大学物理实验绪论

哈尔滨工业大学（深圳）
理学院
物理实验中心

大学物理实验教学QQ群

通信专业

自动化专业

计算机专业

光电、机械、电气、机器人、能源、材料、环境、土木

物理实验绪论课内容

1、物理实验课的地位与任务

2、物理实验课主要教学环节和要求

3、测量误差和不确定度表示

4、有效数字及其处理

5、实验数据处理

6、物理学科竞赛介绍

中国大学生物理学术竞赛（CUPT）

全国大学生物理实验竞赛(创新)

绪论作业：3-7，9

1、物理实验课程的地位和任务

一、 《物理实验》是高等学校理工科各专业学生一门**独立的必修基础课程**（我校每年授课学生1000人以上），是学生进入大学后系统地学习实验方法和实验技能的开端，在培养科学工作者的良好素质及科学世界观方面起着不可替代的重要作用。

二、物理实验作为一门独立的基础课，它的目的和任务是：

1、物理实验课程的地位和任务

（1）培养学生的基本科学实验技能、科学思维和创新意识，使学生掌握科学实验基本方法，提高科学实验能力；

（2）能够正确记录和处理实验数据、运用物理学理论对实验结果进行初步分析和判断，通过绘制曲线说明实验结果，撰写出合格的实验报告；

1、物理实验课程的地位和任务

（3）能够完成简单的设计性实验；

三、《物理实验》要使学生养成：

（1）理论联系实际和实事求是的科学作风；

（2）严肃认真的工作态度；

（3）遵守纪律、团结协作和爱护公共财物的优良品德；

（4）热爱科学，勇于创新，力戒浮躁，讲究诚信的科学信仰；

2、物理实验课程的主要教学环节

序号	实验项目	上课地点	学时数
1	表面张力系数测量实验	T5801	2
2	液体黏度的测定	T5706	2
3	惠斯通电桥和伏安特性测量	T5805	2
4	霍尔效应	T5803	4
5	DIY实验-磁耦合共振式无线电力传输实验	T5703	4
6	薄透镜焦距的测定	T5810	2
7	空气中声速的测量	T5711	2
8	用示波器观测磁滞回线	T5806	2
9	密立根油滴实验	T5709	4
10	拉伸法测杨氏模量	T5808	2
11	迈克逊干涉仪	T5707	4
12	太阳能电池的基本特性研究	T5707	2

完成≥20学时实验课时，自由选择

选课系统将于2023年9月9日开放，具体通知将在QQ教学群内发布

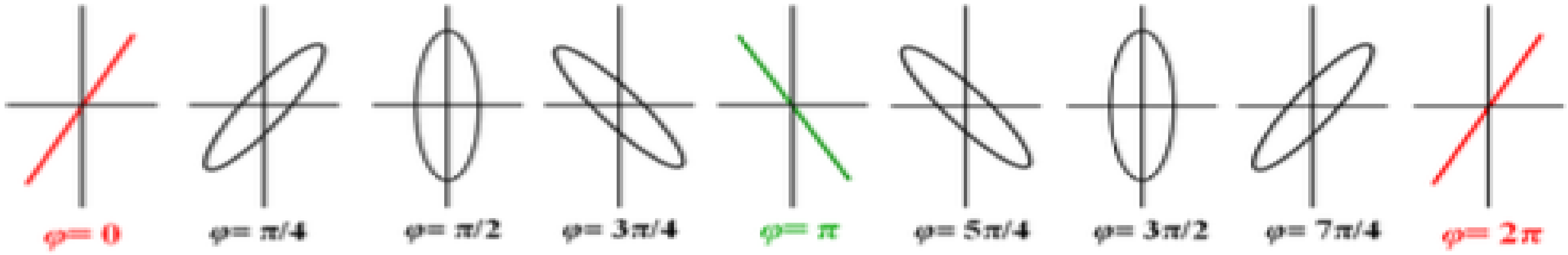
班号__________ **学号**__________ **姓名**__________ **教师签字**__________

实验日期__________ **组号**__________ **预习成绩**__________ **总成绩**__________

实验名称 声速的测量

一. 实验预习

相位比较法测量声速实验中，示波器上调出李萨如图形后，改变换能器的间距，连续记录出现正斜率和负斜率直线时接收器的位置（如下图所示），记录了 10 个位置数据 x_i（i=1, 2, 3, ……, 9, 10），所用声波频率为 f，如下表所示，请用逐差法处理数据，推导出声速 v 的表达式。



相位比较法测空气中声速，频率 f=_____

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2、

二

➢

➢

➢

二、实验现象及原始数据记录

极值法（驻波法）测空气中声速，温度 t=______℃，频率 f=______kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_i (mm)										

相位比较法测空气中声速，温度 t=______℃，频率 f=______kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_i (mm)										

波形移动法测空气中声速，温度 t=______℃，频率 f=______kHz

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_i (mm)										

时差法测空气中声速，温度 t=______℃

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_i (mm)										
t_i (μs)										

时差法测固体中声速，温度 t=______℃

次数	1	2	3	4	5	6
材质						
l_i (mm)						
t_i (μs)						

教师	姓名
签字	

上课

始数

实

2、物理实验课程的主要教学环节

三、 课后实验数据处理和总结 （占4分）

- 实验后要对实验数据及时进行处理，并在实验报告中给出数据处理过程及结果：包括计算所用公式，计算中间过程（要遵循有效数字的运算规则），要用标准不确定度评估测量结果的可靠性，要有作图；

2、物理实验课程的主要教学环节

➢ 注意：本节绪论课的练习（10分），在第一次上实验课时交给该任课老师，其分数计入总评成绩；

四、讨论和回答问题（1分）：

要对实验中观察到的现象、实验中存在的误差进行分析讨论、并回答思考题，还可以对实验本身的设计方案、实验仪器的改进等提出建设性意见；

2、物理实验课程的主要教学环节

六、实验成绩的评定

- 实验成绩由所有报告成绩加权平均；

*每个实验报告满分为10分，如A同学所选项目项目22学时，则成绩为：

实验项目	学时数	得分
A	2	9
B	2	8
C	4	10
D	2	8
E	2	8
F	4	7
G	4	7
H	2	6

$$S=\left(\frac{2\times 9}{22}+\frac{2\times 8}{22}+\frac{4\times 10}{22}+\cdots\right)\times 10$$
$$=79$$

2、物理实验课程的主要教学环节

- 抄袭、篡改、拼凑实验数据，经查实一律记0分；
- 请假要有学院教学院长签字盖章才能有效；
- 期末统计，未做实验或未做够实验学时（低于20学时）的同学无期末成绩，下学年重修！

2、物理实验课程的主要教学环节

七、实验报告提交

- 做完实验后，两周内应将实验报告的文档(PDF版)提交至报告收件箱(提交网址后续公布)，预习部分需要手写.

八、注意：

- **按时上课，迟到30分钟以内，扣实验报告1分，30分钟以上，不准上课；**上课时间： 按选课时间
- 图表要用工具绘制，实验曲线需用坐标纸（或计算机）画

3、测量误差和不确定度表示

第一节、测量及其分类

- 测量就是在一定条件下使用具有计量标准单位的计量仪器对被测物理量进行比较，从而确定被测量的数值和单位。
- 直接测量

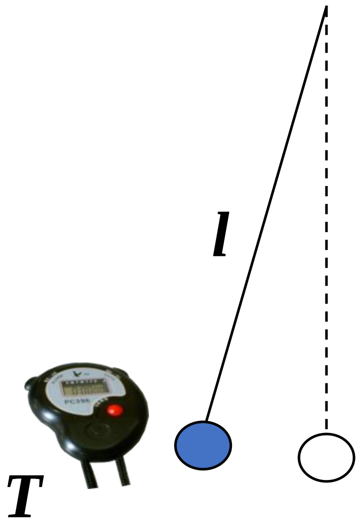
  是使用仪器或量具，直接测得被测量的量值的测量。

3、测量误差和不确定度表示

➤ 间接测量

通过直接测量量，根据某一函数关系把待测量计算出来的测量，如

$$g = (4\pi^2 l)/T^2$$



➤ 误差

测量误差　测量值　真值

$$\Delta A = A - A_0$$

称“绝对误差”

$$E = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100\%$$

称“相对误差”

•3、测量误差和不确定度表

➢ 约定真值

被测量的真值是一个理想概念，一般说来是不可知的，在实际测量中，常用被测量的算术平均值代替真值，称为约定真值$\bar{A}$。此时，误差可表示为：

$$\Delta A = A - \bar{A}$$

称“绝对偏差”

$$E = \frac{\Delta A}{\bar{A}} \times 100\%$$

称“百分误差”

3、测量误差和不确定度表示

第二节、误差的分类

系统误差　随机误差（随机误差）

第三节、系统误差

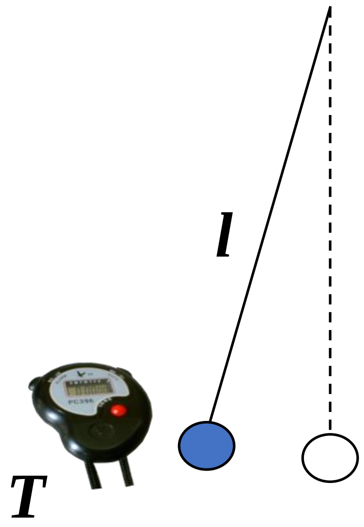
系统误差是由于实验系统的原因，在测量过程中造成的误差；包括仪器误差、环境误差、方法误差、个人误差；

➢特点：误差的大小和符号总是保持恒定，或按一定规律以可约定的方式变化；

3、测量误差和不确定度表示

➢消除方法：

- ➢ 理论分析，根据实验原理改善实验方法；例：用单摆测量重力加速度， 当 $\theta \leq 5°$ $g = \dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$



