

复摆实验

目录

1	实验目的	2
2	实验仪器	2
3	实验过程及实验数据处理	2
3.1	原始实验数据整理	2
3.2	最小二乘法处理实验数据	4
3.2.1	对于 <i>right</i> 部分复摆数据处理	4
3.2.2	对于 <i>left</i> 部分复摆数据处理	4
3.2.3	综合实验数据处理	5
3.3	近似共轭点法计算重力加速度	6
3.4	利用复摆周期与悬点位置关系求重力加速度	6
4	分析与讨论	7
4.1	复摆振动周期测量的误差分析	7
4.2	处理数据三种方法的优缺点	7
5	收获与感想	8

摘要

复摆又称物理摆，是在重力作用下，能绕通过自身某固定水平轴摆动的刚体。我们将在本次实验中研究复摆的物理特性，测定重力加速度以及用作图法和最小二乘法处理数据等。

关键词：刚体，物理摆，最小二乘法

1 实验目的

(1) 研究复摆的物理特性；(2) 用复摆测定重力加速度；(3) 用作图法和最小二乘法研究问题和处理数据。

2 实验仪器

复摆，光电计时器，电子天平，米尺等。

3 实验过程及实验数据处理

3.1 原始实验数据整理

在本实验中我们先测定复摆的质心的位置 $x_c = 0.05cm$ ，以及复摆的质量 $m = 411.45g$ 我们测量了复摆右半部分的周期随悬点变化规律数据如下：

表 1: 复摆右半部分周期随悬点位置变化数据

n	x/cm	$20T/s$	n	x/cm	$20T/s$
2	1.30	61.9980	17	16.30	23.6538
4	3.30	39.2057	18	17.30	23.6095
6	5.30	31.5759	19	18.30	23.5960
7	6.30	29.6196	20	19.30	23.7310
8	7.30	27.8731	21	20.30	23.7617
9	8.30	26.8721	22	21.30	23.9183
10	9.30	25.8186	23	22.30	23.9704
11	10.30	25.1991	24	23.30	24.1802
12	11.30	24.6291	25	24.30	24.2441
13	12.30	24.3280	26	25.30	24.4998
14	13.30	24.0754	27	26.30	24.6865
15	14.30	23.8560	28	27.30	24.8709
16	15.30	23.7352	29	28.30	25.0630

我们测量了复摆左半部分的周期随悬点变化规律数据如下：

表 2: 复摆左半部分周期随悬点位置变化数据

n	x/cm	$20T/s$	n	x/cm	$20T/s$
2	1.10	62.5855	17	16.10	23.6510
4	3.10	39.5622	18	17.10	23.6623
6	5.10	31.9736	19	18.10	23.6809
7	6.10	29.7545	20	19.10	23.7423
8	7.10	28.1041	21	20.10	23.7590
9	8.10	26.9417	22	21.10	23.8978
10	9.10	25.9171	23	22.10	24.0396
11	10.10	25.3603	24	23.10	24.1491
12	11.10	24.7889	25	24.10	24.3237
13	12.10	24.4077	26	25.10	24.4927
14	13.10	24.0488	27	26.10	24.6441
15	14.10	23.8682	28	27.10	24.8132
16	15.10	23.7470	29	28.10	24.9751

3.2 最小二乘法处理实验数据

3.2.1 对于 *right* 部分复摆数据处理

由题目中可得:

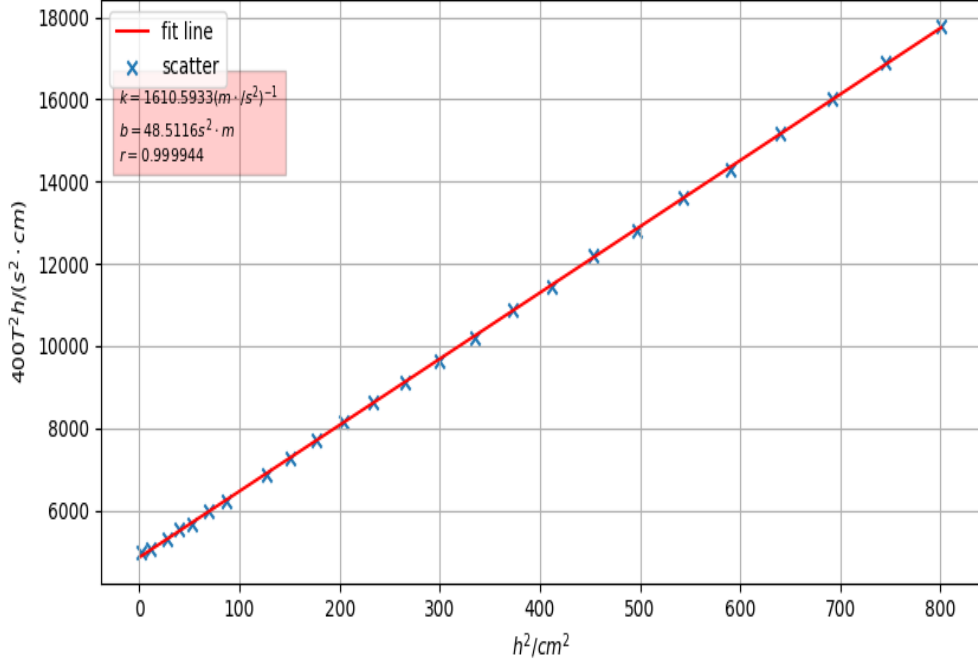


图 1: *right* 部分的线性拟合曲线

$$g_R = 400 \times \frac{4\pi^2}{k} = 9.8047 m/s^2$$

$$I_{GR} = m \cdot \frac{b}{k} = 0.012393 kg \cdot m^2$$

$$R_{G1} = \sqrt{\frac{b}{k}} = 0.1736 m$$

对于实验误差分析 $r = 0.999944$, 因此我们有 $\sigma_k = k \sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 3.48(m/s^2)^{-1}$

$$\sigma_{g_R} = g_R \cdot \frac{\sigma_k}{k} = 0.021 m/s^2$$

因此 $g_R = (9.805 \pm 0.021) m/s^2$

3.2.2 对于 *left* 部分复摆数据处理

由题目中可得:

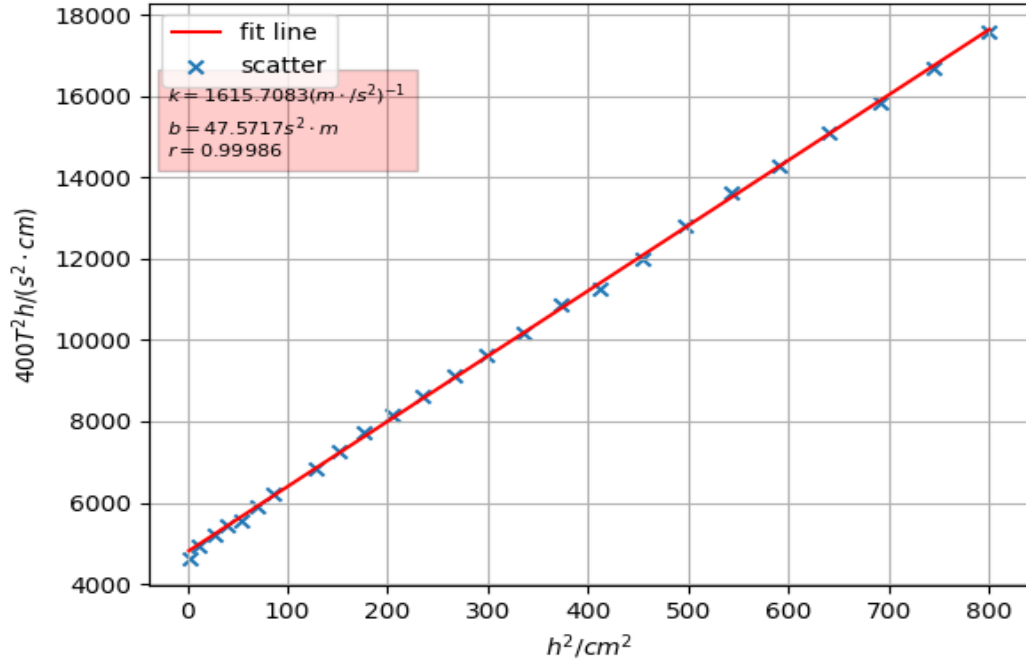


图 2: *left* 部分的线性拟合曲线

$$g_L = 400 \times \frac{4\pi^2}{k} = 9.7778m/s^2$$

$$I_{GR} = m \cdot \frac{b}{k} = 0.01212kg \cdot m^2$$

$$R_{G2} = \sqrt{\frac{b}{k}} = 0.1716m$$

对于实验误差分析 $r = 0.99986$, 因此我们有 $\sigma_k = k\sqrt{\frac{1/r^2 - 1}{n - 2}} = 5.52(m/s^2)^{-1}$

$$\sigma_{g_L} = g_L \cdot \frac{\sigma_k}{k} = 0.03m/s^2$$

因此 $g_L = (9.78 \pm 0.03)m/s^2$

3.2.3 综合实验数据处理

$$\bar{g} = \frac{g_R + g_L}{2} = 9.793m/s^2$$

$$\sigma_{\bar{g}} = \frac{\sqrt{\sigma_{g_L}^2 + \sigma_{g_R}^2}}{2} = 0.019m/s^2$$

因此 $\bar{g} = (9.793 \pm 0.019)m/s^2$

$$I_G = \frac{I_{GR} + I_{GL}}{2} = 0.012257kg \cdot m^2$$

$$R_G = \frac{R_{G1} + R_{G2}}{2} = 0.1726m$$

3.3 近似共轭点法计算重力加速度

①我们取 $x_1 = 11.30cm$, $20T_1 = 24.6291s$, $x_2 = 26.30cm$, $20T_2 = 24.6865s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_1 = 9.719m/s^2$

②我们取 $x_1 = 15.30cm$, $20T_1 = 23.7352s$, $x_2 = 20.30cm$, $20T_2 = 23.7617s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_2 = 9.889m/s^2$

③我们取 $x_1 = 15.10cm$, $20T_1 = 23.7470s$, $x_2 = 20.10cm$, $20T_2 = 23.7590s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_3 = 9.817m/s^2$

