

一、实验简介

物质有很多属性,有时我们会通过实验的方法获得我们想要了解和应用的属性。人们在接受一项测量任务时,要根据测量的不确定度来设计实验方案,选择仪器和确定实验环境。在实验后,通过对不确定度的大小和成因进行分析,找到影响实验精确度的原因并加以改正。历史上不乏科学家精益求精,通过对不确定度分析不断改进实验而做出重大发现的例子。例如:1887年迈克尔和莫雷在美国克利夫兰做的用迈克尔逊干涉仪测量两垂直光的光速差值这一著名物理实验。为了测到这个差值,他们不断改进仪器,虽然依然没有预期结果,但结果却证明光速在不同惯性系和不同方向上都是相同的,由此否认了以太(绝对静止参考系)的存在,从而动摇了经典物理学基础,成为了近代物理学的一个发端,在物理学发展史上占有十分重要的地位。

对于直接测量量,我们通过对仪器不断改进就可以获得更接近真值的测量值,但是对于间接测量量,我们需要测量不止一个物理量。那么,每个独立的直接测量量的不确定度对最终结果的不确定度有什么影响呢?我们根据什么原理去设计实验方案并选择工具呢?例如,测量一个物体的体积,需要测量多个长度的物理量,那么,我们根据不同测量对象,选择不同的测量仪器的依据是什么呢?是不是每个测量量都用精密仪器就可以获得更小的体积不确定度呢?答案就在本实验中。

二、实验原理

一块有孔的长方形金属薄板,设长为 L 、宽为 B 、厚度为 H ,板上有 n 个直径相等的孔,设每个孔的直径为 D ,则它的体积为

$$V = L \times B \times H - \frac{n \times \pi \times D^2}{4} H \quad (C1-1)$$

基于体积是间接测量量,而各直接测量量的不确定度都应对体积的不确定度有贡献的考虑,在此提出不确定度均分定理。根据(C1-1)可求出不确定度传递公式,依据不确定度均分原理,将测量结果的总不确定度均匀分配到各个分量中,由此分析各个物理量的测量方法和所应使用的仪器,并指导实验。一般情况下,对测量结果影响较大的物理量应采用精度较高的仪器,相反,对测量结果影响不大的物理量就不必追求高精度仪器,这样做比较经济。

下面推导体积的相对不确定度公式:

$$\begin{aligned} \Delta V &= BH\Delta L + LH\Delta B + LB\Delta H - \frac{n\pi D\Delta D}{2}H \\ V &\approx LBH \\ \frac{\Delta V}{V} &= \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2 + \left(\frac{n\pi D\Delta D}{2LB}\right)^2} \end{aligned}$$

在开始测量之前,将薄板的长、宽、厚度及孔直径的估计值和仪器的 B 类

不确定度填入表 1。根据不确定度均分原理，即各直接测量量相对不确定度数量级接近的原则来确定长、宽、高和直径的测量工具。

	$\left(\frac{\Delta B}{L}\right)^2$	$\left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2$	$\left(\frac{\Delta B}{H}\right)^2$	$\left(\frac{n\pi D\Delta B}{2LB}\right)^2$
米尺 ($\Delta B=0.2\text{mm}$)				
游标卡尺 ($\Delta B=0.02\text{mm}$)				
千分尺 ($\Delta B=0.004\text{mm}$)				
读数显微镜 ($\Delta B=0.004\text{mm}$)				

表 1

由于加工条件的限制，实际上薄板不可能是一个严格的长方体，所以在测定薄板的长度、宽度和厚度时，应选择不同部位进行多次测量，以求平均值。

将一百张纸的长、宽、厚度及孔直径的估计值和仪器的 B 类不确定度填入表 3。根据不确定度均分原理，即各直接测量量相对不确定度数量级接近的原则来确定长、宽、高和直径的测量工具。

	ΔL	ΔB	ΔH
钢直 ($\Delta B=0.2\text{mm}$)			
游标卡尺 ($\Delta B=0.02\text{mm}$)			
螺旋测微器 ($\Delta B=0.004\text{mm}$)			

