物理实验讲义

湖南医学院物理教研组

一九八二年五月

实验课程规则

1．课程必须做好预习，不打无准备之仗。

2．实验结果应有内容完整、字迹清楚的数据记录。实验完毕，须将数据记录本送请指导老师审核，经教师签字后才能离开实验室。

3．实验报告在规定时间内连同原始数据记录本一起交上。报告如有严重错误或项目不全，字迹不清，则须重作或部分改作。

4．上实验课时，必须遵守实验室的一切规章制度（详见实验室规则）。

实验室规则

1．实验室一切仪器设备不得随便搬动，任意调换，应在指定地点进行实验。

2．未经教师同意，不得乱动仪器，实验时遵守操作规程，切实注意安全，防止发生意外。

3．遇有仪器发生故障和损坏时，应立即报告指导教师查清原因。如有损坏时须填写仪器损坏单，酌情处理。

4．实验时应保持室内的安静整齐清洁，不要用粉笔在实验桌上乱画或计算实验数据；更不要在实验室内抽烟、谈笑、吐痰、乱丢纸屑以及妨碍他人的一切行为。

5．实验完毕，一切仪器用具（包括橙子）必须整理放置原处，方可离开实验室。

6．凡违反纪律及实验室规则者，教师得提出批评，情况严重时可以停止其进行实验。

物理实验报告的主要项目和要求

1．实验名称（在名称后面注明姓名和实验日期）。

2．原理简述：扼要叙述实验原理，写出主要公式。电学实验原理线路图。

3．数据记录表格。并注明实验时的主要仪器名称、规格。

4．数据处理：根据公式算出实验结果，以及指定要画的图表。数据处理时所用公式及运算过程都要列出来，以便教师批阅。

目录

绪　论

一、物理实验的意义和目的

物理学和其他自然科学一样，是一门以观察和实验为基础的科学。自然界的现象非常错综复杂，为阐明物理现象的规律性，单凭在自然条件下原形原样加以观察往往是不够的，还必须让要研究的现象在人为控制的条件下重演，并变换与现象有关的因素，加以观察和分析，从而确定各个因素的相互联系，这就是实验。许多自然科学的定律都是从实验结果概括出来的。定律的正确与否，还必须通过大量的实践去验证和推进。正如毛主席在实践论中指出的："通过实践而发现真理，又通过实践来验证真理和发展真理"。

物理实验是物理教学中不可缺少的一个环节，也是实验技术的基础之一。物理实验方法和测量技术被广泛地应用于其他科学技术中，如医学实验，临床诊断，治疗，卫生，保健，药物分析鉴定，以及生命机制的研究；而且越来越显得重要。开设物理实验的目的之一就是进行一些基本技能训练。根据卫生部颁发的基本技能训练项目中规定，要求通过物理实验使学生基本上掌握常用的量度法，其中包括质量、温度、长度、时间、电流、电压、电动势、电阻等的测量；电子示波器的使用；误差概念，有效数字的运算，估计实验结果的可靠性；用表格、曲线、座标图表示实验结果。我们的实验就是根据这些要求安排的。当然，要达到这个目的，还要与兄弟教研组协同进行训练和巩固。

同时，在物理实验中，通过对现象的观察和分析，通过对各种物理量的测量，让同学们自己去验证课堂上学的某些物理现象、定律和理论，可以更深刻地理解和巩固所学的知识。通过实验还可以逐渐培养和提高同学们的独立工作能力，培养科学思维方法、严格的科学工作作风和实事求是的科学态度。

二、测量的误差及有效数字

在实验室中测量任何物理量，都不可能绝对精确。测量结果的准确度如何确定；如何表达；怎样进行实验才能提高测量的准确性，这些问题在一切实验中都是存在的。下面就这几个问题作初步的讨论。

1．测量的分类：

（1）直接测量和间接测量　一般的基本测量都属于直接测量，如以米尺测某物的长度，以天平称某物体的质量，以停表测时间。如果直接测出的只是与待求量有已知关系的一些其他量，利用这些直接测得的量通过已知的关系计算出待求量，叫间接测量。

（2）等精度测量和不等精度测量　如果对某一量重复地测量了许多次，每次测量条件都是相同的（同一观测者，同样细心，同样的方法，同样的仪器，同样的环境），则我们没有根据说其中某一次测量比其他次测量更准一些。这就是等精度测量。如果每次测量时条件是不同的，这就是不等精度测量。

2．测量误差：

（1）误差的定义　在进行测量时，由于各种原因而致使测量结果N与待测量的真值N_0之间有一定偏差，这些偏差称为测量误差。实验结果都具有误差，误差自始至终存在于一切科学实验的过程之中。以ΔN表示误差，则

$$\Delta N = N - N_0$$

测量误差的大小显然就是测量准确程度的反映。

自然界中的一切物体都是处于永恒的运动之中，上面所说的真值是在某一时刻和某一位置或某状态下，某量的效应体现出的客观值或实际值。除了理论真值（如平面三角形三内角和为180°），计量学约定真值（如铂铱合金的国际千克原器的质量为1千克）以外，一般说来，真值是未知的，但它确是客观存在的。

