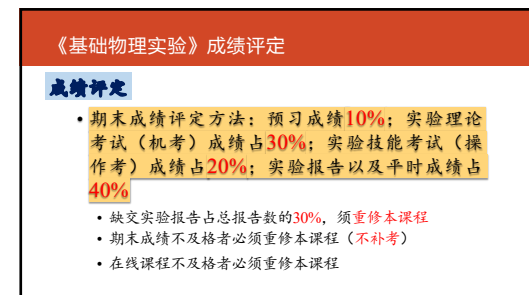




1



2



3



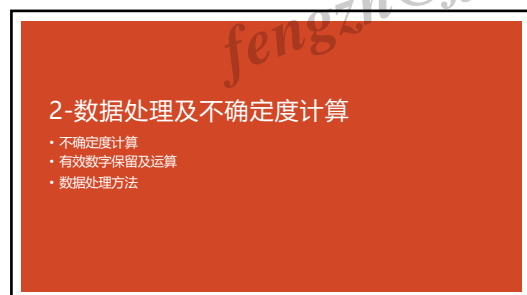
4



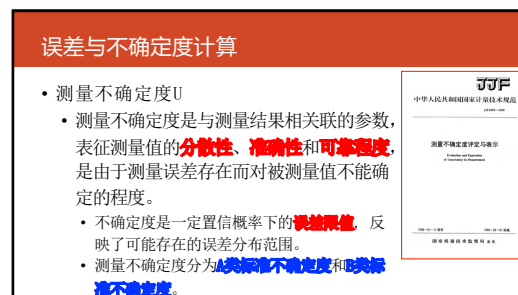
5



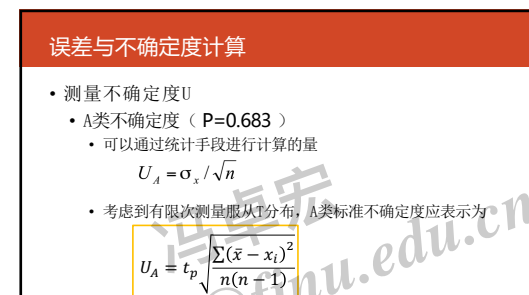
6



7



8



9

## 误差与不确定度计算

### • 测量不确定度U

#### • B类不确定度 (P=0.683)

仪器名称	量程	分度值(灵敏度等)	仪器误差
游标卡尺	0~300 mm	1 mm	±0.5 mm
螺旋测微计(千分尺)	0~300 mm	0.02, 0.05, 0.1 mm	分度值
量块	0~100 mm	0.01 mm	±0.004 mm
百分之一秒天平	1000 g	50 mg	±50 mg
水银温度计	-30~300°C	0.2, 0.5°C	分度值
读数显微镜	0.01 mm		±0.004 mm
数字式测量仪器			最小一位的一个单位或国家规定的修约间隔
指数函数表	a=0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5, 5.0		全量程 ±0.5%

10

## 误差与不确定度计算

### • 测量不确定度U

#### • 合成标准不确定度 (P=0.683)

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

$U_A$ 、 $U_B$ 、 $U$   
取1~2位有效数字  
只进不舍

#### • 测量结果的最终表达式为

$$X = x \pm U \quad P=0.683$$

#### • 相对不确定度 $U_r = \frac{U}{x} \times 100\%$

11

## 误差与不确定度计算

### • 间接测量量的不确定度

#### • 间接测量量与各直接测量量之间有函数关系

$$N = f(x, y, z)$$

#### • 间接测量量的不确定度

$$u_N = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 (u_x)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 (u_y)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 (u_z)^2}$$

12

## 误差与不确定度计算

例2: 已测得金属环的外径、内径、高度, 求体积的测量结果。

$$D_1 = 2.880 \pm 0.004 \text{ cm} \quad D_2 = 3.600 \pm 0.004 \text{ cm} \quad h = 2.575 \pm 0.004 \text{ cm}$$

$$\bar{V} = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) h = 9.436 (\text{cm}^3)$$