表 3

由于测量一张纸的体积时，所提供的仪器精确度不够，采用多数测量以减小误差。这个测量一百张纸的体积从而测量一张纸的体积。

三、实验内容

1. 测量带孔薄板的体积

(1) 测量薄板的长度、宽度、不同部位的厚度各 6 次及不同孔直径累计 6 次，计算测量最佳值和不确定度。

(2) 根据上面测量的结果，求出薄板的体积，计算体积的相对不确定度及不确定度。

2. 测量一张纸的体积

当所提供的仪器精确度不够时，可采用多数测量以减小误差。

四、实验仪器

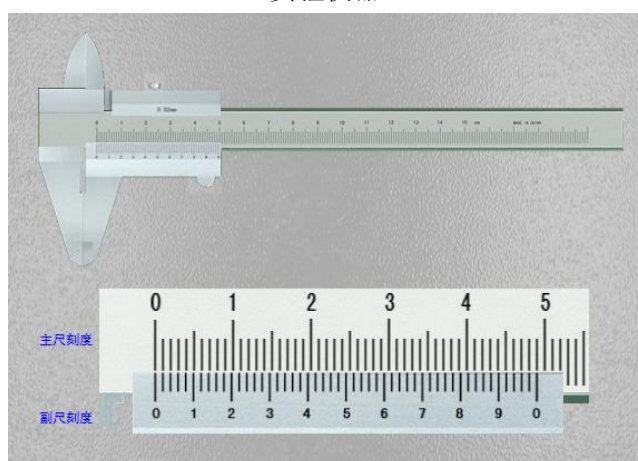
本实验所用到的实验仪器有游标卡尺、外径千分尺、米尺、金属薄板和 100 张纸。

1. 游标卡尺

实验仪器和仿真仪器：



实验仪器



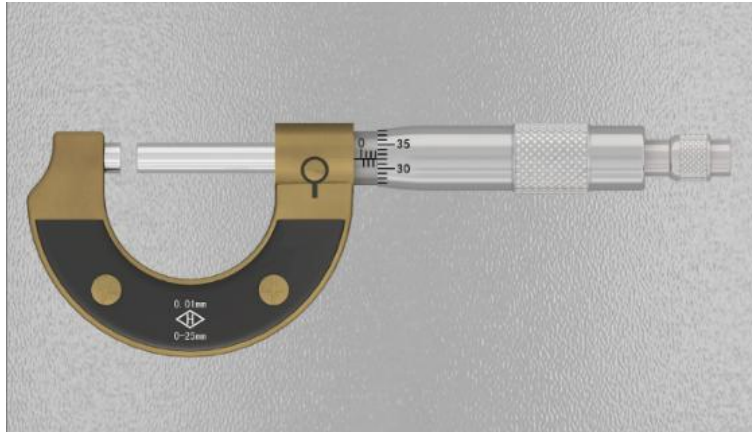
仿真仪器

2. 外径千分尺

实验仪器和仿真仪器：



实验仪器



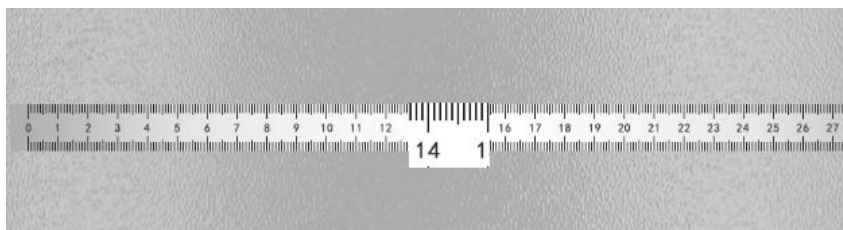
仿真仪器

3.米尺

实验仪器和仿真仪器：



实验仪器



仿真仪器

4. 金属板

实验仪器和仿真仪器：



实验仪器



仿真仪器

操作方法：

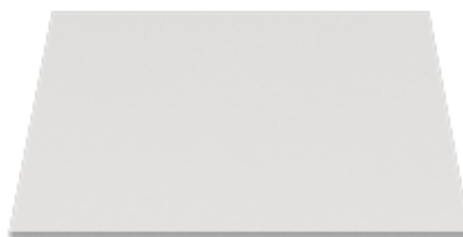
- (1) 双击打开金属板大视图；
- (2) 选中“长度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；
- (3) 选中“宽度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；
- (4) 选中“厚度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；
- (5) 选中“孔径测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；

