# 第二章 5 实验：用单摆测量重力加速度

了解地球表面重力加速度的分布，对地球物理学、航空航天技术及大地测量等领域有十分重要的意义。为此，就需要了解测量重力加速度的方法。

理论上，与重力相关的物理现象都可以用来测量 *g*。例如，利用自由落体运动就可以测量 *g*。

## 实验思路

惠更斯在推导出单摆的周期公式后，用一个单摆测出了巴黎的重力加速度。我们也可以采用同样的办法，测量所在地区的重力加速度数值。

当摆角较小时，单摆做简谐运动，根据其周期公式可得

*g* ＝

想一想，要根据上式测量重力加速度，需要测量哪些物理量？应该如何设计实验装置、选择实验器材？怎样才能减小实验误差？

## 实验装置

如图2.5–1，在细线的一端打一个比小球上的孔径稍大些的结，将细线穿过球上的小孔，并把细线上端固定在铁架台上，就制成一个单摆。将铁夹固定在铁架台的上端，铁架台放在实验桌边，使铁夹伸到桌面以外，方便使用不同长度的摆线。



图 2.5–1 实验装置

### 思考与讨论

1．线有粗细、长短的不同，伸缩性也有区别。不同的小球，质量和体积有差异。想一想，应如何选择摆线和摆球？为什么？

2．图 2.5–2 画出了细线上端的两种不同的悬挂方式。应该选用哪种方式？为什么？你还有更好的设计吗？



图 2.5–2 细线上端的两种悬挂方式

甲

乙

## 物理量的测量

摆长的测量

摆长是摆线长度和小球半径之和。怎样测量才能减小误差？可以用刻度尺直接测量小球球心与悬挂点之间的距离作为摆长的测量值，用图 2.5–3 所示的方法减小误差；也可用游标卡尺测量小球的直径，算出它的半径，再测量悬挂点与小球上端之间的距离，以两者之和作为摆长的测量值。



图 2.5–3 测摆线长度

周期的测量

我们一般用停表测量单摆的周期。实验时，可以测量单摆做一次全振动的时间作为它的周期的测量值；也可以测量单摆做多次全振动（例如几十次）的时间，然后通过计算求出它的周期的测量值。哪种方法比较好？为什么？

## 数据分析

从测量的数据中选择几组，根据前面推导的公式，分别计算重力加速度，然后取平均值作为测量结果。

除了这种方法，你还能想出别的方法来处理实验数据，得到重力加速度吗？

查询所在地区的重力加速度值，并与测得的结果进行比较。如果有差异，想想可能是什么原因造成的。

## 练习与应用

1．在用单摆测量重力加速度的实验中，下面的叙述哪些是正确的，哪些是错误的？

A．摆线要选择细些的、伸缩性小些的，并且尽可能长一些

B．摆球尽量选择质量大些、体积小些的

C．为了使摆的周期大一些，以方便测量，开始时拉开摆球，使摆角较大

D．用刻度尺测量摆线的长度 *l*，这就是单摆的摆长

E．释放摆球，从摆球经过平衡位置开始计时，记下摆球做 50 次全振动所用的时间 *t*，则单摆周期 *T* ＝

**参考解答**：ABE正确，CD错误。

2．某同学在实验探究 a、b 两个物理量之间的定量关系时，测得了 6 组实验数据如下表所示，它们的单位为 P、Q。请用图像（图 2.5–4）处理实验数据，寻找它们之间的定量关系，根据图像推出 a、b 之间关系的表达式，如果有常数，写出常数的数值和单位。

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *a*/P | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.5 |
| *b*/Q | 1.42 | 1.79 | 1.90 | 2.00 | 2.20 | 2.45 |

图 2.5–4

**参考解答**：略

# 第 5 节 实验：用单摆测量重力加速度 教学建议

## 1．教学目标

（1）会依据单摆周期公式确定实验思路。

（2）能设计实验方案，会正确安装实验装置并进行实验操作。

（3）能正确使用刻度尺测量单摆的摆长，能正确使用停表测量单摆的振动周期。

（4）能正确处理数据，测出当地的重力加速度。

（5）能从多个角度进行实验误差分析。

## 2．教材分析和教学建议

用单摆测量重力加速度是高中阶段精度比较高的实验。教材按照实验设计及操作的一般步骤，先介绍实验思路，依据周期公式让学生“想一想，要根据上式测量重力加速度，需要测量哪些物理量？应该如何设计实验装置、选择实验器材？怎样才能减小实验误差？”在学生思考和讨论的基础上，进而描述实验装置和物理量的测量方法，提出常用的数据分析方法。为了保证实验的精度，本节教材对减小实验误差非常重视，在实验装置设计上引导学生思考如何减小实验误差；在“思考与讨论”中要求学生讨论如何选择摆线、摆球，以及摆线的悬挂方式；在摆长、周期的测量环节，分别提供两种测量方式进行对比，引导学生讨论后根据测量需要进行选择；在数据分析时引导学生采用图像法减小实验误差。