（2）误差分类　根据误差的性质，可以把误差分为粗差、系统误差、偶然误差三类：

A．粗差　明显歪曲测量结果的误差称为粗差。如测错（测量时对错了标志），读错（如将3读为8），记错，实验状况未达到预想的指标（如真空度未达要求）而匆忙实验等都会带来粗差。含有粗差的测量值称为坏值，应予剔除。

B．系统误差　在同一条件下多次测量同一量时，误差的绝对值和符号保持恒定；或在条件改变时，按某一确定的规律变化的误差，称为系统误差

系统误差的来源大致有：仪器的误差（因仪器上某种固定缺陷所引起的，如温度计的零点未校准）；实验方法误差（由于实验理论探讨得不够充分，或是由于对影响实验的全部因素不尽知道所致。如用高灵敏度天平称物体质量时，没有考虑空气浮力的影响）；人员误差（由于测量者个人生理和心理上的特点所引起的。如以停表记录时间时，有人总是超前，或总是滞后。）

要减少系统误差，首先要从实际出发，分析产生系统误差的原因，尽量消除产生系统误差的因素。

下面我们将只讨论偶然误差及其处理方法。

C．偶然误差　在实验时，即使系统误差已被减小到可以忽略的程度，仍将有一定的误差存在。这种误差是由一类难以估计和控制的偶然因素引起的。如观测者感官分辨本领的限制（读数时一般规定读到仪器最小刻度的1/10那一位为止，因此最后一位是估计的，这就产生了误差），物理量本身的涨落变化，周围环境的干扰。这种误差是事先无法防止，也无法消除的。它的绝对值时大时小，它的符号时正时负，是一种随机事件，称为随机误差或偶然误差。

如果在同样条件下，对同一量进行多次测量，发现绝大多数偶然误差具有下列特点。

a）绝对值小的要比绝对值大的偶然误差常见（即绝对值小的偶然误差出现的概率最大）。

b）大小相等，符号相反的偶然误差的数目大致相等（即出现的概率相等）。

c）绝对值很大的偶然误差不会有（即出现的概率为0）。

偶然误差的这种分布称为高斯分布。基于以上性质，导致了它有正负相消的机会，多次测量的测量值的算术平均值比单个测量值更加接近于真值。测量次数愈多，抵偿性愈明显，其算术平均值就愈接近真值。所以用增加测量次数来减小偶然误差。

3．直接测量值的精度估计

(1) 最可靠值的确定　根据偶然误差的统计性质，对于等精度的大量多次测量数据，其算术平均值（以下简称平均值，用$\overline{a}$表示）就是待测真值的最可靠值。设一组测量值为a_1，a_2……a_n，其平均值为：

$$\overline{a}=\frac{a_1+a_2\cdots\cdots a_n}{n}=\frac{\sum\limits_{1}^{n} a_i}{n}$$

(2) 绝对误差　平均值$\overline{a}$与各次单独测量值之差称为各次测量的绝对误差，用Δa_i表示，即

$$\Delta a_1=a_1-\overline{a}\qquad \Delta a_2=a_2-\overline{a}\cdots\cdots\Delta a_n=a_n-\overline{a}$$

这些偶然误差大小和正负是随机分布的，我们取它们的绝对值的算术平均值，叫做平均绝对误差（简称绝对误差），用它来粗略地表示平均值的误差范围，即

$$\Delta a=\frac{|\Delta a_1|+|\Delta a_2|+\cdots\cdots|\Delta a_n|}{n}=\frac{\sum\limits_{1}^{n}|\Delta a_i|}{n}$$

(3) 测量结果的表示法　求出了测量值的平均值$\overline{a}$和平均值$\overline{a}$的绝对误差Δa之后，我们可以把所测之量的真值a_0写为

$$a_0=\overline{a}\pm\Delta a$$

上式的含义是：(a) 对a_0进行测量的结果（最可靠值）是$\overline{a}$。这个结果的偶然误差估计在不大于$+\Delta a$和不小于$-\Delta a$的范围之内，即真值a_0的数值估计在$\overline{a}+\Delta a$和$\overline{a}-\Delta a$的范围之内；(b) Δa作为偶然误差的范围不是绝对严格的，它只有一定的可靠程度，因此a_0在上述范围内只有一定的可能性。

(4) 相对误差　两个测量值进行比较，哪一个测得准确些？仅有绝对误差是不够的，还得引入相对误差

$$E=\frac{\Delta N}{N}$$

式中N理解为$\overline{N}$。用相对误差可以说明测量结果的准确程度。相对误差用百分数表示，称为百分误差，即

$$E=\frac{\Delta N}{N}\ 100\%$$

(5) 一次测量结果的精度估计，有时我们只可能或只需要对某量进行一次测量，估计一次测量结果的误差主要根据所用仪器的精密度，观测时的环境条件以及实验者感官辨别能力等。在一般情况下，估计为仪表最小刻度的1/10～2/10，甚至5/10。