推导不确定度合成公式

$$u_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial D_1} u_{D_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial D_2} u_{D_2}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial h} u_h\right)^2}$$

$$= \frac{\pi}{4} \sqrt{(2D_1 h u_{D_1})^2 + (2D_2 h u_{D_2})^2 + [(D_2^2 - D_1^2) u_h]^2} = 0.080 (\text{cm}^3)$$

求相对不确定度  $u_{rV} = \frac{u_V}{\bar{V}} = 0.8\%$

结果表示  $V = 9.436 \pm 0.080 (\text{cm}^3) \quad u_{rV} = 0.8\%, P = 0.683$

13

## 有效数字保留及运算

### • 有效数字

#### • 能够正确、有效的表示被测量实际情况的全部数字

#### • 测量结果有效数字位数与精度有关: **确定位+估读位**

#### • 对同一物理量测量有效数字位数越多越精确。

#### • 对于较大或较小的数字常用科学计数法来计数。

#### • 数字前面的“0”不是有效数字, 数字**中间或末尾的“0”是有效数字**。

有效位数不等于小数位数

14

## 有效数字保留及运算

### • 有效数字的读取与科学记数法

#### • 直接测量时, 一般仪器显示的**数字值**都为**有效数字**。

#### • 分度式仪表读数要**估读到1/10、1/5或1/2**。游标类量具**只读到游标分度值**。

#### • 数字式仪表或步进式仪器 (如电阻箱等) **不需估读**, 仪器所**显示的末位即是可疑**。

#### • **间接测量结果的有效位数可根据所求出的不确定度数值确定。**

15

## 有效数字保留及运算

### • 有效数字的运算法则

#### • **可靠数与可靠数**运算后仍为可靠数;

#### • **可靠数与可疑数或可靠数**运算后为**可疑数**, 但进位为可靠数;

#### • 有效数相互运算后**保留所有的可靠数和最后一位可疑数**。

16

## 有效数字保留及运算

### • 有效数字的运算法则

#### • 加、减法: 诸量相加 (相减) 时, 其和 (差) 数在小数点后所应保留的位数**应通过可靠数末确定**。

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ + 21.3 \\ \hline 25.478 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ + 21.3 \\ \hline 25.478 = 25.5 \end{array}$$

与诸因子中最先出现的欠准数位对齐

17

## 有效数字保留及运算

### • 有效数字的运算法则

#### • 乘、除法: 诸量相乘 (除) 后其积 (商) 所保留的有效数字, 只须与**诸因子中有效数字最少的一个相同**。

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times 10.1 \\ \hline 4178 \\ 4178 \\ \hline 42.1978 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4.178 \\ \times 10.1 \\ \hline 4178 \\ 4178 \\ \hline 42.1978 = 42.2 \end{array}$$

18

## 有效数字保留及运算

- 有效数字的取舍
  - 运算过程保留多位，结果按要求取舍。
  - 有效数字尾数的舍入规则——**四舍六入，五凑偶**
    - 拟舍弃数字的最高位为5时，前一位数为奇数，则**进一**；为偶数，则**舍去**。

例：4.32749→4.327      4.32751→4.328  
4.32761→4.328      4.32850→4.328

19

## 数据处理方法

- 列表法
- 作图法
- 逐差法
- 最小二乘法（曲线拟合）

20

## 数据处理方法

- 列表法

表1 测定金属电阻的温度系数

序号	温度 $t$ (°C)	电阻 $R$ (Ω)
1	10.5	10.42
2	29.4	10.92
3	42.7	11.32
4	60.0	11.80
5	75.0	12.24
6	91.0	12.67

自变量按照预定规律变化

21

## 数据处理方法

- 作图法

表1：伏安法测电阻实验数据

$U$ (V)	0.74	1.52	2.33	3.08	3.66	4.49	5.24	5.98	6.76	7.50
$I$ (mA)	2.00	4.01	6.22	8.20	9.75	12.00	13.99	15.92	18.00	20.01

