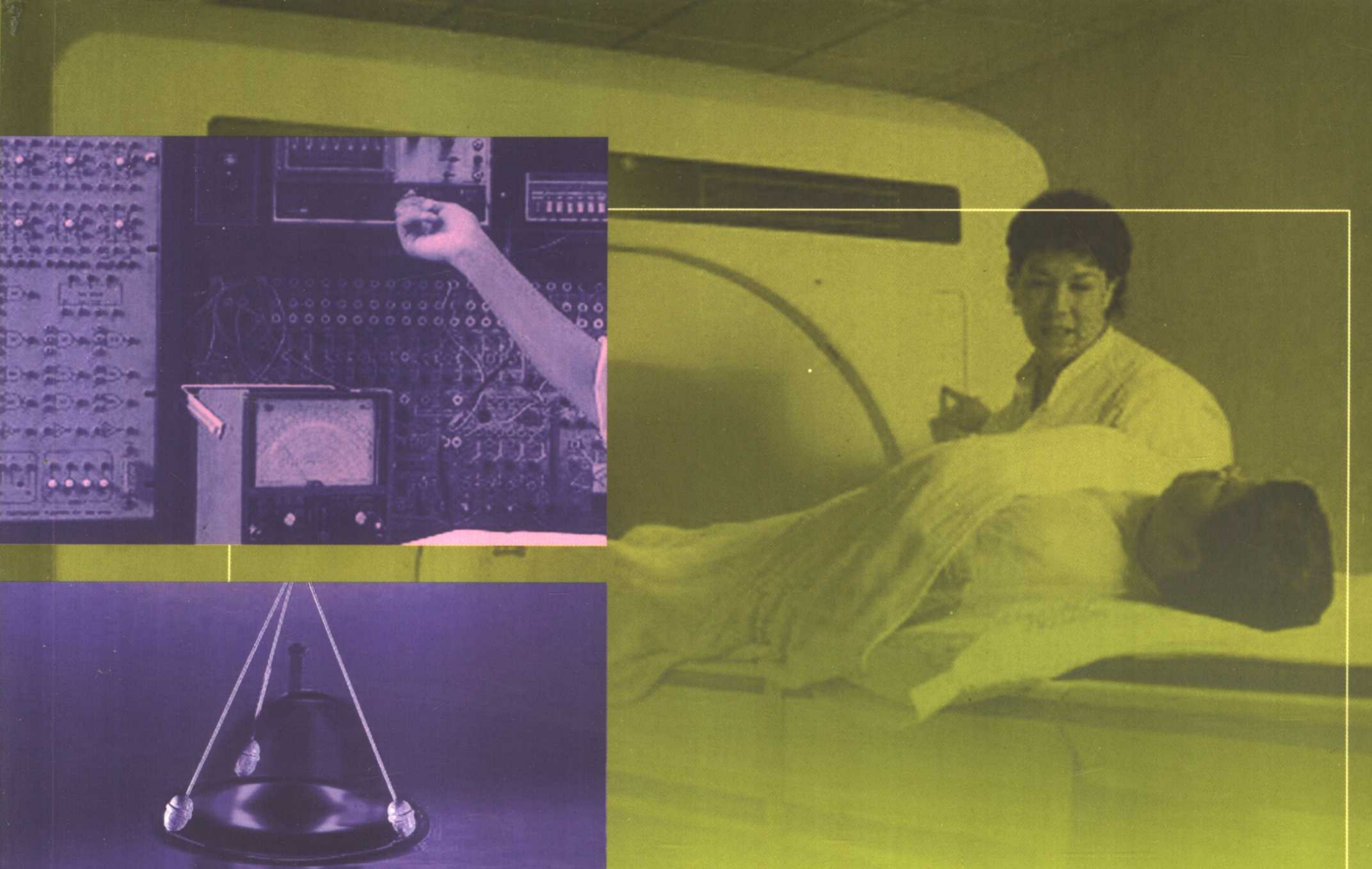


医用物理学实验

主编：曾碧新
黄　敏
陈付毅
邵和鸿

浙江大學出版社

医用物理学实验

主　编：曾碧新　黄　敏　陈付毅　邵和鸿

浙江大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

医用物理学实验 / 曾碧新主编. —杭州：浙江大学出版社，2005.3
ISBN 7-308-04258-8

Ⅰ.医... Ⅱ.曾.... Ⅲ.医用物理学-实验-医学院校-教材 Ⅳ.R312-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 063861 号

