

钢丝杨氏模量的测量

一、实验简介

材料受力后发生形变。在弹性限度内，材料的胁强于胁变(即相对形变)之比为一常数，叫弹性模量。条形物体(如钢丝)沿纵向的弹性模量叫杨氏模量。测量杨氏模量有拉伸法、梁德弯曲法、振动法、内耗法等等，本实验采用拉伸法测定杨氏模量。要求掌握利用光杠杆测定微小形变的方法，在数据处理中，采用逐差法和作图法得出测量结果，掌握这两种数据处理的方法。

二、实验原理

任何物体(或材料)在外力作用下都会发生形变。当形变不超过某一限度时，撤走外力则形变随之消失，为一可逆过程，这种形变称为弹性形变，这一极限称为弹性极限。超过弹性极限，就会产生永久形变(亦称塑性形变)，即撤去外力后形变仍然存在，为不可逆过程。当外力进一步增大到某一点时，会突然发生很大的形变，该点称为屈服点，在达到屈服点后不久，材料可能发生断裂，在断裂点被拉断。

人们在研究材料的弹性性质时，希望有这样一些物理量，它们与试样的尺寸、形状和外加的力无关。于是提出了应力 F/S (即力与力所作用的面积之比)和应变 $\Delta L/L$ (即长度或尺寸的变化与原来的长度或尺寸之比)之比的概念。在胡克定律成立的范围内，应力和应变之比是一个常数，即

$$E = (F/S)/(\Delta L/L) \quad (1)$$

E 被称为材料的杨氏模量，它是表征材料性质的一个物理量，仅与材料的结构、化学成分及其加工制造方法有关。某种材料发生一定应变所需要的力大，该材料的杨氏模量也就大。杨氏模量的大小标志了材料的刚性。

通过式(1)，在样品截面积 S 上的作用应力为 F ，测量引起的相对伸长量 $\Delta L/L$ ，即可计算出材料的杨氏模量 E 。因一般伸长量 ΔL 很小，故常采用光学放大法，将其放大，如用光杠杆测量 ΔL 。光杠杆是一个带有可旋转的平面镜的支架，平面镜的镜面与三个足尖决定的平面垂直，其后足即杠杆的支脚与被测物接触，见图1。当杠杆支脚随被测物上升或下降微小距离 ΔL 时，镜面法线转过一个 θ 角，而入射到望远镜的光线转过 2θ 角，如图2所示。当 θ 很小时，

$$\theta \approx \tan \theta = \Delta L/l \quad (2)$$

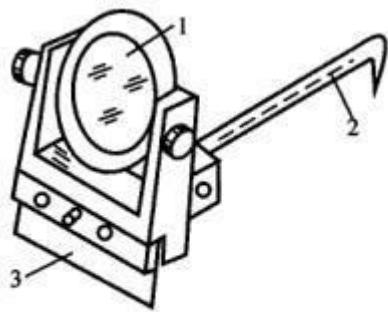


图 1 光杠杆结构图
1—平面镜;2—杠杆支脚;3—刀口

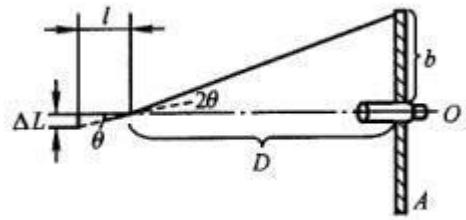


图 2 光杠杆原理图

式中 l 为支脚尖到刀口的垂直距离(也叫光杠杆的臂长)。根据光的反射定律，反射角和入射角相等，故当镜面转动 θ 角时，反射光线转动 2θ 角，由图可知

$$\tan 2\theta \approx 2\theta = \frac{b}{D} \quad (3)$$

式中 D 为镜面到标尺的距离， b 为从望远镜中观察到的标尺移动的距离。

从(2)和(3)两式得到

$$\frac{\Delta L}{l} = \frac{b}{(2D)} \quad (4)$$

由此得

$$\Delta L = \frac{bl}{(2D)} \quad (5)$$

合并(1)和(4)两式得

$$E = \frac{2DLF}{Slb} \quad (6)$$

式中 $2D/l$ 叫做光杠杆的放大倍数。只要测量出 l 、 D 、 l 和 d ($E = \pi d^2/4$)及一系列的 F 与 b 之后，就可以由式(5)确定金属丝的杨氏模量 E 。

三、实验内容

杨氏模量的测量仪包括光杠杆、砝码、望远镜和标尺。实验前，先要熟悉实验用的仪器，了解仪器的构造，仪器上各个部件的用途和调节方法，以及实验中要注意的问题，这样就能熟练地操作仪器，顺利地进行实验。杨氏模量测量仪实验装置如下图1所示，待测金属丝长约1m，上端夹紧悬挂于支架顶部，下端夹在一个金属圆。

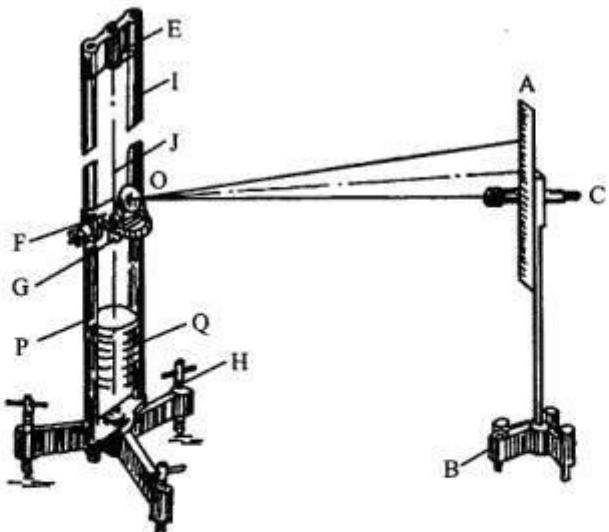


图 1 拉伸法测定杨氏模量的实验装置

A—直尺；B—望远镜直横尺底座；C—望远镜；E—支架上端夹具；F—平台；G—管制器；H—支架底座调节螺丝；I—支架；J—待测金属丝；O—反射镜面；P—砝码组；Q—砝码托