4．间接测量的精度估计

由于直接测量结果有误差，间接测量的结果也就必然有误差，后者的误差可由前者

的误差计算得到。

设A和B为两个直接测量值，经测得$A_0=\overline{A}\pm\Delta A$，$B_0=\overline{B}\pm\Delta B$。待测量$N$是$A$和$B$的函数，$N=f(A,B)$，需通过$A$和$B$间接测量。最后结果$N_0=\overline{N}\pm\Delta N$中最可靠值$\overline{N}$用$\overline{A}$和$\overline{B}$根据原来的函数关系进行计算，即$\overline{N}=f(\overline{A},\overline{B})$；$\Delta N$是$\overline{N}$的偶然误差范围。和、差、积、商的偶然误差可以用以下的两个基本定律求得：

定理一　和与差的绝对误差等于各分量的绝对误差之和。

即　若　$N=A(\pm)B$　则　$\Delta N=\Delta A+\Delta B$

定理二　积与商的相对误差等于各分量的相对误差之和。

即　若　$N=A\underset{(\div)}{\times}B$　则　$\dfrac{\Delta N}{N}=\dfrac{\Delta A}{A}+\dfrac{\Delta B}{B}$

现以减法为例，对上面的定理加以说明。

$$N=A-B=(\overline{A}\pm\Delta A)-(\overline{B}\pm\Delta B)$$

考虑由ΔA和ΔB可能产生的最大误差，N的最大值为

$$(\overline{A}+\Delta A)-(\overline{B}-\Delta B)=(\overline{A}-\overline{B})+(\Delta A+\Delta B)=\overline{N}+(\Delta A+\Delta B)$$

N的最小值为

$$(\overline{A}-\Delta A)-(\overline{B}+\Delta B)=(\overline{A}-\overline{B})-(\Delta A+\Delta B)=\overline{N}-(\Delta A+\Delta B)$$

这说明$\overline{N}$的最大误差范围为$\pm(\Delta A+\Delta B)$，所以有　$\Delta N=\Delta A+\Delta B$

在一般函数关系的情况下，微分$N=f(A,B)$　得

$$dN=\frac{\partial f}{\partial A}dA+\frac{\partial f}{\partial B}dB$$

当dA、dB已知时，就可以求出$\overline{N}$的偶然误差。利用上式，可以导出表1—1列出的一些常用的误差计算公式。

【例1】　有一装有空气的瓶，其总质量$M=20.1425\pm0.0002$克，今将其中空气抽去称之，则得其质量$m=20.0105\pm0.0002$克，问瓶内空气的质量为多少克？

解　设瓶内空气质量为N克

$$\overline{N}=\overline{M}-\overline{m}=20.1425-20.0105=0.1320\text{克}$$

$$\Delta N=\Delta M+\Delta m=0.0002+0.0002=0.0004$$

$$\therefore\quad N=\overline{N}\pm\Delta N=0.1320\pm0.0004\text{克}$$

$$E=\frac{\Delta N}{N}=\frac{0.0004}{0.1320}=0.3\%$$

【例2】　圆的直径$D=13.06\pm0.02$厘米，求面积A

解　$\overline{A}=\frac{1}{4}\pi\overline{D}^2=\frac{1}{4}3.1416\times(13.06)^2=133.96$

