

重庆大学大学物理实验项目



利用 Phyphox、Origin、Tracker 软件研究重力加速度的测量

班 级

小组成员

2021 年 12 月 14 日

目录

1 引言.....	1
1.1 研究意义.....	1
1.2 软件介绍.....	1
2 原理和步骤.....	3
2.1 原理.....	3
2.1.1 单摆测量重力加速度原理.....	3
2.2.2 Phyphox 原理.....	4
2.2.3 Tracker 原理.....	4
2.2 实验步骤.....	4
2.3 实验器材.....	6
3 数据分析和结论.....	7
3.1 实验数据结果.....	7
3.1.1 千分尺测量摆线长度.....	7
3.1.2 Phyphox 实验数据结果.....	7
3.1.3 Tracker 实验数据结果.....	8
3.2 数据处理与分析.....	9
3.2.1 Phyphox 数据处理.....	9
3.2.2 Tracker 数据处理.....	10
3.2.3 Phyphox 数据分析.....	11
3.2.4 Tracker 数据分析.....	12
3.3 结论.....	13

1 引言

1.1 研究意义

重力加速度是一个重要的地球物理常数，精确的测得重力加速度在力学、热工、电学、工程技术以及地质和天文学等方面都有广泛应用。单摆测重力加速度又是一个传统的经典力学实验。很多的物理学家都对此实验进行了深入的研究和探讨。

单摆测重力加速度是一个传统的经典力学实验。很多的物理学家都对此实验进行了深入的研究和探讨。该实验的误差主要来自两个方面：有实验仪器引起的系统误差和人为操作引起的随机误差。本文是从人为操作引起的误差出发，通过使用 Phyphox、Origin 和 Tracker 三款软件来辅助实验，减少相关误差，从而优化实验结果。

1.2 软件介绍

本次实验，我们选用了 Phyphox、Origin 和 Tracker 三款软件来辅助实验。传统利用单摆测量重力加速度的实验，由学生用肉眼观察和秒表计时来实现周期 T 的测量。由于这一方法存在较大的误差，最终得到的结果和理想值有较大的差距。选用 Phyphox、Origin 和 Tracker 三款软件来辅助实验，可以在一定程度上减少测量误差，优化实验结果。

1.2.1 Phyphox

现代智能手机中的传感器是用于物理教育实验的一种很有前途且具有成本效益的工具，但许多实验都面临实际问题。通常在实验过程中手机无法访问，数据通常需要随后在计算机上进行分析。Phyphox 用于解决这两个问题，该应用程序专为在物理教学中利用实验而设计。Phyphox 让我们可以直接或通过即用型实验访问手机的传感器，这些实验可以分析数据，并导出原始数据和结果以供进一步分析。

1.2.2 Origin

Origin 是由 OriginLab 公司开发的一个科学绘图、数据分析软件，支持在 Microsoft Windows 下运行。Origin 支持各种各样的 2D/3D 图形。Origin 中的数据分析功能包括统计，信号处理，曲线拟合以及峰值分析。Origin 中的曲线拟合是采用基于 Levenberg-Marquardt 算法 (LMA) 的非线性最小二乘法拟合。Origin 强大的数据导入功能，支持多种格式的数据，包括 ASCII、Excel、NI TDM、DIADem、NetCDF、SPC 等等。图形输出格式多样，例如 JPEG，GIF，EPS，TIFF 等。内置的查询工具可通过 ADO 访问数据库数据。

1.2.3 Tracker

Tracker 是一个图像和视频分析软件，允许学生对视频中物体的运动进行建模和分析。通过将简单的动态模型直接叠加到视频上，学生可以看到模型与现实世界的匹配程度。也可以使用 Tracker 分析干涉模式和光谱。