柱G(名叫管制器)的底部，支架中部有一平台F，平台中一圆孔，管制器能在孔中上下移动，砝码P加在管制器下的砝码托上，金属丝受到拉力而伸长。

1. 调节仪器

(1) 调节放置光杠杆的平台F与望远镜的相对位置，使光杠杆镜面法线与望远镜轴线大体重合。

(2) 调节支架底脚螺丝，确保平台水平，调平台的上下位置，使管制器顶部与平台的上表面共面。

(3) 光杠杆的调节，光杠杆和镜尺组是测量金属丝伸长量 ΔL 的关键部件。光杠杆的镜面(1)和刀口(3)应平行。使用时刀口放在平台的槽内，支脚放在管制器的槽内，刀口和支脚尖应共面。

(4) 镜尺组的调节，调节望远镜、直尺和光杠杆三者之间的相对位置，使望远镜和反射镜处于同等高度，调节望远镜目镜视度圈(4)，使目镜内分划板刻线(叉丝)清晰，用手轮(5)调焦，使标尺像清晰(图2)。

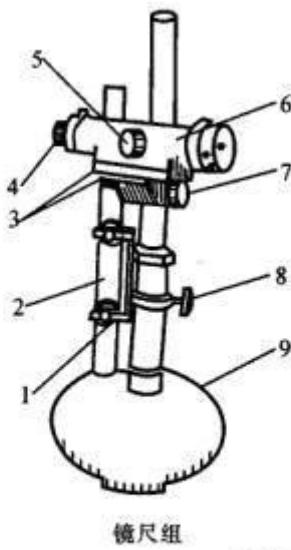


图 2 镜尺组结构图

1—毫米尺组；2—标尺；3—微调螺丝；4—视度圈；5—调焦手轮；6—调焦望远镜；7, 8—锁紧手轮；9—底座

2. 测量

(1) 砝码托的质量为 m_0 ，记录望远镜中标尺的读数 r_0 作为钢丝的起始长度。

(2) 在砝码托上逐次加500g砝码(可加到3500g)，观察每增加500g时望远镜中标尺上的读数 r_i ，然后再将砝码逐次减去，记下对应的读数 r'_i ，取两组对应数据的平均值 \bar{r}_i 。

(3) 用米尺测量金属丝的长度 L 和平面镜与标尺之间的距离 D ，以及光杠杆的臂长 l 。

3. 数据处理

(1) 逐差法

用螺旋测微计测金属丝直径 d ，上、中、下各测2次，共6次，然后取平均值。
将 \bar{r}_i 每隔四项相减，得到相当于每次加2000g的四次测量数据，如设 $b_0 = \bar{r}_4 - \bar{r}_0$ ，
 $b_1 = \bar{r}_5 - \bar{r}_1$ ， $b_2 = \bar{r}_6 - \bar{r}_2$ 和 $b_3 = \bar{r}_7 - \bar{r}_3$ 并求出平均值和误差。

将测得的各量代入式(5)计算 E ，并求出其误差($\Delta E/E$ 和 ΔE)，正确表述 E 的测量结果。

(2) 作图法

把式(6)改写为

$$r_i = \frac{2DLF_i}{SIE} = MF_i \quad (7)$$

其中 $M = 2DL/SIE$ ，在一定的实验条件下， M 是一个常量，若以 \bar{r}_i 为纵坐标， F_i 为横坐标作图应得一直线，其斜率为 M 。由图上得到 M 的数据后可由式(7)计算杨氏模量

$$E = 2DL/(SM) \quad (8)$$

4. 注意事项

(1) 调整好光杠杆和镜尺组之后，整个实验过程都要防止光杠杆的刀口和望远镜及竖尺的位置有任何变动，特别在加减砝码时要格外小心，轻放轻取；

(2) 按先粗调后细调的原则，通过望远镜筒上的准星看反射镜，应能看到标尺，然后再细调望远镜。调目镜可以看清叉丝，调聚焦旋钮可以看清标尺。

四、实验仪器

钢丝杨氏模量的测定的实验装置包括一下几个部分：

光杠杆(包括支架、金属钢丝、平面镜)

