

实验 A0.4 基于智能手机的物理实验

[实验前思考题]

1. 智能手机中一般有哪些传感器？
 2. 智能手机的加速度传感器的工作原理是什么？
 3. 简述扭摆的工作原理，写出扭摆摆动角度随时间变化的公式。
1. 加速度传感器、磁力传感器、方向传感器、陀螺仪、光线感应传感器、压力传感器、温度传感器、重力传感器、光线传感器。
2. 由惯性原理 $\alpha = \frac{F}{m}$ 。当传感器运动时，质量块产生的惯性力使压电元件产生应力，输出与加速度成正比例的电信号，分别算出在 X、Y、Z 轴上的加速度后合成成为总的加速度。
3. 当扭摆摆角很小时，阻力忽略不计，手机的摆动可近似看为简谐振动且能量守恒。

$$\theta = \theta_0 e^{-\beta t} \cos \omega t - \theta_0$$

其中 θ 为摆动角度， θ_0 为摆的初始振幅， β 为阻尼系数。

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ，其中 ω_0 为固有频率， θ_0 是手机静止时触尺向下的角度。



物理量的传感和信号采集是物理实验的重要内容之一。随着集成电路技术和电子技术的发展，传感器和数据采集器的集成度越来越高，采集精度和速度也不断提高。智能手机中已可以集成 CCD、重力加速度、磁感应强度、光强、声音、压强等多种传感器。利用这些传感器就可以实现多种物理量的测量，进行物理实验。

【实验目的】

1. 掌握利用智能手机进行物理实验的方法。
2. 利用重力加速度传感器进行物理振动的实验。
3. 掌握利用智能手机进行颜色分析的方法。
4. 利用摄像功能和 Tracker 软件对运动物体进行分析。

【仪器用具】

编号	仪器名称	数量	主要参数(型号, 测量范围, 测量精度)
1	智能手机	1	安装 ToolBox、Phyphox、Color Detector 和 Light Meter 软件
2	电脑	1	安装 Tracker 软件
3	钢尺	1	
4	单摆或波尔摆	1	

【实验原理】

1. 钢尺振动模型

(1) 简谐振动模型

如图 1 所示。在最简化的模型下，钢尺质量 m 远小于手机质量 M , m 忽略不计，即钢尺的转动惯量 I 忽略不计，这时手机可抽象为作用在钢尺边缘的质点。在振动角度不大时，钢尺弯曲程度与固定点之间的距离无关，可看成一把刚性的不会弯曲的直尺。则钢尺受弹力

$$f = GS\theta \quad (1)$$

作用。由胡克定律知钢尺应力 f/S 正比于应变 $\delta L/L$ ，在角度不大时 $\delta L/L \approx \theta$ ）， G 是弹性模量（切变模量）， S 是钢尺的截面积，重力 Mg ，阻力（例如空气） $R \approx \gamma \frac{d\theta}{dt}$ 。

振动方式与弹簧振子相同。手机的重力只是改变了平衡点，不影响振动状态。

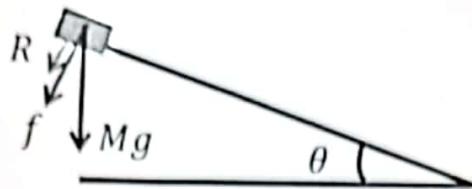


图 1 钢尺和手机振动的模型图

(2) 扭摆振动模型

振动时手机绕桌子边缘做定轴转动，力 R 与 f 近似看作作用于质心，设 L_c 为质心到桌边缘的距离，根据转动定律，可得运动方程为：

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -(R + f + Mg \cos \theta)L_c \quad (2)$$

其中， I 是手机相对于支点的转动惯量。这是非线性微分方程，因为 θ 很小（不超过 10° ），对 $\cos \theta$ 做级数展开且只保留线性项： $\cos \theta \approx 1$ ，代入式 (2) 且两边都除以转动惯量 I 。令

$$\beta = \frac{\gamma L_c}{2I}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{GSL_c}{I}}, \quad \theta_0 = \frac{MgL_c}{I\omega_0^2} \quad (3)$$

则式 (2) 可化简为：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + 2\beta \frac{d\theta}{dt} + \omega_0^2(\theta + \theta_0) = 0 \quad (4)$$