- ➢ 通过数据分析，对经验公式的加以修正；
- ➢ 调整仪器，例如电表的零点误差，接入电路前，先调机械零点。

电表指针不在零点

3、测量误差和不确定度表示

第四节、随机误差：

- 随机误差是由某些偶然的或不确定的因素，在测量过程中造成的误差。

- 特点：随机误差的量值和符号以不可约定的方式变化着，对每次测量值来说，其变化是无规则的，但对大量测量值，其变化则服从确定的统计分布（正态分布）规律。

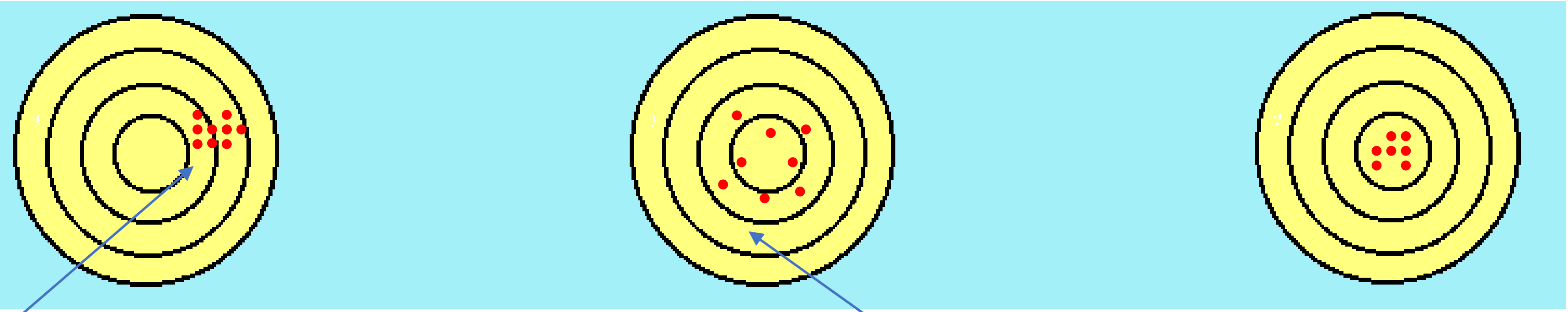
3、测量误差和不确定度表示

用弹着点的分布来类比测量过程中的误差

精密度高 正确度不高

正确度高 精密度不高

精密度高 正确度高



a b c

系统误差影响

随机误差影响

➢消除随机误差的方法：在相同条件下，增加测量次数。

3、测量误差和不确定度表示

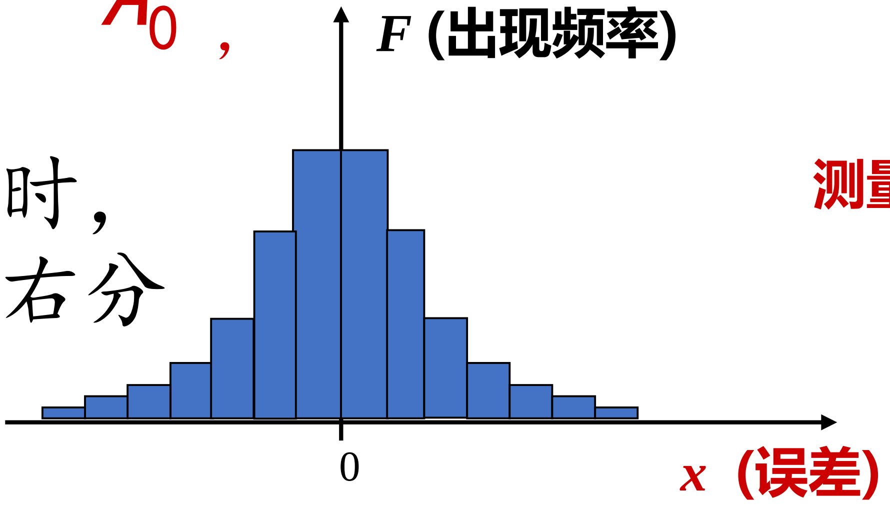
➢ 随机误差的正态分布规律：

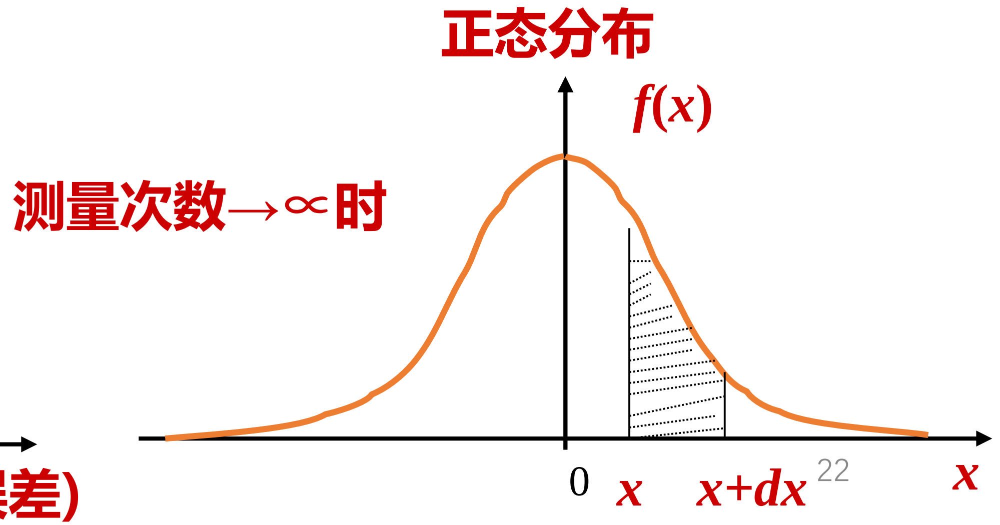
在相同条件下，对同一物理量 A 进行多次测量，

得 $A_1, A_2, A_3, \ldots A_n$， 设真值为 A_0，

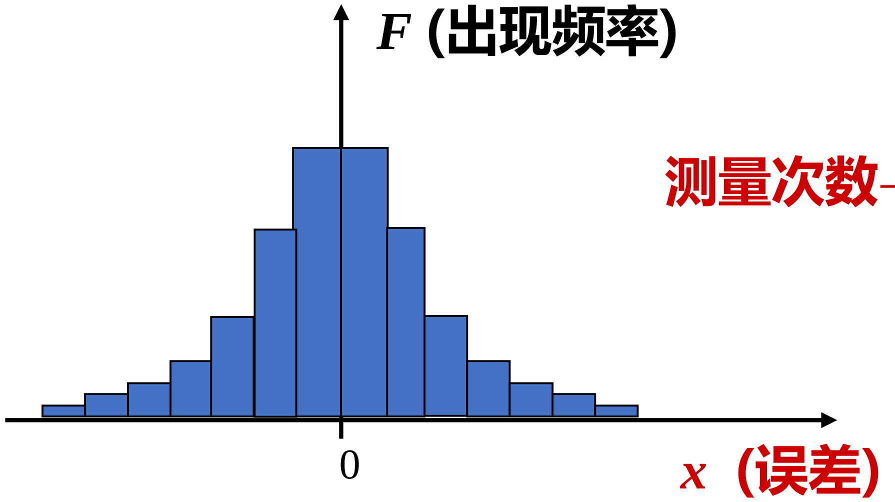
测量中排除了系统误差和粗大误差，则各次测量的误差为：$x_i = A_i - A_0$，

当测量次数较多时，测量误差x 有如右分布规律：

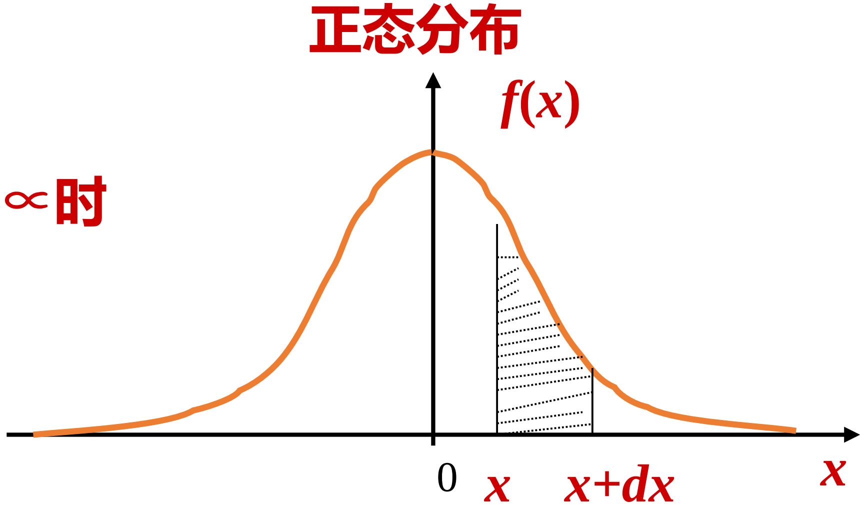




3、测量误差和不确定度表示



测量次数→∝时



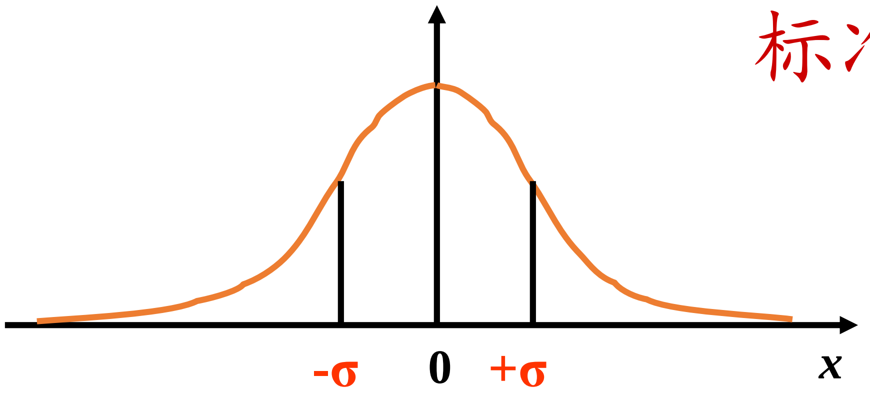
$$f(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

