

## 一、实验简介

1818年Kater设计出一种物理摆，他巧妙地利用物理摆的共轭点避免和减少了某些不易测准的物理量对实验结果的影响，提高了测量重力加速度的精度。19世纪60年代雷普索里德对此作了改进，成为当时测重力加速度的最精确方法。波斯坦大地测量所曾同时以五个Kater摆花了八年时间（1896-1904）测得当地重力加速度的值  $G = (981.274 \pm 0.003) \text{ cm} / \text{s}^2$ 。凯特摆测量重力加速度的方法不仅在科学史上有重要价值，而且在实验设计思想上亦有值得学习的地方。

本实验的目的是学习凯特摆的设计思想和技巧，掌握一种比较精确的测量重力加速度的方法。

## 二、实验原理

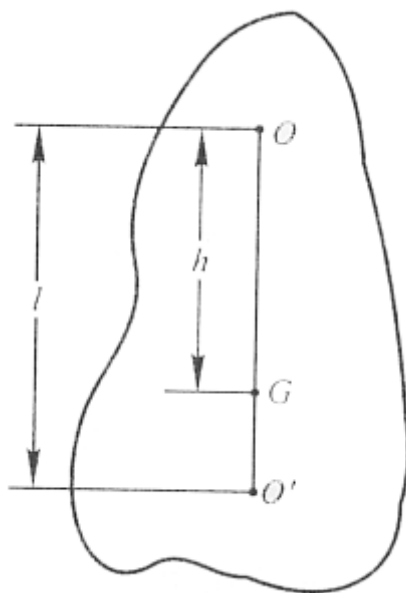


图1 复摆示意图

图1是复摆示意图，设一个质量为 $m$ 的刚体，其重心 $G$ 到转轴 $O$ 的距离为 $h$ ，绕 $O$ 轴的转动惯量为 $I$ ，当摆幅很小时，刚体绕 $O$ 轴摆动的周期 $T$ 为：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgh}} \quad (1)$$

式中 $g$ 为当地的重力加速度。

设复摆绕通过重心 $G$ 的轴的转动惯量为 $I_G$ ，当 $G$ 轴与 $O$ 轴平行时，有

$$I = I_G + mh^2 \quad (2)$$

代入式（1）得：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_G + mh^2}{mgh}} \quad (3)$$

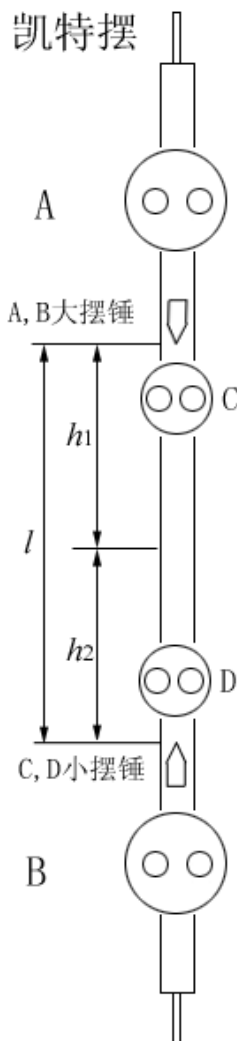
对比单摆周期的公式

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

可得：

$$l = \frac{I_G + mh^2}{mh} \quad (4)$$

$l$ 称为复摆的等效摆长。因此只要测出周期和等效摆长便可求得重力加速度。



上图是凯特摆摆杆的示意图。对凯特摆而言，两刀口间的距离就是该摆的等效摆长 $l$ 。在实验中当两刀口位置确定后，通过调节A、B、C、D四摆锤的位置可使正、倒悬挂时的摆动周期 $T_1$ 和 $T_2$ 基本相等。由公式（3）可得

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I_G + mh_1^2}{mgh_1}} \quad (5)$$

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I_G + mh_2^2}{mgh_2}} \quad (6)$$