出版发行 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(E-mail:zupress@mail. hz. zj. cn)
(网址:http://www.zjupress.com)
责任编辑 陈晓嘉 宋纪浔
排　　版 浙江大学出版社电脑排版中心
印　　刷 浙江大学印刷厂
开　　本 787mm×1092mm 1/16
印　　张 6.25
字　　数 160 千字
版 印 次 2005 年 6 月第 1 版 2006 年 1 月第 2 次印刷
印　　数 3500—5500
书　　号 ISBN 7-308-04258-8/R・175
定　　价 13.50 元

前 言

医学物理学是高等医学教育中的一门基础课。它的任务是比较系统地教授学生物理学知识，使他们能够掌握物理学中的基本概念、基本规律和基本方法，为学习后续课程以及将来从事医疗卫生工作准备物理基础。医用物理学实验是对学生进行科学实验基础训练的一门重要课程，它不仅可以加深学生对医学物理学理论的理解，更重要的是使学生获得基本实验知识，在实验方法和实验技能诸方面得到较为系统、严格的训练，培养他们进行科学工作的能力和良好的工作作风。本教材是依据医用物理学实验教学大纲和作者长期的医用物理学实验教学实践编写的，是作者长期从事医用物理学实验教学经验的总结。

本教材除了介绍力学、热学、声学、电磁学、光学和近代物理实验外，还根据医学院校专业的特点，增加了包括人耳听阈曲线测定、脉搏频率与波形测定、角膜曲率半径测定等医用物理量测定的实验。

本教材主要由曾碧新、黄敏、陈付毅、邵和鸿分工主编，其中曾碧新编写绪论（关于测量结果的计算和作图）、实验十六、十八、二十二、附录2；黄敏编写实验五、十一、十七、十九、二十一；陈付毅编写实验三、四、六、十；邵和鸿编写实验一、八、九、十二、十三、二十三；另外，孙俭与曾碧新合编实验二、二十；郑捷霖与黄敏合编实验十五；陈亮亮与陈付毅合编实验七、十四；郑捷霖与陈付毅合编附录1。

本教材适合高等医药院校五年制和七年制临床、基础、口腔、预防、医学检验、卫生检验、护理、麻醉、影像、药学等专业使用，也可供医药院校其他专业和生命科学有关专业使用。

陈世苏教授审阅了全书，一些从事医用物理实验教学多年的教师对本教材的成书做了很多工作，胡晞同志绘制了大部分插图，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，书中难免有不恰当之处，敬请读者不吝指正。

编 者

2005 年 5 月

目　录

绪　论

关于测量结果的计算和作图

一、测量的误差

由于我们受所使用仪器精确程度的限制和感觉灵敏度的差异，任何物理量的测量都是有一定误差的。因此，我们必须对误差的性质进行分析，对测量所得的结果进行合理的处理和恰当的评价，既不对它的精确性估计过高，也不致产生不必要的怀疑。

测量误差按其性质可分为两大类，一类称作系统误差。产生系统误差的主要原因，是由于校正不够完善，或者仪器本身有缺陷。例如一根标尺的刻度间隔太大或太小，用它量出的长度就会太小或太大。又如由于假定电流计指针的偏转格数与电流强度成正比，因此把电流计的标尺按线性关系来刻度，但实际情况并非完全如此，于是电流计指示的数值就和真实电流间有了差异。这类误差具有确定的性质，可以通过对仪器的校正和测量本身来修正，理论上可以把这类误差降低到当时测量技术所能达到的最低限度。但是在实际工作中，这种修正不是常能做到的，实验更是少有可能。因此，在对测量结果的准确性做出判断时，自然不可能把这种总是存在着的系统误差一同考虑在内。

另一类误差称为偶然误差，产生它的主要原因是在观察者本身，而且主要是由于读数时受到感觉器官分辨本领的限制之故。例如用一根米尺测量某一物体的长度，在确定物体两端读数时，只能估计到米尺的最小刻度(1mm)的几分之一，有时估计得多些，有时估计得少些。因此，这类误差具有不确定的性质。在一系列的测量中，各个测量结果都将分散在其平均值附近。离平均值越远，出现的次数越少。在不考虑系统误差的情况下，我们可以说，所要测量的物理量的真值在各次测量值分散的范围以内，而且比较靠近平均值。但平均值并不是真值，例如增加测量次数，平均值通常有所变动，而真值是不变的。误差理论及计算的目的乃是确定怎样的值最接近于真值及其偏离真值的程度如何。

二、最近真值与平均误差

根据概率论可以证明，对一个物理量进行重复测量时，各次测量的算术平均值最接近真值，算术平均值$\bar{x}$的计算公式为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \qquad (0-1)$$

