



中等专业学校教材

物理化学实验

(第二版)

马葆富 主编

化学工业出版社

O64-33
M011:1

中等专业学校教材

物理化学实验

(第二版)

马葆富 主编

化学工业出版社
·北京·

(京)新登字039号

图书在版编目(CIP)数据

物理化学实验/马葆富主编.—2版.—北京:化学工业出版社,1994.3(2001.3重印)
中专学校教材
ISBN 7-5025-1223-3

I. 物… II. 马… III. 物理化学 化学实验 IV. 064-33

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第01294号

中等专业学校教材
物理化学实验
(第二版)

马葆富 主编
责任编辑:梁虹
封面设计:任辉

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)
发行电话:(010)64918013
<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销
北京市燕山印刷厂印刷
北京市燕山印刷厂装订
开本 787×1092毫米 1/32 印张 7⁵/₁₆ 字数 171千字
1994年3月第2版 2001年3月北京第6次印刷
印数, 75701—85300
ISBN 7-5025-1223-3/G·315
定 价: 10.00元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书是根据化工部1990年制定的中等专业学校“物理化学实验教学大纲”编写而成的。

全书内容共分三部分 I. 测量误差和数据处理: 主要介绍物理化学实验中常用的误差分析和测量结果的处理方法; II. 实验部分: 选编了二十五项实验。每项实验包括实验目的、原理、所用仪器药品、操作步骤、数据处理和思考题等。对数据处理繁杂的实验, 还编写了计算机处理数据的计算程序; III. 附录部分: 选编了物理化学实验中常用仪器, 介绍了仪器的原理、结构和使用方法。

本书是化工中等专业学校的统编教材, 可供其它中等专业学校有关专业用作教材或教学参考书, 也可供读者自学参考。

修 订 版 前 言

本书按照全国化工中等专业学校基础化学编委会1990年制定的《物理化学实验教学大纲》的要求，并在广泛征集各校教师对第一版教材使用意见的基础上修订的。

与第一版相比，本书力求适应化工中等专业学校的培养目标，力求适应教学改革的需要，进一步强调物理化学实验基本技能的训练和实际应用能力的培养。为此目的，全书按以下三部分内容来编写。

1) 测量误差和数据处理 着重介绍物理化学实验中常用的误差分析和测量结果的处理方法。要求学生学习后能在实践中加以应用。

2) 实验部分 修订时特别注意结合化工专业的特点，强调物理化学实验技术的实际应用。故增加了与化工专业联系较密切的一些实验，如“差热分析”、“乙醇脱水多相催化反应”等。原有的实验内容也作了部分修改。考虑到中专教育的实际情况，全部实验所用的仪器设备都是比较普遍的，而且容易获得。全书编入二十五项实验，各校可根据自己学校的实验室条件，按大纲的要求选做部分实验。

修订时还考虑到有些学校物理化学实验已单独设课，为便于学生预习实验，特意把“实验原理”和“实验步骤”做了较详细地叙述，有些实验还注有“实验注意事项”和“思考题”，以利于学生积极思维，培养独立思考能力。

鉴于计算机技术在化学、化工中已普遍应用，各校也早已

开设计算机课程，因此书中在一些数据处理较复杂的实验后面都附有计算机处理数据的计算程序（采用SHARP PC-1500型计算机，这种机型价格低廉，一般学校都有能力配备）。

3) 附录部分 介绍常用仪器的原理、结构和使用方法。修订后，新增了“热敏电阻”、“气相色谱”等内容，目的是让学生开阔视野，学习到更多的测试手段和技术。书末还附有常用数据表，列出本书各实验需要查找的一些数据。

参加本书修订和实验工作的有马葆富、毕瑞琦和刘立明等同志。为了验证和完善各项实验，吉林化校物理化学教研室金胜哲、金春光、李素婷和赵宏霞等同志做了大量工作。河北化校张望同志对全稿进行了审阅，并提出不少合理的建议。特别是初版至今六年来，使用本书的各兄弟学校提出了许多宝贵意见，对本书的修订工作是极大的鼓励和帮助。谨此一并表示衷心感谢。