其中 $T_1$ 和 $h_1$ 为摆绕0轴的摆动周期和0轴到重心G的距离。当 $T_1 \approx T_2$ 时， $h_1 + h_2 = l$ 即为等效摆长。由式(5)和(6)消去 $I_G$ ，可得：

$$\frac{4\pi^2}{g} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{2l} + \frac{T_1^2 - T_2^2}{2(2h_1 - l)} = a + b \quad (7)$$

此式中， $l$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 都是可以精确测定的量，而 $h_1$ 则不易测准。由此可知， $a$ 项可以精确求得，而 $b$ 项则不易精确求得。但当 $T_1=T_2$ 以及  $|2h_1 - l|$  的值较大时， $b$ 项的值相对 $a$ 项是非常小的，这样 $b$ 项的不精确对测量结果产生的影响就微乎其微了。

### 三、实验内容

1. 正确调节仪器，测量凯特摆的等效摆长 $l$ ，并利用 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 粗略估算摆动周期 $T$ 值，以作为调节 $T_1$ 、 $T_2$ 的参考。
2. 调节四个摆锤的位置，使 $T_1$ 与 $T_2$ 逐渐靠近，当 $|T_1 - T_2| \leq 0.001 \text{ s}$ 时，测量 $T_1$ 和 $T_2$ 的值。
3. 测量 $l$ ， $h_1$ 的值。
4. 根据上述测量值计算重力加速度 $g$ 及不确定度 $U_g$ 。

### 四、实验仪器



## 凯特摆测量重力加速度实际实验仪器



程序中的实验场景和实验仪器

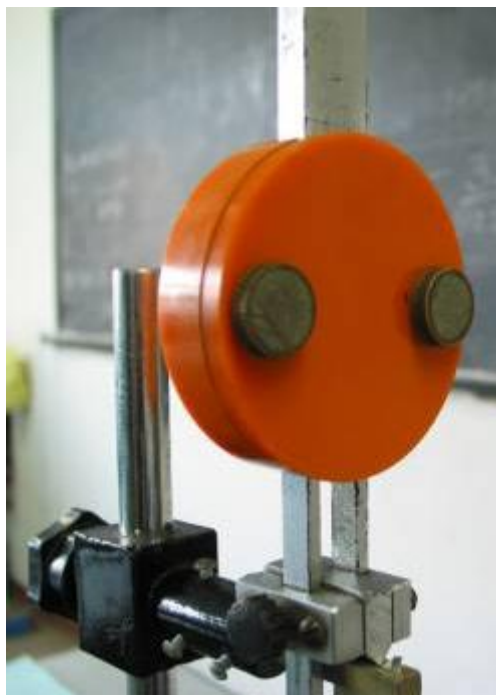
本实验所用到的仪器有凯特摆、光电探测器和多用数字测试仪。



特摆实际仪器      仿真仪器

凯特摆的两端共大小4个摆锤，调节摆锤的位置可以改变凯特摆的重心，两

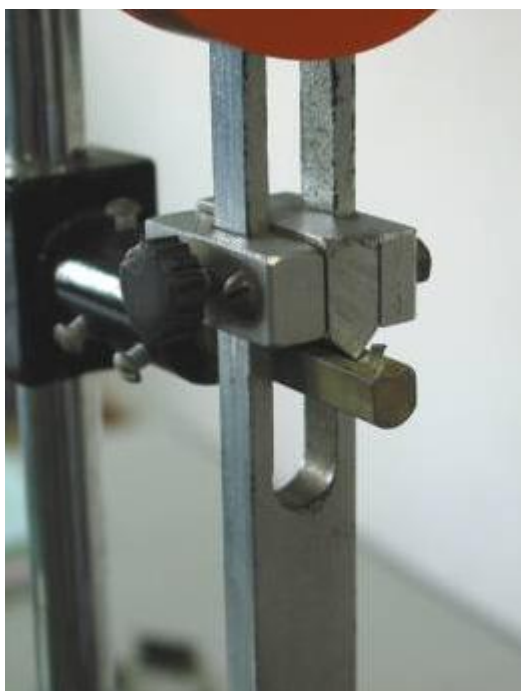
端相同的位置各有一个固定刀口。实验之前需要先调节凯特摆的重心位置，重心调节完成的标志是：使用任何一个刀口时，凯特摆的摆动周期相同。