解为：

$$\theta = A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t - \theta_0 \quad (5)$$

其中 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ ； ω_0 为固有圆频率； β 称为阻尼系数； θ_0 是手机静止时钢尺在手机重力作用下向下弯曲的角度； A_0 为摆的初始振幅。角加速度：

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = A_0 e^{-\beta t} [(\beta^2 - \omega^2) \cos \omega t + 2\omega\beta \sin \omega t] \approx -\omega^2 A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t \quad (6)$$

设加速度传感器到桌子边缘的距离是 L ，则测量得到的垂直方向的加速度就是

$$a = L \frac{d^2\theta}{dt^2} e_\perp + g \quad (7)$$

其中 g 是重力加速度。 θ 较小时， e_\perp 可近似为竖直向上，有

$$a_z = -\omega^2 L A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t - g \quad (8)$$

手机中选取 z 向下为正，则式 (8) 右边反号得

$$a_z = \omega^2 L A_0 e^{-\beta t} \cos \omega t + g \quad (9)$$



2. 色彩的 RGB 值

波长为 400~760nm 的电磁波，能引起人眼的视觉，称为可见光。不同波长的可见光，引起人眼不同的颜色视觉。色光的混合模式有许多种，其中最常用的是 RGB 色彩模式，它起源于英国科学家 Thomas Young 提出的三基色假说，显示器、电视机和投影设备等主动发光物体运用这种色彩模式来实现图像显示。

根据 RGB 色彩模式，任何颜色都可通过对红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色通道的变化和它们相互之间的叠加来获得。这三种颜色中的每一种有 0~255 共 256 个亮度水平级，它们叠加后可形成一千多万种颜色。与单色光不同，各种颜色的光，除三基色外，都是复色光。表 1 是 RGB 值颜色对照表，其中 HEX 是 RGB 值的 16 进制表示。电脑和智能手机中的软件能得到图像颜色的 RGB 值。

表 1. RGB 值颜色对照表

颜色	(R,G,B)	Hex	颜色	(R,G,B)	Hex
黑色	(0,0,0)	#000000	黄色	(255,255,0)	#FFFF00
白色	(255,255,255)	#FFFFFF	青色	(0,255,255)	#00FFFF
红色	(255,0,0)	#FF0000	品红色	(255,0,255)	#FF00FF
绿色	(0,255,0)	#00FF00	银色	(192,192,192)	#C0C0C0
蓝色	(0,0,255)	#0000FF	灰色	(128,128,128)	#808080

3. 视频跟踪软件 Tracker:

Tracker 软件是一款免费的影像分析与建模工具。它能对目标位置进行跟踪、实时记录数据、描绘运动轨迹并分析数据。支持 Mov、avi、mp4、flv 等多种视频格式。官方网站 <https://www.physlets.org/tracker/>。本实验将利用该软件分析扭摆的振动，让同学们掌握运动学中视频分析的有力工具。该方法可应用于自由落体、平抛、转动等各种运动学实验。