望远镜镜尺组

砝码

米尺

螺旋测微计

光杠杆

光杠杆整体图。



实际仪器

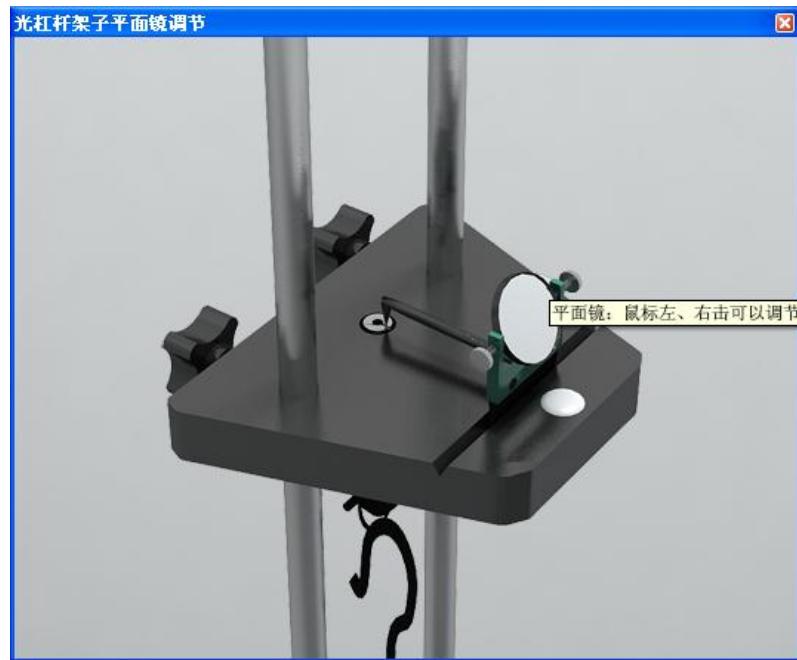


仿真仪器

双击实验桌上光杠杆小图标的中间平面镜部分可弹出平面镜的调节窗体。单击平面镜可以调节平面镜的角度。



光杠杆的实物照片



实验中的光杠杆

双击实验桌上光杠杆小图标底座部分可弹出底座的调节窗体。单击底座旋钮可以调节光杠杆的水平位置。



光杠杆的实物照片



实验中的光杠杆

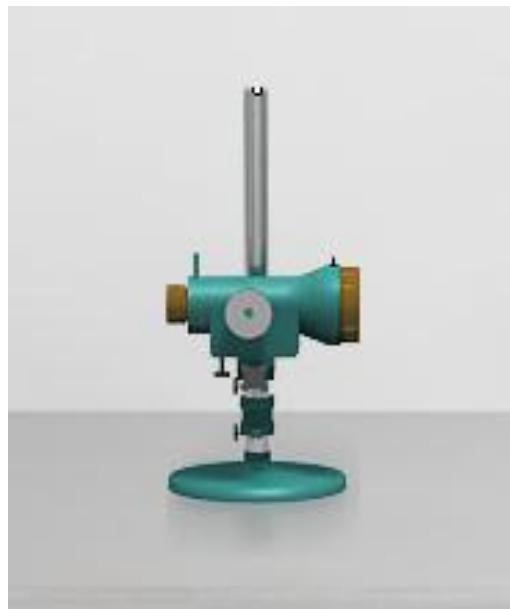
望远镜

双击桌面上望远镜小图标，弹出望远镜的调节窗体。望远镜镜初始化时，刻度尺、十字叉丝线都是否清晰是随机产生的；

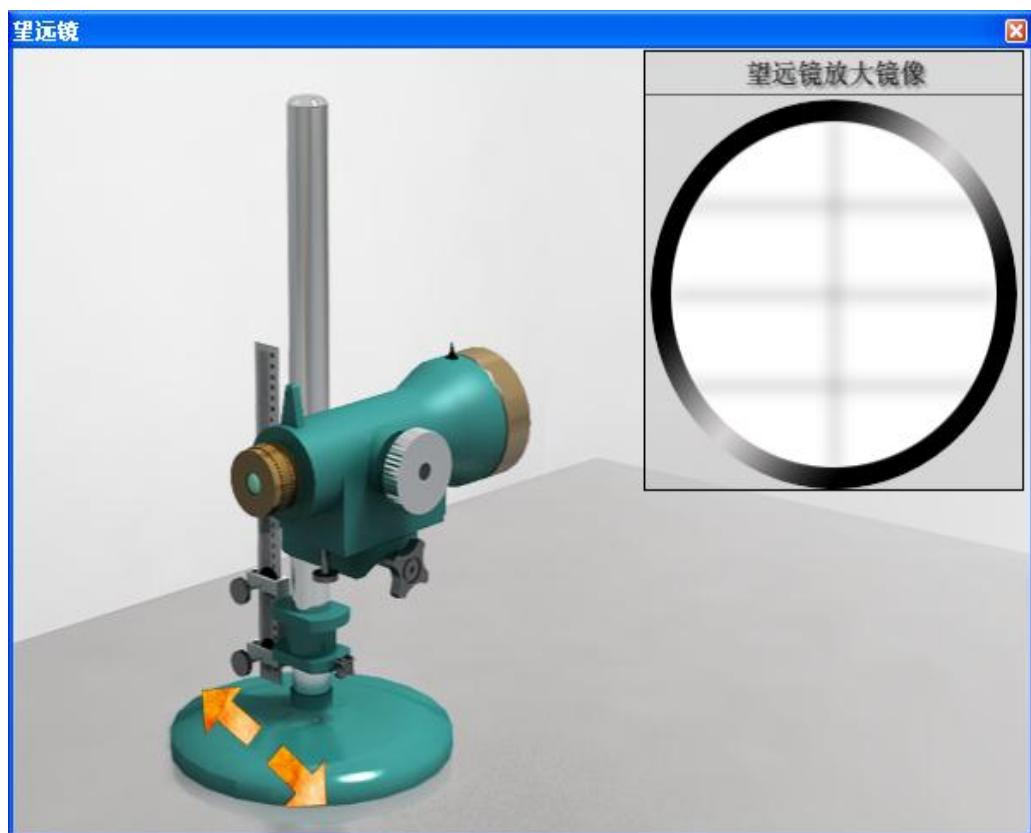
鼠标单击调节旋钮、目镜旋钮、望远镜锁紧旋钮进行相应的操作。



实际仪器



仿真仪器



望远镜大视图

砝码

实验中共用到7个砝码，砝码质量为500g。可拖动砝码至光杠杆砝码挂钩上。

米尺