### 1. 选择合适的坐标分度值，确定坐标纸的大小

坐标分度值的选取应能基本反映**测量值的准确度和精密度**。  
根据表1数据  $U$  轴可选1mm对应于0.10V， $I$  轴可选1mm对应于0.20mA，并可定坐标纸的大小（略大于坐标范围、数据范围）。

22

### 2. 标明坐标轴：

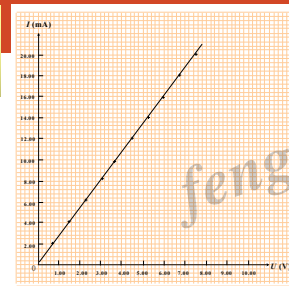
用粗实线画坐标轴，用箭头标轴方向，标坐标轴的名称或符号、单位，再按顺序标出坐标轴整格上的量值。

### 3. 标实验点：

实验点可用“×”、“+”等符号标出（同一坐标系下不同曲线用不同的符号）。

### 4. 连成图线：

用直尺、曲线板等把点连成直线、光滑曲线。一般不强求直线或曲线通过每个实验点，应使图线两边的实验点与图线最为接近且分布大体均匀。



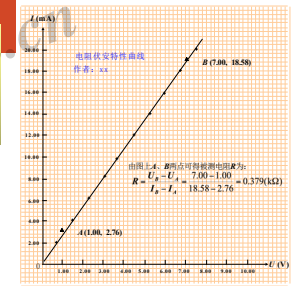
23

### 5. 标出图线特征：

在图上空白位置标明实验条件或从图上得出的某些参数。如利用所绘直线可给出被测电阻  $R$  大小：从所绘直线上读取两点  $A$ 、 $B$  的坐标就可求出  $R$  值。

### 6. 标出图名：

在图线下方或空白位置写出图线的名称及某些必要的说明。



24

## 数据处理方法

- 逐差法

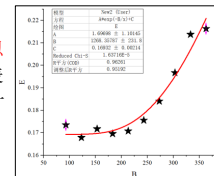
$i$	$m_i$ (kg)	加砝码 (cm)	减砝码 (cm)	平均值 (cm)	$\bar{A} = \bar{A}_4 - \bar{A}_1$ (cm)	不确定度
0	0	0.00	0.01	0.01	1.82	
1	1	0.45	0.49	0.47	1.82	$\Delta_A = 0.06 \text{ cm}$
2	2	0.91	0.98	0.95	1.81	
3	3	1.37	1.40	1.39	1.84	
4	4	1.80	1.85	1.83	$\Delta A = \bar{A} \pm \Delta_A = 1.82 \pm 0.06 \text{ cm}^2$	
5	5	2.27	2.30	2.29		
6	6	2.76	2.76	2.76		
7	7	3.23	3.23	3.23		

25

## 数据处理方法

- 曲线拟合

- 用连续曲线近似地刻画或拟曲线拟合平面上离散点组所表示的坐标之间的函数关系的一种数据处理方法。
- 用一类与数据的背景材料规律相适应的解析表达式  $y = f(x, c)$  来反映量  $x$  与  $y$  之间的依赖关系。



26

## 3-必做实验项目介绍

- 基本原理、基本方法、基本操作

27

## 实验项目

### 必做实验

1. 物体密度测量
2. 金属线胀系数的测量
3. 长度测量
4. 碰撞过程的动量和动能研究
5. 示波器的使用
6. RC串联电路暂态过程的研究
7. 非线性元件伏安特性的研究
8. 用惠斯登电桥测中值电阻
9. 等厚干涉测透镜曲率半径
10. 薄透镜焦距的测量

