通知

实验中心网,选课

第五周开始实验　　　A23, B23, C24,……

上课时间　　下午 1:00-3:15；3:20-5:35

上网了解实验要求、仪器外观、……

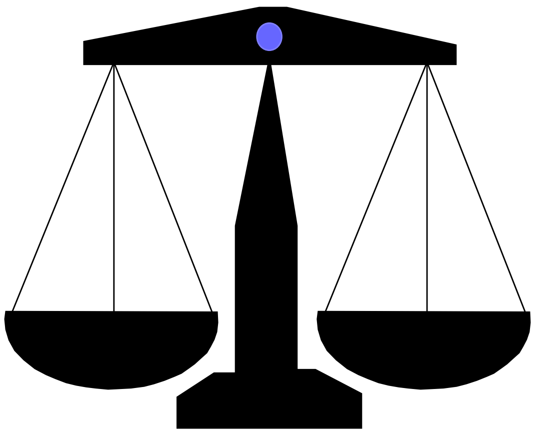
http://elearning.ustb.edu.cn/root/phy

课表更正：　4.7 ←---→ 4.8

电桥　　　　　　数字电表

（房间号和项目名称没有错，只是序号错了，把书上的标号对调就好）

《物理实验》绪论



物理学本质上是一门实验科学

一、实验课的作用和任务

学习方法、培养技能

培养观察、分析能力

培养科学素养

掌握物理量的测量原理与方法

掌握实验仪器的基本原理及使用

正确地记录数据及处理数据

独立判断分析结果

理论联系实际

耐心、仔细、认真

实事求是　　爱护仪器

独立学习能力；　独立操作能力；分析与研究能力；理论联系实际能力；创新与设计能力;书写表达能力

二、实验课的基本环节（要求）

课前预习 → 预习报告

- 任务与方法
- 测量公式
- 条件、步骤、注意事项
- 电路（光路）图
- 原始数据记录表格

预习提问

独立操作

- 仪器操作
- 现象观察（故障）分析
- 正确记录

原始数据教师签字

无预习报告者，不能参加实验操作，按缺课处理；
预习提问记分，记入总成绩；
缺课者，该实验0分；
缺6学时以上者，按期末不及格处理，需来年重修；
实验完毕请将仪器、凳子等规整好，个人物品勿留下

实验报告 → 数据处理—写出计算过程

结果表示与分析

报告成绩为综合分

北 京 科 技 大 学 实 验 报 告

系别__________班号__________姓名　__________（同组姓名　__________）

实验日期__________年　__________月　__________日　教师评定__________

实验名称__________　　__________

[目的和要求]：

[实验原理]：

[主要仪器]：

[步骤和注意事项]：

[数据及数据处理]：

[结果分析]：

［结论］：

三、测量误差与数据处理

（一）. 测量和误差

1. 测量 观察者使用一定的仪器，在一定的环境下，依据一定的原理，找出物理量的量值的行为

量值==数值+单位

- 直接测量
- 间接测量　　与直接测量量有函数关系

2. 误差

$$\text{绝对误差} = \text{测量结果} - \text{被测量的真值}$$

$$\text{相对误差} = \frac{\text{测量的绝对误差}}{\text{被测量的真值}} \times 100\%$$

通常，被测量的真值是一个理想概念。实际测量中常用平均值（或准确度足够高的测量值）来代替真值，称为约定真值。

测量的步骤：

找出被测量的最可靠值；

估计可靠值的不确定程度；

合理表示测量结果

3. 误差分类

	系统误差	随机误差
	在同一条件下多次测量中，误差大小符号是恒定或按一定规律变化	在同一条件下多次测量中，误差大小符号以不可预知的规律变化
来源	仪器缺陷、理论方法、环境因素、习惯	仪器状态、环境因素、主观判断的变动性
特点	具恒定性，可消除或抑制	具随机性，服从统计规律
处理方法	修正理论公式、采用适当实验方法	用统计方法使之减小

算术平均值是最佳值

$$\overline{X}=\sum_{i=1}^{k}X_i\Big/k$$

标准偏差

$$s=\sqrt{\frac{\sum(X_i-\overline{X})^2}{k-1}}$$

(二)直接测量结果表示

表示形式 $X = (X_{佳} \pm U)$单位

最佳值$X_{佳}$
- 多次测量 $X_{佳} = \overline{X}$
- 单次测量 $X_{佳} = X_{测}$

不确定度
- 多次测量 $U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{(\frac{t}{\sqrt{K}})^2 s^2 + \Delta_{仪}^2}$
- 单次测量 $U = \Delta_{仪}$ $U = \Delta_{估}$