双击实验桌上米尺小图标，可弹出米尺的调节窗体。米尺测量钢丝，可拖动白色区域至相应位置，即可从右边放大图中去读数；

米尺测量望远镜与光杠杆水平距离及光杠杆臂长，可拖动白色区域至相应的

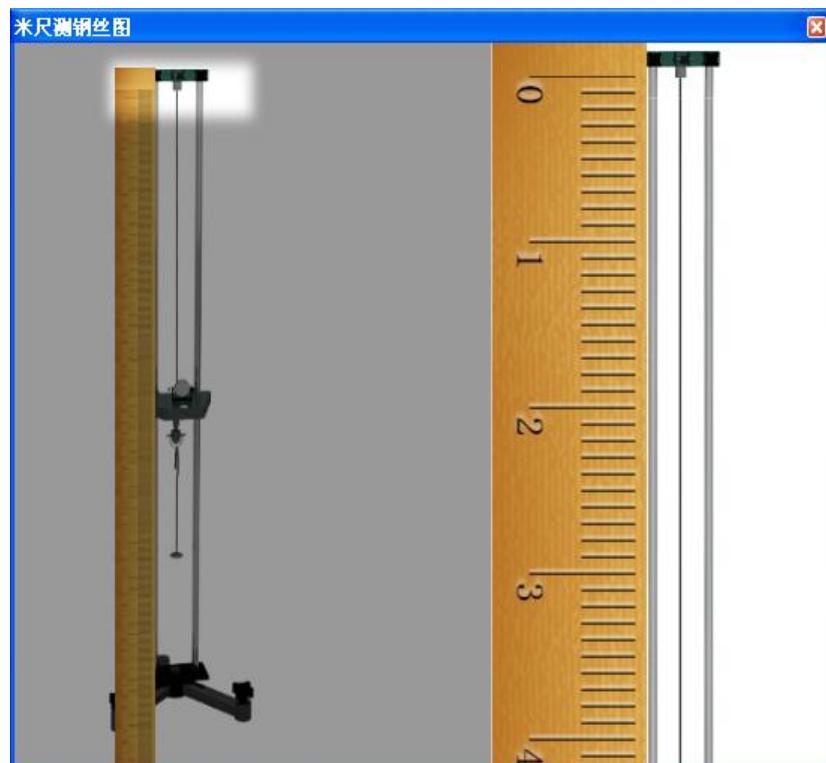
仪器可双击弹出放大的读数图。



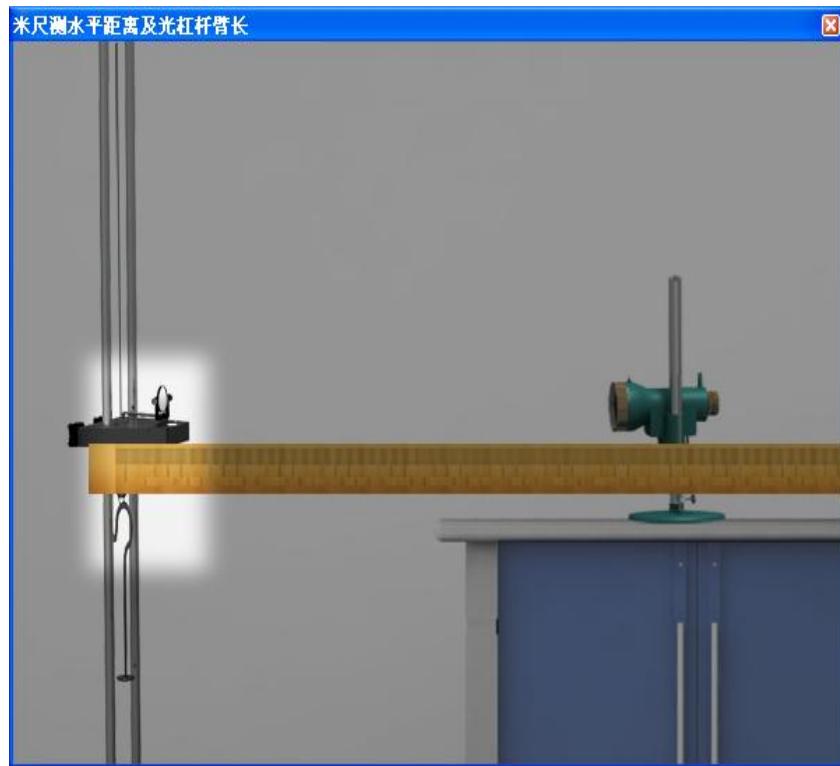
实际仪器



仿真仪器



米尺测量钢丝视图



米尺测量望远镜与光杠杆水平距离及光杠杆臂长视图

螺旋测微计

双击实验桌上螺旋测微计小图标，可弹出螺旋测微计的调节窗体。点击“开始测量按钮”，即可拖动左边待测物体到仪器中测量；

鼠标左键或者右键点击转轴可以向上或者向下旋转转轴；鼠标左键或者右键点击锁，可以锁定或者解锁。



实际仪器



仿真仪器



螺旋测微计大视图

五、实验指导

辅助功能介绍

界面的右上角的功能显示框，在实验状态下，显示记录数据按钮、结束操作按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束操作按钮、显示试卷按钮。

