上海科技大学
ShanghaiTech University

物理实验课绪论

目录

上海科技大学 ShanghaiTech University

上海科技大学
ShanghaiTech University

01 物理实验课的任务

- 实验能力
- 实验素养

02 实验数据的处理

03 物理实验课的安排

科学实验

① 选定目标，给出实验方案设计，
② 准备实验装置
③ 观察与测量，进行实验操作，记录实验数据，
④ 分析、整理数据结果，得出结论。

教学实验

上海科技大学
ShanghaiTech University

1.1 培养实验能力

- 理论运用能力
- 策划能力
- 操作能力
- 观察能力
- 数据收集能力
- 处理数据能力
- 实验报告能力

1.1 培养实验能力

- 能借助教材或仪器说明书正确使用常用仪器；
- 能现场用理论对实验现象进行分析；
- 能正确记录和处理实验数据，绘制实验曲线，撰写合格的实验报告。

1.2 提高实验素养

- 理论联系实际、实事求是的科学作风；
- 严肃认真的学习态度；
- 主动研究和创新的探索精神；
- 遵守纪律、团结协作和爱护公共财产的优良品德。

01 物理实验课的任务

02 实验数据的处理

03 物理实验课的安排

- 测量、误差与不确定度
- 实验数据的记录与处理

上海科技大学
ShanghaiTech University

2.1 测量、误差与不确定度

物理实验以测量为基础，所谓测量，就是用合适的工具或仪器，通过科学的方法，将被测物理量与已经标准化的同类物理量进行比较的过程，其比值即为被测物理量的测量值。

测量值 = 读数值 × 单位

2.1 测量、误差与不确定度

测量是人们对自然界中的现象和实体取得定量概念或数字表征的过程。

（1）直接测量 物理量可从仪表刻度直接读出。

例如米尺测长度、天平测质量、温度计测温度等。

（2）间接测量 物理量不能直接由仪表读出，而需要依据待测量和某些直接测量量间的函数关系式求出。

例如面积的测量、某地重力加速度的测量等。

2.1 测量、误差与不确定度

测量方法

（1）比较法

（2）积累与放大法：对实验中测量的微小物理量或待测的物理量进行选择，积累或放大有用的部分，相对压低不需要的部分，以提高测量的分辨率和灵敏度。

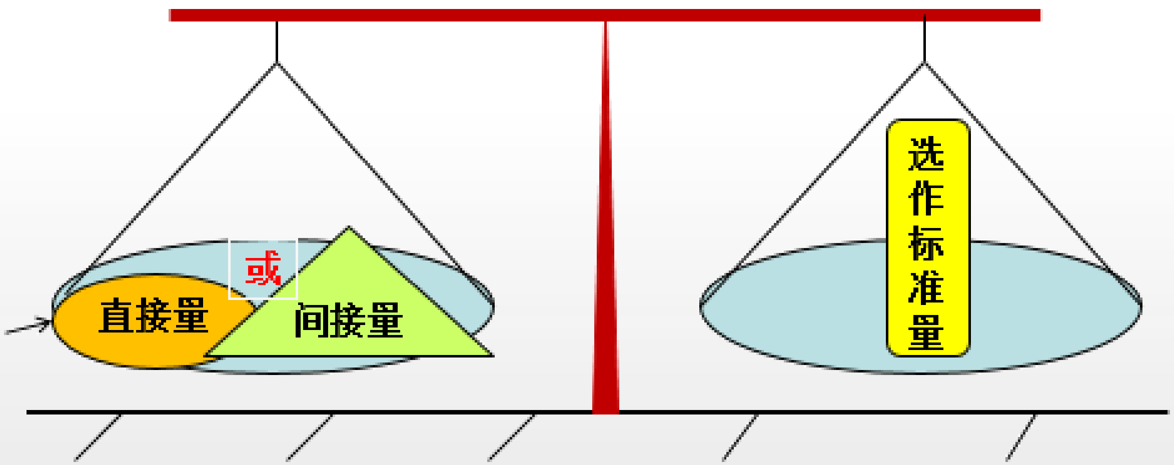
（3）转换测量法：将不易测量的物理量转换为可以测量的物理量。

（4）模拟法

2.1 测量、误差与不确定度

误差: $\Delta A = A - A_0$ →客观存在的真值

测量值A



比较结果会有差别 → 误差

2.1 测量、误差与不确定度

误差公理（必然性）：

实验结果都具有误差，误差自始自终存在于一切科学实验的过程之中。

原理 ⟶ 方法 ⟶ 操作

仪器 ⟶ 环境 ⟶ 对象

结果 ⟵ 处理 ⟵ 读数

2.1 测量、误差与不确定度

测量误差有两类

系统误差 ⟺ 偶然误差

2.1 测量、误差与不确定度

系统误差来源：

1、实验理论和方法上的不完善等原因。（理论公式的近似性）

2、测量仪器本身的有限精度或缺陷等原因。（仪器结构不完善）

3、环境的影响或未能按照规定的条件使用仪器等原因。

(环境条件的改变)