注：软件使用方法在课堂上由教师讲解，同学们可查看软件自带的帮助文件。



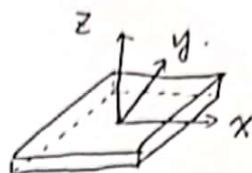
| 实验内容及步骤 |

1. 智能手机安装实验软件

软件包括：Phyphox、ToolBox、Color Detector、Light Meter 等。

2. 基于智能手机的钢尺振动实验

(1) 利用 Phyphox 软件，确定手机加速度传感器的 X、Y、Z 方向，并在右边作图说明。



(2) 将手机用无痕双面胶黏贴在钢尺的一端

注意：钢尺边缘应与手机的重心重合，分析数据时方可将手机等效成在钢尺边缘的质点。

(3) 取一定的钢尺长度，边缘用重物压紧，重物边缘与桌子边缘在同一垂直面。让钢尺振动，利用 Phyphox 软件测量振动频率。

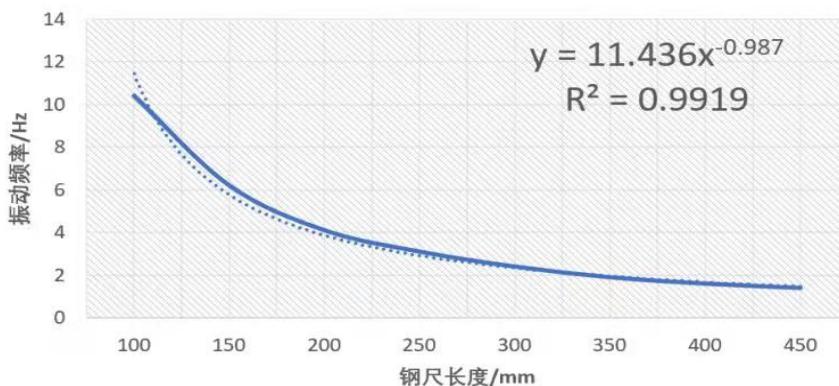
(4) 改变钢尺振动长度（至少 6 个点），测出振动周期或频率。

表 1. 钢尺振动频率随长度的变化关系

钢尺长度/mm	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0	350.0	400.0	450.0
振动周期/s	0.096	0.162	0.244	0.327	0.419	0.524	0.617	0.730
振动频率/Hz	10.4	6.2	4.1	3.1	2.4	1.9	1.6	1.4

(5) 作出振动频率随钢尺长度变化的关系曲线并拟合。

振动频率随钢尺长度变化关系图





3. 基于智能手机的颜色分析实验

- (1) 利用计算机的画图软件, 分别产生黑, 白, 纯红, 纯绿, 纯蓝五种颜色。
- (2) 用手机的 Color Detector 软件测量以上五种颜色的 RGB 值。
- (3) 分析设定值与测量值的异同。

表 2. 颜色的 RGB 设定值与测量值

颜色	黑色	白色	纯 红	纯 绿	纯 蓝
电脑屏幕的 RGB 设定值	#000000	#FFFFFF	#ff0000	#00FF00	#0000FF
手机软件的 RGB 测量值	#0/0/1100	#E6E1DB	#C00F00	#00BD00	#0000CE

4.22

(R.G.B) 分析:

数据 Black White Red Green Blue

设定值. (0, 0, 0) (255, 255, 255) (255, 0, 0) (0, 255, 0) (0, 0, 255)

测量值. (10, 17, 0), (230, 225, 219), (192, 15, 0), (0, 189, 0), (0, 0, 206)

$$S_{red} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_i^5 (R_i - R_{si})^2} = 15.32$$

$$S_{green} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_i^5 (G_i - G_{si})^2} = 16.99$$

$$S_{blue} = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_i^5 (B_i - B_{si})^2} = 13.60.$$

当 $N=4$, $p=0.95$ 时 盖得单侧 $t_p = 2.132$

$$\Delta N = t_p S$$

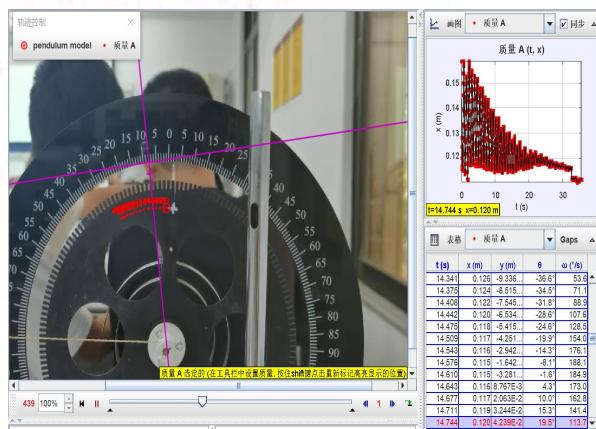
$$\Delta N_{red} = 32.66, \Delta N_{green} = 36.22, \Delta N_{blue} = 31.44.$$