$$\frac{\Delta A}{A}=2\frac{\Delta D}{D}=\frac{2\times0.02}{13.06}=0.3\%$$

$$\Delta A = 0.3\% \times 133.96 \cong 0.4$$

$$\therefore \quad A = 134.0 \pm 0.4 \text{厘米}^2$$

从这两个例题看出，凡遇到进行加减运算时，应先求出绝对误差，再求其相对误差，而遇到乘除运算时，则先求其相对误差，然后再求其绝对误差。

表 1 — 1 常用误差计算公式

	运 算 公 式	绝 对 误 差 ΔN	相 对 误 差 $E=\frac{\Delta N}{N}$
1.	$N=A+B+C+\cdots\cdots$	$\Delta A+\Delta B+\Delta C+\cdots\cdots$	$\frac{\Delta A+\Delta B+\Delta C+\cdots\cdots}{A+B+C+\cdots\cdots}$
2.	$N=A-B$	$\Delta A+\Delta B$	$\frac{\Delta A+\Delta B}{A-B}$
3.	$N=A\cdot B$	$B\Delta A+A\Delta B$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
4.	$N=A\cdot B\cdot C$	$BC\Delta A+AC\Delta B+BA\Delta C$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}+\frac{\Delta C}{C}$
5.	$N=A^n$	$nA^{n-1}\Delta A$	$n\frac{\Delta A}{A}$
6.	$N=\frac{A}{B}$	$\frac{B\Delta A+A\Delta B}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
7.	$N=cosA$	$sinA\cdot\Delta A$	$tgA\cdot\Delta A$
8.	$N=sinA$	$cosA\cdot\Delta A$	$ctgA\cdot\Delta A$
9.	$N=tgA$	$\frac{\Delta A}{cos^2 A}$	$\frac{2\Delta A}{sin2A}$
10.	$N=ctgA$	$\frac{\Delta A}{sin^2 A}$	$\frac{2\Delta A}{sin^2 A}$
11.	$N=aA$（a为常数）	$a\Delta A$	$\frac{\Delta A}{A}$（常数的误差 $\Delta K=0$）

5．测量结果的有效数字

1）有效数字的一般概念及确定有效数字的方法

任何一个物理量，其量度的结果既然都是或多或少的存在着误差，那么，它的数值就不应无止境地写下去。实验中测量结果不仅要表示量值的大小，还要能表示出数据的准确程度。因此，在记录测量结果和进行计算的时候，就必须遵守有效数字的法则。

什么是有效数字？将一测量结果的数值记录到开始有误差的那一位数为止，所有这些记录下来的数字，除了用以表示小数点位置的零外，就是这测量结果的有效数字。如3.62厘米，“3.6”是可靠的，称可靠数，“2”是估计出来的，称可疑数。可靠数字，

加上一位可疑数就是这一数值的有效数字。3.62厘米是三位有效数，精确到1/10毫米。3.6200厘米，是五位有效数，最后的“0”是估计的，精确到1/1000毫米。

直接测量值的有效数字决定于测量仪器的精密度。如米尺最小刻度为1毫米，即精密度为1毫米，读数时，应估计到1/10毫米。

至于误差（绝对误差、相对误差）的有效数字，在我们的实验中规定只取一位。

多次测量平均值的有效数字，由它的绝对误差确定；间接测量结果的有效数字由间接测量结果的绝对误差确定。在任何数值中，其数值的最后一位，在位数上应与误差的最后一位划齐。如前面例2中，$\Delta A = 0.4$厘米^2，故数值133.96厘米^{2}从“9”开始有误差，“9”后面的数字四舍五入，写成134.0 ± 0.4厘米^2。

一数值的有效数字愈多，其百分误差愈小，即准确程度愈高。1.35 ± 0.01厘米，为三位有效数，百分误差$\cong 0.7\%$，1.3500 ± 0.0001厘米为五位有效数，百分误差$\cong 0.007\%$。这一点是有效数字最基本的意义。

有效数字的位数与十进制单位的变换无关，即与小数点的位置无关，且与用以表示小数点位置的“0”也无关。例如1.35 ± 0.01厘米$= 13.5 \pm 0.1$毫米$= 0.0135 \pm 0.0001$米，这三种表示法完全等效，均为三位有效数字，百分误差也均为0.7%。

当“0”不是用作表示小数点位置时，即自左向右第一位不为“0”的数字后面的“0”都是有效数字。如1.0035 ± 0.0001厘米，1.3500 ± 0.0001厘米，均为五位有效数。可见数字后面不能随便加“0”，也不能随便略去“0”。

数值的标准写法。如果数值很大，而其有效数字位数不多，则数值大小与有效数字位数就发生冲突，如1949年我国只有五亿四千万人口，绝对误差为1千万，显然写54000 ± 1000万是错误的，正确写法是$(5.4 \pm 0.1) \times 10^4$万。很小的数，如$0.0135 \pm 0.0001$米，可写为$(1.35 \pm 0.01) \times 10^{-2}$米。

有些常数如三角形面积$A = \frac{1}{2}$底×高，式中“2”是准确值，有效数字位数可以任意选取，如写成2.0，2.00。

2）数字计算规则　在数字计算时，参加运算的分量可能很多，各分量的有效数字也多少不一；而且在运算过程中，数字愈乘愈多，除不尽时位数也越写越多，不胜繁杂。但当我们掌握了误差及有效数字的基本知识后，便可以找出一些计算规则，使得计算尽量简化，避免徒劳的计算，又不会影响结果的准确性。

A. 加减法

设　$N = A \underset{(+)}{+} B \underset{(-)}{+} C \underset{(-)}{+} \cdots\cdots$

计算步骤如下：

a）统一单位

b）找出绝对误差最大的分量（如C）

c）化简其他各分量的数值，如果以上述绝对误差最大的分量（C）的最后一位为单位，则其它分量应保留到0.1的那一位为止（四舍五入）。

d）进行计算

e）由绝对误差确定结果的有效数字

【例3】　$N = A + B + C + D$，其中

$A = 38.206 \pm 0.001$ 厘米

$B = 13.2487 \pm 0.0001$ 厘米

$C = 161.25 + 0.01$ 厘米

$D = 1.3242 \pm 0.0001$ 厘米

求N。

解　各分量中，C的绝对误差最大，有效数字到小数点后第二位。以它为准，其它分量只保留到小数点后第三位：

$$\overline{N} = 38.206 + 13.249 + 161.25 + 1.324 = 214.029$$

$$\Delta N = \Delta A + \Delta B + \Delta C + \Delta D = 0.001 + 0.0001 + 0.01 + 0.0001 = 0.01$$

