩 $\tau=mgl\sin\theta$，而单摆转动惯量



$I=m\cdot l^2$

$\because \tau=I\cdot\alpha$ $\therefore \alpha=-\dfrac{g\sin\theta}{l}$

$\therefore \dfrac{d^2\theta}{dt^2}+\dfrac{g}{l}\sin\theta=0$ (1) $\Longrightarrow$ 非线性微分方程

当θ较小时(比如说$\theta<5^\circ$)，近似有$\sin\theta\approx\theta$，然后(1)即为一线性微分方程

通解为 $\theta=A\cos\left(\sqrt{\dfrac{g}{l}}\,t+\varphi\right)$

$\therefore T=\dfrac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{l}}}=2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$，是$\theta$较小时才近似处理

而θ较大时，$\sin\theta$不可再近似为θ(近似会带来较大误差)，∴故本实验中将单摆拉开平衡位置的角度$\theta<5^\circ$

2.为进一步提高测量精度，可对实验进行哪些改进？试列出至少3项改进措施。

思考题2答：

①可以继续增加测量的周期数N和相应的测量时间，减小实验误差

②可以增长摆长l，从而实现摆长l远大于摆球直径，可以将摆球视为一个质点来处理。这样可以减小测量误差对本实验的影响，提高实验测量精度。

③可以考虑计时装置换为光电门计时器，从而减小人反应时间而带来的误差

④可以多次进行实验，多次测量求取平均值，从而减小某一次失误而带来的偶然误差