式中n为测量次数，x_k为第k次测量所得的值。因为其真值是不知道的，或根本不存在，因此我们以$\bar{x}$来代表真值，而将$U_k = x_k - \bar{x}$称为各次测量的偏差。但从式(0－1)可以看出，

$\sum U_k = 0$，因此 U_k 本身尚不足以表示测量数据的离散程度，所以我们用 U_k^2 来度量误差的大小，将

$$S = \sqrt{\frac{\sum U_k^2}{n-1}} \tag{0-2}$$

称作各次测量值 x_k 的均方差，也称标准差。

显然，平均值比个别测量值更接近真值，它应具有更小的误差。理论证明，平均值的误差比标准差要小$\sqrt{n}$倍，即

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum U_k^2}{n(n-1)}} \tag{0-3}$$

因为偶然误差具有不确定的性质，故 $S_{\bar{x}}$ 应冠以±号，测量的最后结果则写成

$$\bar{x} \pm S_{\bar{x}} \tag{0-4}$$

$S_{\bar{x}}$ 称为平均值的标准误差，实验中我们将它写成 Δx。

例 测量某一长度 10 次，结果如下表所示，求平均值及其标准误差，并表示出最后结果。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i/cm	63.57	63.58	63.51	63.52	63.54	63.59	63.51	63.57	63.55	63.59

参考附录二，我们可以用计算器直接算出平均值 $\bar{x}$ 和标准差 S，再求 $S/\sqrt{n}$ 得到 Δx。平均值位数按有效数字规则（参照本章五中所述）选取，得 $\bar{x}=63.55$cm。误差是根据概率论的一些假定而求得的，它不是一个严格的结果，只是从数量级上来评定实验结果，因此把它计算得十分精确是没有意义的，所以误差总是以测量的平均值末位为标准，四舍五入取一位有效数字，至多取两位。因此，可得误差 $\Delta x=\pm0.01$cm，最后的结果表示为

$$x=(63.55\pm0.01)\text{cm}$$

三、绝对误差与相对误差

上面所讨论的误差称为绝对误差，但单由绝对误差还不能十分清楚地评定实验结果的好坏。例如，测量 1cm 长度时误差为±0.1cm，与测量 1000cm 时误差为±0.1cm，两者的差别显然很大，前者误差占结果的±10%，后者只占±0.01%，但绝对误差都是0.1cm。因此，还得用误差与实验结果的比值来评定测量精度，这就是相对误差，写成 $\Delta x/\bar{x}$。相对误差用百分比表示，所以也称百分误差。如上例中，其相对误差为

$$\frac{\Delta x}{\bar{x}} = \frac{\pm0.01}{63.55} = \pm0.02\%$$

注意：相对误差也只取一位有效数字。

四、复合量的误差

在大多数物理实验中，往往必须用一个或几个直接测量的量来求得一个待测的物理量，因此它是一个复合量。例如由测量一矩形物体的长与宽来求其面积，面积就是复合量。每

一个互不相关的直接测量的量，都有自己的误差，它们对最后的复合量的影响如何呢？这里仅列出我们实验中最常用到的两种情况的公式*。

1. 如果复合量 R 是各直接测量量 $x,y,z,\cdots$ 的和或差，即 $R=x\pm y\pm z\pm\cdots$，则复合量 R 的最大绝对误差 ΔR 为各直接测量量绝对误差的绝对值之和。即

$$|\Delta R|=|\Delta x|+|\Delta y|+|\Delta z|+\cdots \tag{0-5}$$

ΔR 在结果中也要冠以±号。

2. 如果复合量 R 为各直接测量量之积或商，即 $R=x\times y\times z\cdots$ 或 $R=x\div y\div z\div\cdots$ 或 $R=x\times y\div z\cdots$ 等，则复合量的相对误差 $\Delta R/\overline{R}$ 的绝对值为各直接测量量相对误差绝对值之和。

$$\left|\frac{\Delta R}{\overline{R}}\right|=\left|\frac{\Delta x}{\overline{x}}\right|+\left|\frac{\Delta y}{\overline{y}}\right|+\left|\frac{\Delta z}{\overline{z}}\right|+\cdots \tag{0-6}$$

推广开来，如果 $R=x^a\cdot y^b\cdot z^c\cdots$，式中 $a,b,c\cdots$ 为任意实常数，则

$$\left|\frac{\Delta R}{\overline{R}}\right|=\left|a\frac{\Delta x}{\overline{x}}\right|+\left|b\frac{\Delta y}{\overline{y}}\right|+\left|c\frac{\Delta z}{\overline{z}}\right|+\cdots \tag{0-7}$$