4、实验者的习惯与偏向引入的误差等原因。

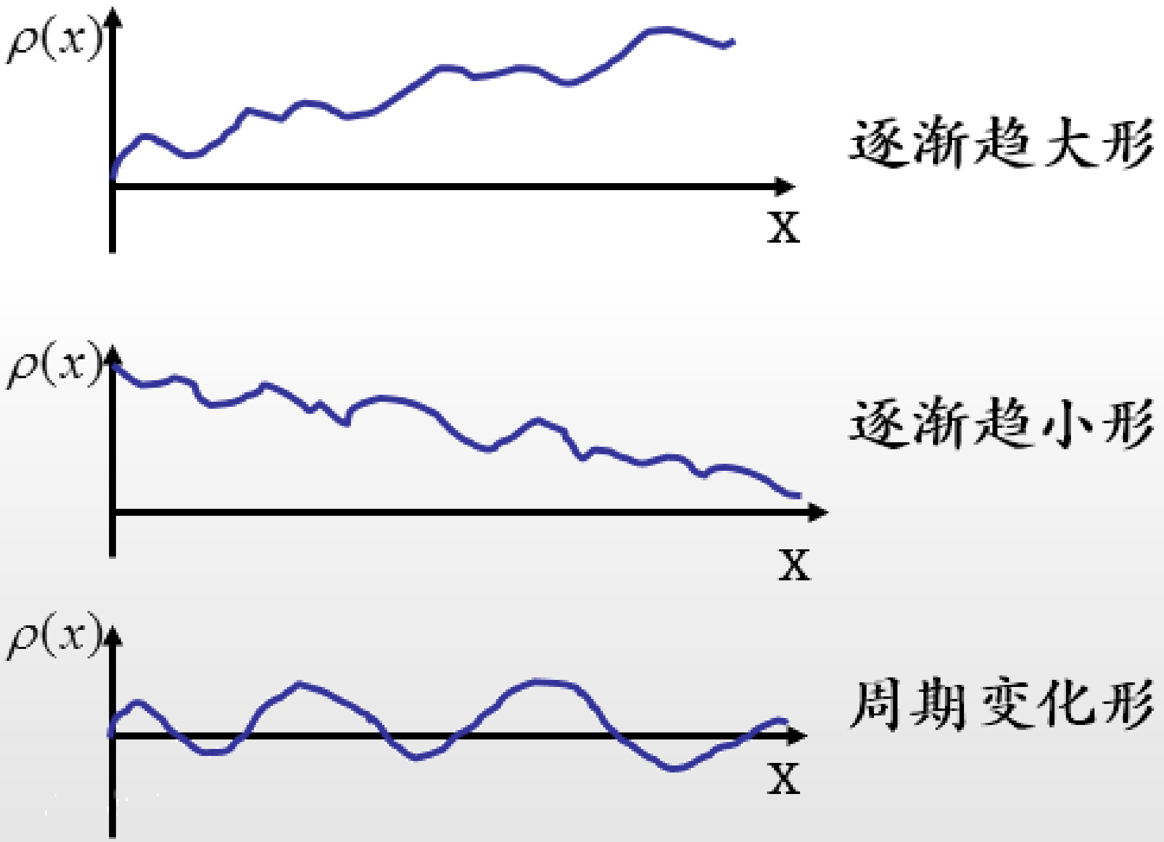
(测量者生理、心理因素的影响)

系统误差的特点是恒定性，不能用增加测量次数的方法使它减小，而应考虑从来源角度去纠正并加以减小误差。

上海科技大学 ShanghaiTech University

2.1 测量、误差与不确定度

系统误差常具有三种形式:



2.1 测量、误差与不确定度

偶然误差（随机误差）：

在相同条件下,由于偶然的不确定的因素造成每一次测量的无规则的涨落，测量值对真值的偏离时大时小、时正时负，并在忽略了系统误差后仍然如此，这类误差称为偶然误差或随机误差。

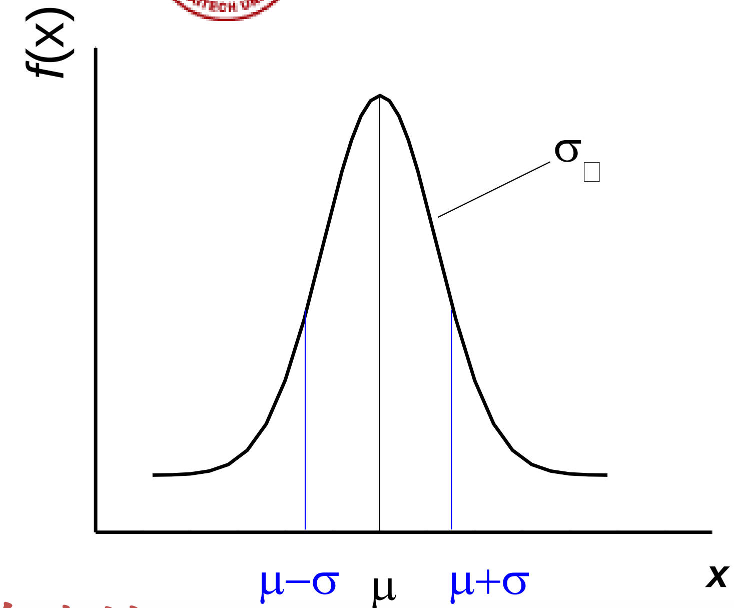
误差来源:

1、测量者感觉器官分辨能力上的影响。

2、测量过程中，实验条件和环境因素的微小的、无规则的起伏变化。

2.1 测量、误差与不确定度

偶然误差分布规律：正态分布



(1) 小误差出现的概率比大误差出现的概率大（**单峰性**）；

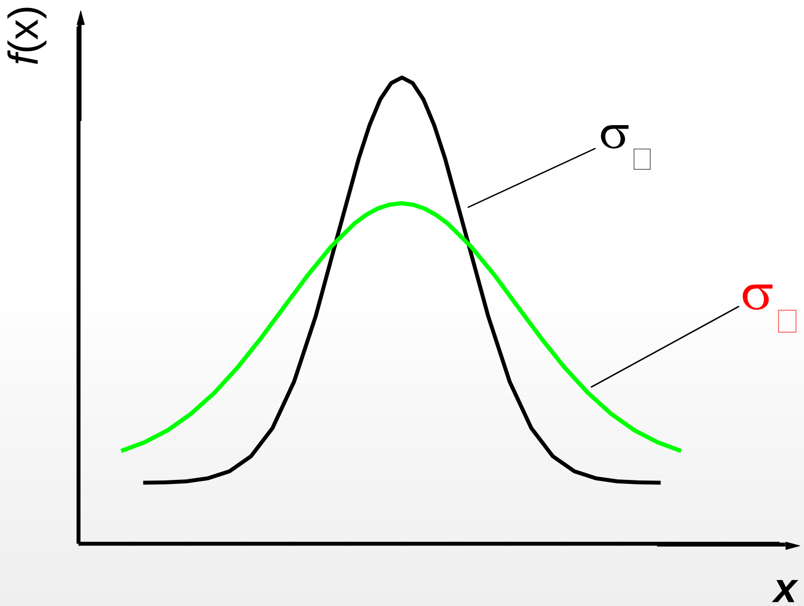
(2) 大小相等的正误差与负误差出现的机会均等（**对称性**）；

(3) 非常大的误差出现的概率几乎为零（**有界性**）；

(4) 测量次数很多时，正负误差相互抵消，误差代数和趋近零（**抵偿性**）。

2.1 测量、误差与不确定度

测量值的离散程度：标准差



$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\mu)^2}{n-1}}$$

μ 为真值

σ 为标准差

$f(x)$为x的分布函数

标准差小：表示测得值很密集，随机误差分布范围窄，测量的精密度高；

标准差大：表示测得值很分散，随机误差分布范围宽，测量的精密度低。

2.1 测量、误差与不确定度

直接测量标准差的估算：标准偏差

（1）算术平均值（近真值）

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i}{n}$$

（2）测量值的标准偏差

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(N_i - \overline{N})^2}{n-1}}$$