实际实验凯特摆的大摆锤



实际实验凯特摆的小摆锤



实际实验固定刀口和V形刀承  
可将摆杆悬挂到支架上，使摆杆能在铅垂面内自由摆动。



实际实验光电探测器（光电门）



程序中光电探测器

摆杆摆动时，摆针须经过光电探测器方可记录摆动周期。光电探测器的另一端接到多用数字测试仪，两次同向经过光电门的时间为摆动周期。



多用数字测试仪实际仪器





仿真仪器

多用数字测试仪可测速度、加速度、频率等。本实验中主要用来测周期，可记录一个或多个周期的时间。

## 五、实验指导

### 实验重点、难点

- 1、学习一种比较精确的测量重力加速度的方法。
- 2、学习凯特摆的实验设计思想和技巧。
- 3、选定两刀口间的距离，通过调节A、B、C、D四摆锤的位置，使得该摆以两个刀口为悬点的摆动周期基本相等。

### 辅助功能介绍

界面的右上角的功能显示框:当在普通做实验状态线，显示实验实际用时、记录数据按钮、结束实验按钮、注意事项按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束考试按钮、显示试卷按钮（考试状态下显示）、注意事项按钮。

右上角工具箱:各种使用工具，如计算器等。

右上角help和关闭按钮: help可以打开帮助文件，关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏:存放实验所需的仪器，可以点击其中的仪器拖放至桌面，鼠标触及到仪器，实验仪器栏会显示仪器的相关信息；仪器使用完后，则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

提示信息栏:显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按F1键可以获得更多帮助信息。

实验状态辅助栏:显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出)，当前实验内容显示为红色，其他实验内容为蓝色；可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后，实验桌上的仪器会重新按照当前实