运算中经常遇到的常数，可看成是一个没有误差的量（一些数字常数应按计算的要求取足够的位数）。

例　用伏安法测量一电阻，测得电阻两端的电压和流过电阻的电流分别为：$V=(220\pm1)\text{V}$，$I=(0.945\pm0.005)\text{A}$，求电阻 R 及其误差。

解：　因为 $R=V/I$，所以

$$\overline{R}=\frac{\overline{V}}{\overline{I}}=\frac{220}{0.945}=233(\Omega)$$

先计算相对误差：

$$\left|\frac{\Delta R}{\overline{R}}\right|=\left|\frac{\Delta V}{\overline{V}}\right|+\left|\frac{\Delta I}{\overline{I}}\right|=\frac{1}{220}+\frac{0.005}{0.945}=0.5\%+0.5\%$$

于是有

$$\Delta R=\overline{R}\,\frac{\Delta R}{\overline{R}}=233\times1\%=2(\Omega)$$

最后结果为

$$R=(233\pm2)(\Omega)$$

五、有效数字及其运算简则

用天平去称一个物体，得重 1734g。由于末位数 4 是通过游码标尺估计而来的，所以是

---

* 按照严格的理论，倘复合量为 $R=R(x,y,z\cdots)$，则其绝对误差应表示为

$$\Delta R=\sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial R}\Delta x\right)^2+\left(\frac{\partial R}{\partial R}\Delta y\right)^2+\left(\frac{\partial R}{\partial z}\Delta z\right)^2+\cdots}$$

式中 $\frac{\partial R}{\partial x},\frac{\partial R}{\partial x},\frac{\partial R}{\partial x},\cdots R$ 分别为对 $x,y,z\cdots$ 的偏导数。鉴于我们还未学习偏导数，而且按该式计算也太繁复，我们仍用(0－5)、(0－6)、(0－7)等式来求复合量的误差。诚然，这样求得的误差要比实际的误差值大些，但考虑到一些我们没有估计到的误差，这样的计算可能更接近真值。

不可靠的(即可疑的),而 1,7,3 直接从砝码数读出,是可靠的(即可信的)。直接从刻度尺上的标度读出的可靠数和一位从刻度尺上估读的可疑数统称为有效数字。在实验中,物理量的值均用有效数字表示。上面的例子中,重量可写成 173.4×10g 或 1.734×10^3g,有效数字自左边第一个不为 0 的数算起,如 0.001374 和 1374 都是 4 位有效数字,而 130 或 103 则都是 3 位有效数字。有效数字常采用科学计数法表示,上面的例子常表示为 1.734×10^3g。利用有效数字,使人一看就知道末位是估计的,是有误差的。因此有效数字的位数和该量的误差密切地关联着。有效数字多的,其相对误差一般较小,反之则大。因此,在写一物理量的值时,要按照测量误差正确地写出有效数字。例如 1734g 和 173×10g 两数所表示的重量相同,但前者为 4 位有效数字,其误差为千分之几,后者为 3 位有效数字,其误差为百分之几,是不相同的。有效数字不因所用的单位而不同,例如 1.734×10^3g、1.734×10^6mg、1.734kg、0.001734T 都是 4 位有效数字。

复合量的有效数字由各直接量的有效数字决定,通常有如下法则:

复合量由几个量相加或相减而得时,其有效数字保留到诸量中最高可疑位。

例 $10.1\text{g}+4.178\text{g}=14.3\text{g}$

复合量由几个量相乘除而得时,其有效数字的位数和诸量中有效数字位数最小者相同。

例 $12.34\times0.0234=0.289$

这两条法则对复合量的误差计算是很容易理解的。它们给计算带来很大方便,但它们并不是十分严格的。复合量的准确有效数字应按复合量的误差确定,即其最后一位有效数字就是误差位。

六、关于作图的一些规则

在许多实验中,要将实验数据绘成图,以便更直观地观察各量之间的关系。作图时要注意以下几个问题:

1. 选取合理的比例关系。这要照顾到两个方面。一是比例关系应尽量简单易算,例如选取 1∶1,1∶2,1∶5(包括 1∶10,1∶100,1∶20,1∶200,…),这样在作图时就不至于因换算而花费太多时间;二是要使图线在图中占据显著的位置和合适的大小,既不局限于一隅,又不能画到图的外面去。如果是一条直线,应尽可能使它有接近 45°的倾斜角。下面以几种不恰当的作图与正确的作图相对照,如图 0－1 所示。
2. 线须画得细,并有光滑的趋势,以使测量值的各个点大致均等地分布在曲线的两旁。
3. 坐标轴应标明名称和单位。
4. 图上要标出图名。

