

单摆自由落体实验仪

NS1120 型



实验讲义

深圳摩世达科技有限公司

请使用者务必先阅读本说明书，再进行实验操作

实验一 自由落体运动实验研究

仅在重力作用下，物体由静止开始竖直下落的运动称为自由落体运动。由于受空气阻力的影响，自然界中的落体都不是严格意义上的自由落体。只有在高度抽真空的试管内才可观察到真正的自由落体运动——一切物体(如铁球与鸡毛)以同样的加速度运动，这个加速度称为重力加速度。

重力加速度 g 是物理学中的一个重要参量。地球上各个地区重力加速度，随地球纬度和海拔高度的变化而变化。一般说来，在赤道附近 g 的数值最小，纬度越高，越靠近南北两极，则 g 的数值越大。在地球表面附近 g 的最大值与最小值相差仅约 $1/300$ 。准确测定重力加速度 g ，在理论、生产和科研方面都有着重要的意义。

本实验对小球下落运动的研究，仅限于低速情形，因此忽略了空气阻力后，可视其为自由落体运动。

一、实验原理

根据牛顿运动定律，仅受重力作用的初速为零的“自由”落体，如果它运动的行程不很大，则其运动方程可用下式表示：

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

其中 s 是该自由落体运动的路程， t 是通过这段路程所用的时间。不难设想，若 s 取一系列数值，只需通过实验分别测出对应的时间 t ，即不难验证上述方程。然而在实际测量时，很难测定该自由落体开始运动的时刻，因此这种设想难以实现。

如果在该自由落体从静止开始运动通过一段路程 s_0 而达到 A 点的时刻开始计时，测出它继续自由下落路程 s 所用的时间 t ，根据公式(1)可得：

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

这就是初速不为零的自由落体运动方程。其中 v_0 是小球通过光电门 1 时的速度， s 是光电门 1 和光电门 2 之间的距离。式(2)两边同时除以 t 得

$$\frac{s}{t} = v_0 + \frac{1}{2}gt \quad (3)$$

令 $y = \frac{s}{t}$ ， $t = x$ 则有

$$y = v_0 + \frac{1}{2}gx \quad (4)$$

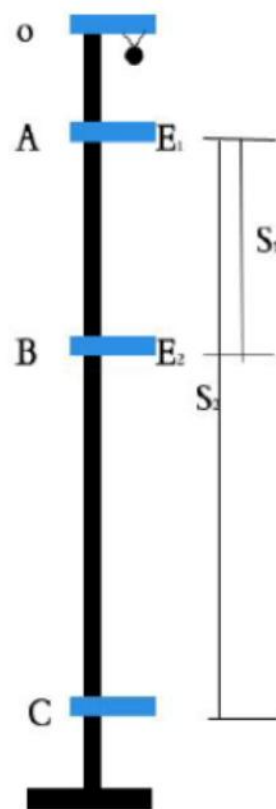
这是一直线方程，当测出若干不同 s 的 t 值，用 $x = t$ 和 $y = \frac{s}{t}$ 进行直线拟合，

设所得直线的斜率为 b ，则由 $b = \frac{1}{2}g$ 可求出 g ：

$$g = 2b \quad (5)$$

二、实验内容

1. 调节实验装置，利用铅垂线将支柱调直。目的是使小球通过光电门时的挡光效果最佳，从而可



以尽量减小误差。方法是将用棉线串接的钢珠，将其中一头带有螺纹的螺丝拧到电磁铁的螺纹孔中，另一端钢珠自由下垂。调节一个光电门在 20-30cm 处，另一个光电门在 100cm 左右位置。调节底板的三个旋钮，使光电门发出的红光均能切割到棉线（棉线的阴影位置接收光电管的圆孔中心位置）。由于钢珠具有一定的直径，所以这能确保钢珠下落时切割刀光电门的光路，从而触发计时器进行计时。

2. 固定上方光电门 1，其位置在 10cm-30cm 之间，典型值为 20cm。依次将光电门 2 向下移动，例如从 40cm-80cm。读出两光电门的位置读数从而算出一系列 s 值，如 6 个 s 值位置，在每个 s 值位置重复测量 6 次时间，取平均值为读数 t （共 36 个数据）。填入表 1。