物理意义：任意一个测量值的误差

在（$-\sigma_N$, σ_N）间的概率为68.3%，

表征了测量值与平均值之间的离散度。

2.1 测量、误差与不确定度

（3）平均值的标准偏差 $\sigma_{\overline{N}} = \dfrac{\sigma_N}{\sqrt{n}} = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(N_i - \overline{N})^2}{n(n-1)}}$

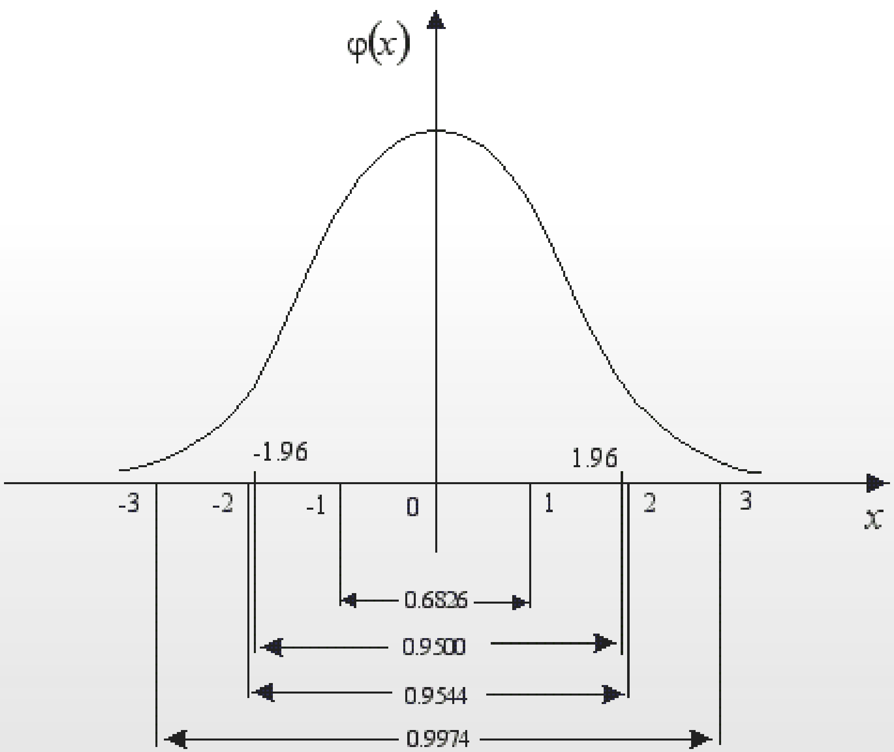
物理意义：平均值与真值的误差

在（-$\sigma_{\overline{N}}$, $\sigma_{\overline{N}}$）间的概率为68.3%。

上海科技大学
ShanghaiTech University

2.1 测量、误差与不确定度

置信区间与置信概率



测量值的误差在（$-\sigma_N, \sigma_N$）间的概率为68.3%，

其中我们定义置信概率P=68.3%时，置信区间为（$-\sigma_N, \sigma_N$），当要求更高的置信概率时，一般置信区间随之扩宽。

2.1 测量、误差与不确定度

补充：实验中粗差的剔除问题（为何要考虑粗差？）

1、拉依达准则 $|\Delta N_i| < 3\sigma_N$

2、肖维涅准则 $|\Delta N_i| < c\sigma_s$

n	5	6	7	8	9	10	11
C	1.65	1.75	1.80	1.86	1.92	1.96	2.00
N	12	13	14	15	16	17	18
c	2.03	2.07	2.10	2.13	2.15	2.18	2.20
n	19	20	25	30	40	50	60
c	2.22	2.24	2.33	2.39	2.50	2.58	2.64
n	70	80	90	100	110	150	200
c	2.69	2.73	2.77	2.81	2.84	2.93	3.02

2.1 测量、误差与不确定度

测量次数n的选取

n＜10时，$\sigma_{\overline{N}}$ 随n的增加明显减小；

n＞10时，$\sigma_{\overline{N}}$ 的减小越来越不明显，逐渐趋近于定值。

根据实际情况，一般测量次数取5~10次。

2.1 测量、误差与不确定度

间接测量的误差传递公式

设N是n个独立的直接测量量A,B,C,...,H的函数

$$N = f(A, B, C, \dots, H)$$

N的算术平均值为

$$\bar{N} = f(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots, \bar{H})$$

N的平均值的标准偏差（绝对误差）为

$$\sigma_{\bar{N}} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial A}\sigma_{\bar{A}}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\sigma_{\bar{B}}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial C}\sigma_{\bar{C}}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial H}\sigma_{\bar{H}}\right)^2}$$

N的相对误差为 $E = \frac{\sigma_{\bar{N}}}{\bar{N}}$

2.1 测量、误差与不确定度

函数关系	标准偏差传递公式
$N = A \pm B$	$\sigma_{\bar{N}} = \sqrt{(\sigma_{\bar{A}})^2 + (\sigma_{\bar{B}})^2}$
$N = A \cdot B$或$N = \frac{A}{B}$	$\frac{\sigma_{\bar{N}}}{\bar{N}} = \sqrt{(\frac{\sigma_{\bar{A}}}{\bar{A}})^2 + (\frac{\sigma_{\bar{B}}}{\bar{B}})^2}$
$N = k \cdot A$	$\sigma_{\bar{N}} = \lvert k \rvert \cdot \sigma_{\bar{A}}$
$N = A^p \cdot B^q$	$\frac{\sigma_{\bar{N}}}{\bar{N}} = \sqrt{(\frac{p\sigma_{\bar{A}}}{\bar{A}})^2 + (\frac{q\sigma_{\bar{B}}}{\bar{B}})^2}$
$N = \sin A$	$\sigma_{\bar{N}} = \lvert \cos A \rvert \cdot \sigma_{\bar{A}}$
$N = \cos A$	$\sigma_{\bar{N}} = \lvert \sin A \rvert \cdot \sigma_{\bar{A}}$
$N = \ln A$	$\sigma_{\bar{N}} = \frac{1}{A} \cdot \sigma_{\bar{A}}$

2.1 测量、误差与不确定度

测量结果的可靠程度：不确定度

产生的原因：

不同国家的误差评定方法不同、不同领域或不同人员对测量误差的处理方法也往往各有不同的见解。

前苏联：分别给出总的随机误差和总的系统误差两个技术指标，两者的合成问题由使用者根据具体情况自己考虑。

美国：有些国家基准也有以随机误差和系统误差之和作为其总误差，安全!