f(x) — 误差的概率密度分布函数

f(x)dx—误差出现在x—x+dx 之间的概率

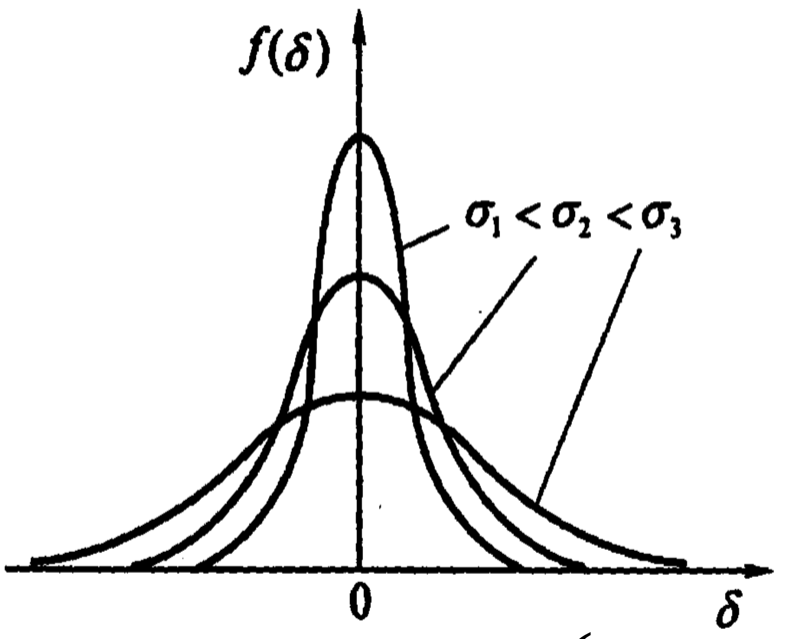
特点：小误差概率大；正负误差出现概率一样

3、测量误差和不确定度表示



标准误差 σ —— 评价测量的精密程度

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(A_i - A_0)^2}$$



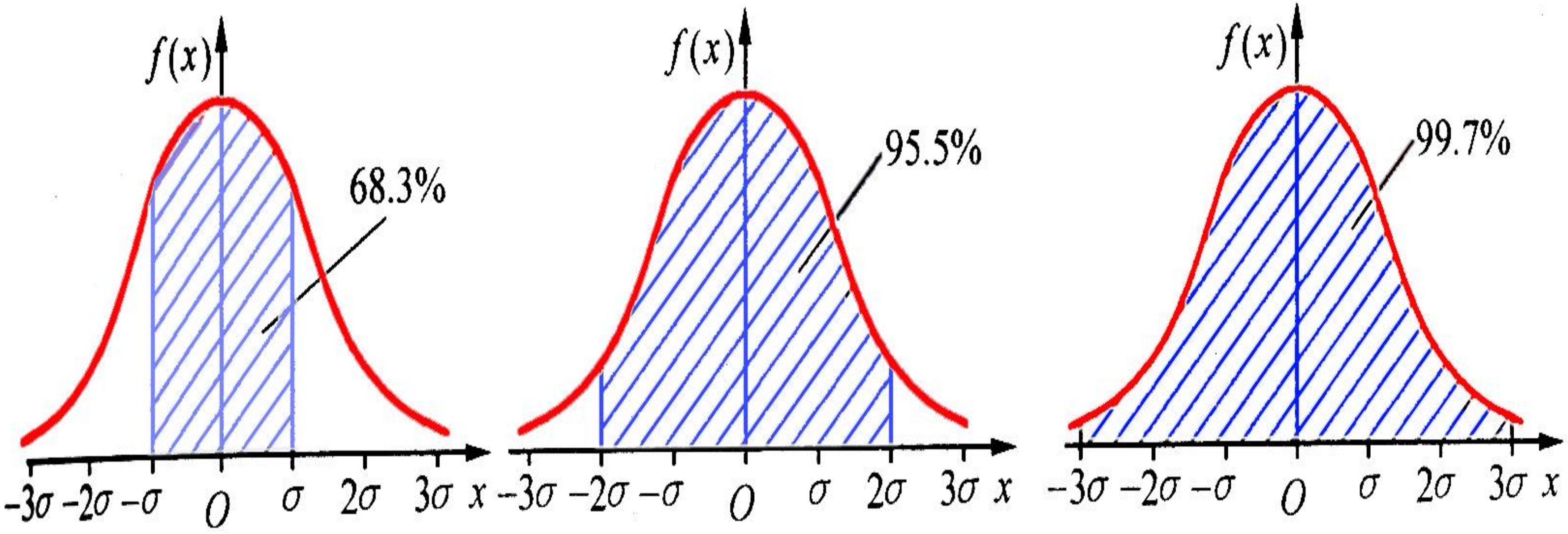
$(n \to \infty)$

$$P = \int_{-\sigma}^{+\sigma} f(x)dx = 0.683$$

[-σ, σ]: 置信区间

σ 越大，曲线越坡，误差大的次数越多

3、测量误差和不确定度表示



置信区间[-σ,σ]; **[-2σ,2σ] ;** **[-3σ,3σ]**

置信概率68.3%; **95.5%;** **99.7%**

注意使用条件：（1）无限次测量，实际上只能是有限次测量；

（2）已知真值，但不知道；

3、测量误差和不确定度表示

➢ 测量结果的误差（或置信区间）估算

理论上用标准误差 $\sigma = \sqrt{\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(A_i - A_0)^2}$ $\begin{cases} n \to \infty \\ A_0 \text{已知} \end{cases}$

实验中用标准偏差 $S = \sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}{n-1}}$ $\begin{cases} n \to 3\sim5\text{次} \\ \bar{A}\text{代替}A_0 \end{cases}$

标准偏差表示测量列中的测量值A_i相对于测量值的算术平均值$\bar{A}$的分布情况。

3、测量误差和不确定度表示

- 对A的有限次测量的算术平均值$\bar{A}$也是一个随机变量；
  当实验进行k组测量时，可得到$\bar{A}_0$，$\bar{A}_1$，$\bar{A}_2 \cdots \bar{A}_k$：
  可用测量列算术平均值的标准偏差$S_{\bar{A}}$来进行误差估计

$$S_{\bar{A}} \text{可证明} = \frac{S_A}{\sqrt{n}}$$

$$S_{\bar{A}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}}$$

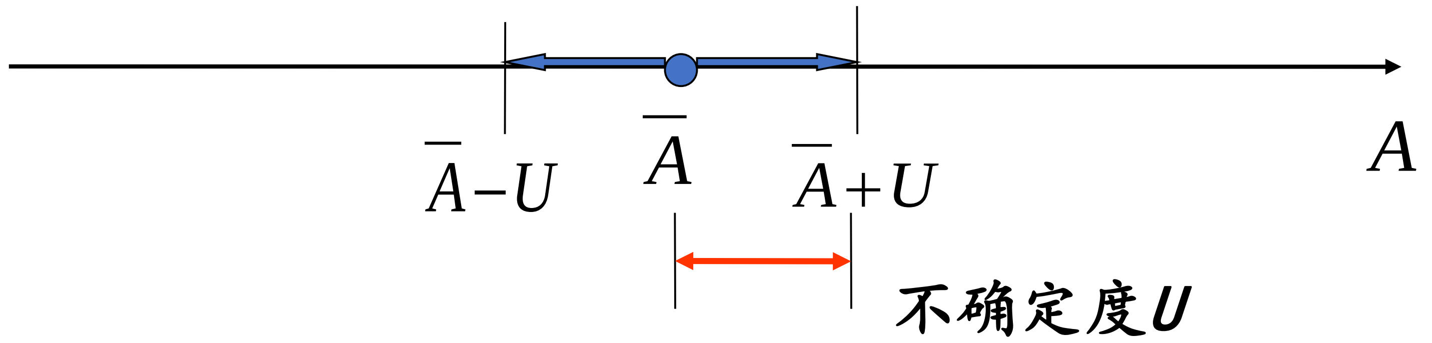
- $S_{\bar{A}}$是对测量结果的可靠性的估计。
- 当平均值的标准偏差为 $S_{\bar{A}}$ 时，平均值误差落在$(-S_{\bar{A}}, +S_{\bar{A}})$区间内的概率为68.3%。本实验课中，指定采用这种规范。

3、测量误差和不确定度表示

第五节　测量结果的不确定度

- 不确定度是指由于测量误差存在，对测量结果不能确定的程度；

A_0 以某一概率落到 $\overline{A}\pm U$ 范围内



- **不确定度提供测量结果的值的范围（或区间），使被测量的值能以一定的概率位于其中；**
- **不确定度的大小决定了测量结果的使用价值；**

3、测量误差和不确定度表示

- 不确定度*U*主要来源于两种因素，形成两类不确定度的分量

（1）不确定度的A类分量 S_i：

A类不确定度分量是可以用统计的方法来计算的不确定度。

定义算术平均值的标准偏差为A类标准不确定度，即：

$$S_i = S_{\bar{A}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}}$$

3、测量误差和不确定度表示

（2）不确定度的B类分量

- B类不确定度比较复杂，是只可用非统计的方法估算的不确定度；
- 在本课中主要考虑由仪器误差$\Delta_{仪}$引起的B类不确定度；
- $\Delta_{仪}$指计量器具的示值误差，一般取仪器最小分度值的一半，或者是按仪表准确度等级算得的最大基本误差，$\Delta_{仪} = a\% \times 量程$；
- $\Delta_{仪}$其置信概率是1，不是0.683，因些应近似地将 $\Delta_{仪}$ 除上一个系数C，作为B类不确定度：
- 考虑仪器误差且均匀分布（即在测量值的某一范围内，测量结果取任一可能值的概率相等）的情况下，如米尺，

$$u_B = \frac{1}{\sqrt{3}}\Delta_{仪}$$

3、测量误差和不确定度表示

➢ 对于误差服从正态分布的仪器，如物理天平， $u_B=\frac{1}{3}\Delta_{仪}$

➢ **不确定度的合成** **总不确定度** $U=\sqrt{S_i^2+u_j^2}$

A_0 落在 $\overline{A}-U$到$\overline{A}+U$ 间的可能性为 68.3%

A_0 落在 $\overline{A}-2U$到$\overline{A}+2U$ 间的可能性为 95.5%

A_0 落在 $\overline{A}-3U$到$\overline{A}+3U$ 间的可能性为 99.7%

本实验课中，指定采用第一种规范，即±U，置信概率为68.3%。即

$P = 0.683$

3、测量误差和不确定度表示

第六节　直接测量量的结果表示

- **对物理量A进行测量，如果对可定系统误差已经消除或修正，则测量结果应表示电阻值的测量结果为**

$$A = \overline{A} \pm U \quad \text{（单位）}$$

$$E = \frac{U}{\overline{A}} \times 100\%$$

$$P = 0.683$$

例1：（2019年考题）

R=(35.78±0.05)Ω，下列叙述正确的是[C]

