

原始记录 次数

测量值

1

2

3

4

5

6

L (摆线长)

92.21cm

92.33cm

92.25cm

92.18cm

92.20cm

92.25cm

D (摆球直径)

21.45mm

21.38mm

21.42mm

21.45mm

21.43mm

21.42mm

~~21.49mm~~

~~21.48mm~~

~~21.45mm~~

~~21.45mm~~

~~21.44mm~~

~~21.45mm~~

t (50T)

96.16s

95.49s

96.34s

96.27s

96.17s

95.55s

T

1.9232s

1.9098s

1.9268s

1.9254s

1.9234s

1.9110s

$\Delta L \approx 0.05 \text{ cm}$

$\Delta \text{游标尺} \approx 0.002 \text{ cm}$

$\Delta \text{秒表} \approx 0.001 \text{ cm}$

$\Delta \text{秒表} \approx 0.001 \text{ s}$

$\Delta \text{人眼} \approx 0.1 \text{ s}$

\bar{g}

9.93 m/s^2



4.13

实验目的

- ① 测定当地重力加速度 (重庆地区为 9.7914 m/s^2), 并计算不确定度;
- ② 掌握千分尺、游标卡尺的使用和读数;
- ③ 理解使用累积放大法;
- ④ 掌握虚拟仿真实验软件的使用方法。

实验原理

1. 单摆周期公式: 单摆角度较小时, 我们可以将单摆的运动近似为简谐运动。

由单摆周期公式可得, $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$, 其中 $R = \text{摆线长 } L + \text{小球半径 } r$ 。

2. 误差分析原理: 由公式 $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$ 以及不确定度传播理论, 可以得出 $\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta R}{R} + 2\frac{\Delta T}{T}$

由于 $\frac{\Delta g}{g} \leq 1\%$, 所以 $\frac{\Delta R}{R} \leq 0.5\%$ 。即 $\frac{\Delta R}{R} \approx \frac{\Delta L + \Delta r}{L + r} \leq 0.5\%$, $\frac{\Delta T}{T} \leq 0.25\%$ 。

得出所需仪器的不确定度要求为 $\Delta L \leq 0.25\% L = 0.175 \text{ cm}$

$$\Delta r \leq 0.25\% \times r = 0.005 \text{ cm}$$

$$\Delta T \leq 0.25\% \times T = 0.00425 \text{ s}$$

根据现有仪器的不确定度 $\Delta L \approx 0.05 \text{ cm}$, $\Delta \text{游标卡尺} \approx 0.002 \text{ cm}$,

$$\Delta \text{千分尺} \approx 0.001 \text{ cm}, \Delta \text{秒表} \approx 0.01 \text{ s}, \Delta \text{秒表} \approx 0.1 \text{ s}$$

摆长 L 用米尺测量, 小球直径 D 用游标卡尺测量即可满足需求

$$\Delta T = \left(\frac{T}{N} \right) = \frac{\Delta T}{N}, \text{代入得 } N \geq 47.05。因此我们取 50 个周期为一组测量$$

以满足需求。

实验仪器

虚拟实验系统。包含：单摆仪（铁架台、摆球、细线），游标卡尺，米尺，千分尺，秒表

实验步骤与数据记录

1. 设计实验方案

根据误差均分理论，我们选用米尺测量摆线长度 L ，用游标卡尺测量小球直径 D ，用电子秒表测量单摆 50 个周期的时间 t 。

2. 制定实验步骤

运行软件 → 调整仪器 → 测量读数

3. 测量

设置一次摆长，用米尺测量摆线长 6 次

转动小球，用游标卡尺测量小球直径 6 次

利用电子秒表测量单摆 50 个周期的时间，共 6 组

次数 测量值	1	2	3	4	5	6	最佳估计值
L/cm	92.21	92.33	92.25	92.18	92.20	92.25	92.24
D/mm	21.45	21.38	21.42	21.45	21.43	21.42	21.38
$t(50T)/\text{s}$	96.16	95.49	96.34	96.27	96.17	95.55	96.00
T/s	1.9232	1.9098	1.9268	1.9254	1.9234	1.9110	1.9199

测量数据如上

实验仪器

虚拟实验系统。包含：单摆仪（铁架台、摆球、细线），游标卡尺，米尺，千分尺，秒表

实验步骤与数据记录

1. 设计实验方案

根据误差均分理论，我们选用米尺测量摆线长度 L ，用游标卡尺测量小球直径 D ，用电子秒表测量单摆 50 个周期的时间 t 。

2. 制定实验步骤

运行软件 → 调整仪器 → 测量读数

3. 测量

设置一次摆长，用米尺测量摆线长 6 次

转动小球，用游标卡尺测量小球直径 6 次

利用电子秒表测量单摆 50 个周期的时间，共 6 组

次数 测量值	1	2	3	4	5	6	最佳估计值
L/cm	92.21	92.33	92.25	92.18	92.20	92.25	92.24
D/mm	21.45	21.38	21.42	21.45	21.43	21.42	21.38
$t(50T)/\text{s}$	96.16	95.49	96.34	96.27	96.17	95.55	96.00
T/s	1.9232	1.9098	1.9268	1.9254	1.9234	1.9110	1.9199

