

“紫堡悟理”物理创新实验大赛

实验报告

实验名称：复摆法测量深圳高级中学的重力加速度

参与人员：王晨旭、殷天飞、周熙丁、范澄意、祖梓乐（排名不分先后）

指导老师：吴全利

实验报告	
引言	重力加速度是经典力学中的一个重要矢量，它的准确测定对于计量学、精密物理计量、地球物理学、地震预报、重力探矿和空间科学等都具有重要意义。自伽利略以来，测量重力加速度的方法被不断改良，我实验小组结合刚体定轴转动相关知识，选择采用复摆装置精确测量深圳高级中学的重力加速度。
实验方法	<p>实验仪器：复摆装置（主体为长 60cm，宽 2cm，厚 0.6cm 的立方体铁条，每隔 1cm 打上一个直径 0.6cm 的孔），分析天平，卷尺，光电计时器。</p> <p>实验原理：复摆是一个绕一定转轴转动的刚体，转点与质心的连线 OC 长为 h，当 OC 与铅垂线有一个夹角 θ 时，会产生一个力矩</p> $M = -mg \sin \theta = I\beta = I\ddot{\theta}, \quad (1)$ <p>其中 I 为刚体相对转轴的转动惯量。移项得：</p> $I\ddot{\theta} + mgh \sin \theta = 0. \quad (2)$ <p>对于小角度¹摆动，可以进行小角近似，(2) 式变为：</p> $\ddot{\theta} + \frac{mgh}{I}\theta = 0. \quad (3)$ <p>令 $\omega^2 = \frac{mgh}{I}$，得到动力学方程：</p> $\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0. \quad (4)$ <p>这是简谐运动的动力学特征，则摆动周期</p> $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}} = 2\pi \sqrt{\frac{I_C + mh^2}{mgh}}, \quad (5)$ <p>这里运用了平行轴定理，其中 $I_C = \frac{1}{12}ml^2$² 是转轴在质心处的转动惯量。由 (5) 可得：</p> $mgT^2h = 4\pi^2I_C + 4\pi^2mh^2 \quad (6)$ <p>由 (6) 得，T^2h 和 h^2 成线性关系，可由直线斜率求出重力加速度。</p> <p>实验内容：</p> <p>(1) 用分析天平测量复摆质量，并用力矩法验证其质心在几何中心。</p>

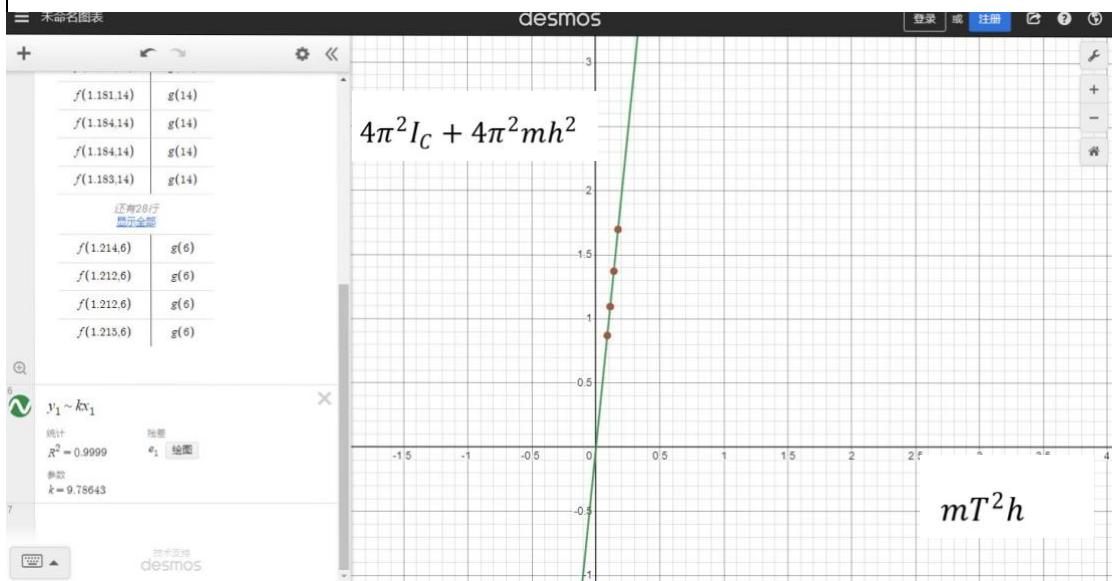
¹ 本实验中 $\theta \leqslant 5^\circ$.

² 因为本实验所用复摆质量均匀，故可直接使用公式计算转动惯量.