帮助按钮，单击可显示帮助文档。

工具箱，下拉点击计算器，可以使用计算器。

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。

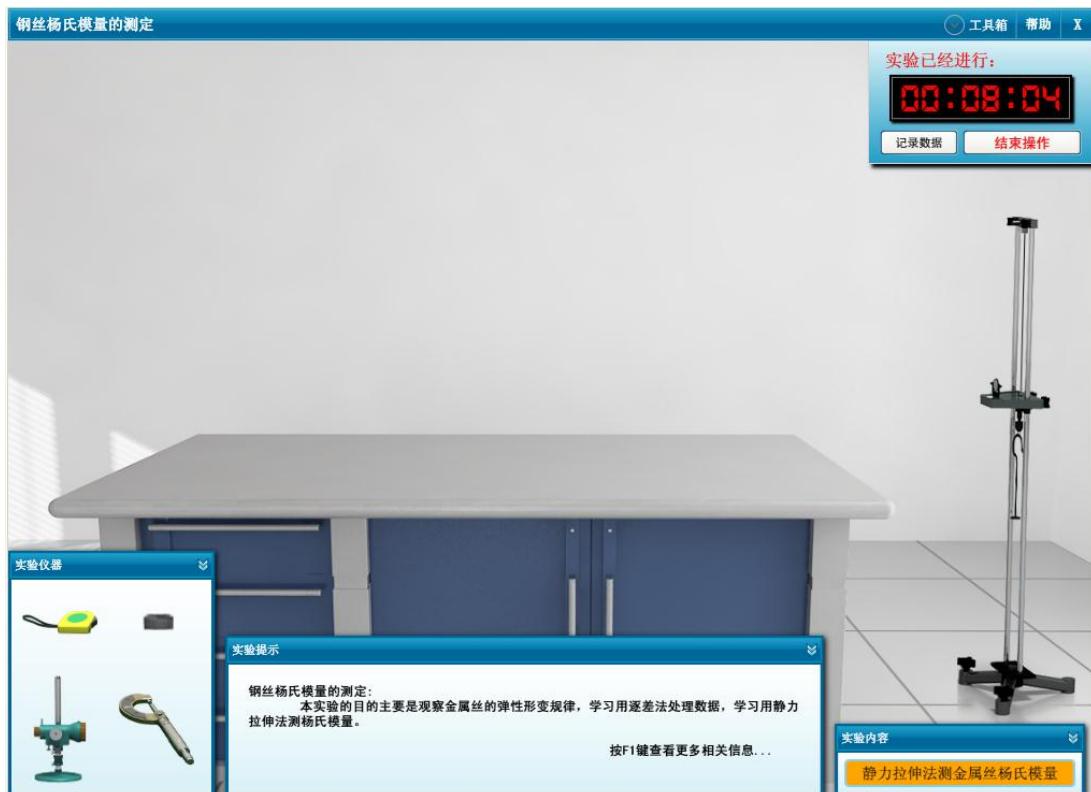
实验提示栏，显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按F1键可以获得更多帮助信息。

实验内容栏，显示实验内容信息(多个实验内容依次列出)，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。