由于我们水平有限，不当之处在所难免，殷切期望读者提出批评意见。

编者

1993年4月

目 录

写在学生实验前面——实验守则	1
I. 测量误差及数据处理	2
一、引言	2
二、真值与平均值	3
三、测量的准确度和精密度	4
四、关于有效数字	5
五、测量误差	8
六、间接测量中误差的传递——函数的误差	13
七、物理化学实验数据表示法	17
八、应用最小二乘法求数据的最佳拟合线	21
II. 实验部分	25
实验一 恒温槽的使用	25
实验二 粘度法测定高聚物分子量	30
实验三 气化法测定分子量	39
实验四 燃烧热的测定	43
实验五 中和热的测定	51
实验六 溶解热的测定	57
实验七 偏摩尔体积的测定	64
实验八 液体饱和蒸气压	74
实验九 双组分凝聚体系相图的测绘——有机体系	80
实验十 二元合金相图	84
实验十一 差热分析	83
实验十二 凝固点降低法测定溶质分子量	94
实验十三 双液系沸点-组成图的测绘	101

实验十四	三组分体系等温相图的绘制	107
实验十五	化学反应平衡常数与分配系数的测定	112
实验十六	液相反应平衡常数的测定	117
实验十七	电导法测定弱电解质的电离常数	123
实验十八	电动势的测定	130
实验十九	液体表面张力的测定	135
实验二十	溶液中的等温吸附	139
实验二十一	溶胶的制备及其性质试验	144
实验二十二	过氧化氢催化分解反应速率常数的测定	149
实验二十三	蔗糖水解反应速率常数的测定	155
实验二十四	乙酸乙酯皂化反应速率常数的测定	162
实验二十五	乙醇脱水多相催化反应	171
III. 附录	.....	179
常用仪器	.....	179
(一) 气压计	.....	179
(二) 水银温度计	.....	180
(三) 贝克曼温度计	.....	181
(四) 温度温差仪	.....	184
(五) 热电偶	.....	187
(六) 热敏电阻	.....	189
(七) 折光仪	.....	191
(八) 72型分光光度计	.....	194
(九) 电导仪	.....	197
(十) 电位差计	.....	203
(十一) 检流计	.....	208
(十二) 旋光仪	.....	210
(十三) 气相色谱	.....	213
常用数据表	.....	221
表 1 国际单位制的基本单位	.....	221
表 2 水的物理性质	.....	222

表 3	液体的密度	223
表 4	普通负温度系数热敏电阻器主要技术参数	224
表 5	测温型负温度系数热敏电阻器主要技术参数	225
表 6	铂铑-铂(LB-3)热电偶毫伏值与温度换算表	225
表 7	镍铬-镍硅(EU-2)热电偶毫伏值与温度换算表	226
表 8	镍铬-考铜(EA-2)热电偶毫伏值与温度换算表	226
表 9	铜-康铜(CK)热电偶毫伏值与温度换算表	227
表 10	凝固点降低常数和沸点升高常数	227
表 11	离子在无限稀释时的摩尔电导率	228
表 12	298.15K标准电极电势	229
表 13	某些液体的折光率	232

写在学生实验前面

——实验守则

一、实验前学生应该认真预习，了解实验目的、原理和步骤，熟悉仪器的使用方法。对学生预习情况教师要进行检查，不符合要求者不允许做实验。

二、进入实验室后，学生要听从教师的指导，保持实验室安静和整洁。实验过程中要有严谨的科学态度，做到正确无误地操作，仔细地观察和记录，深入地思考实验中出现的问题。

三、学生必须重视安全。要做到安全操作，关键在于：事先熟悉实验内容，了解仪器和药品的性能，注意教师提出的安全事项，严格遵守实验室各项规章制度。

四、实验后学生必须将原始记录交教师签字。然后根据记录的数据做认真地分析和处理，写出实验报告。报告格式可由自己拟定，但要简明扼要，重点放在实验数据的处理和讨论上。

凡是涂改数据，拼凑实验结果等非科学态度都是不能容许的。

I. 测量误差及数据处理

一、引言

物理化学实验以测量体系的物理量为基本内容。它通常包括以下几个步骤。

1. 直接测量

对某一物理量直接用仪器进行测量，测量结果以实验数据表示。例如用温度计测量温度，用尺测量长度。温度计、尺属于简单的仪器，也有一些仪器比较复杂，象测量电导用的电导仪，测量折光率用的折光仪等。

2. 间接测量

用若干个直接测量的数据代入到某些公式或关系式中，得出所要求的量，称为间接测量。例如用凝固点下降法测溶质的分子量，就是先测量溶质的质量 (W)、溶剂的质量 (W_0)，再测体系的温度变化 (ΔT)，然后把所测的数据代入下列公式中：

$$M = \frac{1000 \cdot K_f \cdot W}{W_0 \cdot \Delta T}$$

式中 M 为溶质的摩尔质量； K_f 为溶剂凝固点下降常数。

3. 对有关的数据进行必要的数据处理

实验结果的表示方法主要有三种：列表法、图解法和数学方程法。物理化学实验中常用图解表示法，它可形象地表达出实验结果的规律性。

二、真值与平均值

在测量一个物理量时，无论所用仪器多么精密；方法多么完善，实验者多么细心，人们发现：用不同仪器测量的结果往往不相同；⁶ 即便使用同一仪器，由不同人测量的结果或由一个人多次测量的结果也往往是不相同的，有一定的误差或偏差。