$$\text{因此 } \bar{g} = \frac{1}{3}(g_1 + g_2 + g_3) = 9.808m/s^2$$

3.4 利用复摆周期与悬点位置关系求重力加速度

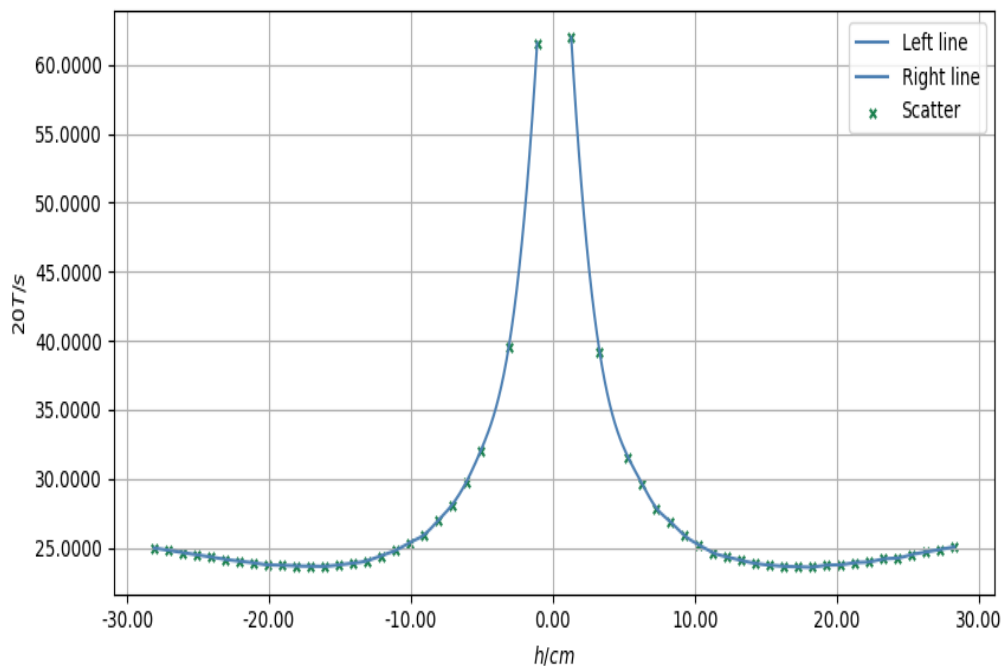


图 3: 复摆悬点位置与周期曲线

①我们取 $x_1 = 11.66cm$, $20T_1 = 24.7127s$, $x_2 = 26.08cm$, $20T_2 = 24.7127s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_1 = 9.758m/s^2$

②我们取 $x_1 = 13.69cm$, $20T_1 = 24.0954s$, $x_2 = 22.28cm$, $20T_2 = 24.0954s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_2 = 9.783m/s^2$

③我们取 $x_1 = 16.44cm, 20T_1 = 23.6367s, x_2 = 18.26cm, 20T_2 = 23.6367s$

$$\text{因此 } \frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2(x_1 + x_2)} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(x_1 - x_2)}$$

我们计算可得: $g_3 = 9.808m/s^2$

$$\text{因此 } \bar{g} = \frac{1}{3}(g_1 + g_2 + g_3) = 9.783m/s^2$$

④同时我们观察曲线最低点还得到了回转半径 $R_{G1} = 17.16cm, R_{G2} = 17.36cm, 20T = 23.5171s$

$$\text{因此 } I_{G1} = 0.012116kg \cdot m^2, I_{G2} = 0.012400kg \cdot m^2$$

$$I_G = \frac{I_{G1} + I_{G2}}{2} = 0.012258kg \cdot m^2$$

$$R_G = \frac{R_{G1} + R_{G2}}{2} = 0.1726m$$

4 分析与讨论

4.1 复摆振动周期测量的误差分析

①我们在处理数据时没有考虑刀口的质量,而实际上刀口的质量是存在的而且对于每次的测量都不同,这会引起误差。

②我们的支架未调节竖直以及光电门为调节好会使得原理公式出现错误,因此这也会出现误差。

③我们在使用复摆时,复摆通常不会只在一个平面内摆动,通常是伴随着另一个平面的进动同时进行的,这会使得我们的周期测量不准。

④我们实验场地存在着空气阻力,这会使得我们周期测量偏大,从而使得我们原理公式出现误差。

⑤实验仪器精度所限。

4.2 处理数据三种方法的优缺点

①最小二乘法作图:最下二乘法作图优点在于方便直观能看出数据的线性关系,而且能够省略一些不重要的量,直接通过斜率和截距的计算就能得出我们需要的量;缺点在于当数据点很多的时候输入数据比较麻烦且我们很难通过这种方法看出某些数据点有错误,需要一个一个查找十分不便。

②近似共轭点法:近似共轭点法优点在与能够用很少的数据(比如两个近似共轭点)计算出我们所需要的数据,比较方便,且物理思想比较能体现出来;缺点在于这种方法对于测量精度不够或者随机误差较大时,我们计算出来的量可能相差很大,精度有所欠缺。

③共轭点作图法：共轭点作图法优点在于能够用较少的数据计算出我们所需要的数据；缺点在于画图若采取最小二乘拟合则有可能选取的两个点误差变大，若插值函数拟合有可能难以找到合适的共轭点。

5 收获与感想

我们在本次实验中研究了复摆的物理特性，测定了重力加速度，以及学习了用作图法和最小二乘法处理实验数据，为我们本学期的实验课程画上了一个完美的句号。