A．待测电阻值是35.73Ω或35.83Ω

B．待测电阻值是35.73Ω到35.83Ω之间

C．待测电阻的真值包含在（35.73Ω~35.83Ω）内的概率约为68.3%

D．待测电阻的真值包含在（35.73Ω~35.83Ω）内的概率约为99.7%

3、测量误差和不确定度表示

例2： 用50分度的卡尺测一长度，7次测量的结果（单位：mm）分别为：139.70，139.72，139.68，139.70，139.74，139.72，139.72。已知卡尺的**仪器误差**为0.02mm，且服从**均匀分布**，写出测量结果的表达式。

解： L平均值：$\overline{L}=\frac{1}{7}\sum_{i=1}^{7}L_i=139.71\ (\mathrm{mm})$

A类不确定度：$s_{\overline{L}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{7}(L_i-\overline{L})^2}{7(7-1)}}=0.0086\ (\mathrm{mm})$

B类不确定度：$u_L=\frac{\Delta_{仪}}{\sqrt{3}}=\frac{0.02}{\sqrt{3}}=0.012\ （\mathrm{mm}）$

3、测量误差和不确定度表示

总不确定度：

$$U=\sqrt{s_{\bar{L}}^{2}+u_{L}^{2}}=\sqrt{0.009^{2}+0.012^{2}}=0.015\,(\mathrm{mm})$$

测量结果的表达式：

L=139.71±0.02 (mm)

E=0.01%

P=0.683

3、测量误差和不确定度表示

例3：用天平测质量，进行了单次测量，测得$m=$ 187.520 g，如果天平的仪器极限误差$\Delta_{仪}$为20 mg，且服从正态分布，写出测量的结果表达式。

解：$u_g=\frac{\Delta_{仪}}{3}=\frac{0.020}{3}$=0. 007 g

$$m=(107.520\pm 0.007)\ \mathrm{g}$$

$$E=\frac{u_1}{m}\times 100\%=\frac{0.007}{187.520}\times 100\%=0.004\%$$

$$P=68.3\%$$

3、测量误差和不确定度表示

第七节　间接测量量的结果表示

假定间接测量量Y是通过直接测量量x_i测量得到的，其函数关系为：$Y = f(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)$

直接测量量为：

$$x_1, x_2, \cdots, x_n$$

$Y = \bar{Y} \pm U$　（单位）

$$E = \frac{U}{\bar{Y}} \times 100\%$$

$P = 0.683$

问题：

1。如何得到 $\bar{Y}$

2。如何得到 U

3、测量误差和不确定度表示

间接量Y的平均值为： $\overline{Y}=f(\overline{x}_1,\overline{x}_2,\overline{x}_3,\ldots,\overline{x}_n)$

如果有 $x_1=\overline{x}_1\pm U_1;\quad x_2=\overline{x}_2\pm U_2;\quad \cdots x_n=\overline{x}_n\pm U_n$

假设间接测量量 Y 的各直接测量量 x_i 之间相互独立，且各直接测量量 x_i 的合成不确定度分别为 $U_1,U_2,\cdots,U_n$，

则 Y 的合成不确定度的计算公式为：

$$U=\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 U_1^2+\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 U_2^2+\cdots+\left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 U_n^2}$$

函数 f 对各变量的偏微商

3、测量误差和不确定度表示

相对合成不确定度： $E = \dfrac{U}{\overline{Y}}$

也可先求得相对不确定度，这时可以利用以下简单关系求得：

$$E = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_1}\right)^2 U_1^{\ 2} + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_2}\right)^2 U_2^{\ 2} + \cdots + \left(\frac{\partial \ln f}{\partial X_n}\right)^2 U_n^{\ 2}}$$

注意，这是函数 *f* 的自然对数对各自变量的偏微商。

4、有效数字及其处理

第八节　有效数字及其运算规则

(1)、有效数字的定义

- 测量结果中所有可靠数字加上末位的可疑数字，统称为测量结果的有效数字，有效数字中所有位数的个数称为有效数字的位数；

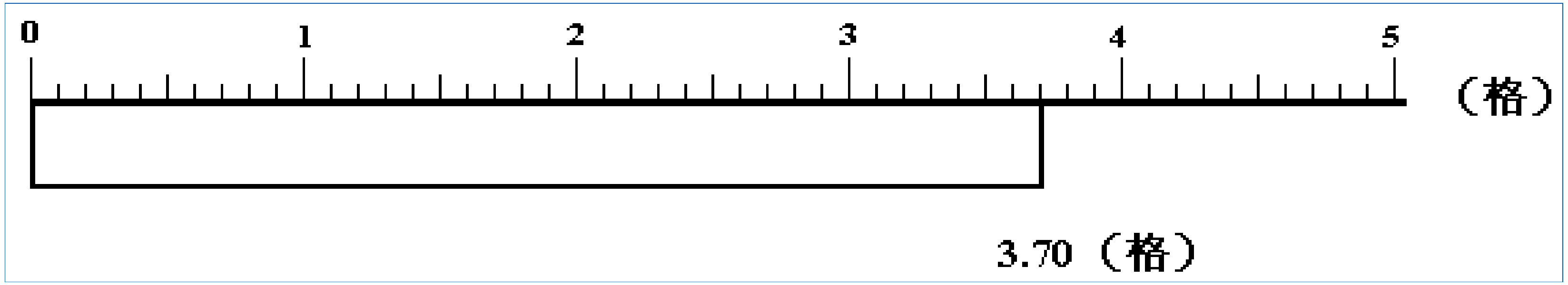
(2)、有效数字如何确定

- 通过测量仪器的精度、级别、最小分度值（最小刻度值）；
- **有效数字要记录到误差所在位。**

4、有效数字及其处理

例4：用500mm长的毫米分度钢尺测量长度。

该钢尺最小分度值为1mm，仪器误差取最小分度值的一半，即因此正确记录数值是除了确切读出钢尺上有刻线的位数外，还应估读一位，即读到0.1mm位。



4、有效数字及其处理

例5:量程分别为10V和10mA，0.5级的电压表和电流表，

$$\Delta_{仪}=a\%\times量程=0.5\%\times10=0.05$$

其有效数字，应分别记录到0.01V和0.01mA位。

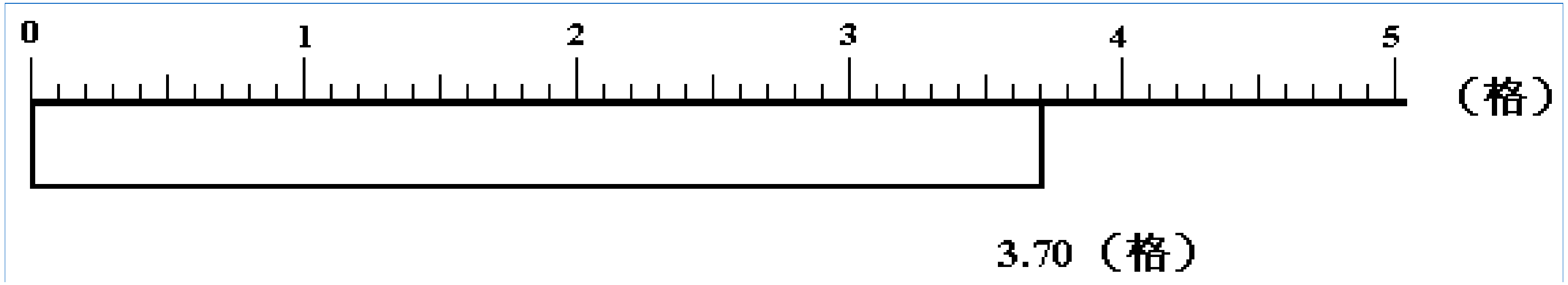
例6: 用量程为15mA,表准确度等级为0.5级的电流测量某电流的指示值为10.00 mA,其测量仪器的最大误差为________，（0.08 mA ），