2 原理和步骤

2.1 原理

2.1.1 单摆测量重力加速度原理

单摆是由一根不能伸长的轻质细线和悬在此线下端体积很小的重球所构成。在摆长远大于球的直径，摆球质量远大于线的质量的条件下，将悬挂的小球自平衡位置拉至一边（很小距离，摆角小于 5° ），然后释放，摆球即在平衡位置左右作周期性的往返摆动，如图 1-1 所示。

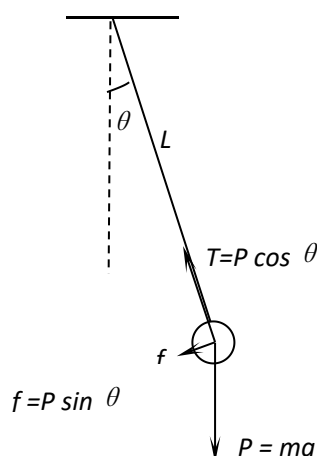


图 1-1 单摆原理图

摆球所受的力 f 是重力和绳子张力的合力， f 指向平衡位置。当摆角很小时（ $\theta < 5^\circ$ ），圆弧可近似地看成直线， f 也可近似地看作沿着这一直线。设摆长为 L ，小球位移为 x ，质量为 m ，则

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{x}{L} \\ f &= p \sin \theta = -mg \frac{x}{L} = -m \frac{g}{L} x \end{aligned} \quad (2-1)$$

由 $f=ma$ ，可知 $a=-\frac{g}{L}x$ ，式中负号表示 f 与位移 x 方向相反。

单摆在摆角很小时的运动，可近似为简谐振动，比较谐振动公式： $a=\frac{f}{m}=-\omega^2x$

可得 $\omega=\sqrt{\frac{g}{l}}$

于是得单摆运动周期为：

$$T=2\pi/\omega=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (2-2)$$

$$T^2=\frac{4\pi^2}{g}L \quad (2-3)$$

$$\text{或} \quad g=4\pi^2\frac{L}{T^2} \quad (2-4)$$

利用单摆实验测重力加速度时，一般采用某一个固定摆长 L ，在多次精密地测量出单摆的周期 T 后，代入 (2-4) 式，即可求得当地的重力加速度 g 。

由式 (2-3) 可知， T^2 和 L 之间具有线性关系， $\frac{4\pi^2}{g}$ 为其斜率，如对于各种不同的摆长测出各自对应的周期，则可利用 T^2-L 图线的斜率求出重力加速度 g 。

2.2.2 Phyphox 原理

Phyphox 通过手机上的光学传感器接受光的照度，记录照度随时间的变化关系。曲线的峰值对应小球简谐运动的最远端，谷值对应简谐运动的平衡点。因此小球的运动周期为该曲线周期的 2 倍。通过光传感器，检测小球经过最低点的时间，可以降低人为计数计时时的误差。

2.2.3 Tracker 原理

Tracker 通过对视频图像进行分析，可对视频中对物体进行轨迹追踪。在追踪前提前指定坐标系，Tracker 可以在追踪轨迹后绘制出相应轨迹方程与图像。因此，通过 Tracker 可以直接获得小球的运动轨迹，不需要进行人为测量。

2.2 实验步骤

1. 仪器调整：

本实验是在自由落体测定仪上进行，故需要把自由落体测定仪的支柱调成铅直。调整

方法是：安装好摆锤后，调节底座上的水平调节螺丝，使摆线与立柱平行。

2. 测量摆长 L

测量摆线支点与摆球质心之间的距离 L 。由于摆球质心位置难找，可用米尺测悬点到摆球最低点的距离 L_1 ，（测三次），用千分尺测球的直径 d ，（测三次），则摆长：

$$L=L_1-d/2$$

3. 测量摆动周期 T

Phyphox 实验中，将点光源对准手机的光传感器，并使摆球摆动幅度在允许范围内，开始测量。由于小球靠近光学传感器（前置摄像头边）时照度降低，远离时照度变大，可以通过光传感器得到的光强变化的数据，从而计算出摆动周期 T 。