中国：采用方和根合成，“综合极限误差”。

用测量不确定度来统一评价测量结果的质量就是在这种背景下产生的。

2.1 测量、误差与不确定度

不确定度

概念：不确定度U是由于测量误差存在而对被测量值不能确定的程度。

意义：不确定度是一定置信概率下的误差限值，反映了可能存在的误差分布范围。

$$N=\bar{N}\pm U(\text{单位}),\quad U_r=\pm\frac{U}{\bar{N}}$$

$$h=(6.6260755\pm 0.0000040)\times 10^{-34} J\cdot s,\ \ U_r=\pm 0.60\times 10^{-6}$$

$$e=(1.60217733\pm 0.00000049)\times 10^{-19} J\cdot s,\ \ U_r=\pm 0.30\times 10^{-6}$$

2.1 测量、误差与不确定度

不确定度的表达

参照国家计量技术规范JJF 1001-1998“通用计量术语及定义” (1998)、以及JJF 1059-1999“测量不确定度评定与表示” (1999)，结合普通物理实验教学实际，通常采取一种简化方法进行不确定度表达。

$$U = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$$

2.1 测量、误差与不确定度

不确定度的组成

$$U = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$$

B 类分量 不能用统计学方法估算的分量，在物理实验中一般指仪器误差，通常，其表征值为

$$\Delta_B = P \cdot \Delta_{仪}$$

2.1 测量、误差与不确定度

仪器误差：

1 误差已注明的仪器误差。

2 误差未注明的仪器误差，约定如下：能对最小分度下一位进行估算的，取最小分度值的一半作为仪器误差；不能对最小分度下一位进行估算的仪器，取最小分度作为仪器误差。

2.1 测量、误差与不确定度

不确定度的组成

$$U = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$$

A 类分量的表征

$$\Delta_A = t_P \cdot \sigma_{\overline{N}}$$

t_p的选取与置信概率P的要求有关

2.1 测量、误差与不确定度

测量次数 n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	∞
$t_{0.683}$	1.32	1.20	1.14	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.00
$t_{0.90}$	2.92	2.35	2.13	2.02	1.94	1.90	1.86	1.83	1.81	1.65
$t_{0.95}$	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.36	2.31	2.26	2.23	1.96
$t_{0.98}$	6.96	4.54	3.75	3.36	3.14	3.00	2.90	2.82	2.76	2.33
$t_{0.99}$	9.93	5.84	4.60	4.03	3.71	3.50	3.36	3.25	3.17	2.58

例如选取n=6, P=95% → $t_{0.95}$=2.57

2.1 测量、误差与不确定度

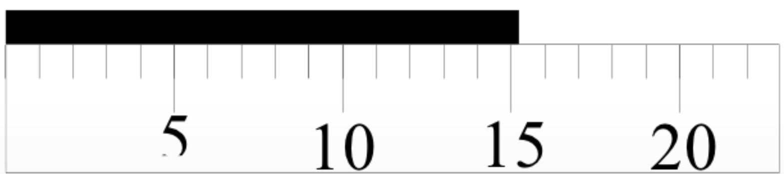
单次测量的的不确定度估计

根据仪器误差、测量方法、实验条件及实验者技术水平进行合理估计。一般情况下，简化做法为采用仪器误差或其数倍大小来表征单次测量的不确定度。

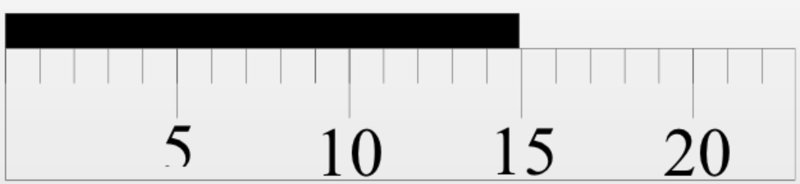
2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的读取

- 有效数字＝可靠数字＋可疑数字（一位）



- **15.2mm**



- **15.0mm**

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的读取

- 十进制单位换算中，不允许改变有效数字位数。

$1.3m = 1.3 \times 10^3$ 1300mm

科学记数法：$632.8nm = 0.6328\mu m = 6.328 \times 10^{-7}m$

$980cm/s^2$ $9.80m/s^2$ $0.00980km/s^2$ $9.8m/s^2$

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的运算

- 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与诸数中小数点后位数最少的一个相同。

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

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的运算

- 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。

```
   4.178
 ×10.1
--------
   4178
 4178
--------
 421978=42.2
```

请运用上述有效位数的运算法则，
指出该运算结果应当取几位有效数字？

$100.00 \div (25.00-5.0)=?$

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的运算

- 乘方开方：有效数字与其底的有效数字相同。

- 复杂运算（对数、三角函数等）结果的有效位数，要根据不确定度的精度来选取，即遵守最后一位与不确定度对齐的原则。

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字的运算

- 正确数不适用有效数字的运算规则。
- 常数取与测量值的有效数字相同的位数。

$$L=2\pi R$$

$$\pi=3.1415926\cdots\cdots\cdots\cdots$$

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字尾数的舍入规则

- 数值修约规则（按国家标准文件：GB8170-87）
- 在进行具体的数字运算前，按照一定的规则确定一致的位数，然后舍去某些数字后面多余的尾数的过程被称为数字修约，指导数字修约的具体规则被称为数字修约规则。

口诀：4舍6入5看右，5后有数进上去，

尾数为0向左看，左数奇进偶舍弃。

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字尾数的舍入规则

例：将下列数字全部修约为四位有效数字

1）多余尾数 < 5，1.11849999→1.118

2）多余尾数 > 5，1.11850001→1.119

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字尾数的舍入规则

3） 多余尾数= 5，（凑偶）：

1.11750000→1.118

1.11850000→1.118

2.2 实验数据的记录与处理

有效数字尾数的舍入规则

- 一次性修约到指定的位数，不可以进行数次修约，否则得到的结果也有可能是错误的。

例：将数字10.2749945001修约为四位有效数字。

一步到位：$10.2749945001 \rightarrow 10.27$（正确）。

错误结果:

$10.2749945001 \rightarrow 10.274995 \rightarrow 10.275 \rightarrow 10.28$

2.2 实验数据的记录与处理

数据的记录：包含测量值与不确定度

$$N = \bar{N} \pm U(\text{单位}),\ U_r = \pm \frac{U}{\bar{N}}$$

注意：

1.不确定度U通常取1位有效位数，特殊情况下可取2位有效位数。

2.记录测量值项与不确定度项在精度的表示上要相一致。

3.舍取按四舍五入的法则进行。

2.2 实验数据的记录与处理

假设 $\overline{N} = 1.234mm$

1: $U = 0.00\alpha mm$　　$N = (1.234 \pm 0.00\alpha)mm$

2: $U = 0.000\alpha mm$

- $\alpha \le 5$　　$N = (1.2340 \pm 0.000\alpha)mm$
- $\alpha \ge 6$　　$N = (1.234 \pm 0.001)mm$

3: $U = 0.0\alpha\beta mm$

- $3 \le \alpha \le 9$　　$N = (1.23 \pm 0.0\alpha)mm$
- $\alpha \le 2$　　$N = (1.234 \pm 0.0\alpha\beta)mm$

2.2 实验数据的记录与处理

小思考?

$$R=(12.12\pm0.1)\Omega$$

$$L=(12.1215\pm0.001)m$$

$$m=(12.1\pm0.02)g$$

$$V=(12.355\pm0.145)cm^3$$

错在哪里?

例：用米尺对某一长度测量10次，数据如下：L_i=63.57，63.58，63.55，63.56，63.56，63.59，63.55，63.54，63.57，63.57(单位:cm).记录测量结果。$\Delta_{仪}$=0.05cm，置信概率P取0.95.

1: $$\bar{L} = \frac{63.57+63.58+63.55+63.56+63.56+63.59+63.55+63.54+63.57+63.57}{10} = 63.564cm \approx 63.56cm$$

2: $$\sigma_L = \sqrt{\frac{(63.564-63.57)^2+(63.564-63.58)^2+\cdots+(63.564-63.57)^2}{(n-1)}} = 0.015cm$$

根据肖维涅准则（n=10,c取1.96），ΔL_i的取值应在（-0.030, 0.030）区间内，得出所有L_i均满足此条件，无粗差。

3: $$\Delta_A = t_{0.95}\cdot\sigma_{\bar{L}} = \frac{t_{0.95}\cdot\sigma_L}{\sqrt{10}} \approx 0.011cm$$

$$\Delta_B = 0.95\cdot\Delta_{仪} = 0.95\times 0.05 \approx 0.048cm$$

4: $$U = \sqrt{\Delta_A{}^2+\Delta_B{}^2} = \sqrt{0.011^2+0.048^2} \approx 0.05cm$$

$$L = \bar{L} \pm U = \left(63.56 \pm 0.05\right)cm$$

2.2 实验数据的记录与处理

数据处理的基本方法

（1） 列表法

特点与要求：

设计表格

排列顺序

记录方便

观看清楚

Δ_A

上海科技大学 ShanghaiTech University

2.2 实验数据的记录与处理

（1）列表法

测量次数	1	2	3	4	5	平均值	σ_L	Δ_A	Δ_B	U
样品直径 d (mm)										
样品质量 m (g)										