3. 改变不同直径的小球，重复实验过程 2。对所得的实验数据进行处理，看看质量对重力加速度是否有影响。

三、数据记录

表（1） 小球直径= _____ ,质量 $m =$ _____ g

光电门 1 位置(cm)	光电门 2 位置(cm)	t_1 /ms	t_2 /ms	t_3 /ms	t_4 /ms	t_5 /ms	t_6 /ms	$\bar{t}$ /ms
20	40							
20	50							
20	60							
20	70							
20	80							

表（2） 小球直径= _____ ,质量 $m =$ _____ g

光电门 1 位置(cm)	光电门 2 位置(cm)	t_1 /ms	t_2 /ms	t_3 /ms	t_4 /ms	t_5 /ms	t_6 /ms	$\bar{t}$ /ms
20	40							
20	50							
20	60							
20	70							
20	80							

四、数据处理

1、对于表一的测量数据，可整理得到如下表格

表（3） 距离与时间数据 小球直径= _____

次序 i	1	2	3	4	5
s (m)					
$x=t$ (s)					

$y = \frac{s}{t} \text{ (m/s)}$					
---------------------------------	--	--	--	--	--

实验者可根据最小二乘法用手动计算，或者借用有最小二乘法功能的计算机计算，拟合直线，得到 b ，再用公式 $g = 2b$ 计算 $g =$ _____。

也可用 Excel 软件，用插入 x 、 y 散点图的方法直接获得数据曲线，再鼠标右键点击曲线添加趋势线，趋势线选项选择直线——显示公式、 R^2 等。其中公式的 x 项前面的数据即为 b 值，由此计算得到 b 值。

2、对于表二的测量数据，可整理得到如下表格

表（4） 距离与时间数据

小球直径= _____

次序 i	1	2	3	4	5
$s \text{ (m)}$					
$x=t \text{ (s)}$					
$y = \frac{s}{t} \text{ (m/s)}$					

综上所述数据，判断小球直径或质量不同，对重力加速度值的测量结果进行比较。

五、注意事项

- 1、当小球下落后，若计时器计时不停或没有开始计时，则需重调支架竖直，直到铅垂线通过两光电门，即铅垂线的阴影投射在光电管上。使小球的挡光效果达到最佳，尽量减小误差。
- 2、测量时一定要保证支架稳定不晃动。
- 3、一定要仔细校对垂直度，不然钢球可能会掉落至接收塑料框之外，钢珠可能会损坏或者丢失。

实验二 研究单摆的运动特性

单摆实验有着悠久历史，当年伽利略在观察比萨教堂中的吊灯摆动时发现，摆长一定的摆，其摆动周期不因摆角而变化，因此可用它来计时，后来惠更斯利用了伽利略的这个观察结果，发明了摆钟。

本实验是用经典的单摆公式测量重力加速度 g ，对影响测量精度的因素进行分析，学习如何改进测量方法，以进一步提高测量精度。

一、实验目的

- 1、用单摆测定重力加速度；
- 2、学习使用计时仪器；
- 3、学习在直角坐标纸上正确作图及处理数据；
- 4、学习用最小二乘法作直线拟合。

二、仪器用具

单摆装置，带卡口的米尺（卷尺），游标卡尺，光电计时器（未购时用计时秒表）。

单摆的主要技术参数：

- 1、摆线有效长度：0~1000mm 可调。
- 2、摆球： $\phi 19$ 或 20mm 钢球。

3、摆幅：最大摆幅约 $\pm 15^\circ$ 。带抛球定位杆，抛球稳定性好，并可确定初始角度。

4、含光电门及支架 1 个。光电门使用缩进式设计，减小环境光和杂散光的影响。使用光电门计时的优点是，因其对摆球无磁场或磁阻尼的影响，故不会对摆球运动造成扰动或阻尼，从而具有更高的精度额度。并且光电门可方便地整体取下，方便手动计时。

5、计时器：多功能液晶触摸屏计时器，计时范围 0~999999999us。使用方法详见附件。

三、实验原理

把一个金属小球拴在一根细长的线上，如图 1 所示。如果细线的质量比小球的质量小很多，而球的直径又比细线的长度小很多，则此装置可看作是一根不计质量的细线系住一个质点，这就是单摆。略去空气的阻力和浮力以及线的伸长不计，在摆角很小时，可以认为单摆作简谐振动，其振动周期 T 为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \quad g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (1)$$

式中 l 是单摆的摆长，就是从悬点 O 到小球球心的距离， g 是重力加速度。因而，单摆周期 T 只与摆长 l 和重力加速度 g 有关。如果我们测量出单摆的 l 和 T ，就可以计算出重力加速度 g 。