严格地说，误差和偏差是两个不同的概念。误差指的是观测值与真值之差。偏差指的是观测值与平均值之差。但习惯上又常将两者混用而不加以区别。在了解真值与平均值的定义之后，这个问题便可以得到解释。

通常一个物理量的真值是不知道的，需要人们去测定它（假如已经知道真值，就没有必要测量了）。但是由于测量的仪器、方法、环境、观察者本人的观察力、测量的程序等等都难于达到十分完善的程度，故真值实际上又是无法测得的。在实验科学中，我们这样来定义真值：“真值是指在测量中观测次数为无限多时，求得的平均值。”

实际上，我们观测的次数只能是有限次，故由此而求出的有限次的平均值不是真值，仅仅是真值的近似值或称为最佳值。平均值最常用的表示方法是算术平均值。

设 n 为观测次数； x_1 、 x_2 、 x_3 …… x_n 为各次观测值，则算术平均值 \bar{x} 为

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

一般情况下，真值是未知的，常常是用多次测量的算术平均值来代替它，所以误差和偏差这两个概念经常混用而不加以区别。

三、测量的准确度和精密度

物理化学实验中，不论什么仪器都有所谓最小读数值。图1所示为普通温度计，最小读数值是 1°C 。精密温度计最小读数值是 0.1°C 。从图1中，我们能准确读出 25°C ，另外还可以估计到最小读数的后一位数，即读出 25.3°C 。在 25.3 这个数中，前

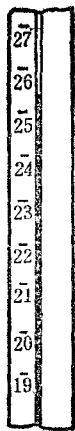


图1 温度计的一部分

两个数字是可靠数字，最后一个数字是可疑数字。所有的可靠数字加上一位可疑数字组成有效数字。 25.3°C 是三位有效数字。为了表示可靠程度，可以将测得的温度数值写成 $25.3 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。这表示真实温度在 25.2°C 和 25.4°C 之间。如果我们记录一个体积测量为 $35.35 \pm 0.05\text{ml}$ ，那么，我们

确信真实体积是在 35.30ml 和 35.40ml 之间。

衡量测量的结果，通常以准确度表示。所谓准确度是指测量结果的正确性，即观测值与真值的接近程度，两者越接近则准确度越高。

在测量中有时还引用精密度的概念。精密度和准确度两个概念不能混淆。精密度指的是测量的重复性好坏和观测值有效数字位数的多少。

如果选用最小读数值为 0.1°C 的温度计来测量温度，得到

25.34℃的读数。这个读数有四位有效数字，是比25.3℃更精密的读数，所以精密度和有效数字位数的多少相联系。通常，我们把最小读数值为0.1℃的温度计称为精密温度计，而把最小读数值为1℃的温度计称为普通温度计。除了仪器有精密度（简称精度）差别以外，测量方法和步骤也可以有不同精度。如多次测量同一物理量，读数之间差别很小，就可以说这种测量方法是一种高精度的方法，这个步骤是一个高精度的步骤。

上面谈了精密度有两层意义：一是精密度涉及观测值的重复性；一是精密度涉及观测值的有效数字位数。

准确度好的测量，精密度一定高。但是，精密度的测量，准确度不一定好，这要看测量中是否存在系统误差。系统误差的存在影响准确度，不影响精密度。这个问题在“测量误差”一节我们再进一步讨论。

四、关于有效数字

在直接测量中，人们可能采用不同精度的仪器进行测量，在记录测量结果时，通过有效数字位数的多少来反映仪器的精度，在间接测量中，需要对数据进行运算才能得到最终结果，这样就涉及到运算过程中有效数字位数的确定问题。如果任意地将计算结果保留过多的位数，反而会歪曲测量的真实性。下面扼要地介绍有效数字的规则。

(1) 在确定有效数字位数时，须注意“0”这个符号。紧接小数点后的0仅用来确定小数点的位置，不算有效数字。例如0.00013中的小数点后的三个0都不是有效数字，最好把它写成 1.3×10^{-4} 。而0.130中小数点后的0是有效数字，最好把它写成 1.30×10^{-1} 。至于250中的0就很难说是不是有效数字，如果写成 2.50×10^2 ，这样表示的0为有效数字，就很明