2.2 实验数据的记录与处理

数据处理的基本方法

(2)作图法

作图的基本要素：

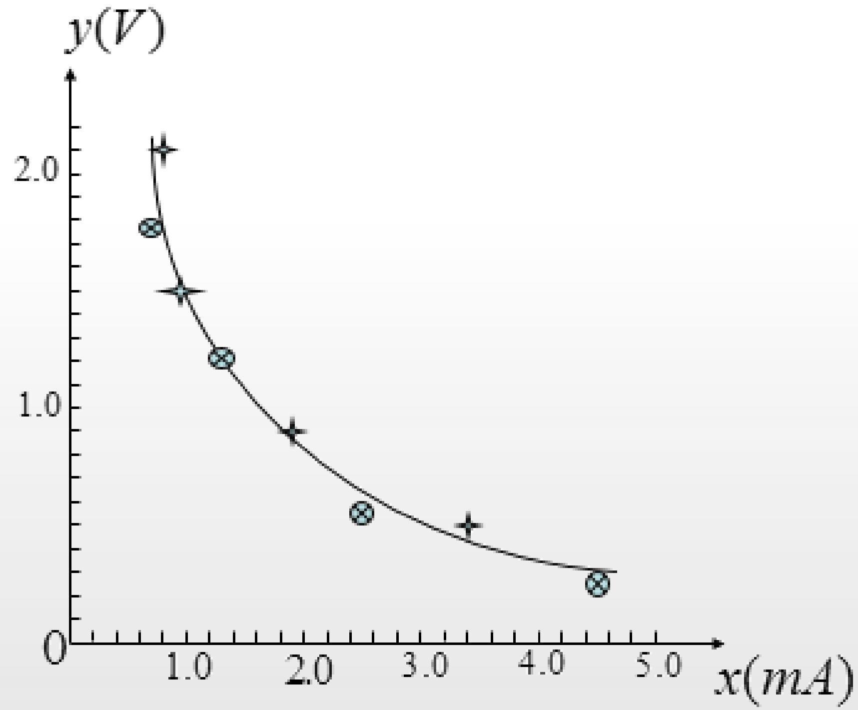
1.坐标

2.单位

3.分度取值

4.作点

5.描线

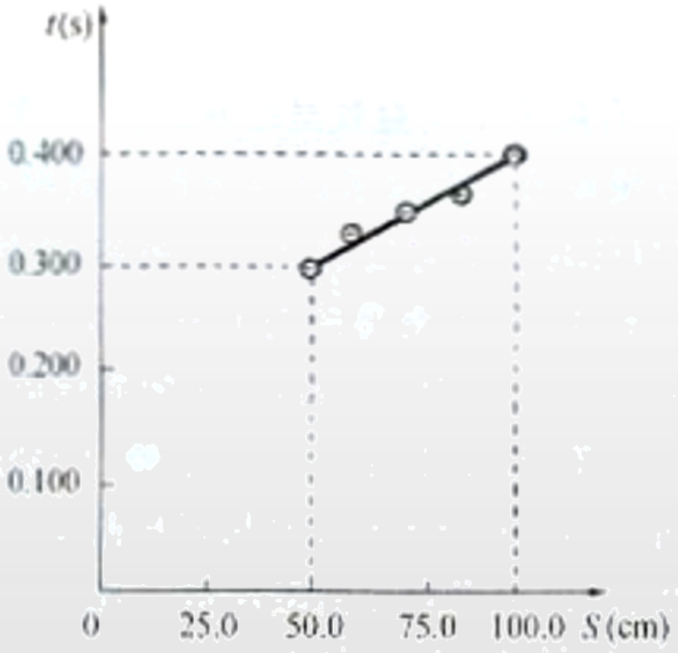


上海科技大学 ShanghaiTech University

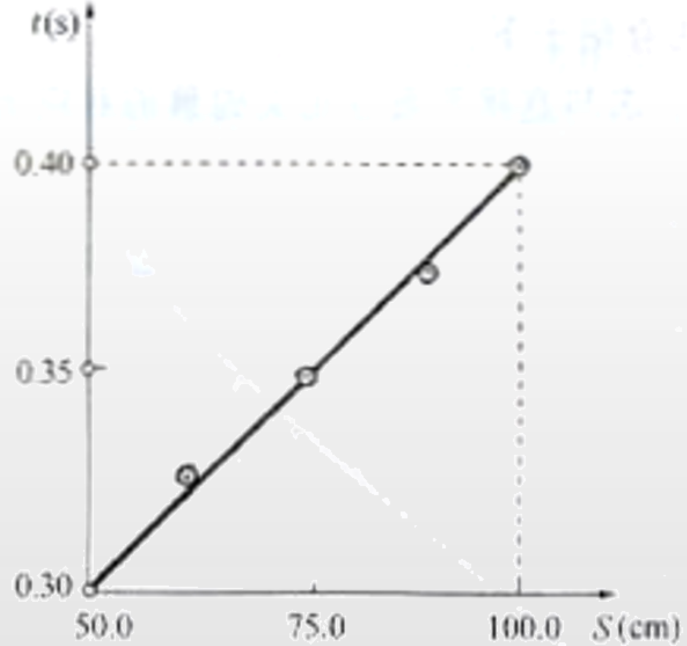
2.2 实验数据的记录与处理

（2）作图法

➢ 坐标轴的起点坐标不一定为零，原则是使作出的图线在整个图纸上占有大小合适的比例。



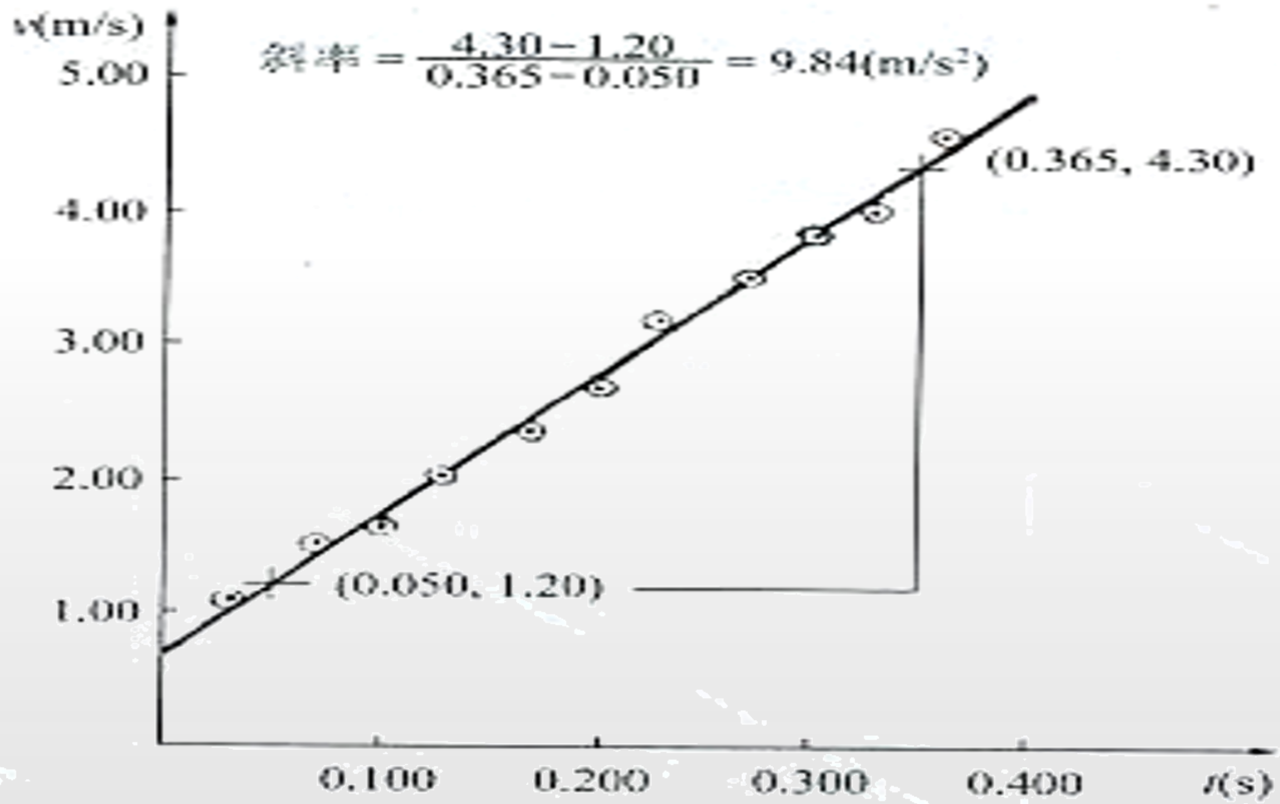
(a) 不正确



(b) 正确

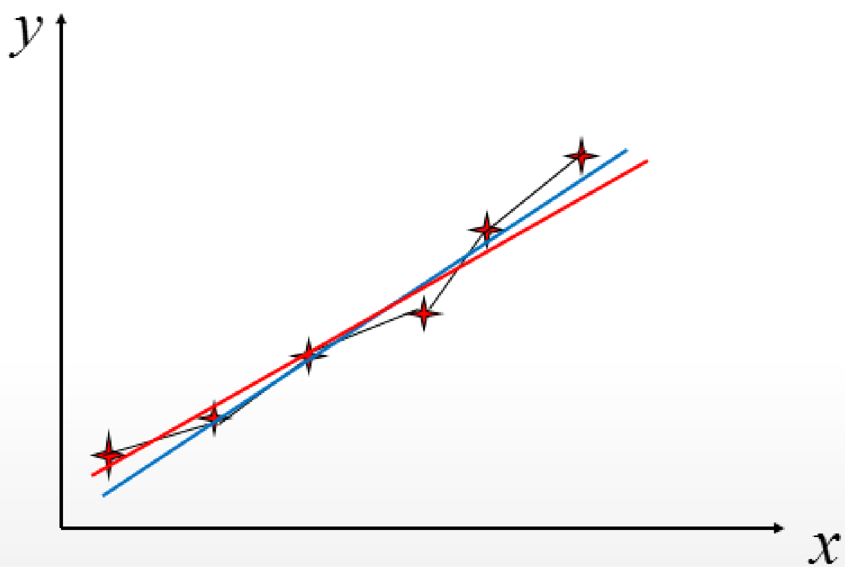
2.2 实验数据的记录与处理

曲线的描绘

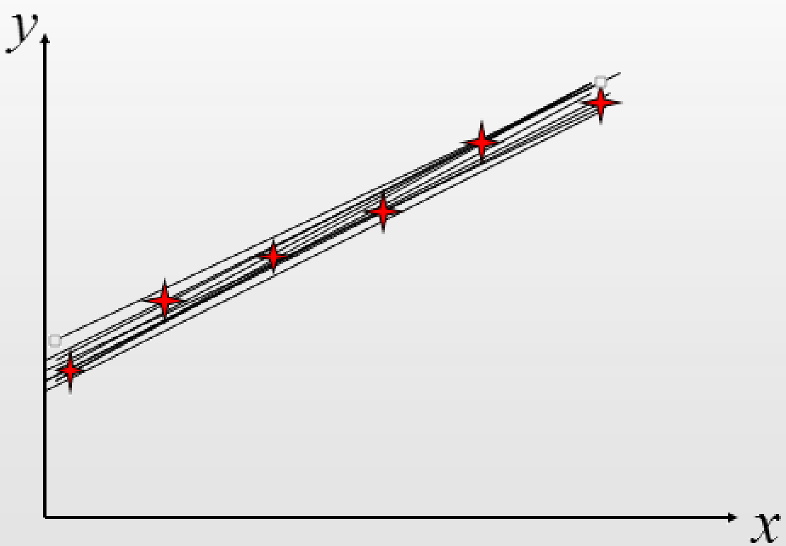


正确

2.2 实验数据的记录与处理



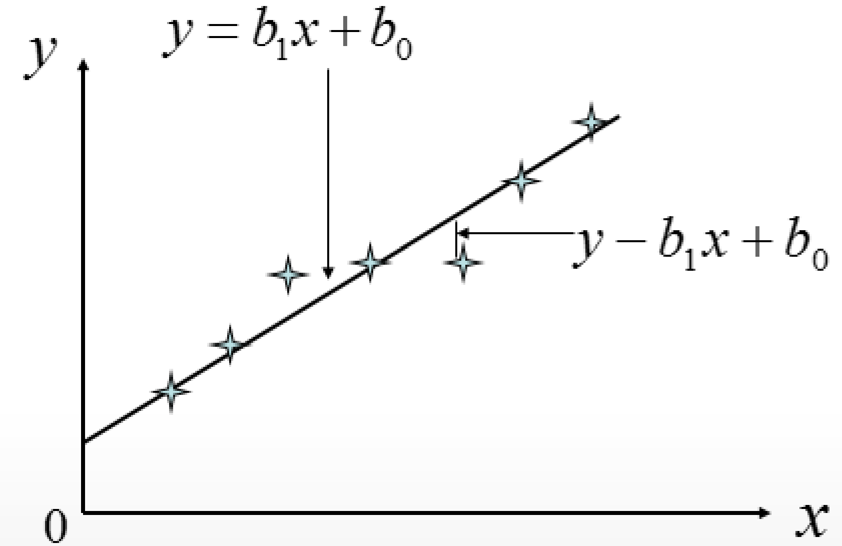
错误



2.2 实验数据的记录与处理

数据处理的基本方法

(3)最小二乘法（线性回归)



各测量点沿垂直于轴的方向到直线的距离的平方和为：