$\therefore$　$N = 214.03 \pm 0.01$厘米

B、乘除法

设　$N = \dfrac{A \cdot B \cdot C \cdots\cdots \pi}{X \cdot Y \cdot Z \cdots\cdots \sqrt{2}}$

计算步骤如下：

a）找出有效数字最少的分量

b）以上述分量的有效数字位数作标准，把其他各分量（包括常数）的数值化简，使它们的有效数字位数比上述分量的有效数字位数多一位；

c）进行计算，每经一运算，得一数值后又按（b）步化简。

d）由绝对误差定结果的有效数字。

【例4】　$N = \dfrac{4M}{\pi D^2 H}$　其中

$M = 236.124 \pm 0.002$克

$D = 2.345 \pm 0.005$厘米

$H = 8.21 \pm 0.01$厘米

求N。

解　各分量中H的有效数字位数最少（三位）应以它为准，其它分量（包括π）只保留四位有效数字：

$$N = \frac{4 \times 236.1}{3.142(2.345)^2 \times 8.21} = \frac{944.4}{3.142 \times 5.499 \times 8.21}$$

$$= \frac{944.4}{17.28 \times 8.21} = \frac{944.4}{141.9} = 6.655$$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta M}{M} + 2\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta H}{H} = +\frac{2}{240000} + 2\frac{5}{2300} + \frac{1}{820}$$

$$= \frac{10}{2300} + \frac{1}{820} = 0.5\%$$

$\Delta N = 0.5\% \times 6.6 = 0.03$

$N = 6.66 \pm 0.03$克/厘米

对于加减乘除的综合计算，应分别利用上述规则分步计算。

三、实验结果的图解表示法

如果我们要知道在一定条件下某两个物理量之间的关系（当其中的一个量变化时，另外一个量相应变化的过程），可用图解表示法整理测量的结果。例如：一定量的气体，在保持温度不变的条件下，压强与体积的关系；对于一定的导体，通过的电流与所加电压的关系等；在进行一系列的测量后，将结果用图线表示出来，就能直观地表现两个量之间的关系。

在大多数情况下，我们常在直角坐标纸上作图，现举实例说明作图的方法如下：

在验证"波义耳——马略特定律"的实验中，得到数据如下表：

体 积 V （立方厘米）	压 强 P （厘 米Hg）	$1/p$ （厘 米Hg）$^{-1}$
12.0	126.3	7.918×10^{-3}
14.0	108.3	9.238×10^{-3}
16.0	94.9	10.5×10^{-3}
18.0	84.4	11.8×10^{-3}
20.0	76.0	13.2×10^{-3}
22.0	69.2	14.4×10^{-3}
24.0	63.3	15.8×10^{-3}
26.0	58.4	17.1×10^{-3}
28.0	54.3	18.4×10^{-3}

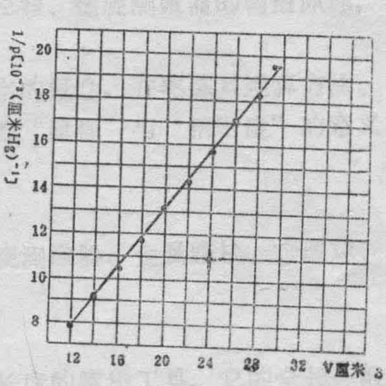
现在需要用图示法表明V和$\frac{1}{P}$的关系。

第一步：选择横坐标与纵坐标表示的数值范围，选择的原则是：能够将所有数据全部表示在图纸上，并且尽最大的可能充分利用图纸。在此例中，我们不必从"0"开始，这是因为0至10.0立方厘米与0到7.0×10^{-3}（厘米Hg）$^{-1}$之间没有数据点。如果从"0"开始，就会有空白的区域。

第二步：分别选择横坐标与纵坐标的比例尺，亦即选择坐标纸上每单位长度（一般即为厘米）代表"所代表的物理量"的数值，在此例中，可以选择横坐标每单位长度代表20立方厘米，共10单位长；纵坐标每单位长度代表1.0×10^{-3}（厘米Hg）$^{-1}$，共12单位长。选择比例尺的原则是：一方面要方便（例如以每单位长代表"3"或"7"，在标示数据点时，就很不方便）；另一方面，要使两坐标被利用的总长度相接近（在此例中为10及12），以免图线偏居一侧。