$\Delta_{仪}=a\%\times量程=0.5\%\times15=0.075$，因电流的指示值为10.00 mA

4、有效数字及其处理

3、有效数字的性质

- 有效数字的位数随着仪器的精度（最小分度值）而变化。



- 凡数值中间和末尾的“0”均为有效数字，但数值前的“0”则不属有效数字。

例　1.009 —— 四位数，　9.000 —— 四位数，

900.0 —— 四位数，　0.009 —— 一位数，

4、有效数字及其处理

- 有效数字的位数与小数点前移的位置无关；

如长度 10.50 mm，也可写成：1.050 cm，但不能写成：

10500000 nm

对数量级很大或数量级较小的测量值，常采用科学记数法，即写成 $\pm a \times 10^{\pm n}$ 例：地球半径是6371 km，不能写成

6371000 m，只能写成：6.371×10^{6} m

氦一氖激光波长为632.8nm，只能写成：6.328×10^{-7}m

4、有效数字的运算规则

(1) **可靠与可靠运算　　　结果可靠；**

(2) **可靠与可疑或可疑与可疑运算　　　结果可疑；**

(3) **运算结果一般只保留一位可疑数字；**

(4) **运算时，常数、无理数等, 其有效位数无限制。**

例7：

$$\begin{array}{r} 97.4 \\ +\ \ 6.238 \\ \hline 103.638 \end{array}$$

应为 103.6

$$\begin{array}{r} 217 \\ -\ \ 14.8 \\ \hline 202.2 \end{array}$$

应为 202

相加减：
所得运算结果的小数点后保留的位数，应与参与加减运算的各数据中小数点后位数最少的那一数据的位数相同。

4、有效数字及其处理

$$
\begin{array}{r}
13.6 \\
\times\ \ 1.6 \\
\hline
816 \\
136\ \ \\
\hline
21.76
\end{array}
$$

应为 22

$$
\begin{array}{r}
2.453 \\
\times\ \ \ 6.2 \\
\hline
4906 \\
14718\ \ \\
\hline
15.2086
\end{array}
$$

应为 15.2

相乘除：
结果保留到参与运算各量中最少的位数(或多出1位)。

$237.5/0.10=2.4\times10^3$

相乘除：
结果保留到参与运算各量中最少的位数(或多出1位)。

$76.000/38.0=2.0$　　因为76.0被38.0整除

4、有效数字及其处理

5. 不确定度有效位数

- 不确定度误差只取一位有效数字，“只进不舍”。例如：标准不确定度U的计算值为0.05106，则最后结果取U =0.06；
- 注意：教材要求1-2位，只有首位数字为1或2时才取2位，例：标准不确定度U的计算值为0.02106，则最后结果取0.021.

4、有效数字及其处理

6. 测量结果的有效位数

- **间接测量结果值的有效数字 ：测量结果值的有效位数的末位，要与不确定度所在的位对齐，舍去其它多余的存疑数字。**

- 为了使等于五的舍入误差产生正、负相消的机会，采用 “4舍6入5凑偶” 舍入规则。

即：小于5舍，大于5入，等于5时则把尾数凑成偶数。

例：

5.76453 保留4位有效位数为：5.764（舍5不进位）

5.76153 保留4位有效位数为：5.762（舍5进位）

4、有效数字及其处理

例8：以下不正确的取舍是［A］（2019年考题）

A.　3.14346保留四位有效位数结果是3.144

B.　3.14372保留四位有效位数结果是3.144

C.　1.26453保留四位有效位数结果是1.264

D.　1.26353保留四位有效位数结果是1.264

例9：判断以下测量结果表达得是否正确：

√ M=1.012±0.003 (g)　　√ L=1.345±0.004 (mm)

× I=1.012±0.123 (A)　　× U=1.012±0.0004 (V)

√ f =(1.012±0.006)×10^3 (Hz)　　× T=9.03 ±0.01

4、有效数字及其处理

例10、用单摆测量重力加速度g，直接测量量周期T = 2.009 ±0.002(s)，摆长L=1.000 ±0.001(m)， g=（$4\pi^2L$）/T^2，计算测量结果及其标准不确定度。

- 按有效数字运算规则算得：

g=(4×3.14² ×1.000)/2.009²=9.771(m/s^2)

$$E=\frac{u_g}{g}=\sqrt{\left(\frac{u_L}{L}\right)^2+\left(2\frac{u_T}{T}\right)^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{0.001}{1.000}\right)^2+\left(2\frac{0.002}{2.009}\right)^2}$$

$$=2.2\times10^{-3}$$

4、有效数字及其处理

计算g的标准不确定度

$$u_g = 9.771 \times 2.2 \times 10^{-3} = 0.0214\ (m/s^2)$$

$$\therefore u_g = 0.03\ (m/s^2)$$

测量结果值的有效位数的末位，
要与误差所在的位对齐

$$\therefore g = 9.77 \pm 0.03\ (m/s^2)$$

$$E = 2.2 \times 10^{-3}$$

$$P = 68.3\%$$

4、有效数字及其处理

例11：用秒表对一时间间隔进行单次测量，测得t=20. 20，如果秒表的误差为0. 1s，且服从正态分布，写出测量的结果表达式。

$$U_1=\frac{\Delta_{仪}}{3}=\frac{0.1}{3}=0.04\ (s), E=\frac{U_1}{t}=\frac{0.03}{20.20}=0.15\%, 或=\frac{0.0333}{20.20}=0.17\%$$