$(X_{佳} \pm U)$单位 表示的含义：

$X_{佳}$是直接测量中最可信赖的值，不确定度为U

真值包含在$X_{佳}-U$ ~ $X_{佳}+U$范围内的可能性在95%

(三)间接测量结果表示 $\varphi = F(x, y, z......)$

$x=(x_{佳} \pm U_x)$单位 $y=(y_{佳} \pm U_y)$单位 $z=(z_{佳} \pm U_z)$单位

表示形式 $\varphi = (\varphi_{佳} \pm U)$单位

最佳值$\varphi_{佳}$ 将各直接测量量的最佳值代入测量公式，按有效数字运算规则计算 $\varphi_{佳} = F(x_{佳}, y_{佳}, z_{佳}......)$

不确定度U 由计算公式导出不确定度计算公式，将各直接测量量的不确定度及最佳值代入公式计算得出

直接微分法

$$U_\varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 U_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 U_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 U_z^2 + \ldots}$$

对数微分法（积商形式常用）

$$\frac{U_\varphi}{\varphi_{佳}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln F}{\partial x}\right)^2 U_x^2 + \left(\frac{\partial \ln F}{\partial y}\right)^2 U_y^2 + \left(\frac{\partial \ln F}{\partial z}\right)^2 U_z^2 + \ldots}$$

$$U_\varphi = \varphi_{佳} \bullet \frac{U_\varphi}{\varphi_{佳}}$$

- 实用公式

$$\varphi = x \pm y$$

$$U_\varphi = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

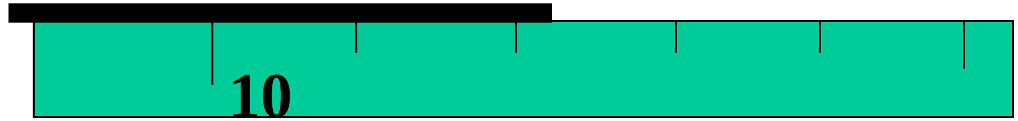
$$\varphi = x \cdot y \text{ 或 } x/y$$

$$\frac{U_\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(\frac{U_x}{x}\right)^2 + \left(\frac{U_y}{y}\right)^2}$$

$$\varphi = x^k y^m$$

$$\frac{U_\varphi}{\varphi} = \sqrt{\left(k\frac{U_x}{x}\right)^2 + \left(m\frac{U_y}{y}\right)^2}$$

（四）有效位数



12.2　　12.3　　12.24　　12.25　　……

有效数字　　准确数字和1~2位存疑数字的全体

有效位数　　从左至右数并去除无效零的个数得到的位数

第一个非零数字前的“0”

用于整数定位的“0”

有效位数的读取　　直读及估读——反映量具的准确度

有效位数运算规则

可靠数字与存疑数字的运算　（p.14）

常数及系数　取比测量值有效数字位数至少多1--2位

结果表示有效位数

A. 计算不确定度的情况

- **U取一（或二）位有效数字**

0.0611 → 0.06

0.0212 → 0.021

0.0236 → 0.024

0.0235 → 0.024

0.0245 → 0.024

- **$X_{佳}$的最后一位与U 对齐**

12.3157±0.024 → 12.316±0.024

- **$U / X_{佳}$取两位有效数字用%表示**

数据修约的进舍规则

“四舍五入”， “奇进偶不进”

B. 不进行不确定度估算的情况

加减运算 $1.1+13.321=14.4$

结果取到参与运算的数中末位的数量级最大的位

乘除运算 $1.11\times1.1=1.2$ (1.221)