28

## 金属线胀系数测量



29

## 金属线胀系数测量

- 金属线胀系数测量原理及公式
  - 当固体温度升高时，产生线度增长的现象称为固体的线膨胀。固体长度 $L$ 和温度之间的函数关系式为：

$$L = L_0 (1 + \alpha t + \beta t^2 + \dots)$$

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 (t_2 - t_1)}$$

30

## 金属线胀系数测量

- 金属线胀系数测量原理及公式
- 仪器构造和使用
  - 千分表构造及使用



31

## 金属线胀系数测量

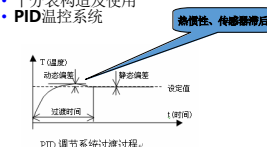
- 金属线胀系数测量原理及公式
- 仪器构造和使用
  - 千分表构造及使用
  - PID温控系统
    - PID控制的含义是将经过反馈后得到的误差信号分别进行比例、积分和微分运算后再叠加得到控制器输出信号。



32

## 金属线胀系数测量

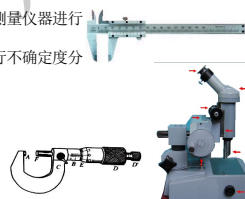
- 金属线胀系数测量原理及公式
- 仪器构造和使用
  - 千分表构造及使用
  - PID温控系统



33

## 长度的测量

- 采用不同长度测量仪器进行测量。
- 对测量结果进行不确定度分析



34

## 长度的测量

- 阿贝定则
  - 被测量轴线只有与标准量的测量轴线重合或在其延长线上时，测量才会得到精确的结果。
  - 阿贝原则是长度计量的最基本原则，其意义在于它避免了因导轨误差引起的一次测量误差。在检定和测试中遵守阿贝原则可提高测量的准确度，特别是在使用不符合阿贝原则的仪器时，更要注意阿贝原则的应用。

35

## 密度的测量

- 通过物理天平测量物质质量
- 运用流体静力称衡法以及比重瓶法测量不规则物体的密度

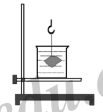


36

### 密度的测量

- 测量原理：通过阿基米德定律
  - 流体静力称衡法
- 比重瓶法
 
$$\rho = \frac{M}{M - m} \rho_0$$

$$\rho = \frac{m_2}{m_1 + m_2 - m_3} \rho_0$$



37

### 密度的测量

- 仪器调节
  - 检查：
    - 检查天平挂钩托盘是否对码；
    - 检查天平横梁是否正确支撑，挂钩是否挂上。
  - 调节：
    - 调节底座水平；
    - 调节横梁平衡（或称调零点）。
    - 灵敏度测量（感量倒数）
      - 天平的指针尖端沿着标牌的线位移与在任一称盘里所添加的小砝码的质量之比。
      - 检查天平灵敏度以判断该天平是否处于正常使用状态。

38

### 密度的测量

- 复称法消除天平横梁不等臂误差
  - 复称法是对物体既进行左称又进行右称，而以其几何平均值准确表示测量结果的方法。

$$m l_1 = m_1 l_1 \quad m l_1 = m_2 l_2$$

$$m = \sqrt{m_1 m_2}$$

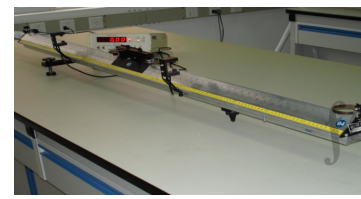
39

### 密度的测量

- 天平使用注意事项
  - 天平的负载量不得超过其最大称量值，以免损坏刀口或横梁；
  - 为了避免刀口受冲击而损坏，在取放物体、取放砝码、调节平衡螺母以及不使用天平时，都必须关闭天平。
  - 砝码不能用手直接取拿，只能用镊子间接挟取。从称盘上取下后应立即放入砝码盒中；
  - 天平的各部分以及砝码都要防锈、防腐蚀，高温物体以及有腐蚀性的化学药品不得直接放在盘内称量；
  - 称量完毕后将制动旋钮左旋转，放下横梁，保护刀口。