验内容进行初始化。

## 实验操作方法

### 1.主窗口

正确进入凯特摆测重力加速度实验场景窗体，如实验主场景图所示。在场景的左下方有一个浮动的仪器栏，可以点击和拖动仪器栏中的仪器，把你所需要的仪器拖动到实验主场景中。

在实验场景中，可以在一定范围内拖动指定仪器，把鼠标放在仪器上面，按下Delete键，可以删除指定仪器。双击场景中的仪器可以进入仪器的调节窗体。

注：

（首次进入实验时，一些仪器可能已经在场景中了，用户可根据实验需要往场景中添加仪器或删除仪器）



实验主场景

### 2.凯特摆调节

在场景中双击凯特摆，可以进入凯特摆的主窗体，如下图所示：



把鼠标放在凯特摆上托拖动凯特摆到一定角度（一般在 $5^{\circ}$  范围内），松开鼠标，凯特摆便开始摆动。摆动窗体如下图所示：



点击摆动窗体中的“停止摆动”按钮 停止摆动，凯特摆停止摆动，并返回到凯特摆主窗体。

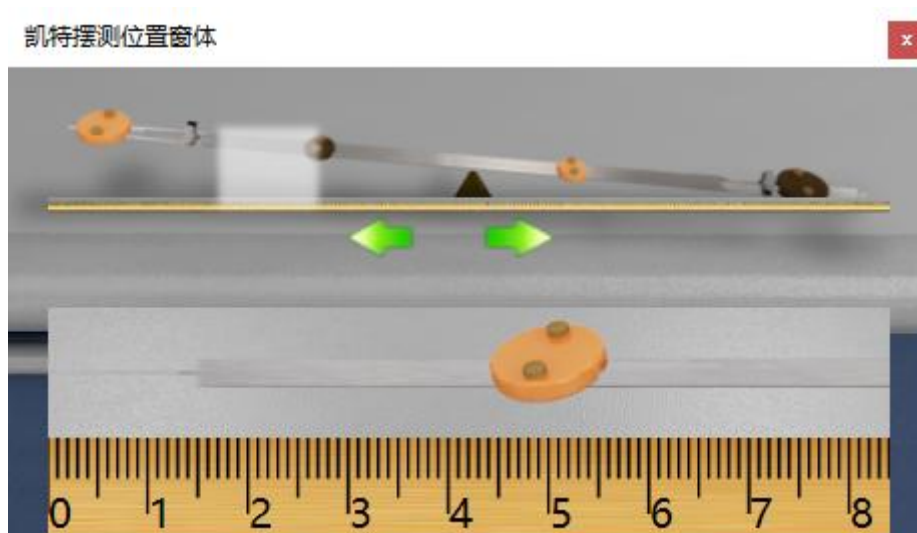
(1)“调整位置”，在凯特摆主窗体中点击菜单栏中的“调整位置”按钮 调整位置，跳转到调整凯特部件位置窗体，如下图所示：



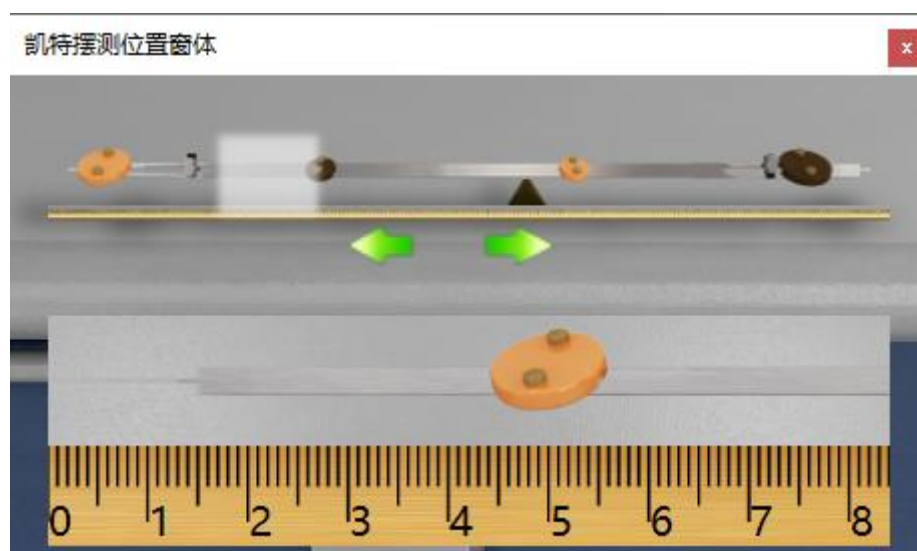
在此窗体中，可以在竖直方向拖动凯特摆的四个摆锤和两个刀口的位置，从而可以改变凯特摆重心位置和等效摆长的大小。点击或按下窗体中的向上按钮可以向上微微移动选中的部件，点击或按下窗体中的向下按钮可以向下微微移动选中的部件，窗体最左边的图片为当前选中的部件。

调整好部件位置后，点击右上角的“停止调整”按钮 **停止调整**，系统返回到凯特摆主窗体。

(2) “测量重心”，双击米尺进入凯特摆测位置窗体，如下图所示：



窗体主要由水平放置的凯特摆、测重心刀口和米尺组成，可以在水平方向上左右拖动测重心刀口，点击或按下窗体中的向左或向右按钮可以向左或向右微微移动测重心刀口，当刀口所在位置在凯特摆的重心上，凯特摆将与桌面平行，如下图所示：