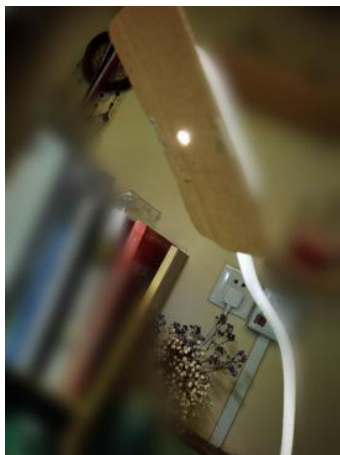
Tracker 实验中，固定手机位置，录下摆球摆动过程，利用 Tracker 软件对录像中摆球的位置进行轨迹记录，从而计算出小球的摆动周期 T 。（视频见附件）

4. 将所测数据列于下表中，并计算出摆长、周期及重力加速度。

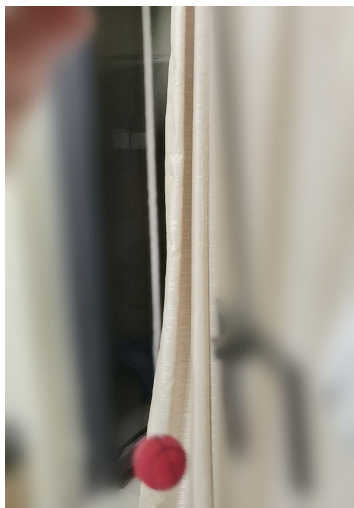
次数	L_1 (cm)	摆球 直径 d (cm)	摆长 $L=L_1-d/2$ (cm)	50 个 周期 t_{50} (s)	周期 T (s)	重力加速度 g (cm/s ²)
1						
2						
3						
平均						

2.3 实验器材

(1) 点光源:



(2) 小球与棉线:



(3) 使用手机光学传感器的 phyphox



3 数据分析和结论

3.1 实验数据结果

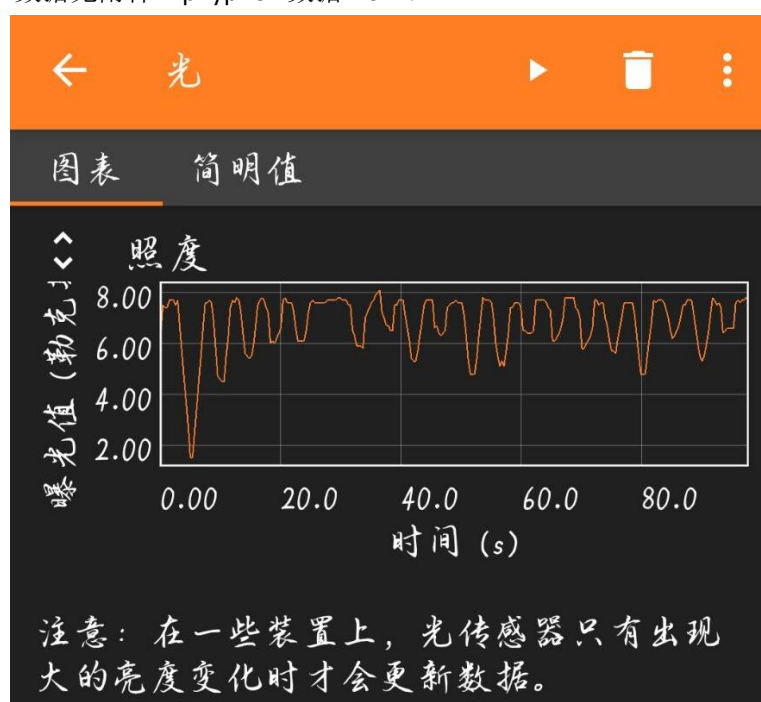
3.1.1 千分尺测量摆线长度

次数	L_i (mm)	摆球 直径 d (mm)	摆长 $L=L_i-d/2$ (mm)	平均摆长 L (mm)
1	223.75	21.50	213.00	212.84
2	223.05	21.55	212.28	
3	223.95	21.40	213.25	