第三步，在图纸上标出数据点。在此例中以V为准来算出数据点较为方便。

第四步：根据数据点画一平滑均匀的图线。要特别注意，由于实验不可避免地有误差，有些数据点必然会偏离图线，不需要免强地使图线通过一切的数据点，因为图线表示的是实验的总结果，不应该迁就个别的测量结果（数据点）。但是应该使偏离图线的那些数据点均匀地分布在图线的两侧，如果有个别数的据点偏离图线特别远，则可以捨弃这一点，很可能这是实验的错误。



恒温过程中气体的体积V和压强倒数$1/P$间的关系的图示

第五步：根据所得图线作出必要的结论，在此例中，由于得到的图线是直线，可得此结论：$1/P$与V成正比，即

$$1/P \sim V \text{或} PV = \text{常数}。$$

这就验证了波义耳——马略特定律。

用图示法整理数据，除了可以得到某些物理量之间的相互关系外，还可以由图线找出需要的量。例如从图线上的点子寻找插值（两个数据点之间的其他数值）。

问　　题

1．为什么水与酒精的体积必须相同？

2．实验进行时粘滞计为什么必须保持竖直位置？

实验三　表面张力系数测定

目的要求

1．用拉脱法测定液体的表面张力系数。

2．了解朱利氏称的构造与使用方法。

仪　　器

朱利氏称、弹簧、砝码、铂丝门形框、夹子、酒精灯、温度计。

原　　理

由于液体分子与分子间的相互作用，使液体表面层形成一紧张的薄膜，在薄膜上作用着张力。如图3—1，设想在液体表面层MN上，划出一条线SS'，SS'把MN分成A、B两部分，由于AB两部分间分子相互作用，在SS'两侧就形成张力。这张力f的方向平行于液体表面而垂直于SS'，张力f的大小与SS'的长度l成正比。

$$f \propto l$$

$$f = \alpha l \qquad (1)$$

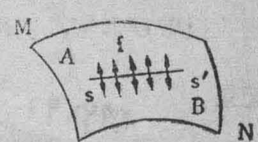


图3—1

式中α称为表面张力系数，就是作用在SS'上每单位长度上的力，在厘米、克、秒单位制中，α的单位是达因/厘米。

表面张力是液体的分子现象，液体的温度显著地影响α的值。温度增高，α的值变小，液体不纯净，α值也变小。因此，在测定时必须注明在什么温度下进行的，液体必须保持纯净。

测定表面张力系统α的方法有很多种，本实验中是利用朱利氏称来测定。

将门形铂丝浸入液体中，然后徐徐拉起，在铂丝内带起了一层薄膜如图3—2(a)，这时铂丝受两方面的作用，一方面是垂直向上的拉力F，是由弹簧的收缩而引起的，另一方面是平行薄膜表面向下的表面张力f在垂直方向之分力，此力f与垂直方向间夹角为ϕ〔如图3—2(b)〕，则平衡条件显然为$F = 2f\cos\phi$（注意有两个表面）。当液膜徐徐上升时，ϕ逐渐减小，所需的拉力也逐渐增大；ϕ减小到零时，所需的拉力增加到最大值F_0：

$$F_0 = 2f$$

$$F_0 = 2\alpha L$$

$$\therefore \quad \alpha = F_0/2L \qquad (2)$$

(*a*) 正面图　　　　　　　　　　(*b*) 侧视图

图 3—2

式 2 就是本实验用来测液体表面张力系数的公式。

测准F_0是一件很精细的工作 。我们是根据虎克定律利用弹簧秤来测定F_0的 ，设ΔX_0是弹簧处于拉力F_0时的伸长，则$F_0 = K\Delta X_0$。对于我们所用的弹簧，如果ΔX_0有0.01cm的偏差将会使α产生0.7达因/cm的偏差。我们如果精细地操作可以测准到0.005cm，即各次测出的值不超过0.005cm。如何才能做到这一点，我们将在实验步骤中再详细谈这个问题、

仪器的描述和使用方法

仪器原理与构造：

朱利氏称实际上就是一个比较精细的弹簧秤，用朱利氏称量力或重量是根据虎克定律，弹簧的伸长ΔX与它所受的拉力F成正比：

$$F = K\Delta X \qquad (3)$$

式中K叫弹簧的力常数，等于弹簧伸长单位长度的拉力。如K已知，测定弹簧在外力作用下的伸长ΔX，就可以根据K与ΔX定出作用力的大小。

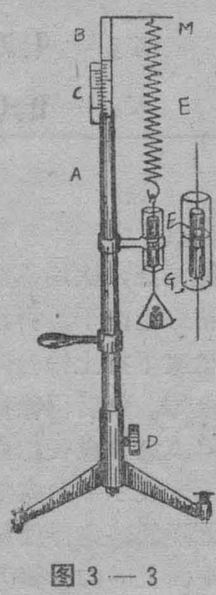


图 3—3

朱利氏秤的构造见图 3—3，A为垂直圆筒形支架，圆筒里有一可借助于旋钮D升降的B杆，升降的高度可以由B上的刻度和A上的游标C读出（读法与实验一中游标尺相同）精细的弹簧E悬在B上端横梁M上（弹簧两端直径不同，悬挂时注意直径小的在上，直径大的在下）E的下端有一金属圆柱体F，通过固定在支架A上的垂直玻璃管G（注意不要使圆柱体与玻璃管接触），F和G上都刻有标线，升降B可以使F和G上的标线重合（F上的标线以中间的为准）。