结果为：$t=(20.20\pm 0.04)$

$E=\frac{U_1}{t}=0.17\%$ （注：中间运算过程可多取几位）

$(p=68.3\%)$

5、实验数据处理

第九节 实验数据的列表法、图示法与图解法

0. 列表法

例12 伏安法测电阻

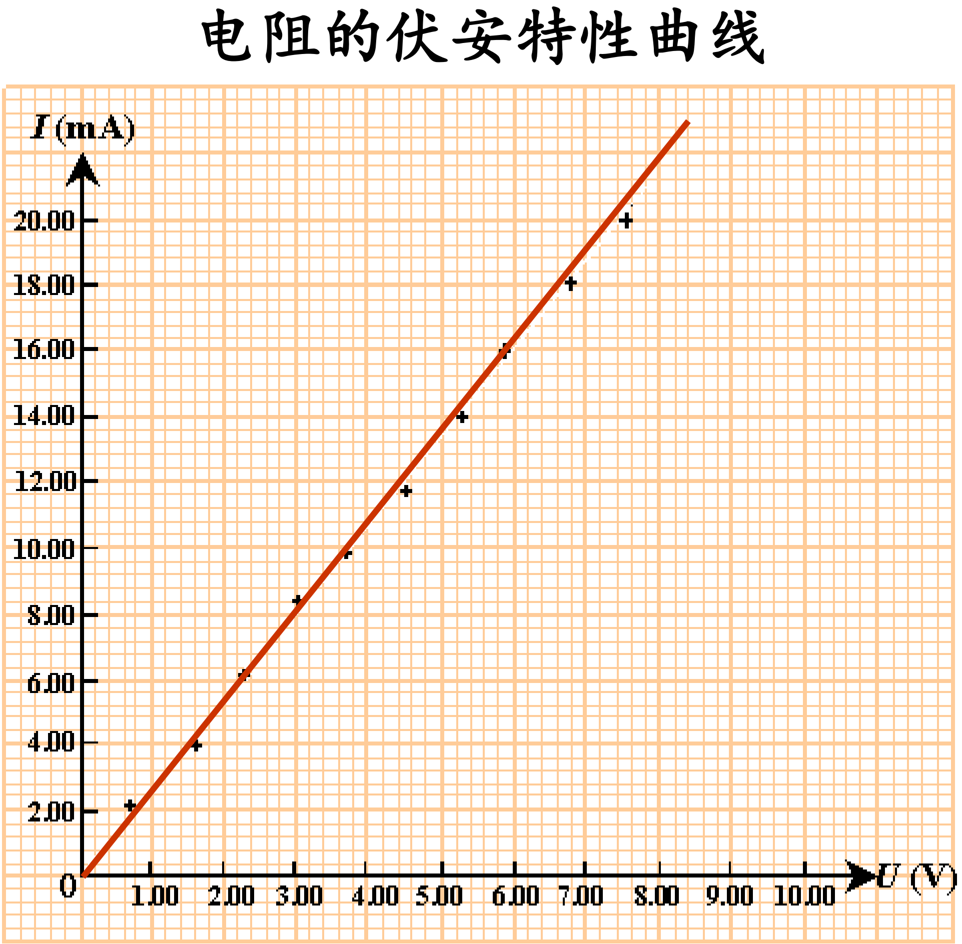
表 1 电阻 R 的伏安关系

$U(V)$	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

注意：物理量、单位、有效数字、数据大小排列规律

5、实验数据处理

1. 作图法

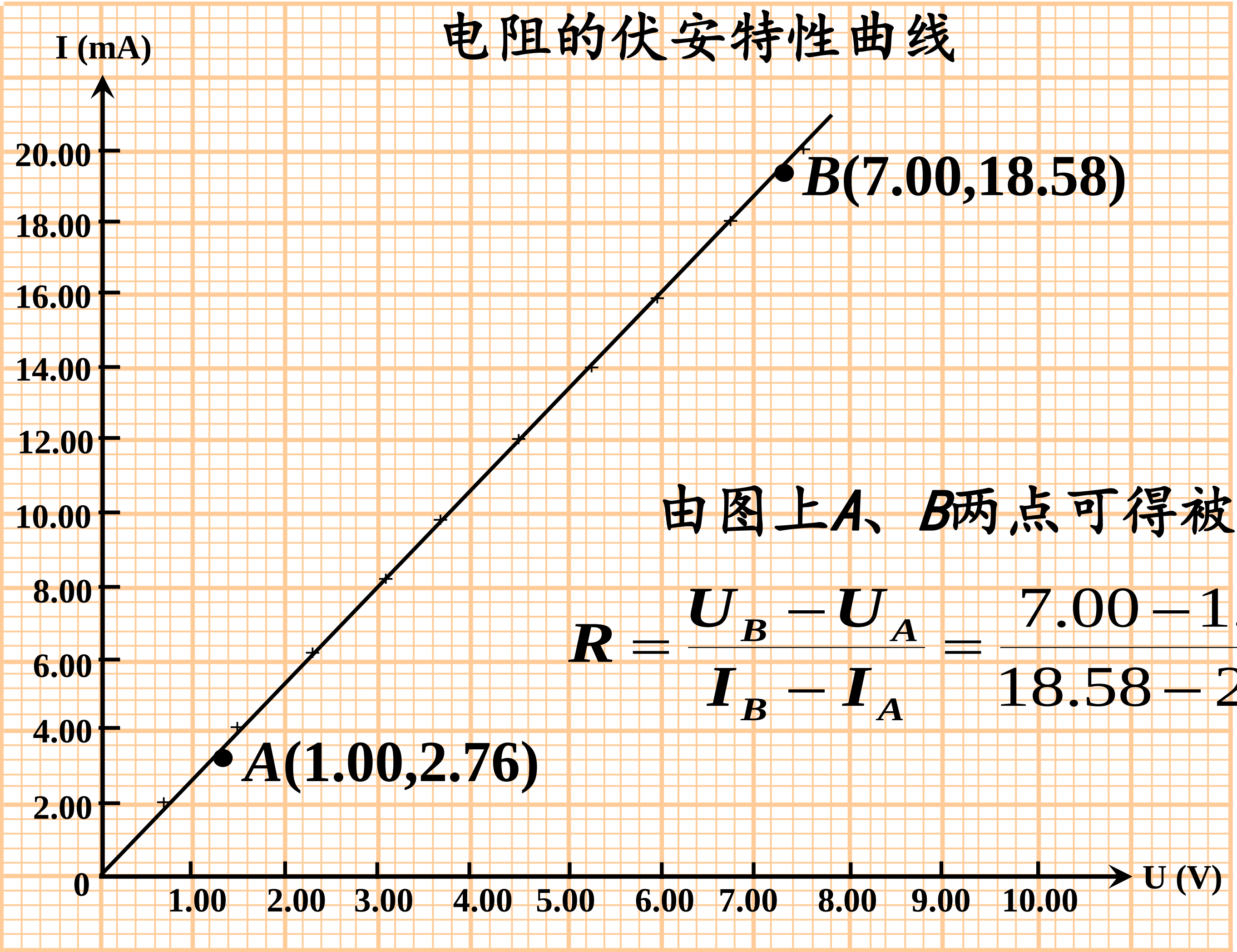


作图的过程：

1. 选坐标纸
2. 确定坐标轴
3. 标明轴名、单位
4. 标出分度值
5. 画出数据点
6. 做曲线（直线）
7. 标上曲线名称

5、实验数据处理

2. 图解法



注意：在物理实验中的坐标系中，纵坐标和横坐标代表不同的物理量，分度值与空间坐标不同，所以不能量取直线倾角求正切值的办法求斜率。

由图上*A*、*B*两点可得被测电阻*R*为：

$$R=\frac{U_B-U_A}{I_B-I_A}=\frac{7.00-1.00}{18.58-2.76}=0.379(\mathrm{k}\Omega)$$

5、实验数据处理

1. 采用逐差法处理数据的条件：

- 设两测量量间的函数关系为线性 $y = kx + b$
- x 是等间距变化的；测量次数为偶数。
- x 的测量误差远小于因变量 y 的误差，可以忽略；

表 1　电阻 *R* 的伏安关系

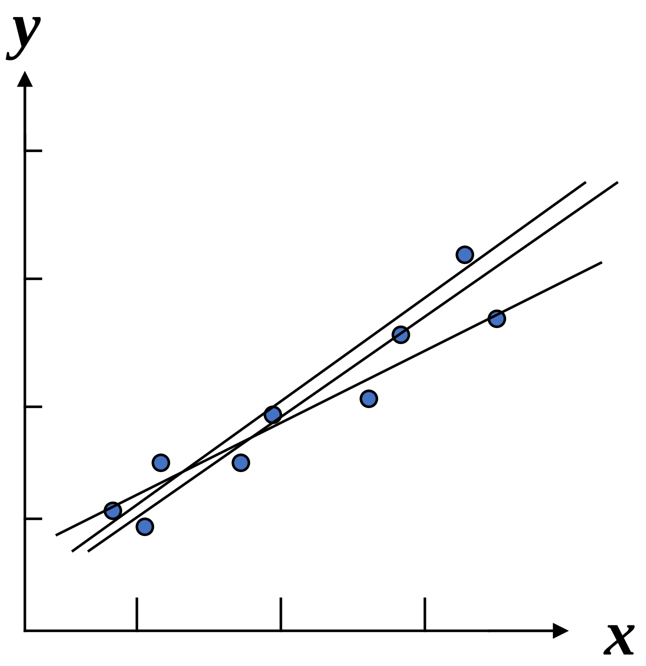
电压(*V*)	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
电流(*mA*)	0.00	0.50	1.02	1.49	2.05	2.51	2.98	3.52	4.00	4.48

把这些数据分成五组，分别计算*R*，再求平均值。减少了由计算过程引起的误差。

5、实验数据处理

第十一节 用最小二乘法处理数据

- 图示图解法在数据处理中虽然是一种直观而简便的方法，但是用图示图解法求斜率和截距是一种平均处理的方法，这种方法有相当大的主观成分，所做的直线有一定的随意性，结果常常因人而异。

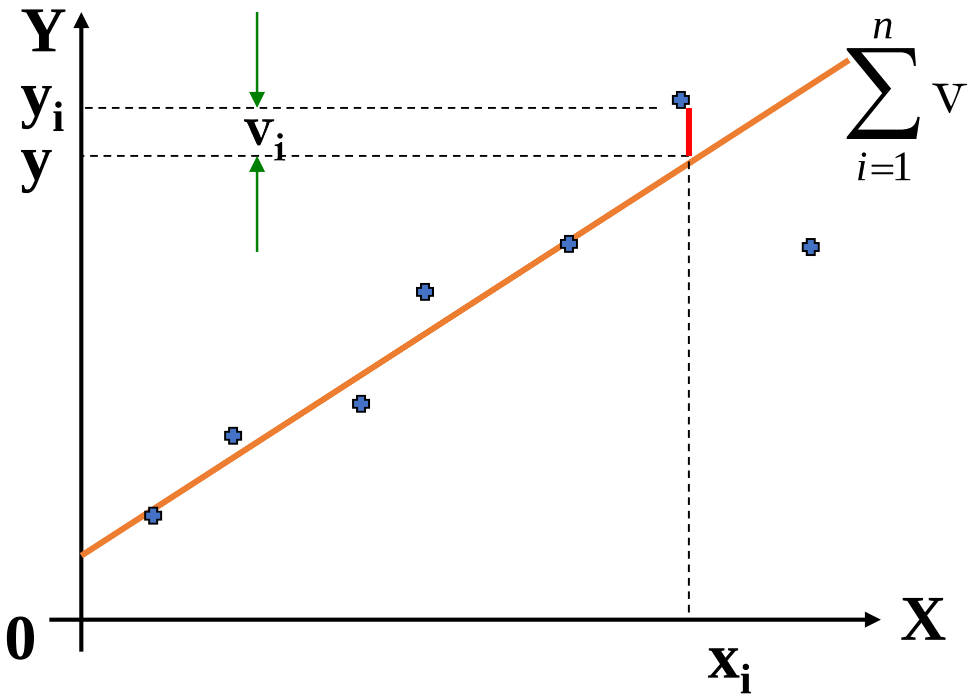


5、实验数据处理

➢ 最小二乘法原理

测量若干组数据，每个数据点的 y 都有一定偏差。

最小二乘法要求所求得的 k 和 b，应使测量量 y 的偏差的平方和最小。



$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{v}_i^{\,2} = \sum_{i=1}^{n} [y_i - (kx_i + b)]^2 = \min$$

y 的偏差可从图上看出：

$$\mathrm{v}_i = y_i - y$$
$$= y_i - (kx_i + b)$$

5、实验数据处理

➢ 最小二乘法处理数据的计算过程

根据 $\sum_{i=1}^{n} v_i^2 = \sum_{i=1}^{n}[y_i - (kx_i + b)]^2 = \min$

k 和 b 应满足二元函数的极值条件，即

$$\boxed{\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial k}\left(\sum_{i=1}^{n} v_i^2\right) = 0 \\ \dfrac{\partial}{\partial b}\left(\sum_{i=1}^{n} v_i^2\right) = 0 \end{cases}}$$

从而求得 k 和 b 的值应为

$$\boxed{\begin{cases} k = \dfrac{\bar{x}\,\bar{y} - \overline{xy}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}} \\ b = \bar{y} - k\bar{x} \end{cases}}$$

计算时需注意“平均值的平方”与“平方的平均值”间的差别。

5、实验数据处理

➢ 相关系数的计算

既然x的变化会引起 y 的变化，说明它们是相关的。

可用相关系数描述求得的最佳直线靠近各实验点的程度。

相关系数定义为：

$$\gamma = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}$$

γ 值处于1与0之间。接近于1，则说明各实验点都比较靠近所求直线，两个变量间的线性度很高。

γ值接近于0，说明两个变量间没有线性关系。

5、实验数据处理

最小二乘法举例

测得x，y 两个物理量的数据如表中所示，试用最小二乘法进行拟合，求出回归方程。

编号i	x_i	y_i
1	15.0	39.4
2	25.8	42.9
3	30.0	44.4
4	36.6	46.6
5	44.4	49.2

解：计算列表如下

编号i	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
1	15.0	39.4	225	1552	591
2	25.8	42.9	666	1840	1107
3	30.0	44.4	900	1971	1332
4	36.6	46.6	1340	2172	1706
5	44.4	49.2	1971	2421	2184

5、实验数据处理

求各平均值

编号i	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
$\sum$	151.8	222.5	5102	9956	6920
平均值	30.4	44.5	1020	1991	1384