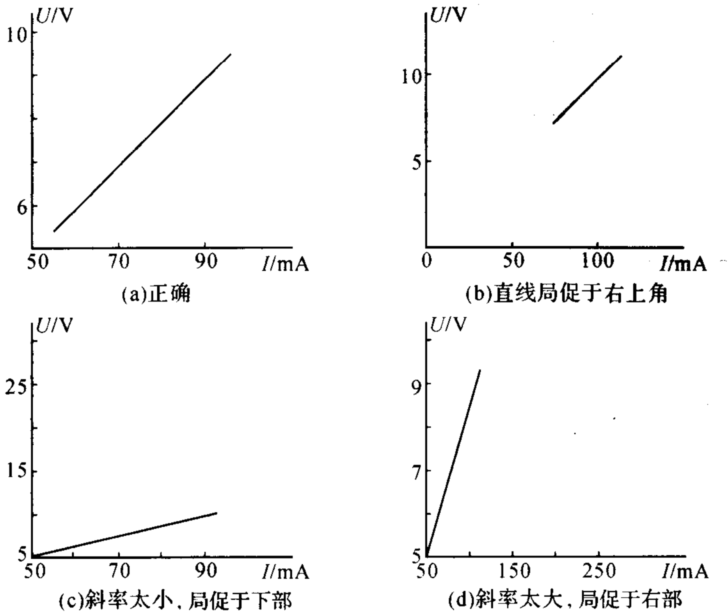
有时,用一个坐标或两个坐标都是以 10 为底的对数标度的坐标纸(分别称为单对数坐标纸、双对数坐标纸)作图,往往要比用普通的坐标纸作图方便。

例如:γ 射线的吸收规律为

$$I=I_0e^{-\mu x}$$

$$\ln I=-\mu x+\ln I_0$$

用普通坐标纸作图,描述的是一根指数曲线;用单对数坐标纸(纵轴为对数)作图,可以将其函数曲线表示成一条直线。二者因坐标纸不同产生的差异是:单对数坐标纸通常一坐标取等间隔,另一坐标取对数间隔。对数坐标大的间隔按级划分,每“级”可以容纳一个数量级的数值。对



(a)正确　(b)直线局促于右上角

(c)斜率太小，局促于下部　(d)斜率太大，局促于右部

图 0—1　几种作图

数坐标的标度为 1,2,3,…,9，对应坐标间隔长度按 ln1,ln2,ln3,…,ln9 的比例标出。因此，只要标出轴名、标度，曲线即为 $\ln I$-x 图。斜率 μ 由计算曲线上两点的坐标求得。

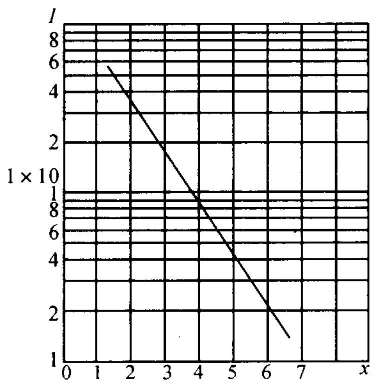


图 0—2　$\ln I$-x 图

练习题：

(1)用弹簧秤测量某一固体的密度。a 表示挂上该物体时弹簧的伸长，a'表示将物体放入水中时，弹簧伸长的减少量，ρ 和 ρ'分别表示待测固体和水的密度，它们之间存在$\rho=\rho'\dfrac{a}{a'}$的关系。现测得 a 和 a'的数据如下表，已知水温为 25℃时，$\rho'=0.997\mathrm{g\cdot cm^{-3}}$。试求 25℃时待测物体的密度$\bar{\rho}\pm\Delta\rho$。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a/cm	10.16	10.17	10.18	10.16	10.19	10.18	10.17	10.19	10.22	10.22
a'/cm	3.69	3.69	3.71	3.71	3.74	3.72	3.75	3.74	3.77	3.74

(2)利用测定物距 a 和像距 b 来测定透镜的焦距 f，得下列数据(测量 5 次)，试计算平均值 $\overline{f}$ 及 Δf，并将结果写成 $f=\overline{f}\pm\Delta f$。

a/cm	97.34	105.84	113.21	120.13	126.63
b/cm	67.16	64.16	61.79	59.87	58.37
f/cm					

计算 f 的公式为 $f=\dfrac{ab}{a+b}$(提示：这里每次的 a 及 b 都是不同的，因此应先计算相应各次的 f，然后再求 $\overline{f}$ 及 Δf)。