在测量前利用螺旋D校准F的高度，使F和G上的标线重合，读出B杆高度X_0。然后将欲测的力或重量加在弹簧下端，则弹簧E将伸长ΔX，金属杆F将下移，两标线不再重合。此时转动旋钮D，使B上升，直到F和G的标线再次重合为止。读出B的高

度X，则$\Delta X = X - X_0$，即为弹簧因受力引起的伸长。

使用朱利氏称时，应先调节三脚架上的三个螺丝，使支架A垂直。调整玻璃管G，使F位于G管中央（即不与管壁相触）。在游标C上读数时，应先调节F，使F和G的标线重合（注意：读数时，视线和两标线三者在同一平面内，当眼睛看过去时，只看到玻管标线的前半圆周）。转动螺旋D调整F时，应缓慢进行，以免弹簧振动。

实验步骤

（1）K值的测定：用本实验室里所用的冂形框测得水的表面张力在1克重左右，由于我们所用的弹簧秤不严格遵守虎克定律，因此，我们应该采用1克左右的拉力下的K值。

在F下端挂勾上挂上秤盘（不加砝码），旋转D，使F和G的标线重合，读出初读数X_0，然后在秤盘上依次加0.5克、1克、1.5克的砝码，扭转D，当F和G的标线再次重合时，读出相应的读数X_1、X_1、X_3。将所得的读数一并记入表一中。

表一　K值的测定

砝　码(g)	弹簧位置读数(cm)	弹 簧 伸 长(cm)	K值$=mg/\Delta X$ g/cm
0	$X_0=$ 5.70		
0.5	$X_1=$ 7.50	$\Delta X_1=$ 1.80	$K_1=$ 0.278
1	$X_2=$ 9.26	$\Delta X_2=$ 3.56	$K_2=$ 0.281
1.5	$X_3=$ 11.04	$\Delta X_3=$ 5.34	$K_3=$ 0.281
			$\overline{K}=$ 0.280

（2）F_0的测定：

（一）先用洗涤液，次用蒸馏水洗净玻璃皿，放皿于支架A上的平台上。用夹子夹住冂形铂丝在酒精灯上烧干，再挂在圆柱体F下的挂勾上。

（二）在秤盘底下挂上铂丝，调节后读出X_0，旋转D将弹簧降低，同时升高平台，使铂丝浸入液体，然后再徐徐升高弹簧，这时在冂形铂丝内拉起了一薄膜，当弹簧再继续上升时，薄膜愈拉愈长，最后薄膜从液体中被“拉脱”。在拉脱时，F标线可能在G标线的下方，这表示平台太低，应将之升高；F标线可能在G标线的上方，这表示平台太高，应将之降低，这样反复地升高或降低平台，初步找出膜被“拉脱”且F、G两标线在同一视平面上时的弹簧升高的位置（不读数）和平台的位置。

（三）稍微升高平台（约0.01cm），降低弹簧将冂形铂丝浸入液中，然后升高弹簧将液膜徐徐拉起，当F标线接近与G线重合时，让弹簧断续的微升，每次微升不超过0.005cm，（这就能将ΔX的偏差控制在0.005之内），这样我们就会观察到液膜在拉脱之前，F标线有一明显升高的“过程”，也就是说，这个“过程”的下一步液膜才被“拉脱”。如果在这一过程后，F标线与G标线刚好重合，这时的读数X才是我们所需要的，记下这时的读数。如果上述“过程”后，F标线与G标线不重合，就微调平

台（上升或下降 0.005cm）直至这一“过程”后，F标线与G标线重合为止。重复步骤（二）、（三）3次，将所得的读数记入表二，求出弹簧的平均伸长 $\overline{\Delta X}=\overline{X}-X_0$，由 $F_0=\overline{K}\,\overline{\Delta X}$ 即可定出F_0。

（3）将所定出的F_0代入式 2 即可定出a。

表二　F_0的测定　　　$t=$ 20 °C　　$L=$ 4.72 cm

弹簧的位置 $X_0=$ 7.70cm	次　数	弹簧的位置	弹簧的伸长 $\overline{\Delta X}$	F_0
	1	$X_1=$	$\overline{\Delta X}=\overline{X}-X_0$	$F_0=\overline{K}\,\overline{\Delta X}$
	2	$X_2=$	$=$	$=$
	3	$X_3=$		
	平均值	$\overline{X}=$	$a=F_0/2L=$	