实验操作指导

1、主窗口

打开钢丝杨氏模量的测定的仿真实验。



2、正式开始实验

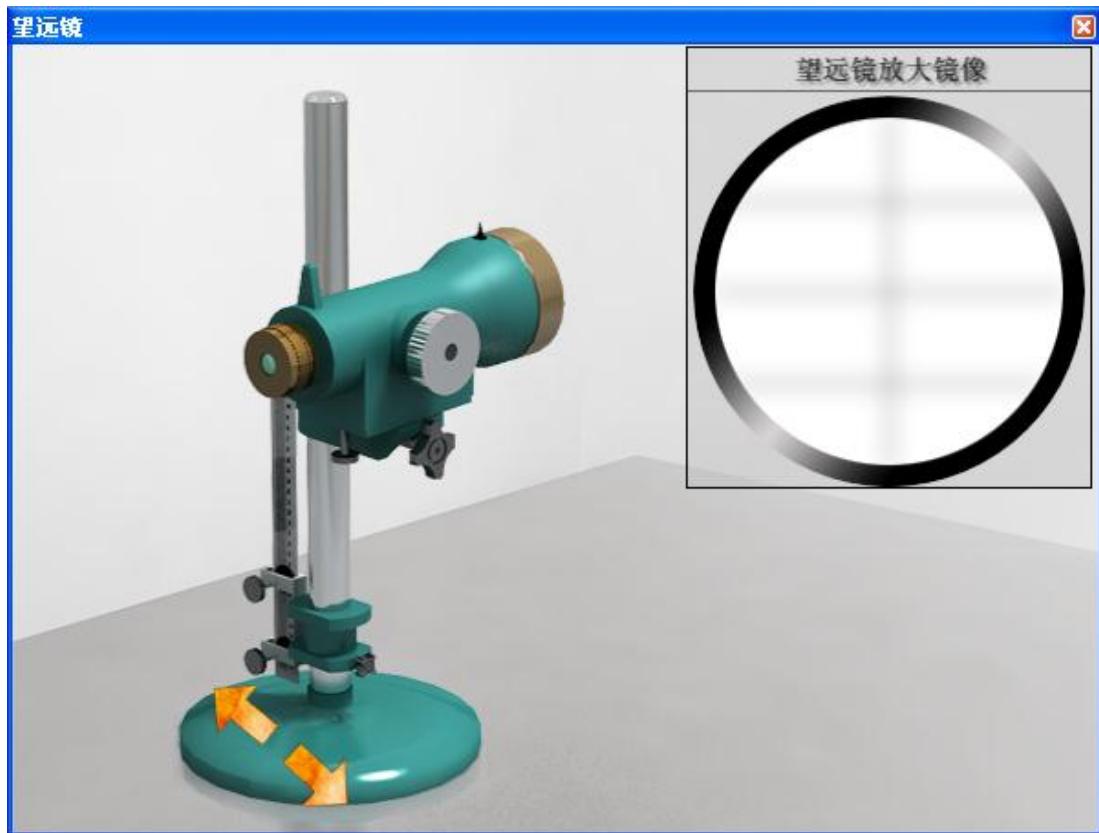
(1) 开始实验后，从实验仪器栏中点击拖拽仪器至实验台上。



(2) 望远镜调节

双击桌面上望远镜小图标，弹出望远镜的调节窗体，可以单击调焦旋钮来调节刻度尺的清晰度，单击目镜旋钮调节十字叉丝线的清晰度，

单击望远镜锁紧旋钮可调节镜筒的高低位置，单击底座上黄色方向键可以微调望远镜的水平位置。



(3) 螺旋测微计调节

双击桌面上螺旋测微计小图标，弹出螺旋测微计的调节窗体。左、右击解锁按钮，可调节锁定状态。

点击“开始测量”按钮可弹出待测物体图，拖动钢丝至螺旋测微计中，解锁后，旋动手把，可测量钢丝的直径。





(4) 光杠杆

双击桌面上光杠杆小图标的平面镜部分，可弹出光杠杆的平面镜调节窗体，点击平面镜可调节平面镜的角度。



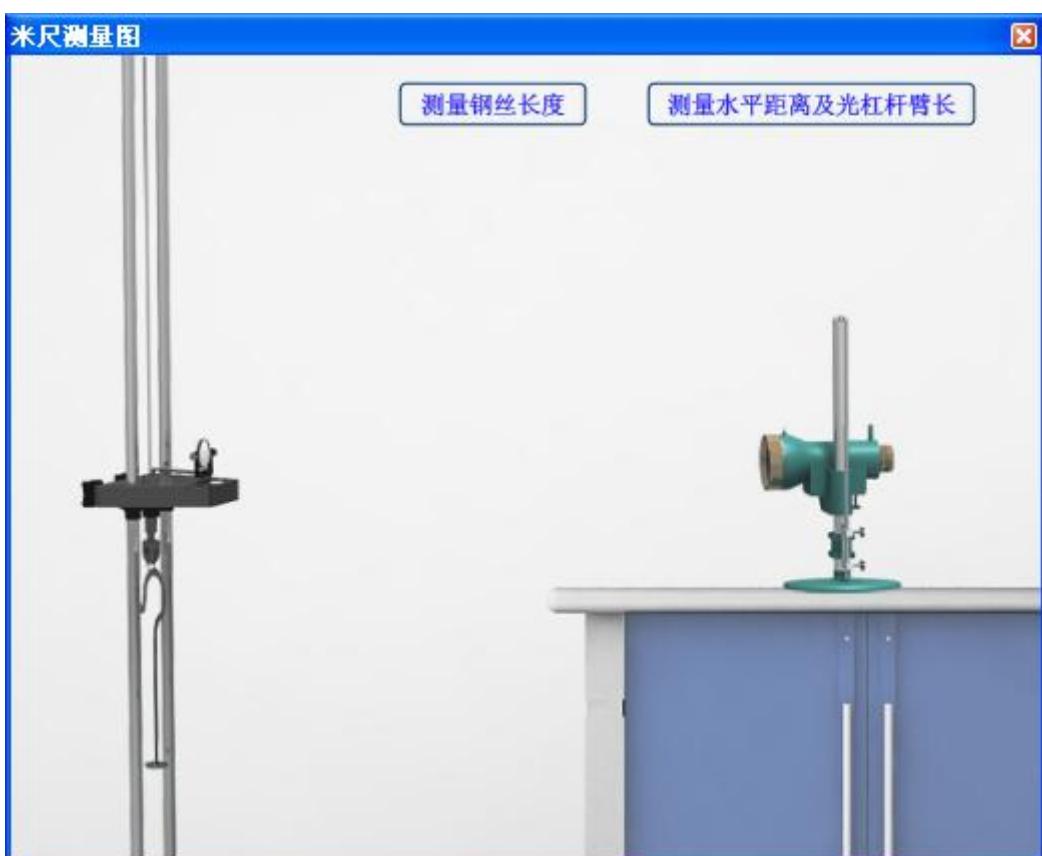
双击桌面上光杠杆小图标的底座部分，可弹出光杠杆的底座调节窗体，点击底座旋钮可调节底座水平状态，