(3)用滑线式惠斯登电桥测量电阻。滑线全长为 $L=100.00\text{cm}$。今测得电桥平衡时，R_x 侧滑线长 x 的值如下表。由 $R_x=R_0\dfrac{x}{L-x}$，$R_0=100\Omega$(常数)，求 $\overline{R_x}$ 及 ΔR_x，并将结果写成 $R_x=\overline{R_x}\pm\Delta R_x$。

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x/cm	57.80	57.77	57.78	57.80	57.80	57.79	57.78	57.80	57.80	57.80

$\overline{x}=$　　　　　　　　　　$\Delta x=$

$R_x=\overline{R_x}\pm\Delta R_x=$

提示：由于 x 和 $(L-x)$ 不是相互独立的量，ΔR_x 不能表示为 $\dfrac{\Delta x}{\overline{x}}+\dfrac{\Delta(L-\overline{x})}{L-\overline{x}}$，而根据误差理论，它可表为 $\dfrac{\Delta R_x}{\overline{R_x}}=\dfrac{L\Delta x}{\overline{x}(L-\overline{x})}$。

实验一　液体黏滞系数的测定

一、实验目的

1. 掌握毛细管黏滞计的原理。
2. 测定酒精的黏滞系数。

二、实验原理

当液体通过毛细管且作稳定层流时，如果管的半径为 R，管长为 L，管两端的压强差为 Δp，t 秒内流过液体的体积为 V，则根据泊肃叶定律，该液体的黏滞系数 η 为

$$\eta=\frac{\pi\Delta p t R^4}{8VL} \tag{1-1}$$

由上式，若相同体积的两种不同液体在同样条件下通过同一毛细管，第一种液体流过的时间为 t_1，其密度为 ρ_1；第二种液体流过的时间为 t_2，其密度为 ρ_2，则

$$\eta_1=\frac{\pi\Delta p_1 t_1 R^4}{8VL}=\frac{\pi\rho_1 g h t_1 R^4}{8VL} \tag{1-2}$$

$$\eta_2=\frac{\pi\Delta p_2 t_2 R^4}{8VL}=\frac{\pi\rho_2 g h t_2 R^4}{8VL} \tag{1-3}$$

(1—2)、(1—3)两式相除，消去 V、R、L、h 得到

$$\eta_2=\eta_1\frac{\rho_2 t_2}{\rho_1 t_1} \tag{1-4}$$

用这种比较测量法，只要知道某一标准溶液的 η 和 $\rho(\eta_1,\rho_1)$ 及待测液体的密度 ρ_2，可以无需知道 R、V 和 L 的值，就能方便地求出 η_2。

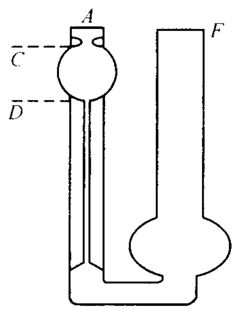


图 1－1

三、实验仪器

毛细管黏滞计、万用支架、酒精、蒸馏水、温度计、移液管、吸气球、秒表。

四、实验步骤

1. 将蒸馏水注入毛细管黏滞计(黏滞计如图 1—1 所示)，进行洗涤。

2. 保持毛细管黏滞计竖直位置，用清洁的移液管将一定体积的蒸馏水($6cm^3$)自 F 端注入。

3. 用吸气球在 A 端吸液，使液面上升到 C 刻度线以上约 0.5cm 左右(见图 1－1)，然后让液体自然下降。

4. 当 A 端液面降到 C 时，开动秒表，记录蒸馏水自 C 流至 D 的时间 t_1。

5. 重复上面步骤 3、4 共 5 次，算出$\overline{t_1}$及 Δt_1。

6. 将水倒出，用酒精洗涤黏滞计(洗过的酒精不要倒入原瓶中，应倒在另一个容器中)。

7. 用移液管把与蒸馏水同体积的酒精移入黏滞计，重复步骤 3、4 共 5 次，算出$\overline{t_2}$及 Δt_2。

8. 将酒精倒出，用蒸馏水清洗仪器。

9. 按 $\eta_2=\overline{\eta_2}\pm\Delta\eta_2$ 计算酒精的黏滞系数。由 $t_1=\overline{t_1}\pm\Delta t_1$，$t_2=\overline{t_2}+\Delta t_2$ 及公式(1－4)，并利用误差理论可得 $\Delta\eta_2$，从而算出 $\eta_2=\overline{\eta_2}\pm\Delta\eta_2$。