最终得到摆线的长度为 212.84mm

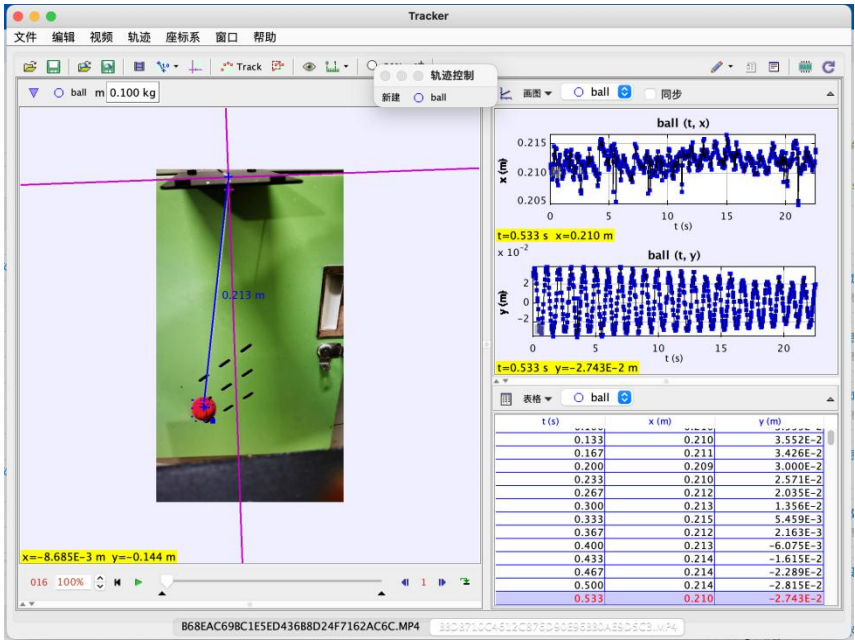
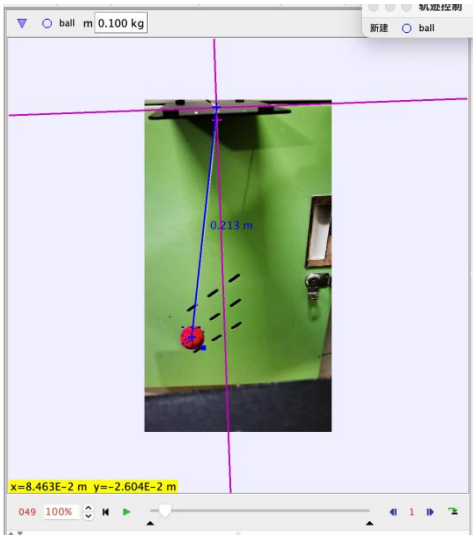
3.1.2 Phyphox 实验数据结果

经过 Phyphox 中光传感器的测量，得到光强度的变化数据，导入到 excel 中进行进一步处理。（excel 数据见附件“phyphox 数据.xls”）



3.1.3 Tracker 实验数据结果

通过 Tracker 对摆球摆动录像进行轨迹追踪，绘制出小球摆动的轨迹方程。先在 Tracker 中绘制坐标系，并对摆球进行标点。Tracker 会对摆球对轨迹进行追踪，并绘制摆球对轨迹曲线。（excel 数据见附件“Tracker 数据.xlsx”）