测量数据如上

实验数据处理

由已知数据及 $g = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$, $R = L + \frac{D}{2}$ 得

$$\bar{g} = \frac{4\pi^2 (\bar{L} + \frac{\bar{D}}{2})}{\bar{T}^2} \approx 9.993 \text{ m/s}^2$$

1. 计算不确定度

① ~~求L的不~~

① ΔL : 由L的测量值可得, 标准偏差 $S_L = \frac{\sum_{i=1}^6 (L_i - \bar{L})^2}{6-1} \approx 0.0535 \text{ cm}$
 平均值的标准不确定度 $\Delta A(L) = \frac{S_L}{\sqrt{6}} \approx 0.0218 \text{ cm}$

B类不确定度

$$\Delta B(L) = \Delta A_R \approx 0.05 \text{ cm}$$

合成不确定度 $\Delta L = \sqrt{\Delta A(L)^2 + \Delta B(L)^2} \approx 0.055 \text{ cm} = 0.00055 \text{ m}$

② ΔD : $S_D = \frac{\sum_{i=1}^6 (D_i - \bar{D})^2}{6-1} \approx 0.01276 \text{ cm}$

$\Delta A(D) = \frac{S_D}{\sqrt{6}} \approx 0.0052 \text{ cm}$

$\Delta B(D) = \Delta_{游标卡尺} \approx 0.002 \text{ cm}$

$\Delta D = \sqrt{\Delta A(D)^2 + \Delta B(D)^2} \approx 0.0056 \text{ cm} = 0.000056 \text{ m}$

③ ΔR : $\Delta R = \sqrt{\frac{\Delta L^2 + \Delta D^2}{4}} \approx 0.00028 \text{ m}$

④ ΔT : $S_T = \frac{\sum_{i=1}^6 (t_i - \bar{t})^2}{6-1} \approx 0.3757 \text{ s}$

$\Delta A(T) = \frac{S_T}{\sqrt{6}} \approx 0.1534$

$\Delta B(T) = \sqrt{\Delta_{秒表}^2 + \Delta_{人眼}^2} \approx 1.005 \text{ s}$

$\Delta t = \sqrt{\Delta A(T)^2 + \Delta B(T)^2} \approx 0.1835$ $\therefore \Delta T = \frac{\Delta t}{50} \approx 0.00366 \text{ s}$

⑤ Δg : $(\frac{\Delta g}{g})^2 = (\frac{\Delta R}{R})^2 + (\frac{2 \times \Delta T}{T})^2 \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} \approx 0.003824$
 $\Rightarrow \Delta g \approx 0.03821 \text{ m/s}^2$ 取 0.038

⑥ E : $E = \frac{|\bar{g} - g_{重力}|}{\bar{g}} \approx \frac{0.0206}{9.993} \therefore E(\%) = 2.06\%$

⑦ g : $g = \bar{g} \pm \Delta g = 9.993 \pm 0.038 \text{ m/s}^2$

实验结论

1. 掌握了虚拟实验软件的使用
2. 理解并使用了累积放大法

实验讨论

1. 影响重力加速度测量结果的因素有哪些, 并说明原因.

① 摆长 L 的误差: 1. 读数误差、零点的误差; 2. 摆线悬挂点不明确;
3. 小球直径测量误差; 4. 摆线不竖直或松弛

② 周期 T 的误差: 1. 人为按秒表开始和停止时机不准;
2. 摆角过大或过小
3. 空气阻力影响, 使测得的周期 T 变长

2. 其他测重力加速度的方法.

① 自由落体法: 测量物体下落高度 h 和时间 t , 用 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 计算

② 斜面法: 测量物体在斜面上的加速度 a 和倾角 θ , 用 $g = \frac{a}{\sin\theta}$ 计算

3. 测重力加速度模型的修正.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ 为理想模型. 实际摆球会, 基于一个关键假设:

摆角 θ 非常小, 小到可以直接用 θ 代替 $\sin\theta$.

实际中的摆角不可能无限小, 所以计算得出的 g 会比真实值——
意味着完成一次振动需要更长的时间, 所以实际测量的 T 会比
理想公式计算的 T 更长, 导致得出的 g 比真实值要小.

因此, 我们需要对计算得出的 g 乘以一个修正因子, 以更接近真实值

思考题

与常规实验相比，虚拟仿真实验有何优点和缺点？

- 优点：
- ① 安全性高，可以模拟危险、极端或有毒的实验。
 - ② 成本低廉，无需购买昂贵器材，维护成本低。
 - ③ 过程可视化，能展示微观、高速等难以观测的现象。
 - ④ 效率高，减少实验等待时间，快速获得大量数据。

- 缺点：
- ① 缺乏动手能力的培养。
 - ② 仿真模型过度简化，与现实脱节。