40

### 碰撞中的动量和动能



41

### 碰撞中的动量和动能

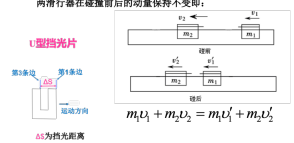
粗调：使用三角尺测量，调节导轨支脚螺钉使气垫导轨相对等高，长度方向与桌面平行。

细调：静态调平法：接通气源，滑块在导轨上任一处都向同一方向运动，则表明导轨不水平。仔细调整支脚螺钉，直到滑块在导轨任意位置上基本保持静止不动，或不总是向同一个方向滑动即可。一般要在导轨上选取几个位置做这样的调整。

42

### 碰撞中的动量和动能

如图所示，气垫导轨上两滑块在水平方向上作对心碰撞（正碰）。若忽略两滑块运动过程中受到的粘滞性阻力和空气阻力，那么质量分别为 $m_1$ 和 $m_2$ 的两滑块在碰撞前后的动量保持不变：



$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

计时器功能选择在“col”档

43

### 碰撞中的动量和动能

通常把碰撞前后两滑块相对速度的比值称为恢复系数，用 $e$ 表示：

$$e = \frac{|v_2' - v_1'|}{|v_1 - v_2|}$$

当 $e=0$ 时，两滑块碰后一起运动，为完全非弹性碰撞，机械能损耗最大。

当 $e=1$ 时，为完全弹性碰撞，机械能守恒。

当 $0 < e < 1$ 时，为非完全弹性碰撞，机械能不守恒。

将碰撞前后动能之比用符号 $R$ 表示：

$$R = \frac{\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2}{\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2}$$

在本实验中， $R$ 值反映了碰撞过程机械能损耗。

44

### 示波器的使用

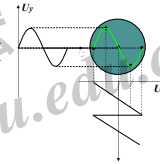
- 掌握示波器的使用并测量交流信号



45

## 示波器的使用

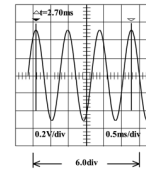
- 波形显示原理
  - 在Y偏转板加正弦电压 $U_y$ ，在X偏转板加锯齿电压 $U_x$ ，使电子在Y方向做正弦运动，沿X方向做匀速运动。
  - 若 $T_x = nT_y$ ，则屏幕上出现n个稳定的正弦波。



46

## 示波器使用

- 读数基本原理（注意有效数字）
  - 灵敏度×格数
  - $V_p-p = y/\text{div} \times \text{div}$
  - $T = t/\text{div} \times \text{div}$



47

## 示波器使用

- 电路连接：交流信号测量



48

## 示波器使用

- 电路连接：相位差测量

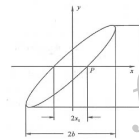


49

## 示波器使用

- 相位差测量

$$\Delta\varphi = \begin{cases} \arcsin \frac{y_a}{y_b} \text{ (I, III象限)} \\ \pi - \arcsin \frac{y_a}{y_b} \text{ (II, IV象限)} \end{cases}$$



50

## 重难点

- 原理
  - 示波器基本测量原理
  - 李萨如法测量相位差的原理
- 技能
  - 示波器调节及测量
  - 信号输入与处理

51

## RC暂态电路的研究

- 掌握暂态定义
- 比较分析不同暂态过程
- 通过画图法得到 $\tau$ 值。

52

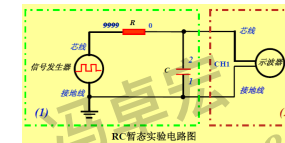
## RC暂态电路的研究

- 暂态定义
  - RC电路从一种稳态到另一种稳态所经历的过程称为暂态过程。
  - 暂态过程虽然很短，但它所产生的某些现象是非常重要的且不可忽略，因为在暂态过程中某些部分的电压或电流可能出现比稳态大几倍甚至几十倍，出现过电压或电流现象。