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{k}\left[y_i - \left(b_1x_i + b_0\right)\right]^2 \quad \text{最小}$$

2.2 实验数据的记录与处理

数据处理的基本方法

$$\begin{cases} b_1 = \dfrac{\bar{x}\cdot\bar{y}-\overline{xy}}{\bar{x}^2-\overline{x^2}} \\ \\ b_0 = \dfrac{\bar{x}\cdot\overline{xy}-\overline{x^2}\cdot\bar{y}}{\bar{x}^2-\overline{x^2}} \end{cases}$$

2.2 实验数据的记录与处理

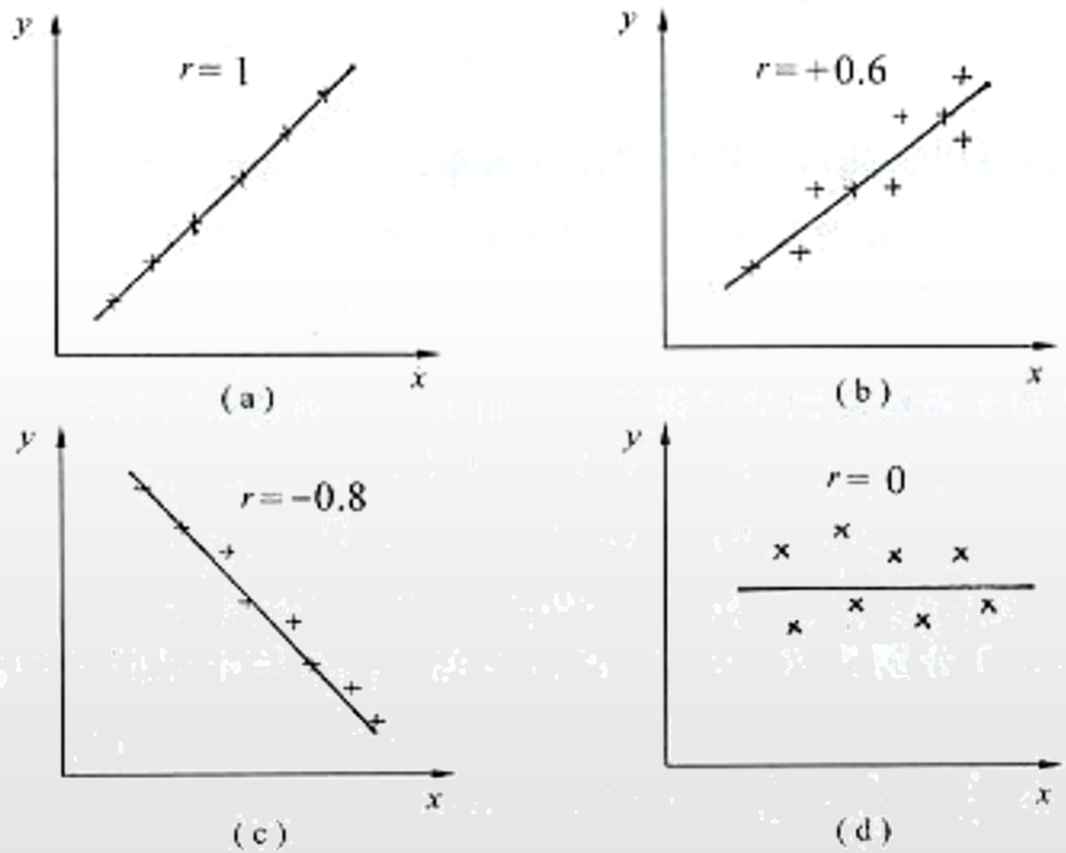
相关系数r

- 对于同一组数据，不同的人会采取不同的函数形式，为了判定函数关系的合理性，通常需要进一步确定相关系数。

$$r = \frac{\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y}}{\sqrt{\left(\overline{x^2} - \overline{x}^2\right)\left(\overline{y^2} - \overline{y}^2\right)}}$$