实 验 四　用超声波探测深度和厚度

目　　的

1．学习A型超声波诊断仪的使用。
2．学习用超声波测物体的厚度。
3．通过实验加深理解超声波诊断疾病的原理。

验

实检器材

1．CTS—5 型超声诊断仪一台。
2．医用探头一个，探头接线一条。
3．有机玻璃圆柱三个。
4．水槽一个

探测的基本原理

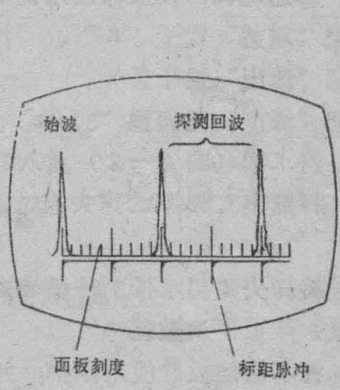


图 4 — 1

由超声仪中的标距电路产生的标距脉冲直接显示在荧光屏上如图 4 — 1 所示，它是用来标示时间的，其振荡频率为75千赫，周期为13.3×10^{-6}秒，所以在荧光屏面板上两个相邻的标距脉冲（即每小格宽度）相当于时间13.3×10^{-6}秒，这个时间也就是超声波在水中传播一厘米往返所需要的时间。

测物体的厚度时，将探头与被测物的一个端面用耦合剂（如水）耦合。当超声波在物体中传播时，超声波在被测物的射入面与射出面处均产生回波。在射入面处的回波与

在射出面处的回波被同一探头接受按先后显示在荧光屏的不同位置上，两回波（严格地说是两组回波）相隔的时间 t 可由它们之间的标距脉冲系数来表示。若其间有 n 条标距脉冲，则 $t=n\times13.3\times10^{-6}$ 秒，t 就是超声波在被测物体中传播时往返其“厚度距离”一次所需的时间。设超声波在某物体中传播的速度为 C，则该物体的厚度为

$$S=\frac{1}{2}C\times n\times13.3\times10^{-6}\cdots\cdots(1)$$

在实际测量时，我们并不直接数脉冲条数，而是利用面板上的刻度尺进行读数的。实际情况是这样的：假设在面板刻度的 0—m 刻线之间适有 n' 标距脉冲，$1:\frac{n'}{m}$ 叫该情况下的显示比，表示在刻度尺上相邻两刻线间有 $\frac{n'}{m}$ 条标距脉冲，如果两回波相距 m' 个刻线间隔，则两回波间有 $n=m'\times\frac{n'}{m}$ 条标距脉冲，则物体的厚度为

$$S=\frac{1}{2}C\times m'\times n'/m\times13.3\times10^{-6}\cdots\cdots(2)$$

式中的 $\frac{1}{2}C\times13.3\times10^{-6}$ 一般称为定标值，则

$$S=m'\times\text{定标值}/\text{显示比}\cdots\cdots(3)$$

由定标值的定义，定标值与超声波在被测物体中的传播速度有关，不同的被测物质对应有不同的定标值。由 $\frac{1}{2}C\times13.3\times10^{-6}$ 定出定标值。

在测量时，要使欲观测的各回波均适当地一同显示在荧光屏上，需要调节深度的“粗调”和“微调”旋扭。在调节这两个旋扭时，标距脉冲在荧光屏上的间距也就随之变长或变短，因而显示比也就改变了，所以在测量时，首先要在欲测的各回波适当地均显示在荧光屏上的情况下确定显示比，然后读出射入面处与射出面处两回波在面板刻度尺上的读数差 m'（m' 与 m 的单位要相同），将 m' 和定出的定标值、显示比代入式（3）即可算出被测物体的厚度。

测　量

定标值 $S_{水}=1.00\,cm$

$S_{有机玻璃}=1.82\,cm$

（一）测水的深度

步骤

1．接通电源，按仪器使用说明把“辉度”、“聚焦”、“移位”调整好。

把“增益”置于“6”、“抑制”置于“5”的位置。

把“输出”置于最大。

把“深度”粗调置“30cm”，再细微调整“深度微调”，使显示比为1：1。

2．将水槽（图4—2）放入2/3容积的水。

3．将频率2.5MC的探头通过连接线与“输出Ⅰ”接好。并将“频率”旋钮置于2.5MC。

4．将探头 T 与水槽的一个端面耦合如图4—2（在此情况下，射入面处的回波与始波重叠），记下读数差 m'。

5．将水槽挡板 P 放入槽中，并分别将 P 置于距探头为2、4、6、8厘米处，在荧光屏上观察波形并记录始波与回波在刻度尺上的读数差 m'。

记录与结果

测水时读数 $-0.3\,cm$

显示比＝10:10

定标值＝$\frac{1}{2}C\times13.3\times10^{-6}=1cm$