	(2) 将复摆放置在水平桌面上，调整底座，使复摆竖直悬挂且不与桌面与底座发生触碰。 (3) 选择不同的孔作为摆轴，小角度释放复摆，用光电门测量周期，重复 10 次，并取平均值。 (4) 计算出摆轴到质心的距离和复摆相对质心的转动惯量，根据公式 (6) 进行直线拟合，得到重力加速度。 (5) 把实验所得结果和标准值做比较。深圳市 $g \approx 9.783 \text{m/s}^2$ ³																																																																																
实验结果	<p>复摆质量 $m = 396.96 \text{g}$</p> <p>原始数据：</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>组次</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>T1</td><td>1.249</td><td>1.213</td><td>1.189</td><td>1.185</td></tr> <tr><td>T2</td><td>1.248</td><td>1.215</td><td>1.186</td><td>1.189</td></tr> <tr><td>T3</td><td>1.248</td><td>1.215</td><td>1.186</td><td>1.181</td></tr> <tr><td>T4</td><td>1.248</td><td>1.212</td><td>1.188</td><td>1.181</td></tr> <tr><td>T5</td><td>1.249</td><td>1.214</td><td>1.186</td><td>1.184</td></tr> <tr><td>T6</td><td>1.251</td><td>1.213</td><td>1.187</td><td>1.184</td></tr> <tr><td>T7</td><td>1.253</td><td>1.214</td><td>1.189</td><td>1.183</td></tr> <tr><td>T8</td><td>1.250</td><td>1.212</td><td>1.189</td><td>1.183</td></tr> <tr><td>T9</td><td>1.249</td><td>1.212</td><td>1.190</td><td>1.187</td></tr> <tr><td>T10</td><td>1.252</td><td>1.215</td><td>1.190</td><td>1.183</td></tr> </tbody> </table> <p>处理后：</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>组次</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>悬点</td> <td>2</td> <td>6</td> <td>10</td> <td>14</td> </tr> <tr> <td>h/cm</td> <td>28</td> <td>24</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>\bar{T}/s</td> <td>1.250</td> <td>1.214</td> <td>1.188</td> <td>1.184</td> </tr> <tr> <td>σ_T/s</td> <td>0.0006</td> <td>0.0004</td> <td>0.0006</td> <td>0.0008</td> </tr> </tbody> </table>	组次	1	2	3	4	T1	1.249	1.213	1.189	1.185	T2	1.248	1.215	1.186	1.189	T3	1.248	1.215	1.186	1.181	T4	1.248	1.212	1.188	1.181	T5	1.249	1.214	1.186	1.184	T6	1.251	1.213	1.187	1.184	T7	1.253	1.214	1.189	1.183	T8	1.250	1.212	1.189	1.183	T9	1.249	1.212	1.190	1.187	T10	1.252	1.215	1.190	1.183	组次	1	2	3	4	悬点	2	6	10	14	h/cm	28	24	20	16	\bar{T}/s	1.250	1.214	1.188	1.184	σ_T/s	0.0006	0.0004	0.0006	0.0008
组次	1	2	3	4																																																																													
T1	1.249	1.213	1.189	1.185																																																																													
T2	1.248	1.215	1.186	1.189																																																																													
T3	1.248	1.215	1.186	1.181																																																																													
T4	1.248	1.212	1.188	1.181																																																																													
T5	1.249	1.214	1.186	1.184																																																																													
T6	1.251	1.213	1.187	1.184																																																																													
T7	1.253	1.214	1.189	1.183																																																																													
T8	1.250	1.212	1.189	1.183																																																																													
T9	1.249	1.212	1.190	1.187																																																																													
T10	1.252	1.215	1.190	1.183																																																																													
组次	1	2	3	4																																																																													
悬点	2	6	10	14																																																																													
h/cm	28	24	20	16																																																																													
\bar{T}/s	1.250	1.214	1.188	1.184																																																																													
σ_T/s	0.0006	0.0004	0.0006	0.0008																																																																													

³ 来自深大实验室提供的数据。

最小二乘法拟合结果：



$$g = 9.78643 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma_g = 0.005 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{\sigma_g}{g} = 0.0005\%$$

最终结果 $g = (9.78643 \pm 0.005) \text{ m/s}^2$

数据分析与讨论

实验最终结果与标准值的相对误差低于万分之三，相对不确定度极小，结果极其精确，实验取得巨大成功。但相应地，我们注意到实验具有一定的系统误差，分析原因如下：

(1) 复摆与转轴之间的摩擦阻力较大，机械能损耗较快，导致周期测量值小于理论值。在公式(6)中有数学关系

$$g \propto \frac{1}{T^2},$$

因此计算得到的 g 值会偏大。

(2) 为了使复摆能够顺利卡上转轴，小孔的直径略大于转轴直径，使复摆受到的沿摆动平面法向的约束较小，复摆受摩擦阻力、空气阻力、地球自转的科里奥利力、下降时姿态等因素影响较大，最终不可避免地趋于圆锥摆运动，影响周期值。

结论

我小组尝试测量深圳高级中学的重力加速度，运用刚体力学相关知识，采用了复摆法，最终结果为 $(9.78643 \pm 0.005) \text{ m/s}^2$ ，达到了很高的精度。但因为器材问题和能力有限，实验结果仍存在一定的系统误差。建议使用复摆前，选用与孔径相匹配的转轴，并涂上润滑油等润滑物减少摩擦阻力，释放复摆时应做到无初速度，且在竖直面内。

通过这次实验，我小组成员培养了物理思维和创造性思维，增强了彼此之间的团队协作能力。这次实验是我们全体成员宝贵的经历，我们希望能有机会再次参与实验，继续感受物理学的魅力。