五、实验记录及结果

已知 $T=0$℃时，$\rho_{0水}=0.99987\text{g/cm}^3$，$\rho_{0酒精}=0.80625\text{g/cm}^3$。

次数	水流过 CD 的时间 t_1(s)	酒精流过 CD 的时间 t_2(s)
1		
2		
3		
4		
5		
平均		

$\Delta t_1=$ (s) $\Delta t_2=$ (s)

水的密度 $\rho_1=$ (g/cm³) 酒精密度 $\rho_2=$ (g/cm³)

温度＝ (℃) 水的黏滞系数 $\eta_1=$ (Pa·s)

酒精的黏滞系数：$\eta_2=\overline{\eta_2}\pm\Delta\eta_2=$ (Pa·s)

六、思考题

1. 为什么水与酒精的体积必须相同？

2. 为什么要记录液体的温度？在测量过程中为什么必须保持温度不变？

附表:各种温度下水的黏滞系数

T(℃)	η_1(Pa·s)	T(℃)	η_1(Pa·s)
0	0.00179	19	0.00103
1	0.00173	20	0.00100
2	0.00167	21	0.00098
3	0.00162	22	0.00096
4	0.00157	23	0.00094
5	0.00152	24	0.00091
6	0.00147	25	0.00089
7	0.00143	26	0.00087
8	0.00139	27	0.00085
9	0.00135	28	0.00084
10	0.00131	29	0.00082
11	0.00127	30	0.00080
12	0.00124	31	0.00078
13	0.00120	32	0.00077
14	0.00117	33	0.00075
15	0.00114	34	0.00074
16	0.00111	35	0.00072
17	0.00108	36	0.00071
18	0.00106	37	0.00069

提示:$\rho_t=\rho_0(1-\beta t)$;$\beta_{水}=0.00021/℃$;$\beta_{酒精}=0.00110/℃$。

实验二　人耳听阈曲线的测定

一、实验目的

1. 掌握听觉实验仪的使用方法。
2. 测定人耳的听阈曲线。
3. 了解测定听阈曲线的原理和方法。

二、实验原理

能够引起听觉器官声音感觉的波动称为声波。通常声波的可闻频率范围为 20～20000Hz。声波能量的大小常用声强和声强级两个物理量描述。声强是单位时间内通过垂直于声波传播方向的单位面积的声波能量，用 I 来表示。声强级是声强的对数标度，它是根据人耳对声音强弱变化的分辨能力来定义的，用 L 来表示。L 与 I 的关系为

$$L=\lg\frac{I}{I_0}(\mathrm{B})=10\lg\frac{I}{I_0}(\mathrm{dB})$$

式中 $I_0=10^{-12}\,\mathrm{W/m^2}$。

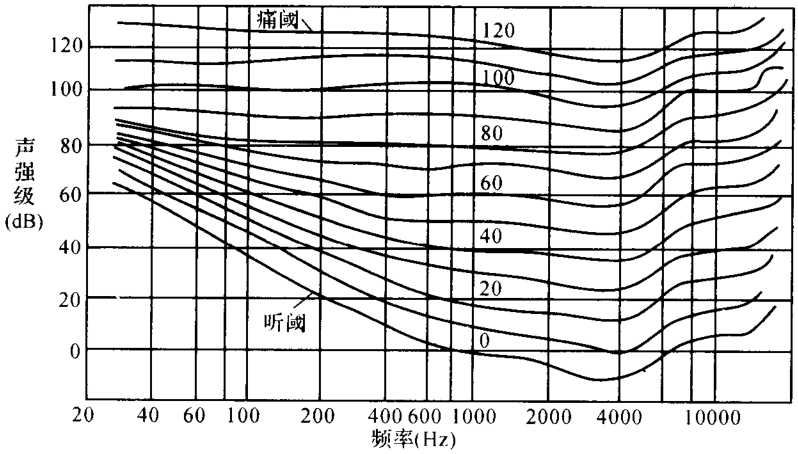


图 2－1　听觉区域和等响曲线

引起听觉的声音，不仅在频率上有一定范围，而且在声强上也有一定范围。就是说，对于在声波范围内（20～20000Hz）的任一声波频率来说，声强还必须达到某一数值才能引起人耳听觉。能引起听觉的最小声强叫做听阈。对于不同频率的声波，听阈不同。听阈与频率的关系曲线叫做听阈曲线。随着声强的增大，人耳感到声音的响度也提高了，当声强超过某一最大值时，会对人耳引起痛觉，这个最大声强称为痛阈。对于不同频率的声波，痛阈也