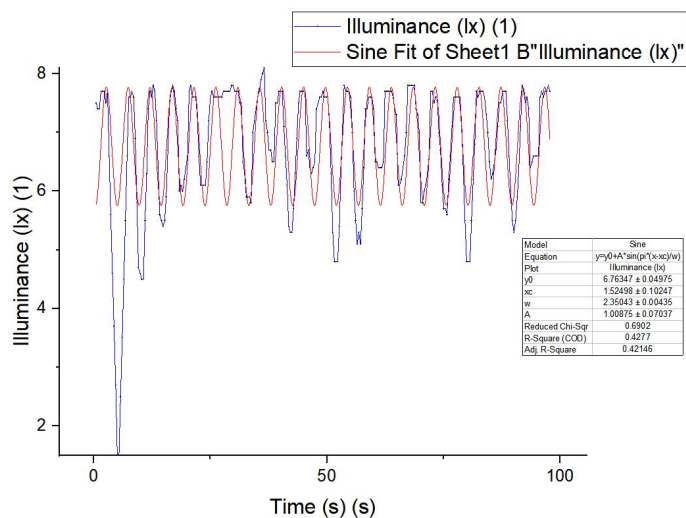


3.2 数据处理与分析

将 Phyphox 和 Tracker 中得到的数据导出，利用 Origin 软件进行数据处理。（origin 源文件见附件“simple_pendulum_phyphox.opju”、“simple_pendulum_tracker.opju”）

3.2.1 Phyphox 数据处理

将 Phyphox 中的数据导入，并利于 Origin 进行拟合，可以得到轨迹曲线。



（注：刚开始 0~10s 为小球刚放上阶段，10s 以后达到稳定）

经过 Origin 拟合，可得到新的轨迹方程为：

$$y = 6.76347 + 1.00875 * \sin(\pi * (t - 1.52498) / 2.35043)$$

由于此处 $k = \pi / 2.35043$ ，因此 $T = 2\pi / k = 2 * 2.35043 = 4.70086$ ，又此处时间单位为 0.1s，

因此单摆周期为 $2 * 4.70086 / 10 = 0.940172s$

$$\text{则 } T = 0.940172s$$

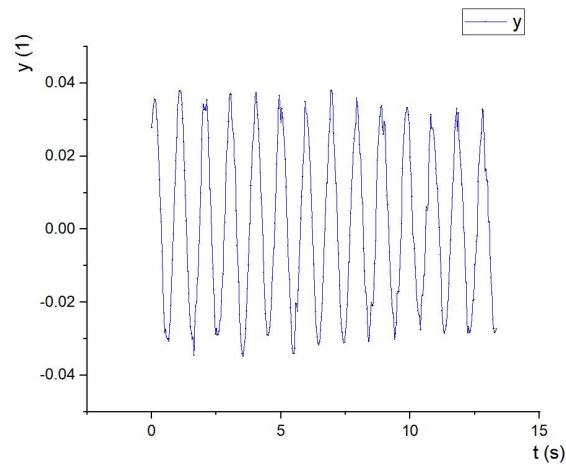
代入公式进行计算

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

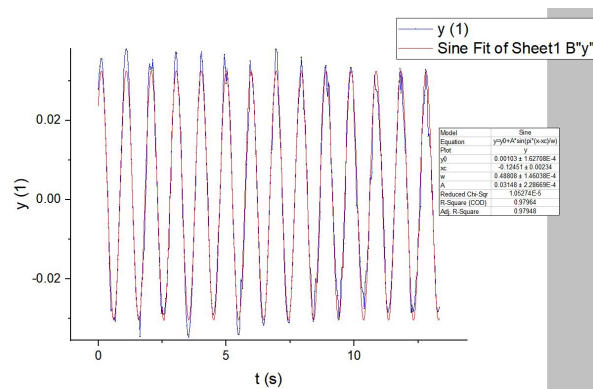
$$g = \frac{4\pi^2 * 0.213}{0.940172^2} = 9.513157 \text{ m/s}^2$$