53

## RC暂态电路的研究

- 电路连接



54



### RC暂态电路的研究

- 充放电过程分析:  $\tau$  值的意义

充电:  $u_C(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$   
 开始时,  $u_C(0) = 0$ ,  $u_R(0) = E$   
 电容两端电压随电量增加而增加, 但电阻两端电压则相应减少。

放电:  $u_C(t) = Ee^{-t/\tau}$   
 开始时,  $u_C(0) = E$ ,  $u_R(0) = -E$   
 放电: 电能逐渐消耗在电阻上使电容和电阻同时放电。

**时间常数, 定义电容充放电的快慢**

按指数规律变化。

55

### RC暂态电路的研究

- 状态的判断

非饱和状态 饱和状态

方波 过饱和状态

56

### RC暂态电路的研究

- 时间常数的计算

- 逐点记录一个完整临界充电波形各点数据
- 转化成线性方程求解

$u_C(t) = E(1 - e^{-t/\tau}) \Rightarrow \ln E - u_C = \ln E - \frac{1}{\tau} t$

比较  $y = a + bx$

$\ln(E - u_C)$

57

### 非线性元件伏安特性研究

- 研究非线性电阻元件的伏安特性
- 通过拟合伏安特性曲线的数学表达式



58

### 非线性元件伏安特性研究

- 电阻

- 在物理学中, 用电阻 (**Resistance**) 来表示导体对电流阻碍作用的大小。

- 是否满足欧姆定律

- 线性电阻元件
- 非线性电阻元件

59

### 非线性元件伏安特性研究

- 伏安特性

- 元件两端的电压与所通过电流之间的关系称为伏安特性
- 常用纵坐标表示电流  $I$ , 横坐标表示电压  $U$ , 以此画出的  $I-U$  图像叫做导体的伏安特性曲线图。这种图像常被用来研究导体电阻的变化规律, 是物理学常用的图像法之一。

60

### 非线性元件伏安特性研究

- 实验电路

- 各个测量仪器的量程和精度
- 分压电路连接
- 二极管以及钨丝灯实验测量电压电压范围



61

### 非线性元件伏安特性研究

- 二极管正向伏安特性

二极管正向伏安特性:

只有当正向电压加到某个数值时, 电流才开始明显增大, 这个外加电压值叫做二极管的阈值电压或开通电压。

二极管具有单向导电性!

反向击穿电压  $V_{BR}$

开通电压, 硅管的  $0.6 \sim 0.8V$ , 锗管的  $0.2 \sim 0.4V$ 。

62

### 非线性元件伏安特性研究

- 钨丝灯伏安特性

钨丝灯伏安特性曲线

金属钨的电阻温度系数为正,  $48 \times 10^{-4} / ^\circ C$ 。

63

### 惠斯登电桥测量中值电阻

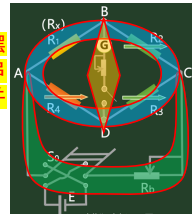
- 掌握惠斯登电桥的连接和测量方法
- 计算电阻的不确定度



64

### 惠斯登电桥测量中值电阻

- 测量原理
  - 通过等电位原理进行测量
- 电桥平衡时有:  $R_x = \frac{R_2}{R_1} R_4$
- 换臂与电流换向: 消除不等臂效应和电位效应



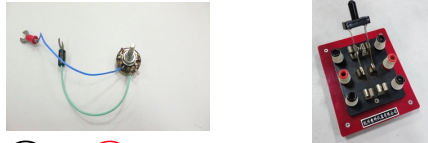
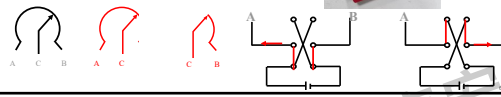
65