观察水平气泡仪的小气泡居中，表明底座已经水平，否则需要继续调节。

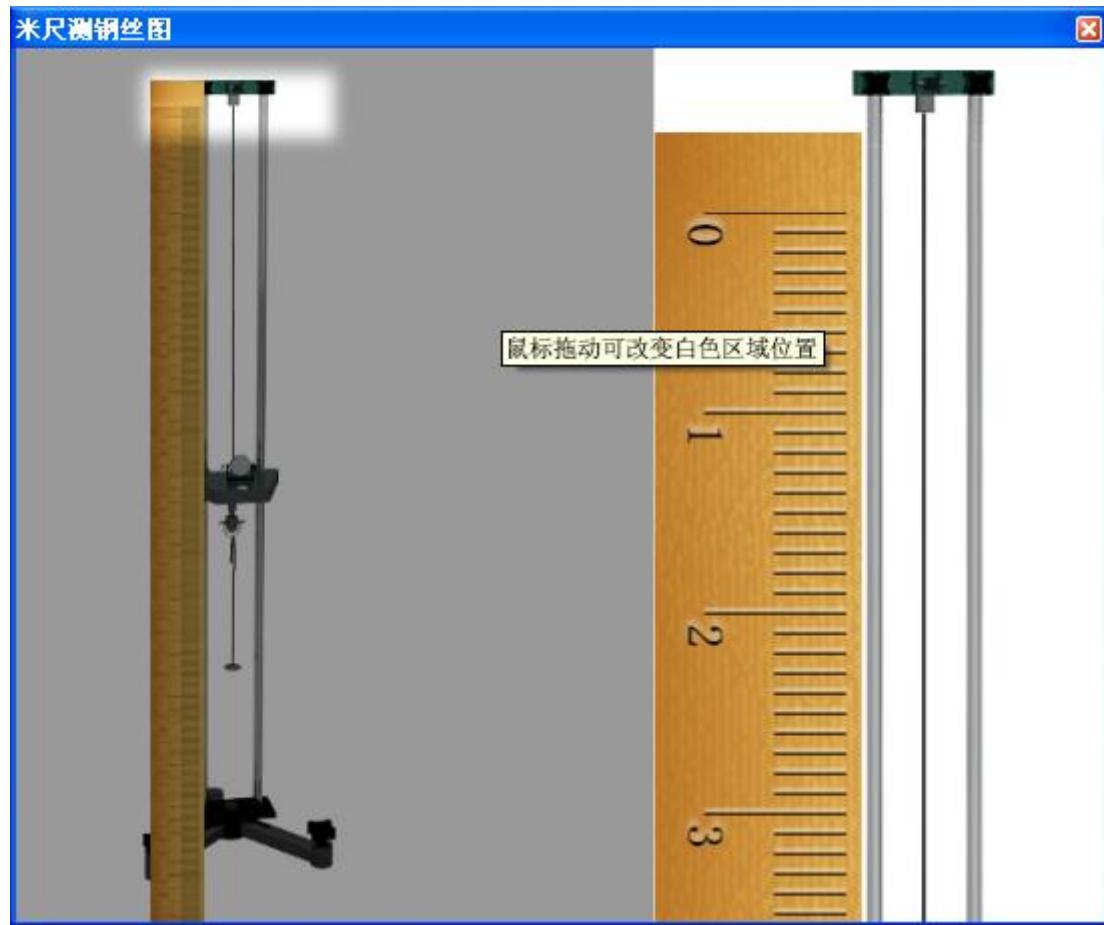


(5) 米尺调节

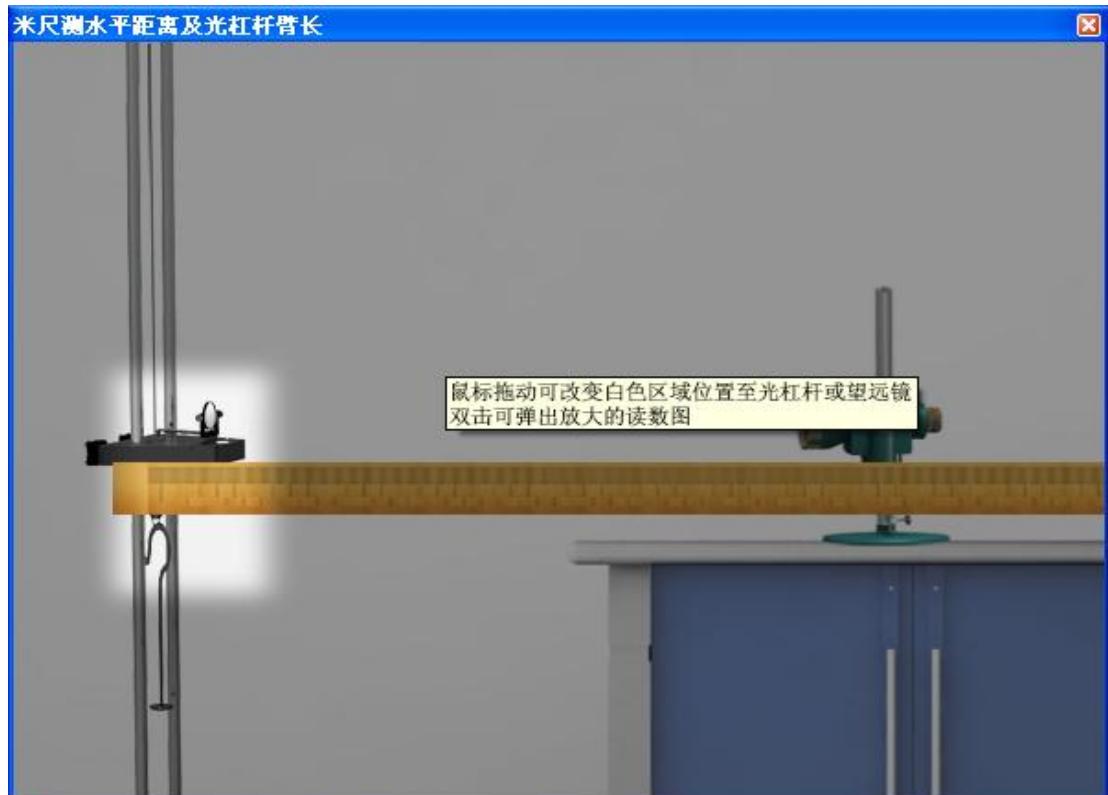
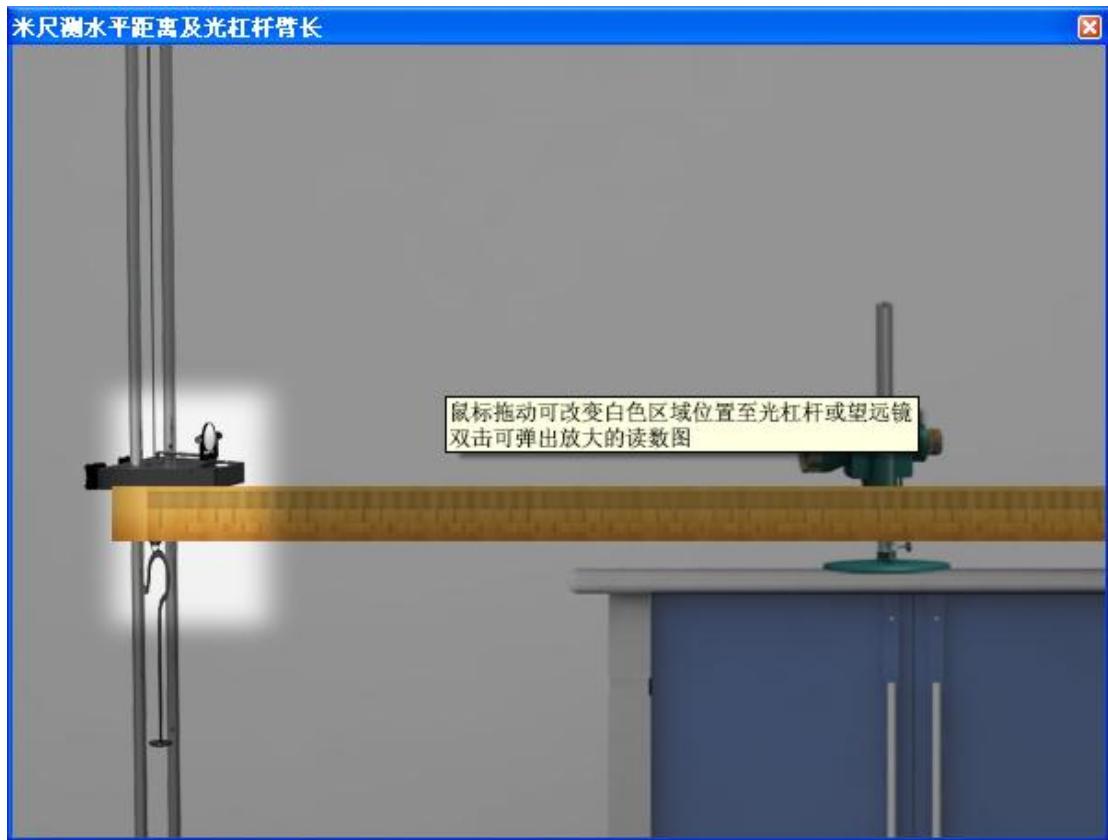
双击桌面上米尺小图标，弹出米尺的调节窗体。