（2）根据最小二乘法公式求斜率和截距：

$$k=\frac{\overline{xy}-\overline{x}\cdot\overline{y}}{\overline{x^2}-(\overline{x})^2}=\frac{1384-30.4\times 44.5}{1020-30.4\times 30.4}=\frac{31}{96}=0.32$$

$$b=\overline{y}-a\overline{x}=44.5-0.32\times 30.4=34.8$$

5、实验数据处理

- （3）求相关系数，检验y和x的线性关系

$$L_{xy}=\overline{xy}-\overline{x}\cdot\overline{y}=1384-30.4\times 44.5=31$$

$$L_{xx}=\overline{x^2}-(\overline{x})^2=1020-30.42=96$$

$$L_{yy}=\overline{y^2}-(\overline{y})^2=1991-44.52=11$$

$$R=\frac{L_{xy}}{\sqrt{L_{xx}\cdot L_{yy}}}=0.95$$

结论：

变量x和y之间有良好的线性关系。

回归方程为：$y=0.32x+34.8$

6、物理学科竞赛介绍

中国大学生物理学术竞赛（CUPT）

哈工大（深圳）代表队荣获2023年中国大学生物理学术竞赛全国一等奖，最佳反方个人奖，连续3年夺得全国一等奖。

第十四届中国大学生物理学术竞赛国赛
成都，8.20~8.25

校队由电子与信息工程学院2021级本科生吴子阳、廖添乐、刘然玉，2022级本科生刘浥，材料科学与工程学院2021级本科生侯佩林，机电工程与自动化学院2021级本科生刘昇杰组成。

https://www.hitsz.edu.cn/article/view/id-142938.html

6、物理学科竞赛介绍

哈工大（深圳）代表队继2020年、2021年之后，再夺CUPT中南赛区冠军。

第六届中国大学生物理学术竞赛中南区赛
武汉，7.14~7.16

6、物理学科竞赛介绍

中国大学生物理学术竞赛（China Undergraduate Physics Tournament，简称CUPT）是我国借鉴国际青年物理学家锦标赛（International Young Physicists' Tournament，简称IYPT）模式创办的一项全国性赛事。该赛事包括实验设计、设备搭建、实验操作、理论分析、结果讨论、报告展示等多个综合性科研训练与实践环节，比赛的研究过程与赛场展示环节均以团队形式进行，对提升学生的团队合作、组织协调、交流表达能力大有裨益。

6、物理学科竞赛介绍

全国大学生物理实验竞赛（创新）

2022年首次参赛获得全国一等奖1项，二等奖2项，三等奖2项。

6、物理学科竞赛介绍

全国大学生物理实验竞赛（创新）

全国大学生物理实验竞赛（创新）由国家级实验教学示范中心联席会物理学科组、全国高等学校实验物理教学研究会、教育部大学物理课程指导委员会大学物理实验专项委员会和中国物理学会物理教学委员会主办，是一项面向全国大学生的物理学科竞赛活动。竞赛分为“命题类创新作品”“自选课题类创新作品”和“大学生物理实验讲课比赛”3个赛道。该竞赛对激发大学物理和物理实验课程的学习兴趣、培养学生的创新精神和实践能力大有裨益。

2023年实验竞赛正在进行中（23年9月1日-9月25日提交作品评选）

6、物理学科竞赛介绍

哈尔滨工业大学本科生学科竞赛加分项目一览表（2022.2.23）

27.【物理】中国大学生物理学术竞赛。

28.【物理】全国大学生物理实验竞赛。(一、二等奖降等加分，三等奖不加分）

（二）学生在学校认定的国际或国家级学科竞赛中获奖的加分：

1．国际或国家竞赛一等奖：个人项目获奖学生加 5分；集体项目排名第一的学生加 5分，其他学生加 3分。

2．国际或国家竞赛二等奖：个人项目获奖学生加 3分；集体项目排名第一的学生加 3分，其他学生加 1.8分。

3．国际或国家竞赛三等奖：个人项目获奖学生加 1分；集体项目排名第一的学生加 1分，其他学生加 0.6分。

4．以上加分中，不累计加分，取最高奖项加分。

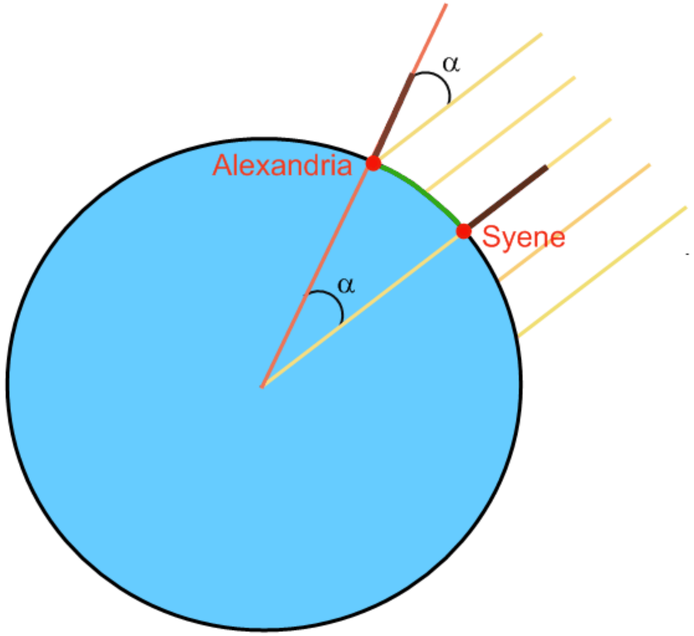
5．对于集体竞赛项目，若从奖励证书无法区分排名（如数学建模的全国竞赛），其排名顺序以竞赛组织部门发布的获奖文件为准。当项目组总人数超过5人时，仅给予前5人加分。

http://due.hitsz.edu.cn/info/1061/1966.htm

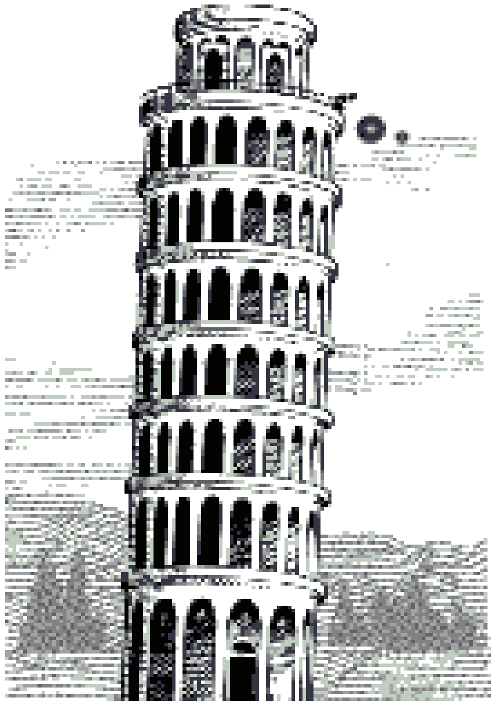
6.物理学科竞赛介绍

- 2024年中国大学生物理学术竞赛赛题已发布，国赛将在陕西师范大学举行（2024年8月中旬）
- 2024年度CUPT、物理实验竞赛即将招新；
- 校内选拔预计在2024年1月份举行；
- 关于组织报名2024年中国大学生物理学术竞赛通知，请在10月中旬关注QQ教学群、学校官网：新闻中心-通知公告。