2.2 实验数据的记录与处理

相关系数*r*



2.2 实验数据的记录与处理

相关系数*r*

n	3	4	5	6	7	8	9
$r_{临}$	0. 998	0. 990	0. 959	0. 917	0. 874	0. 834	0. 798
n	10	11	12	13	14	15	16
$r_{临}$	0. 765	0. 735	0. 708	0. 684	0. 661	0. 641	0. 623
n	17	18	19	20	21	22	
$r_{临}$	0. 606	0. 590	0. 575	0. 561	0. 549	0. 537	

01 物理实验课的任务

02 实验数据的处理

03 物理实验课的安排

3.1 课程安排

第 1 周：助教招聘

第 2 ~ 3 周：

绪论（实验安全教育、课程相关介绍、误差与分析等）

绪论答疑/实验预习/助教培训

第4-13周：

10个循环实验

第14周：

答疑/补做

第15周： 随堂操作考核（共30分钟）

3.1 课程安排

- 单摆周期测量
- 测定物体的比热容
- 杨氏模量的测量
- 密度的测量
- 落球法测液体粘滞系数
- 弹簧谐振子周期测量
- 液体表面张力的测定
- 刚体转动惯量的测量
- 弦线上驻波研究（Y/N,无报告要求)
- 声速测量（Y/N，无报告要求)

3.1 课程安排

学生安全守则

① 学习实验室各项规章制度和安全注意事项并签写安全承诺书。

② 不可将与实验无关的各类物品带入实验室，请维护好实验室内安静和整洁的环境。

③ 爱护设备、器材、资源。

④ 实验前预习，无预习报告者，暂且推迟进入实验室做实验。

⑤ 实验前检查仪器设备，请勿动用他组器件。

3.1 课程安排

学生安全守则

⑥ 实验中要集中精力，仔细观察现象，如实记录本人测试得到的各种实验数据，积极思考和分析实验的结果。

⑦ 实验中要注意安全，听从教师和实验技术人员的指导，若发生事故应及时报告指导教师。

⑧ 正常实验过程中，学生只能在自己的实验区活动。除规定的小组实验外，均应独立完成。禁止打扰或参与其他小组或个人的实验。经指导老师认定完成实验后应迅速退场。

⑨ 实验完毕，应做好各类仪器的整理、复原及实验台面的清洁工作后方可离开实验室。

3.2 课程要求

1. 预习报告

- **实验报告纸上手写预习报告(不要抄讲义，尽量简洁明了):**

（1）实验目的

（2）实验仪器

（3）实验原理

（4）实验内容

- **请准备好实验记录表格来记录实验数据。**

做实验时将预习报告带到教室，请指导老师或助教签字。

2. 实验数据与结果

实验记录：

纸质版的实验记录需在课程结束后找老师或助教签字，然后附在实验报告中一起上交。**纸质版实验记录需签字后钉入报告。**

数据分析与结果：

数据处理过程（清楚、完整）与误差分析（不同的实验有不同的误差表达方式）等。得出实验结果（是否求出待测量？是否验证成功？是否得出性能较好地装置等等？）

实验记录

1 圆环外径 D_1 与 D_2 的测定

次数	1	2	3	4	5
D_1 (10^{-3}m)					
D_2 (10^{-3}m)					

求 $\overline{D}$，以及 $\sigma_{\overline{D}}$。

2 力敏传感器定标，$U=B\cdot f$。定标时 $f=mg$，上海地区 g=9.794N/kg.

砝码质量 m/(10^{-3}kg)	0.500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500
电压 U/(10^{-3}V)							

作 U-f 拟合直线，求 B。

3 ΔU 的测定，求出α。

测量次数	U_1/(10^{-3}V)	U_2/(10^{-3}V)	ΔU/(10^{-3}V)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

根据理论公式，求出α。

3. 实验思考

思考题：

✓当堂在活页纸上完成交给老师或助教，开卷。

✓题目当堂公布，通常一个实验一道思考题。

对实验方法、实验结果的思考（自主选择，非必做）：

写在报告最后部分

实验报告的写作时间为一周，上课时应带上前一次实验的实验报告！

注意：请事假必须提交假条，病假提供医院假条或病历复印页！

4．讨论分析（对实验的总结）

实验报告的完整性必不可少的一部分：

实验报告的层次：

1. 完整性（基本完成）
2. 规范性（有规范的完成）
3. 逻辑性（完整规范逻辑严密）
4. 建设性（前三者达成基础上的拓展）

3.2 课程要求

成绩组成：

- 8个实验报告：80%
- 2个必做但不提交实验报告的实验：每缺勤一个扣10分。
- 实验操作考核：20%

关于期末实验操作随堂考核： 安排在最后一周随堂，会提前1~2周告知大家考核项目，给大家充足的预习时间。

接下来
加入班级QQ群

A练习题

1 运用有效位数的运算法则，指出下列各式运算结果应当取几位有效位数？

$$\frac{99.3}{2.0002} \qquad \frac{6.5+8.43}{133.75-109.8} \qquad \frac{1.362\times 840}{110.75-100.6}-28.6$$

2 指出错误并改正

长度L=（38.43±0.85）cm

质量m=（64.215±0.01）g

B练习题

1 运用有效位数的运算法则，指出下列各式运算结果应当取几位有效位数？

98.754+1.6

15.6-0.0025

50.00×（19.72-9.7）÷（100+2.00 × 10^2）

600 ÷200

400 ×3

2 指出错误并改正

长度L=（12.0631±0.03）cm

质量m=（618600±600）g

上海科技大学
ShanghaiTech University

祝大家愉快学习顺利！