确。

(2) 进行加减法运算时, 保留各小数点后的数字位数与最少者相同。多余的数字, 采用四舍五入法。

$$\begin{array}{r}
 0.12 \quad \text{四舍五入法} \quad 0.12 \\
 12.232 \quad \quad \quad 12.23 \\
 +) 1.5683 \quad \text{舍去多余数字} \quad +) 1.57 \\
 \hline
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad 13.92
 \end{array}$$

(3) 当数值的第一位 > 8 , 就可多算一位有效数字。例如数值 8.12, 在运算时可看作是四位有效数字, 而不当成三位。

(4) 在乘除法运算中, 各数保留的有效数字位数, 应与其中有效数字位数最少者相同。

$$\frac{1.578 \times 0.182}{81} \quad \text{变为} \quad \frac{1.58 \times 0.182}{81} = 3.55 \times 10^{-3}$$

最后结果也只保留三位有效数字。

(5) 复杂运算 例如:

$$\begin{aligned}
 \left[\frac{0.0552(82.52 + 4.4)}{662 - 642} \right]^{1/2} &= \left[\frac{0.0552 \times 86.9}{20} \right]^{1/2} \\
 &= \left[\frac{0.055 \times 87}{20} \right]^{1/2} = 0.49
 \end{aligned}$$

通常在复杂运算的中间各步, 可以保留各数值的位数比上述规则规定的多一位, 以免多次四舍五入造成误差积累, 给结果带来较大影响, 但最后结果仍应保留其应有的位数。

(6) 运算中的常数如 π 、 e 和一些取自手册的常数, 可以按需要取有效数字。

(7) 在对数计算中所取对数位数 (对数首数除外) 应和真数有效数字位数相同。

(8) 任何计算工具都有一定精度。如 25cm 计算尺是三位有效数字；五位对数表当然是五位有效数字；要求精度高的计算，可用计算器，一般计算器是八位有效数字。

下面举两个例子来具体说明有效数字在测量中的意义。

例 1 分别用台秤和量筒测得某种液体的质量 $W=28.34$ g，体积 $V=8.4$ ml，计算其密度。

有人计算结果得到五位有效数字：

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{28.34}{8.4} = 3.3738 \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$$

这样的表达结果无形中夸大了测量所用仪器的精度，是不正确的。

正确的结果应该是：

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{28.34}{8.4} = \frac{28.3}{8.4} = 3.37 \text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$$

这样的结果符合测量仪器的真实精度。

例 2 凝固点下降法测溶质分子量的实验中，用下列公式求摩尔质量

$$M = \frac{1000 \cdot K_f \cdot W}{W_0 \cdot \Delta T}$$

该实验中溶剂苯用台秤称量得 $W_0=21.98$ g

溶质萘用分析天平称量得 $W=0.1628$ g，所用仪器精度虽然不同，可是有效数字位数相当。

式中 1000 和 $K_f (=5.12)$ 是常数，不必考虑有效数字位数。

剩下来就是 ΔT ，体系的温度测量应该采用什么样精度的仪器才比较合适呢？

这个实验中，凝固点下降数值一般不到一度，要是采用普

普通温度计测量，精度显然不够，只能读出一位有效数字。用精密温度计测量能够读出两位有效数字，精度也嫌低。通常本实验采用贝克曼温度计，它的最小读数值为 0.01° ，这样读数的有效数字位数可达三位。在本例中实验测得 $\Delta T = 0.298^\circ$ ，所以，最后计算结果也只能取三位。

$$M = \frac{1000 \times 5.12 \times 0.1628}{21.98 \times 0.298} = 127 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

五、测量误差

测量结果中总有误差。为了对实验结果的可靠程度有所了解，有必要确定误差的表示方法，弄清楚误差的性质及其产生的原因，从而尽量消除误差的影响。

(一) 误差的表示方法

通常用绝对误差和相对误差来表示误差的大小。

1. 绝对误差

绝对误差是观测值与真值之差。绝对误差是有单位的。

令 x_i 为真值（一般用平均值 \bar{x} 代替）； $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 为各次观测值。

每次的绝对误差

$$\Delta x_1 = x_1 - x_i, \Delta x_2 = x_2 - x_i, \dots, \Delta x_n = x_n - x_i$$

$$\text{通式 } \Delta x_i = x_i - x_i = x_i - \bar{x} \quad (2)$$

为了表明整个测定系列结果的误差，可用平均误差来表示

$$\Delta \bar{x} = \pm \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_n|}{n} \quad (3)$$

$|\Delta x_i|$ 表示各次误差的绝对值。 \pm 则表示正、负平均误差几率相等。

2. 相对误差