物理学十大经典美丽实验

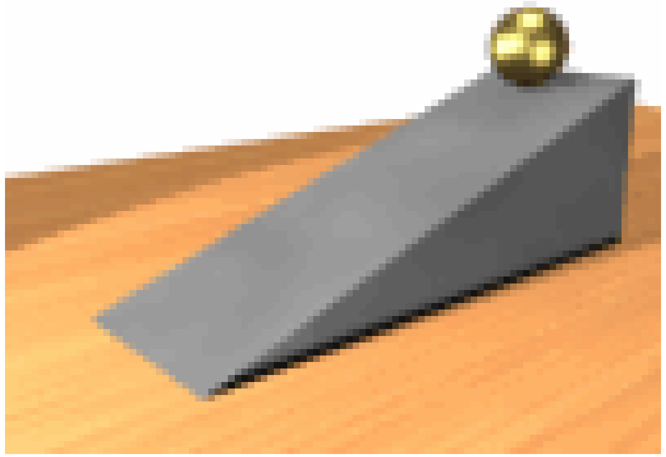


Eratosthenes' measurement of the Earth's circumference （公元前3世纪）
埃拉托色尼测量地球圆周

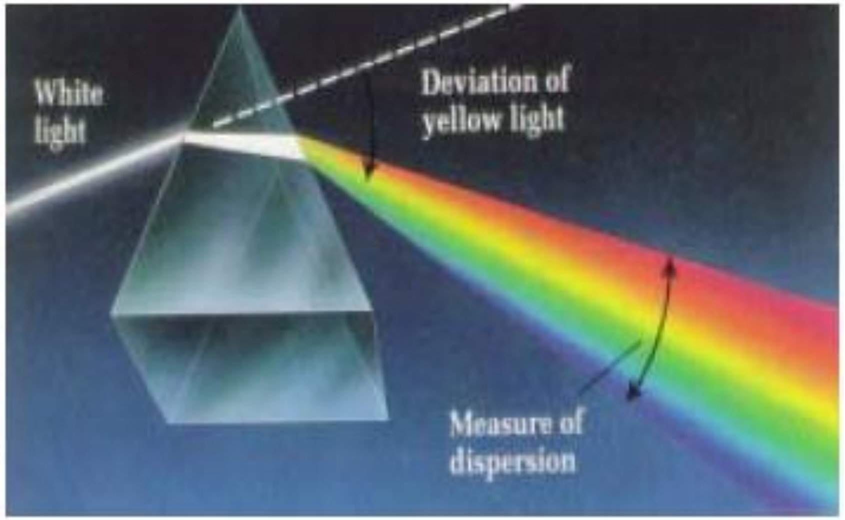


Galileo's experiment on falling objects（16世纪末）
伽利略的自由落体实验

物理学十大经典美丽实验

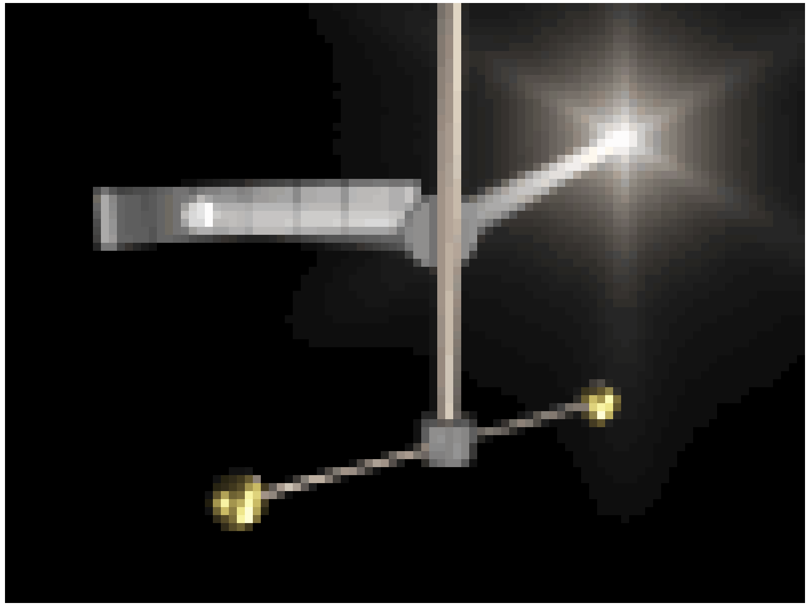


Galileo‘s experiments with rolling balls down inclined（16世纪末）
伽利略的加速度实验

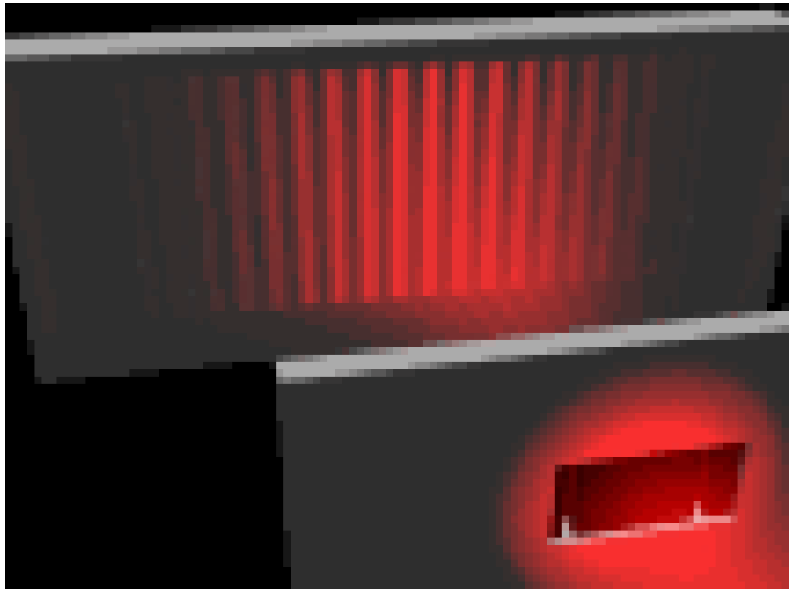


Newton's decomposition of sunlight with a prism(1665-1666)
牛顿的棱镜分解太阳光

物理学十大经典美丽实验

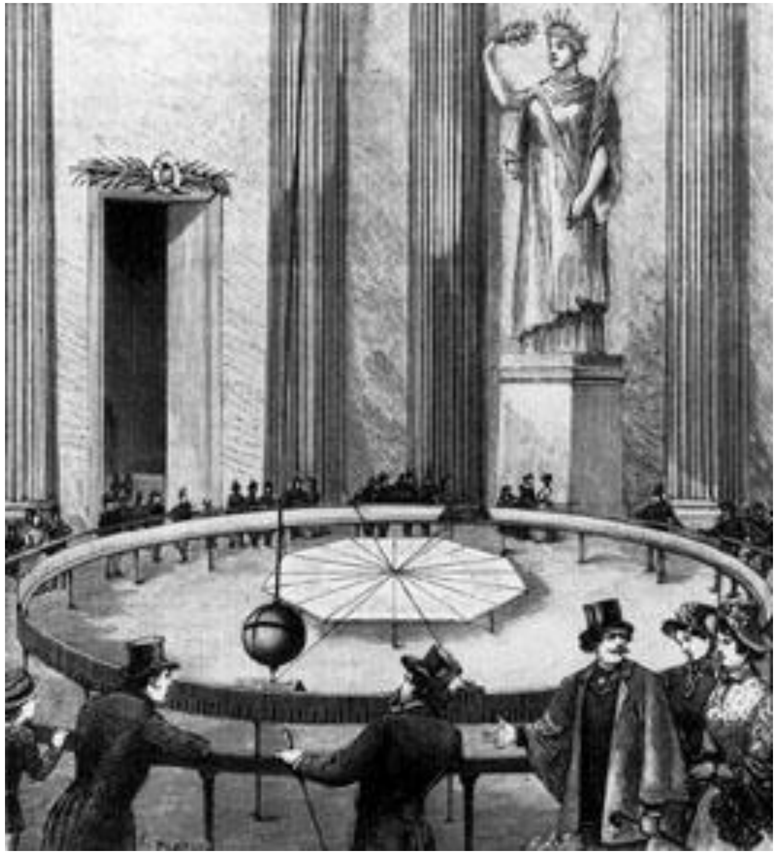


Cavendish's torsion-bar experiment（1798）
开文迪许扭称实验

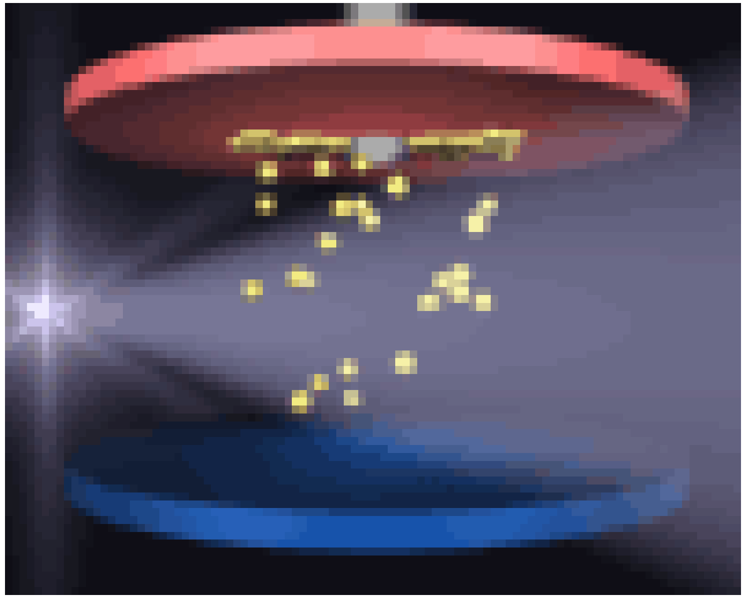


Young's light-interference experiment(1801)
托马斯·杨的光干涉实验

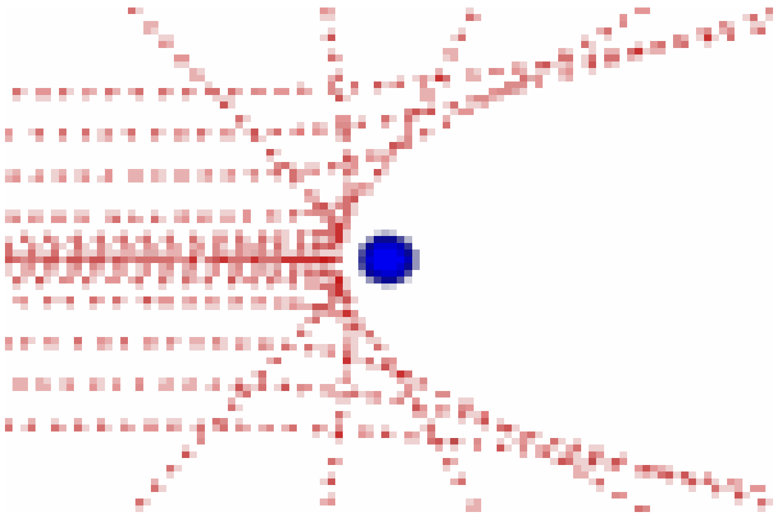
物理学十大经典美丽实验



Foucault's pendulum
（1851）
米歇尔·傅科钟摆实验

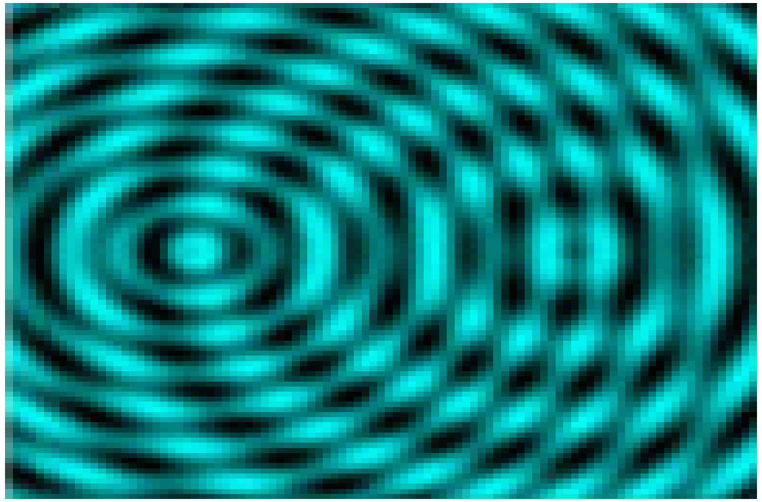


Millikan's oil-drop experiment
（1909）
罗伯特·密立根的油滴实验



Rutherford's discovery of the nucleus （1911）

卢瑟福发现原子核结构



Young's double-slit experiment applied to the interference of single electrons（1961）

托马斯·杨的双缝演示应用于电子干涉实验