### 惠斯登电桥测量中值电阻



66

### 惠斯登电桥测量中值电阻

67

### 惠斯登电桥测量中值电阻

- 灵敏度
  - 电桥灵敏度定义为:  $S' = \frac{n}{\Delta R_x}$  (n为Rx的相对改变量, 所引起电桥偏离平衡时检流计的偏转格数)
  - 相对电桥灵敏度S定义为:  $S = \frac{n}{\Delta R_x} \frac{R_x}{R_1}$  (S越大, 表示电桥越灵敏, 带来的测量误差也越小)
  - 测量电桥灵敏度公式:  $S' = \frac{n}{\Delta R_x}$
  - 测量相对电桥灵敏度公式:  $S = \frac{n}{\Delta R_x} \frac{R_x}{R_1}$

68

### 薄透镜焦距测量

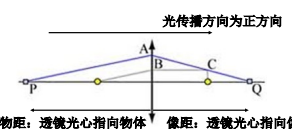
- 通过多种手段测量透镜焦距



69

### 薄透镜焦距测量

- 物距、象距的定义及方向



70

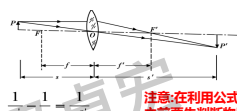
### 薄透镜焦距测量

- 等高共轴调节
  - 粗调
    - 让所需调整仪器彼此靠近, 通过眼睛观察和判断, 将透镜、物、像屏的几何中心调至等高位置上, 并使其所在平面彼此平行, 这就达到了彼此平行且中心等高。
  - 细调
    - 等高共轴调节
    - 多透镜调节

71

### 薄透镜焦距测量

- 凸透镜
  - 物像法
    - 注意: 在利用公式计算焦距之前要先判断物距、像距的符号, 测得量须添加符号, 求得量则根据求得结果中的符号判断其物理意义。



72



### 薄透镜焦距测量

- 凸透镜

#### 自准直法

在原物平面上，形成一个与原物大小相等方向相反的实像  $S'$

注意：区别反射回来的实像及凸透镜反射所成的像

73

### 薄透镜焦距测量

- 凸透镜

#### 二次成像法（贝塞耳法）

调节  $D > 4f$ ，移动透镜两次成像

$f = \frac{D^2 - d^2}{4D}$

74

### 薄透镜焦距测量

- 凹透镜

#### 辅助透镜成像法

先使物AB发出的光线经凸透镜L1(辅助透镜)后形成一实像A'B'，然后在L1和A'B'之间放入待测凹透镜L2，就能使虚物A'B'产生一实像A''B''。

$f' = -\frac{S'S''}{S - S''}$

75

### 等厚干涉测透镜的曲率半径

- 通过等厚干涉测量透镜曲率半径

钠光灯电源

钠光灯

测量显微镜

76

### 等厚干涉测透镜的曲率半径

实验装置图

实验光路示意图

干涉光路图

77

### 等厚干涉测透镜的曲率半径

在空气厚度为  $d$  的地方，上下表面反射的光的光程差为

$$\Delta = 2d + \frac{1}{2}\lambda$$

$$\Delta = 2d + \frac{1}{2}\lambda = k\lambda \quad (k=1, 2, 3, \dots \text{明环})$$

$$\Delta = 2d + \frac{1}{2}\lambda = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k=0, 1, 2, 3, \dots \text{暗环})$$

同一  $r$  位置的  $d$  相同，具有同样的光程差，形成同一条纹

牛顿环

78

### 等厚干涉测透镜的曲率半径

- 测量公式

- 以讨论暗环为例，当测得远较远的第  $m$  级和第  $n$  级的暗环直径  $D_m$  和  $D_n$  时：

$$r_k^2 = kR\lambda \text{ 得}$$

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$$

79

### 等厚干涉测透镜的曲率半径

- 注意事项

- 应尽量使叉丝对准干涉暗环的中央读数。
- 由于计算  $R$  时，只需知道环数差  $(m-n)$
- 注意读数不要数错，测量时应向一个方向转动，防止空程误差，否则数据全部作废。
- 测量过程中防止震动引起干涉条纹的变化。
- 实验时要将读数显微镜台下的反射镜翻转过来，不要让光从窗口经反射镜把光反射到载物台上，一面影响对暗环的观测。

80

冯卓宏

136-3526-4374

81