5. 100 张纸

实验仪器和仿真仪器：



实验仪器



仿真仪器

操作方法：

- (1) 双击打开 100 张纸大视图；
- (2) 选中“长度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；
- (3) 选中“宽度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；

(4) 选中“厚度测量”，出现待测物体，选择测量仪器，再将待测物体拖至待测区域进行测量；

五、实验指导

实验重点

- 1.通过对几何线度的测量求规则物体的体积。
- 2.从相对误差的角度考虑，在测量不同大小的长度时需要使用不同规格（量程及分度值）的长度测量仪器。因此，要求在实验中学会正确选用各种长度测量仪器。
- 3.学习采用多次测量再求平均值的方法。

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下，显示实验已经进行的用时、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、显示考卷按钮(考试状态下显示)。

右上角工具箱：可以打开计算器。

右上角帮助和关闭按钮：帮助按钮可以打开帮助文件，关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏：鼠标选中仪器中的仪器，可以查看仪器名称，在提示信息栏可以查看相应的仪器描述。

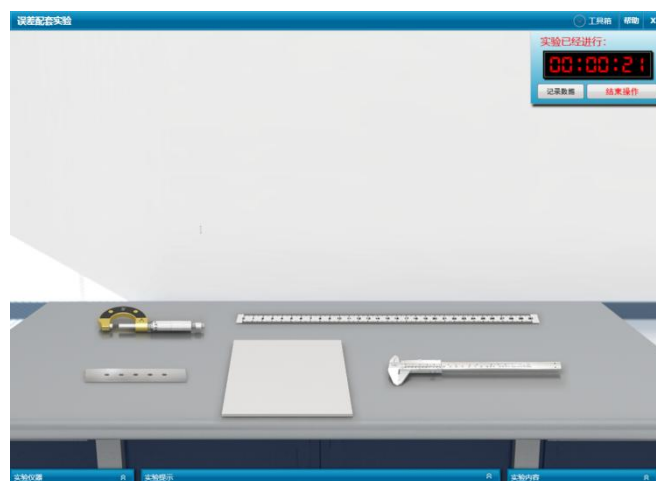
提示信息栏：显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按 F1 键可以获得更多帮助信息。

实验内容栏：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橘黄色，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.主窗口介绍

成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图所示：



误差配套实验主场景图

2.实验操作介绍

(1)计算出钢直尺、游标卡尺和螺旋测微器测量带孔薄板不同物理量的 B 类不确定度，记录到表格 1 中；

实验数据表格

1. 测量带孔薄板的体积(带孔薄板的参数: $L=14.00\text{cm}$ 、 $B=3.80\text{cm}$ 、 $H=0.20\text{cm}$ 、 $D=0.70\text{cm}$);

(1) 根据参数计算下列B类不确定度

	U_l	U_b	U_h	U_d
钢直尺($U_b=0.2\text{mm}$)				
游标卡尺($U_b=0.02\text{mm}$)				
千分尺($U_b=0.004\text{mm}$)				

(2) 选择测量带孔薄板长度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(3) 选择测量带孔薄板宽度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(4) 选择测量带孔薄板厚度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(5) 选择测量带孔薄板孔径的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(6) 将测得的带孔薄板的长、宽、厚和孔径记录到表格中:

测量次数	1	2	3	4	5	6
$L(\text{mm})$						
$B(\text{mm})$						
$H(\text{mm})$						
$D(\text{mm})$						