四、实验内容

1、固定摆长，测定 g 。

(1) 测定摆长（摆长 l 取 100cm 左右）。

①先用带刀口的米尺测量悬点 O 到小球最低点 A 的距离 l_1 （见图 1），如下所列：

悬点 O 的位置 x_1 /cm	小球最低点 A 的位置 x_2 /cm	$l_1 = x_1 - x_2 $ /cm

再估计 l_1 的极限不确定 e_{l_1} ，计算出标准不确定度 $\sigma_{l_1} = e_{l_1} / \sqrt{3}$ 。

②先用游标卡尺多次测量小球沿摆长方向的直径 d （见图 1），如下所列：

次数	1	2	3	平均	卡尺零点	修正零点后的平均值
d /cm						

再求出 $\bar{d}$ 和 $\sigma_{\bar{d}}$

③ 摆长为 $l = l_1 - \frac{\bar{d}}{2}$ ，求出 $\sigma_l = \sqrt{\sigma_{l_1}^2 + \left(\frac{\sigma_{\bar{d}}}{2}\right)^2}$

则摆长 l 为： $l = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$

(2) 测量单摆周期。

使用前，先调节好单摆的垂直位置，具体是以摆球在光电门的中心位置为最佳的垂直度，这比用水准泡测量水平度要准确很多。另外，先将光电计时器开机通电，连接好光电门与计时器的插线，这时光电门应点亮。调节好摆线长度，并将摆线锁定即可准备测量。

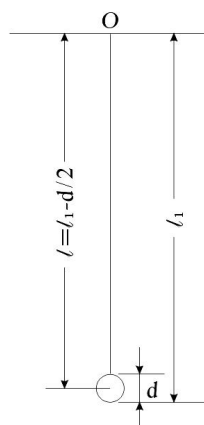


图 1

本实验要使单摆作小角度摆动。通过计算可知，当小球的振幅小于摆长的 $1/12$ 时，摆角 $\theta < 5^\circ$ 。小球的振幅通过档杆在水平方向的位置而确定。释放摆球时，先将摆球靠在档杆的圆弧槽内固定，并拉直摆线，再平稳放开小球，开始自由摆动，待摆动稳定后，用光电计时器测量。按“置数”键，再按“上调”、“下调”键，可设置计时的次数。按“执行”键即准备计时，等小球经过光电门挡光时，即开始计时，按设置的次数开始计数，到设定的次数时停止计时。由于一个周期内摆球两次挡光，所以两次计数为一个单摆周期。

测量摆动 60 次所需的时间为 $30T$ （积累法），并重复测量多次，求平均值，如下所列：

次数	1	2	3	4	5	平均
$30T/s$						

求出 $\overline{30T}$ 和 σ_{30T} ，则 $30T = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} s$

$$(3) \text{ 由 } g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l}{(30T/30)^2} = \frac{\pi^2 l \times 3600}{(30T)^2} \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_g}{g} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{2\sigma_{30T}}{30T}\right)^2}$$

计算 g 的标准不确定度 σ_g （计算时可把 $30T$ 作为一个数，而不必求出 T ）。

$$g = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} [\quad] \text{（写出单位符号）。}$$

2、改变摆长，测定重力加速度 g

使 l 分别为 50, 60, 70, 80 cm 左右，测出不同摆长下的 $30T$ 。

(1) 用直角坐标纸作 $l - (30T)^2$ 图，如果是直线说明什么？由直线得斜率求 g

(2) 以 l 及相应的 $(30T)^2$ 数据，用最小二乘法作直线拟合，求其斜率，并由此求出 g 。

3、注意事项

(1) 光电门的位置在使用前用调节好，避免碰撞到摆球。

(2) 要注意小摆角的实验条件，例如控制摆角 $\theta < 5^\circ$ 。

(3) 要注意使小球始终在同一个竖立平面内摆动，防止形成“锥摆”。

(4) 本仪器提供铁质小球的直径：20mm（参考值）。

(5) 挡光针实验时将其插在小球的底部孔中。

(6) 仪器不应放置于阳光直射或光线过强的场合使用，避免干扰光电门的正常工作。

【思考题】

1、请想出一种用摆锤为不规则形状的重物（如一把挂锁）制成“单摆”，并测定重力加速度 g 的方法。

2、假设单摆的摆动不在竖立平面内，而是作圆锥形运动（即“锥摆”）。若不加修正，在同样的摆角条件下，所测的 g 值将会偏大还是偏小？为什么？