∴ 差差分别为 12.81%, 14.20%, 12.33%

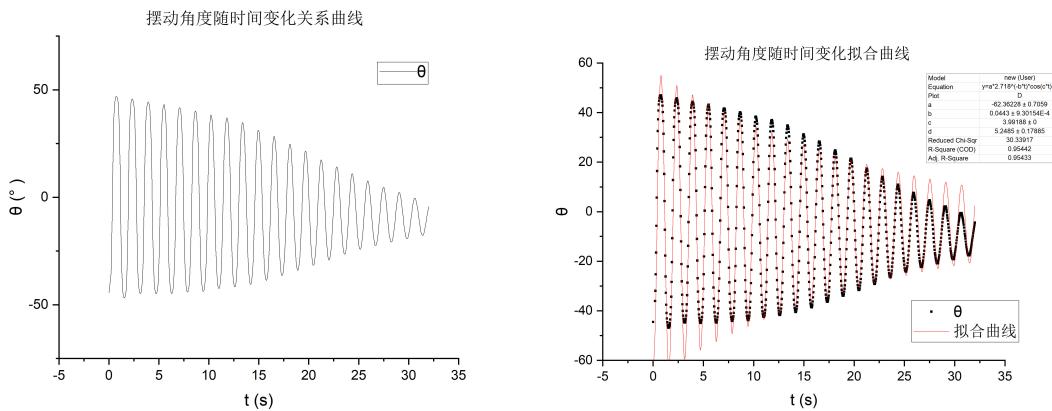


4. 利用手机和视频分析测量扭摆振动周期

- (1) 在扭摆摆盘上黏贴一个与背景颜色反差很大的圆形纸片(圆点)。
- (2) 用手机拍摄扭摆摆动的视频。拍摄时手机摄像头指向尽量与扭摆摆盘面垂直，摆动中心接近画面中心，手机固定不晃动。
- (3) 将视频导入 Tracker 软件，用软件的视频分析功能跟踪圆点的运动。
* 截屏展示视频跟踪及分析的过程。



- (4) 画出摆动角度随时间的变化关系曲线。



- (5) 根据曲线求出扭摆摆动的周期、衰减系数等参数。

$$\text{周期 } T = \frac{16.59 - 0.84}{10} \text{ s} = 1.575 \text{ s.}$$

$$\text{衰减系数 } \beta = b = 0.0443 \pm 9.30154 \times 10^{-4}$$



| 思考题 |

1. 如何根据钢尺振动频率、尺寸、手机重量等参数计算钢尺的弹性模量？
2. 如何用 Tracker 软件进行自由落体实验，测量重力加速度？
3. 尝试其他手机软件的测量功能，如测量长度、角度、海拔高度等。

1. 对手机受力分析

$$f - R = Ma$$

$$G_S \theta - \gamma w = MwL$$

$$G = \frac{(f + Ml)w}{S\theta}$$

其中空气阻力小，可忽略，则有 $f=0$

$$\therefore G = \frac{Mlw}{S\theta}$$

其中 θ 为室温阻尼系数。

M 为手机质量。

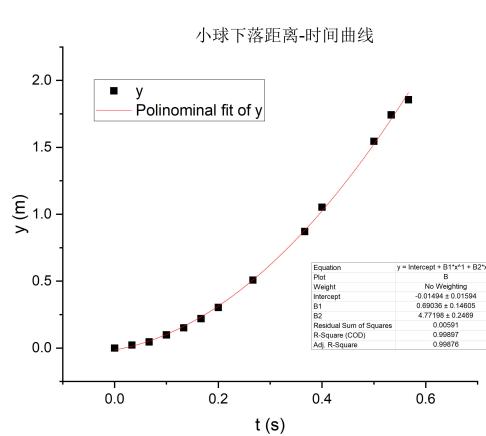
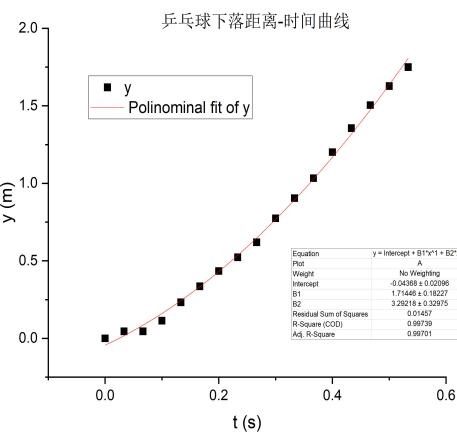
L 为钢尺振动伸长度。

w 为钢尺振幅伸展速度。

S 为钢尺截面积。

θ 为钢尺偏离水平面角。

2.



$$g = 2B_2 = 6.58 \pm 0.65 \text{ m/s}^2 ? \quad g = 2B_2 = 9.54 \pm 0.51 \text{ m/s}^2$$