(7) 带孔薄板长度 L 的平均值(mm)= _____

(8) 带孔薄板长度的标准差 S_L = _____

(2) 根据 B 类不确定度，不同的物理量选择合适的仪器经行测量（分别用钢直尺测长、游标卡尺测宽、螺旋测微器测厚度和钢直尺测孔直径）；

实验数据表格

1. 测量带孔薄板的体积(带孔薄板的参数: $L=14.00\text{cm}$, $B=3.80\text{cm}$, $H=0.20\text{cm}$, $D=0.70\text{cm}$);

(1) 根据参数计算下列B类不确定度

	U_l	U_b	U_h	U_d
钢直尺($U_b=0.2\text{mm}$)				
游标卡尺($U_b=0.02\text{mm}$)				
千分尺($U_b=0.004\text{mm}$)				

(2) 选择测量带孔薄板长度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(3) 选择测量带孔薄板宽度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(4) 选择测量带孔薄板厚度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(5) 选择测量带孔薄板孔径的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(6) 将测得的带孔薄板的长、宽、厚和孔径记录到表格中:

测量次数	1	2	3	4	5	6
L(mm)						
B(mm)						
H(mm)						
D(mm)						

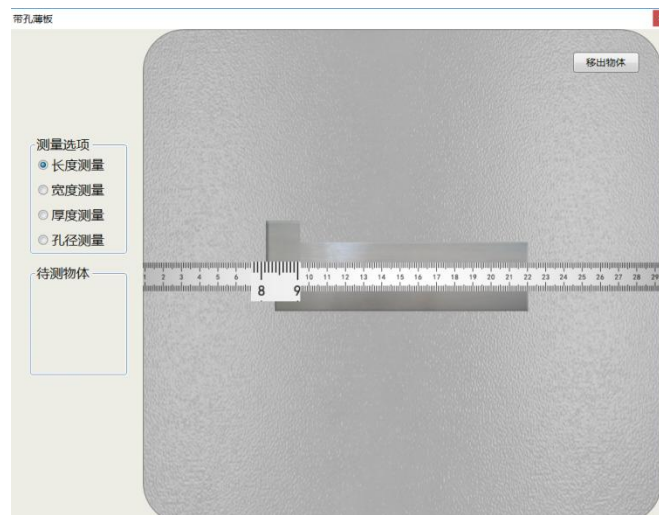
(7) 带孔薄板长度L的平均值(mm)= _____

(8) 带孔薄板长度的标准差S= _____

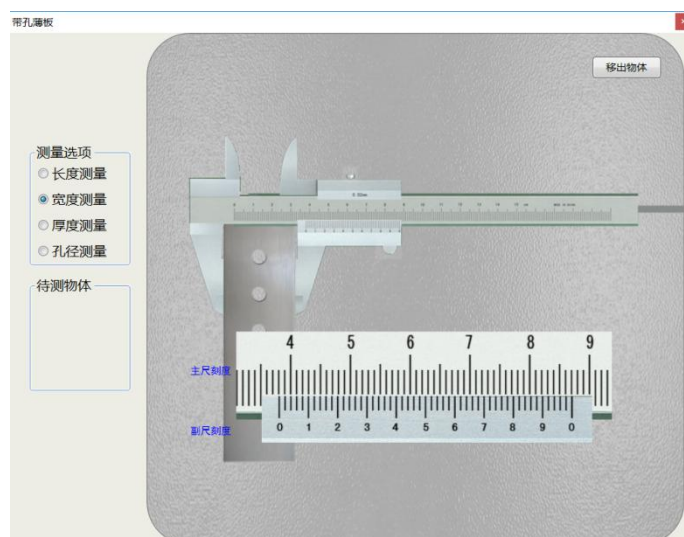
(3) 双击场景中带孔薄板，打开带孔薄板大视图;