不同。痛阈与频率的关系曲线叫做痛阈曲线。声音强弱的主观感觉量为响度级，单位为昉，由图 2－1 可知，听阈曲线即为响度级为 0 昉的等响曲线，痛阈曲线则为响度级为 120 昉的等响曲线。

在临床上常用听力计测定病人对各种频率声音的听阈值，并与正常人的听阈进行比较，借以诊断病人的听力是否正常，实验仪器示意图见图 2－2。

三、实验仪器

听觉实验仪、立体声耳机等。

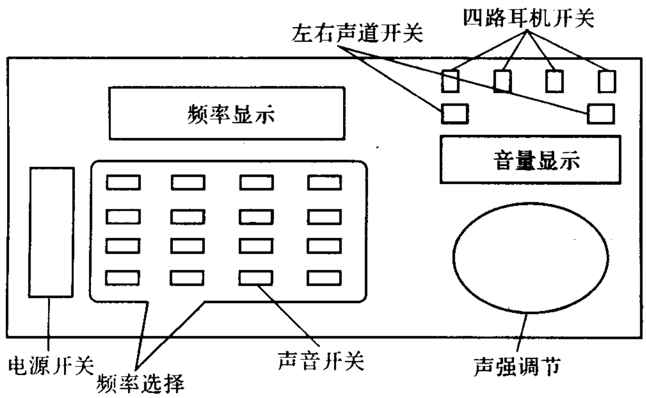


图 2－2　仪器示意图

四、实验步骤

1. 接上“电源开关”，插上耳机。

2. 打开“电源开关”，仪器频率显示“－00”，音量显示“40”dB。按下对应耳机插座的开关，对应耳机的通道指示灯点亮；再按下耳机开关，则关闭。

3. 按下“左声道”按钮，打开左声道；再按下相应耳机开关。根据实验内容，可同时或分别选用左右声道。

4. 通过“频率选择”按钮，选择音频频率。如需 12kHz 的频率，则按标有 12000Hz 的按钮，频率显示“12000”，此时被试者可转到频率为 12kHz 的音频信号进行测试。

5. 旋转“音量调节”旋钮，顺时针方向旋转旋钮，音量增强；逆时针旋转，音量减弱。调节音量时，音量指示变化。

6. 如需关闭信号，则按一下标有 OFF 的按键，信号关闭；如需打开，就按需要的频率键。

五、实验注意事项

1. 开机前，请确认所使用的电源在交流 198～242V 范围内，否则可能导致仪器受损。

2. 每次打开电源开关，仪器将自动把音量设置在“40”dB，而音频信号则设置在关的状态，显示“00”。

3. 实验前，仪器最好先预热 2min，以使仪器各项指标达到最佳状态。

4. 禁止在开机状态，插拔耳机插头。

5. 由于目前耳机制造技术上的原因，耳机在整个音频范围内，各频率转换的效率不同，因而导致在同样电平的驱动下，不同频率的声强不同，实验者必须根据耳机频率响应修正数据(表 2－1)，对实验结果进行推算和分析。例如，当音量显示“56”，频率为 1000Hz 时，校正后的音量为 56＋0＝56；而频率换成 10000Hz，查表 10000Hz 为“－4”，则音量为 56－4＝52；同理，频率为 2kHz，音量 56＋5＝61，由此可得到较正确的实验结果。

表 2—1　耳机频率响应修正表

频率(Hz)	20000	18000	14000	12000	10000
校准值	－16	－13	－4	－0.5	－4
频率(Hz)	8000	4000	2000	1000	800
校准值	－5.5	－7.5	＋5	－0	－3
频率(Hz)	400	200	100	50	25
校准值	－5	－7	－22	－23	－23

六、实验记录及结果

1. 记录各频率下的声强级 L 和校正后的声强级 L'。

频率 f(Hz)		25	50	100	200	400	800	1000	2000	4000	8000	10000
左耳	声强级 L(dB)											
	校正后声强级 L'(dB)											
右耳	声强级 L(dB)											
	校正后声强级 L'(dB)											

注：L 为实验测得声强级；L' 为校正后的声强级。

2. 在单对数坐标纸上做听阈曲线。

七、思考题

1. 有人说 40dB 的声音听起来一定比 30dB 的声音更响一些，你认为对不对？
2. 声强级与响度级有何不同？