3.2.2 Tracker 数据处理

将 Tracker 的原始数据导入 Origin，可以得到原始数据的轨迹曲线。



对原始数据进行拟合，得到新的轨迹曲线：



拟合后表达式：

$$y = 0.00103 + 0.03148 * \sin(\pi * (t + 0.12451) / 0.48808)$$

由单摆周期公式可知：

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$$

$$g = \frac{4\pi^2 * 0.213}{0.97616^2} = 9.570391 \text{ m/s}^2$$

3.2.3 Phyphox 数据误差分析

Nonlinear Curve Fit (Sine) (2021/12/14 14:33:09)

Notes

Input Data

Parameters

		Value	Standard Error	t-Value	Prob> t	Dependency
Illuminance (lx)	y0	6.76347	0.04975	135.93754	3.48722E-254	6.60143E-4
	xc	1.52498	0.10247	14.8828	3.75702E-37	0.74094
	w	2.35043	0.00435	540.70484	0	0.74091
	A	1.00875	0.07037	14.33539	3.46106E-35	1.73781E-4

Reduced Chi-sqr = 0.690204865543
 COD(R^2) = 0.42769920068771
 Iterations Performed = 10
 Total Iterations in Session = 10
 Fit converged. Chi-Sqr tolerance value of 1E-9 was reached.
 Standard Error was scaled with square root of reduced Chi-Sqr.

Statistics

	Illuminance (lx)
Number of Points	279
Degrees of Freedom	275
Reduced Chi-Sqr	0.6902
Residual Sum of Squares	189.80634
R-Square (COD)	0.4277
Adj. R-Square	0.42146
Fit Status	Succeeded(100)

Fit Status Code :
 100 : Fit converged. Chi-Sqr tolerance value of 1E-9 was reached.

Summary

	y0		xc		w		A		Statistics	
	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Value	Standard Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
Illuminance (lx)	6.76347	0.04975	1.52498	0.10247	2.35043	0.00435	1.00875	0.07037	0.6902	0.42146

ANOVA

		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Illuminance (lx)	Regression	3	141.84852	47.28284	68.50551	4.1095E-33
	Residual	275	189.80634	0.6902		
	Uncorrected Total	279	13122.69036			
	Corrected Total	278	331.65485			

Illuminance (lx): At the 0.05 level, the fitting function is significantly better than the function y=constant.