结果有效位数与参算数中有效位数最少的位数大致相同

函数运算

误差传递公式计算误差，结果有效位数按末位与误差位取齐

中间过程运算结果多保留一至两位

数据修约规则

$4.3750 \longrightarrow 4.38$

"5" 4舍5入，奇进偶不进 $4.3850 \longrightarrow 4.38$

科学记数法 $M\times10^{\pm n}$ n是正整数 $1\leq M<10$,

$$104.30g=1.0430\times10^{2}g=1.0430\times10^{-1}kg$$

（五）实验数据处理方法

公式计算法

列表法

作图法（坐标纸作图）

1，坐标分度值

→ 反映有效数字

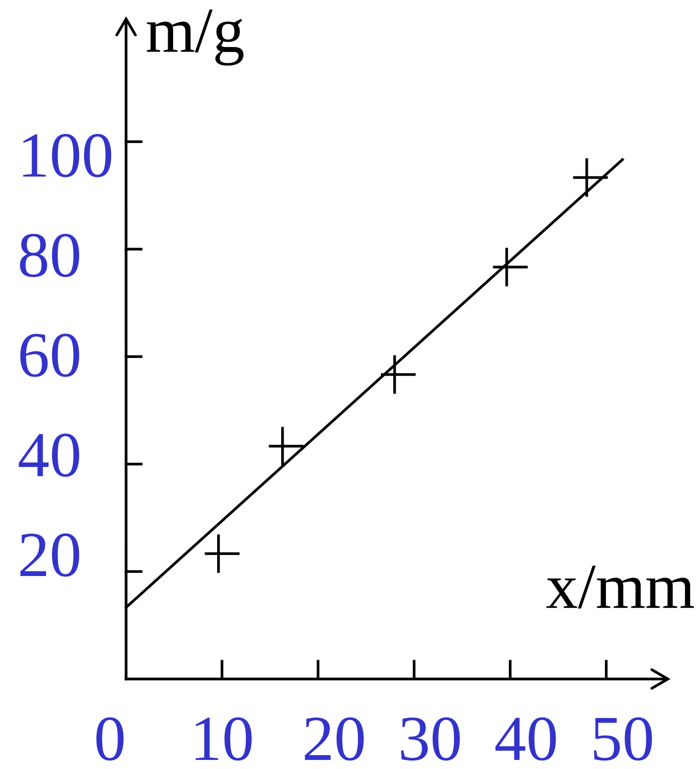
2，轴的名称及标注

3，实验点

4，连线

5，选点计算、说明

6，名称



弹簧伸长量x与悬挂质量m关系图

（六）直线拟合

最小二乘法

曲线改直线：

$$m = ae^{-bn}$$

$$\longrightarrow \ln m = \ln a - bn$$

直线拟合：

从观测到的数据（x_i, y_i）中求出一个误差最小的最佳经验式

$$y = a + bx$$

观测值y_i的残差 $\tilde{\Delta} y_i = y_i - (a + bx_i)$

最小二乘法原理：如各观测值的误差互相独立且服从同一正态分布，当残差的平方和为最小时，即得到最佳经验式

$$S = \sum (\tilde{\Delta} y_i)^2 = \sum [y_i - (a + bx_i)]^2 = \min$$

最小二乘法原理：如各观测值的误差互相独立且服从同一正态分布，当的残差的平方和为最小时，即得到最佳经验式

$$S=\sum(\tilde{\Delta} y_i)^2=\sum[y_i-(a+bx_i)]^2=\min$$

$$\begin{cases}\dfrac{\partial S}{\partial a}=-2\sum(y_i-a-bx_i)=0\\ \dfrac{\partial S}{\partial b}=-2\sum(y_i-a-bx_i)x_i=0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}a=\dfrac{\sum x_iy_i\sum x_i-\sum y_i\sum x_i^2}{(\sum x_i)^2-n\sum x_i^2}\\ b=\dfrac{\sum x_i\sum y_i-n\sum x_iy_i}{(\sum x_i)^2-n\sum x_i^2}\end{cases}$$

相关系数 $$r=\frac{\sum\Delta x_i\Delta y_i}{\sqrt{\sum(\Delta x_i)^2}\sqrt{\sum(\Delta y_i)^2}}$$

$$\Delta y_i=y_i-\bar{y}$$

$$\Delta x_i=x_i-\bar{x}$$

表征了两个物理量之间对于线性关系的符合程度。

直线拟合结果表示

$$a = a_0 \pm U_{a,A}$$

$$b = b_0 \pm U_{b,A}$$

$$U_{a,A} = t_{0.95}(\nu) \cdot s_a$$

$$U_{b,A} = t_{0.95}(\nu) \cdot s_b$$

$$\nu = n - 2$$

$$\left.\begin{aligned} s_y &= \sqrt{\frac{S}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum[y_i - (a + bx_i)]^2}{n-2}} \\ s_a &= s_y \sqrt{\frac{\bar{x}^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2} + \frac{1}{n}} \\ s_b &= \frac{s_y}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}} \end{aligned}\right\} \text{标准差}$$

EXCEL软件拟合

标准差表征拟合直线与实验数据点符合程度

（七）举例

0.05mm 游标卡尺测钢球直径10次

d(mm)	10.45	10.40	10.40	10.35	10.45	10.45	10.40	10.30	10.25	10.35
$d_i-\bar{d}$	0.07	0.02	0.02	0.03	0.07	0.07	0.02	0.08	0.13	0.03
$(d_i-\bar{d})^2$	0.0049	0.0004	0.0004	…..		…..		……	0.0169	0.0009

$$d_{佳}=\frac{\sum_{i=1}^{k}d_i}{k}=10.38(mm)$$

$$s=\sqrt{\frac{\sum(d_i-\bar{d})^2}{k-1}}=\sqrt{\frac{0.041}{10-1}}=0.067(mm)$$

$$U_d=\sqrt{s^2+\Delta_{仪}^2}$$

$$=\sqrt{0.067^2+0.05^2}=0.08(mm)$$

$$\boxed{d=10.38\pm0.08(mm)}$$

$$\boxed{d=(1.038\pm0.008)\times10(mm)}$$

$$\boxed{d=1.038\pm0.008(cm)}$$

- 绪论习题

- 仔细阅读第三章实验知识的介绍

- 预习第一次实验写出预习报告