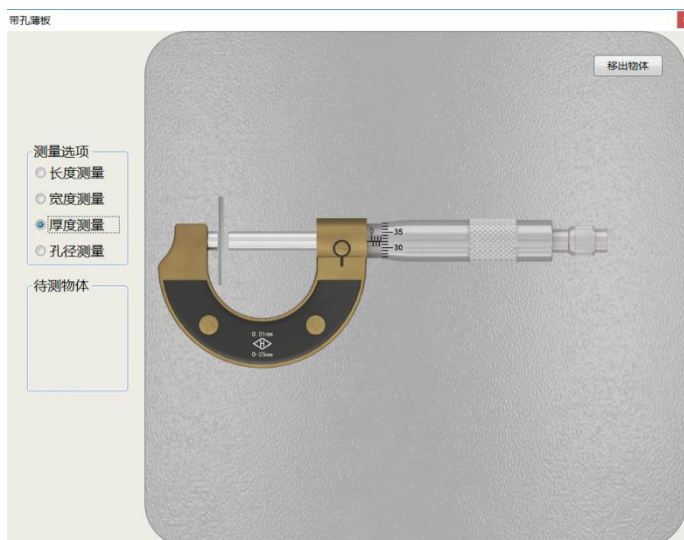
(4) 点击“长度测量”按钮，选择钢直尺测量;



(5) 点击“宽度测量”按钮，选择游标卡尺测量;



(6) 点击“厚度测量”按钮，选择螺旋测微器测量；



(7) 点击“孔径测量”按钮，选择钢直尺测量；



(8) 计算出钢直尺、游标卡尺和螺旋测微器测量 100 张纸不同物理量的 B 类不确定度，记录到表格 3 中；

实验数据表格

2. 测量一张纸的体积(带孔薄板的参数: $L=24.00\text{cm}$ 、 $B=17.0\text{cm}$ 、 $H=0.75\text{cm}$);

(1) 根据参数计算下列B类不确定度

	U_L	U_B	U_H
钢直尺($U_b=0.2\text{mm}$)			
游标卡尺($U_b=0.02\text{mm}$)			
千分尺($U_b=0.004\text{mm}$)			

(2) 选择测量100张纸长度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(3) 选择测量100张纸宽度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(4) 选择测量100张纸厚度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(5) 将测得的100张纸的长、宽和厚度记录到实验数据表格中:

测量次数	1	2	3	4	5	6
L(mm)						
B(mm)						
H(mm)						

(6) 100张纸长度L的平均值(mm)= _____

(7) 100张纸宽度B的平均值(mm)= _____

(8) 100张纸厚度L的平均值(mm)= _____

(9) 计算1张纸的体积 $V(\text{mm}^3)$ = _____

关闭

(9) 根据 B 类不确定度，不同的物理量选择合适的仪器经行测量（分别用钢直尺测长和宽、螺旋测微器测厚度）；

实验数据表格

2. 测量一张纸的体积(带孔薄板的参数: $L=24.00\text{cm}$ 、 $B=17.0\text{cm}$ 、 $H=0.75\text{cm}$);

(1) 根据参数计算下列B类不确定度

	U_L	U_B	U_H
钢直尺($U_b=0.2\text{mm}$)			
游标卡尺($U_b=0.02\text{mm}$)			
千分尺($U_b=0.004\text{mm}$)			

(2) 选择测量100张纸长度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(3) 选择测量100张纸宽度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(4) 选择测量100张纸厚度的仪器(A: 钢直尺B: 游标卡尺C: 千分尺): _____

(5) 将测得的100张纸的长、宽和厚度记录到实验数据表格中:

测量次数	1	2	3	4	5	6
L(mm)						
B(mm)						
H(mm)						