此时通过移动图中白色方块可以读出凯特摆的当前重心位置。

（3）“倒置”，在凯特摆主窗体中，点击“倒置”按钮 ，可以使凯特摆的摆轴在上下两个刀口所在位置之间切换。

### 3.多用数字测试仪调节

在场景中双击多用数字测试仪，系统进入多用数字测试仪调节窗体，如图图 7 多用数字测试仪调节窗体，所示：



由上图可以看出，在多用数字测试仪上有很多按钮，与本实验相关的按钮有“电源开关按钮”、“复位按钮”、“B输入按钮”、“计数按钮”、“计数类型旋钮”和“计数单位旋钮”。

(1) “计数类型按钮”，实验开始时，打开电源，把计数类型按钮打到“计数档”，如下图所示：（注：本实验只用到计数档，其它档未作处理）



计数类型按钮

(2) “B开关”，系统默认脉冲信号从B端口输入，所以实验开始时要把B开关打到最左端，如下图所示开关档，所示：



B开关档

(3) “计数开关”，实验开始后，“计数开关”打到停止档，多用数字测试仪在记录一个周期时间后自动停止；打到计数档，多用数字测试仪会一直记录时间，直到把“计数开关”再次打到停止档为止。

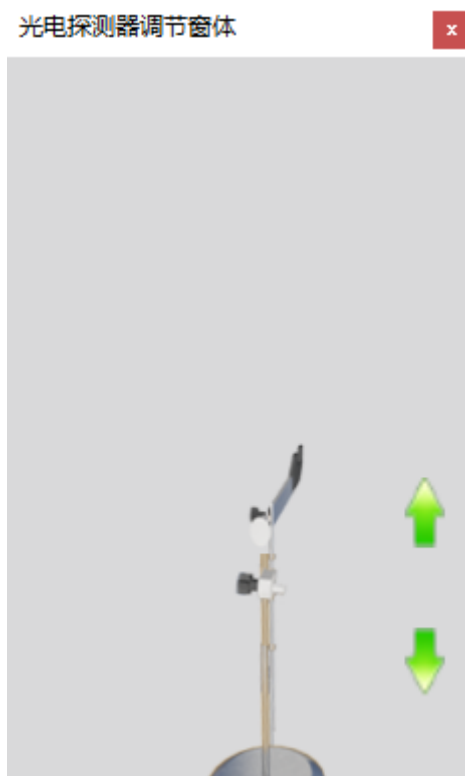
(4) “复位开关”，点击复位开关，多用数字测试仪会重新开始记录周期和时间。

(5) “计数单位旋钮”，左击此旋钮，旋钮按逆时针旋转，右击此按钮，旋钮按顺时针旋转。

#### 4.光电探测器调节

在实验室场景里将光电探测器位置放好(要正对凯特摆或复摆下缘的遮光板，为了方便调整，光电探测器水平位置可以偏离凯特摆或复摆正下方一定范围，竖

直方向不作太多要求)。打开数字测试仪电源开关,选择适当的时标,然后按“复位”键进行测量。计停开关打到“停止”档时,数字测试仪记录一个周期后自动停止计数。打到“计数”档时,数字测试仪将连续记录(A组数码管显示周期数,B组数码管显示总时间),直到切换到“停止”档(记录完当前周期后自动停止计数)。在场景中双击光电探测器,进入光电探测器调节窗体,如下图所示:



光电探测器调整窗体

点击向上按钮,可以向上微微移动光电门;点击向下按钮,可以向下微微移动光电门。

## 六、思考题

1. 凯特摆测重力加速度,在实验设计上有什么特点?避免了什么量的测量?降低了哪个量的测量精度?实验上如何来实现?
2. 结合误差计算,你认为影响凯特摆测重力加速度 $g$ 精度的主要因素是什么?将所得的实验结果与当地的重力加速度的公认值相比较,你能得出什么结论?若有偏差,试分析之。

## 七、参考资料

1. 《大学物理实验》第二册. 谢行恕 康士秀 霍剑青. 高等教育出版社. 2001年