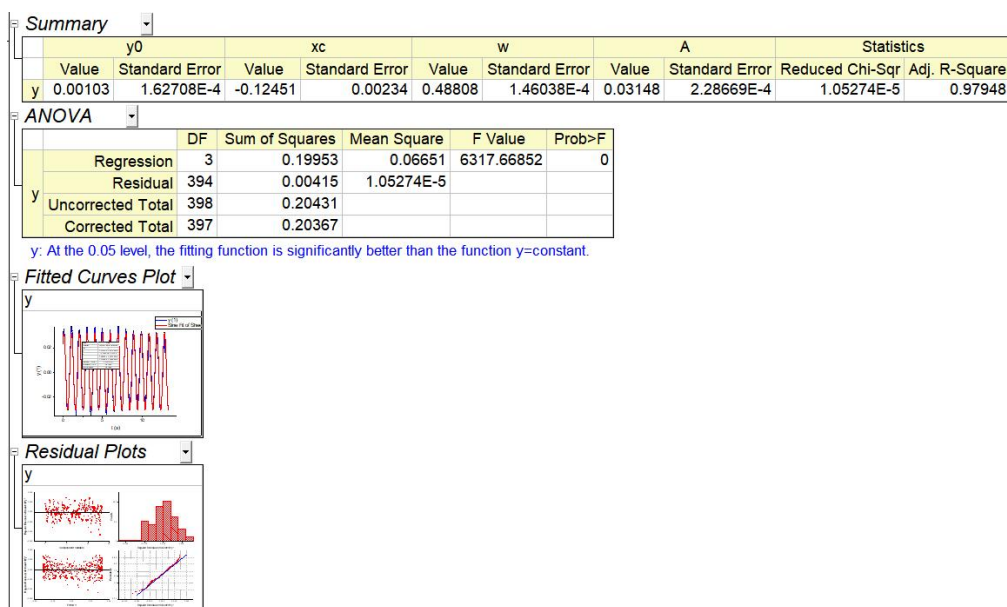
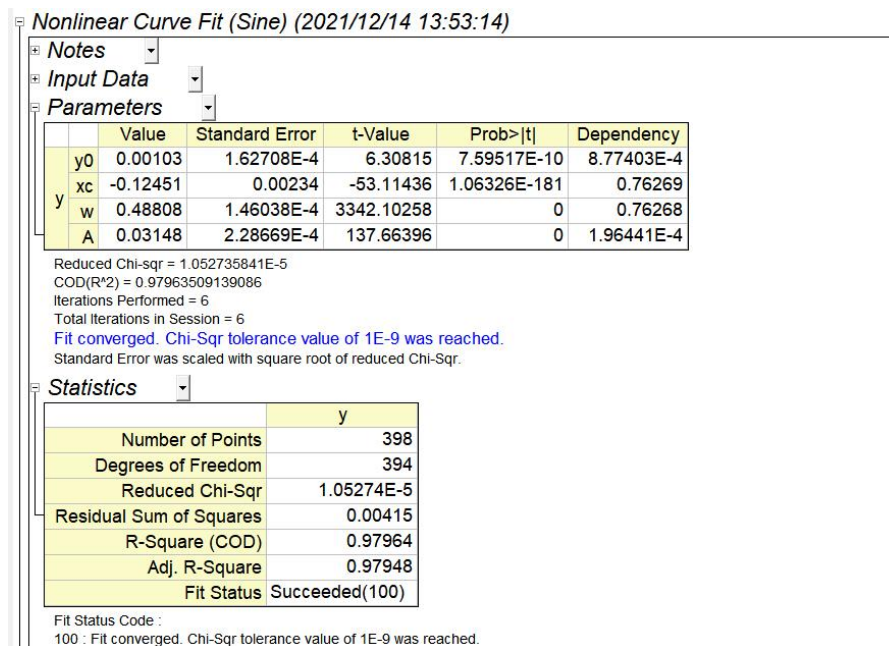
Fitted Curves Plot

Residual Plots

误差分析：

$$Er = \frac{|g_{\text{标}} - g_{\text{测}}|}{g_{\text{标}}} = 3.0\%$$

3.2.4 Tracker 数据误差分析



误差分析:

$$Er = \frac{|g_{\text{标}} - g_{\text{测}}|}{g_{\text{标}}} = 2.3\%$$

3.3 结论

经过实验测量可以得到,利用 Phyphox 光传感器测量和 Tracker 软件计算得到的重力加速度的值与标准值相差较小, 二者的误差分别为 3.0%和 2.3%, 表明这两种测量方法具有较

好的实验效果。

与传统的肉眼观察和手动秒表计时法相比,本实验通过利用 Phyphox 和 Tracker 的功能降低了人为的误差,在实验结果上误差较小,有一定推广价值。实验结果采用 Origin 进行处理,并绘制轨迹曲线。Origin 在绘图和处理数据上具有较好的效果,提升了数据处理与分析的效率,在今后的物理实验中,具有一定推广价值。

最终测出的重力加速度相比较标准值偏小,导致这一现象的原因可能为单摆在空中作的摆动并非在垂直平面内的运动,而是类似于圆周运动。作这种情况下的圆周运动,测得的单摆运动周期会比垂直平面内单摆摆动的运动周期大,然而摆长按原本长度不变,导致测得的重力加速度 g 比实际小。

物理实验是一个训练我们动手能力的过程,这次物理设计性实验是一个很好的例子。“单摆法测重力加速度”作为一个研究方案,较详细进行了物理模型的设计与公式的推导。测量实验数据并对其进行了误差分析,测量出了重力加速度,两种方法测得结果误差均小于 4%。这增强我们的动手能力和思维能力,培养了自身独立思考问题能力。