(6) 100张纸长度L的平均值(mm)= _____

(7) 100张纸宽度B的平均值(mm)= _____

(8) 100张纸厚度L的平均值(mm)= _____

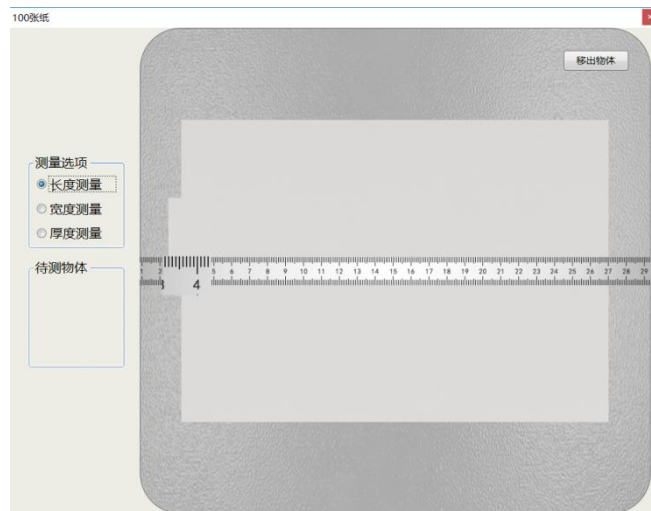
(9) 计算1张纸的体积 $V(\text{mm}^3)$ = _____

关闭

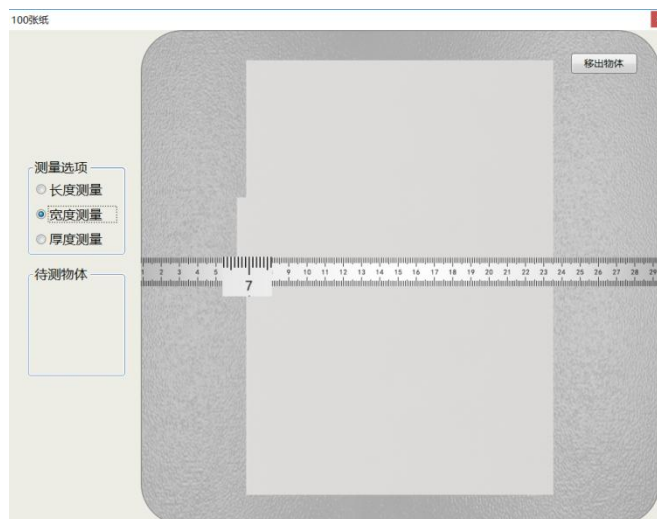
(10) 双击场景中的纸张，打开纸张大视图；



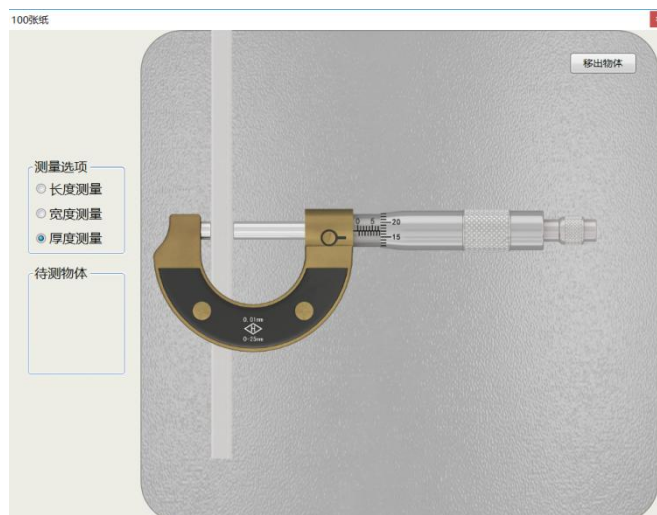
(11) 点击“长度测量”按钮，选择钢直尺测量；



(12) 点击“宽度测量”按钮，选择钢直尺测量；



(13) 点击“厚度测量”按钮，选择螺旋测微器测量；



(14) 记录测量数据，完成所有数据；

六、思考题

- (1) 当测量不同精确度的测量对象时，根据什么原理选择测量仪器？
- (2) 为什么要使用直接测量量的相对不确定度配套？

七、参考资料

- 1、何志魏，朱世秋，徐艳月. 大学物理实验教程[M]. 北京：机械工业出版社，2017. 8.