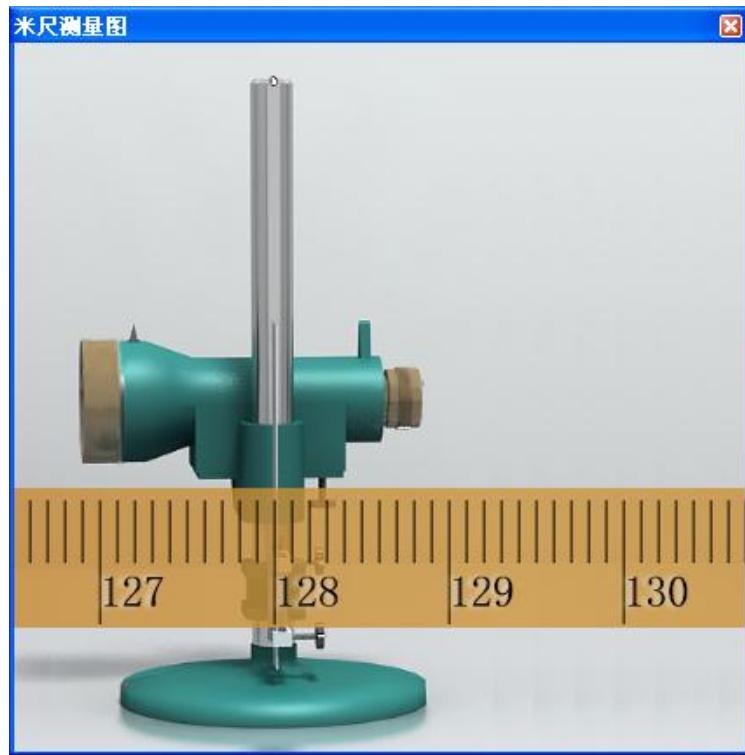


点击“测量钢丝长度”按钮，可弹出测量钢丝长度的放大图，拖动白色区域，可从右边放大的米尺中读数。



点击“测量水平距离及光杠杆臂长”按钮，可弹出测量的放大图，拖动白色区域至光杠杆或望远镜，双击可继续弹出放大的读数图。





(6) 保存数据，单击记录数据按钮弹出记录数据页面。

在记录数据页面的相应地方填写实验中的测量数据，点击关闭按钮，则暂时关闭记录数据页面；再次点击记录数据按钮会显示记录数据页面。

实验数据表格

正确调节实验装置和测量、计算得到金属丝的杨氏模量。

使用米尺测量光杠杆臂长、钢丝长度、标尺到平面镜的水平距离

光杠杆臂长 b (单位: m) _____

钢丝长度 L (单位: m) _____

标尺到平面镜的距离 D (单位: m) _____

使用螺旋测微计测量钢丝直径，并将结果填入下表：

测量6次金属丝直径 d (单位: mm)

测量次数	1	2	3	4	5	6
钢丝直径						

钢丝直径6次测量的平均值 d (单位: mm) _____

增加(减少)砝码，测量钢丝的拉伸量，并将结果填入下表；根据测量值计算并填写杨氏模量值：

钢丝伸长量 r (单位: m)

砝码质量	0kg	0.5kg	1kg	1.5kg	2kg	2.5kg	3kg	3.5kg
钢丝伸长量(加砝码)								
钢丝伸长量(减砝码)								

钢丝杨氏模量值 E (单位: 10^{11} Pa) _____

关闭

六、思考题

1、利用光杠杆把测微小长度 ΔL 变成测 b , 光杠杆 放大率为 $2D/L$, 根据此式能否以增加 D 减小 l 来提高放大率, 这样做有无好处? 有无限度? 应该怎样考虑这个问题?

七、参考资料

吴泳华, 霍剑青, 浦其荣. 《大学物理实验》. 高等教育出版社. 2001年.