本节教学的重点是单摆摆长和周期的测量及实验误差分析。单摆摆长和周期的测量是完成本实验的基础，也是实验误差的主要来源。实验数据处理和误差分析是本节的教学难点。学生虽已经具备利用单摆周期公式求重力加速度的能力，但在通过测量和数据处理来提高实验精度方面存在不足。学生知道“平均值法”能减小偶然误差，但对用图像法处理实验数据还不够熟练。

### （1）实验思路

用单摆测量重力加速度的实验原理就是单摆做简谐运动时的周期公式，应强调该公式只有在单摆摆动的摆角足够小的条件下才成立。对周期公式先进行等式变换，推导过程要求学生独立完成，得到 *g* = 的结论后，然后引导学生分析：想要根据 *g* = 求得重力加速度，需要通过实验测量哪些物理量？又该如何选择实验器材、设计实验装置？让学生独立设计实验方案，包括明确要测量的物理量，画出装置图，清楚实验操作步骤和数据处理方法。在学生独立设计的基础上，可以组织讨论，完善实验方案，包括测量器材、测量方法和数据处理方法。

### （2）实验装置

实验方案与真实的实验操作并不是完全相同的，在实际操作时还会碰到需要解决的问题。这部分内容建议结合教材中的“思考与讨论”作好以下两个问题的梳理。第一，把实际的摆看成理想化的单摆模型的条件是什么？让学生清楚选择摆线、摆球的基本原则。思考选择什么样的器材才能达到细线长度不可改变，细线的质量远远小于摆球的质量，摆球的直径远远小于摆线的长度的条件。第二，在实验操作时，如何确保单摆在摆动过程中，摆长不发生变化？让学生理解要保证悬挂点在摆的摆动避程中位置不变，从而使摆长不发生变化。

### （3）物理量的测量

在测量物理量之前，建议安排学生进行停表的读数练习，从机械停表的工作原理出发理解读数时不需要估读的道理，确保每位学生能使用停表获得数据，指导学生自主设计实验记录表格，努力让学生经历完整的测量过程。

测量摆长时，可让学生先讨论如何用刻度尺测量悬挂点至球心位置之间的距离，最后形成可行性测量方案。

周期测量要引导学生思考如何减小测量误差。单摆摆动的摆角越小，其运动越接近简谐运动。严格地讲，单摆做简谐运动的条件要求摆角小于 5°，而在实际实验中，摆角小于 5° 的单摆运动很难观察，需要考虑摆角太小引起的测量误差。当最大摆角在 15° 以内时，由于角度而引起的相对误差在 0.5% 以内，这在中学物理中是可以接受的。释放摆球时要保证摆球由静止开始释放，保证摆球在竖直平而内运动。周期测量应等单摆振动稳定后，从摆球经过平衡位置时开始计时，采取多次测量取平均值的方法减小测量误差。

**教学片段**

**测量摆长**

摆长是摆线长度和小球半径之和。引导学生思考怎样测量才能减小误差。鼓励学生发表自己的观点、评价他人观点，经过充分讨论，最终选择适合实际情况的一种测量方案。

方案一：直接用刻度尺测量小球球心与悬挂点之间的距离，将它作为摆长的测量值，用三角尺的直角边辅助刻度尺读数。

方案二：先用游标卡尺测量小球直径，计算出小球半径 *r*，再用刻度尺测量悬挂点到小球上端之间的距离 *l*1，则可得摆长 *l* = *r* + *l*1。

方案三：用刻度尺先测量悬挂点与小球上端之间的距离 *l*1，再测量悬挂点与小球下端之间的距离 *l*2，则可得摆长 *l* = （*l*1 + *l*2）。

### （4）数据分析

实验数据的处理对减小实验误差也有重要意义。要引导学生利用表格中的多组数据求得重力加速度。一是用列表计算法，求出重力加速度的平均值。二是用图像法求重力加速度。通过公式变形，分析周期与摆长的关系，让学生经历图像由“曲”到“直”的过程，再通过对斜率所代表的物理意义的分析，引导学生选用合适的坐标，由斜率求出重力加速度的值。要求学生在坐标纸上用描点法作图，在利用直线拟合的过程中，分析有些点不在直线附近的原因，以帮助学生理解图像法能够减小实验误差的原理。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

本节共 2 道习题，都强调解决实际问题的能力。第 1 题是对实际操作的考查，第 2 题培养学生用图像法分析实验数据的能力。

1．A、B、E 正确，C、D 错误。

2．略。