

绪 论

在物理学的发展历史上,16—17 世纪的意大利物理学家伽利略是第一位给科学引入近代方法的人,他用实验和批判性的眼光去看待理论的适应性,并依此提炼自然定律;由于他对实验的强调,物理学发生了革命性的变化。其后,牛顿进一步丰富了近代科学方法原理,即运用数学语言将理论和实验结合起来去发现定量的原理和规律,用一个原理说明许多现象,预言新的现象,并用实验加以检验。于是,用实验定量地探索自然并从中总结自然规律的科学方法从此生根于一切近代科学技术领域。

物理学的发展就是一个不断地从实验事实的发现和检验中由一个认识高度走向另一个更高的认识高度的过程。在此过程中,理论和实验相互巧妙地推动物理学在新学说和新事实之间不断地曲折前进:有时实验走在了理论的前面,给理论提出了新问题;有时理论又走到了实验的前面,给实验提出了新课题;有时它们又并驾齐驱,相互以其独特的方式推动物理学向前发展,构成了一部完整的物理学。所以,物理学集中地体现着实验与理论紧密相连的关系,它是运用科学认识论和方法论探索自然问题、解决工程技术问题的典型代表。本教程就是以物理实验的知识、方法和技能为基础,阐述近代科学技术实验中的一般方法及其特点,并通过实验者自身的实践使其体会和熟悉这些特点。

一、科学实验的地位和作用

由物理学创导的科学方法的基础之一是运用实验手段,即自然的规律要靠实验来发现,自然科学的理论要靠实验来验证,工程设计和生产实际的问题要靠实验来解决;实验是人们研究自然规律、改造客观世界的一种特殊的实践形式和手段。

实验之所以有如此重要的地位和作用,是因为它与对自然现象的直接观察和生产过程的直接经验相比,有其特有的优点:第一,利用实验方法可以对各种自然条件进行精密的控制,排除外界因素的干扰,有效地突出所研究事物之间的一些重要关系;第二,它可以把复杂的自然现象或生产过程分解成若干单独的现象或过程进行个别的或综合的研究;第三,它可以对现象和过程进行精确的定量测量,以揭示现象和过程的关系;第四,它可以进行重复实验,或改变条件进行实验,便于对事物的各个方面作广泛的比较和分析等。正是由于实验的这些优点,它在人类认识和改造客观世界的“实践—理论—再实践”活动的历史长河中起着举足轻重的中间体作用。可以说,现代科学技术的发展离开了实验就几乎寸步难行,而一个新的工业部门的兴起往往就始于某个实验。

我国科学界一位权威人士曾说过这样一句话：“从理论到实验，这是一个进步，从实验到商业应用，这又是一个进步。中国的基本理论并不弱，只是实验和应用方面较弱。”此话值得每一位从事应用技术的人深思。

二、物理实验的特点

物理学的基本组成部分是实验和理论，它们既紧密相连，相辅相成，又互相独立，在它们发展的过程中形成了各自的方法特点。物理实验大致有以下几个特点：

(1) 实验是有目标的，它与理论有着千丝万缕的联系。当今的实验，包括应用性实验、验证性实验或探索性实验，几乎都是在已经确立的理论指导下进行的，所以，在做任何一项实验时，都应该将该实验的理论结论弄清楚。那种将实验只看作是摆弄摆弄仪器、动动手的单纯实践观点是非常片面而有害的，实验乃是在理论思想指导下为达到某项目标而进行的手脑并用的复杂劳动。

(2) 实验要采用恰当的方法和手段，以使所要观察的物理现象或过程能够实现，并达到一定的定量测量要求。虽然方法和手段会随着科学技术和工业的进步不断得到改进，但历史积累的方法仍是人类知识宝库中精华的一部分，有了积累才能有创新，因此从实验开始就应十分重视实验方法的积累。

(3) 实验需要技能，它的内容十分广泛：仪器的选择、使用 and 保养，设备的安装、调整和操作，现象的观察、分析和测量，故障的检查、判断和排除……它有众多的原则和规律，但有时不一定成文，可以说它是知识、见解和经验的积累。唯有实践才有可能获得这种技能。

(4) 实验需要一种语言，它要用数据来说明问题。实验做得好与差，两种方法测量同一物理量的结果是否一致，实验验证理论成功与否，这些都不能凭感觉，而必须根据对实验数据和实验误差的分析与估算来断言。领悟并运用这种语言，才能真正置身于实验之中，亲身感受到成功的喜悦和失败的困惑。

总而言之，实验集理论、方法、技能和数据处理于一体，它要求实验者不但要懂得实验内容与实验方法的原理，而且还要实验者根据这些原理付诸实现，最后还要从获得的数据结果中得出应有的结论，这些就是物理实验的特点。

三、具体实验的基本程序

基于实验的特点，在做任何一个实验时，必须把握好下列三个重要环节。

1. 实验准备

实验准备也称为预习。预习时，重点要解决三个问题。

第一，实验的目的是什么？即做这个实验最终要获得什么结果，是测定物理常数，还是要验证某个物理定律，或探索某种规律。了解了实验目的，才能紧紧地围绕这个目的去思考。

第二，实验的根据是什么？它涉及实验课题的理论和实验方法的原理；必须明白研究对象的含义，弄清它与其他物理量之间的关系，最终还必须建立确定的测量关系式，并有可行的方法对其进行测量。

第三，实验该如何做？在熟悉了实验理论和方法后，必须设想如何去做。包括仪器装置的安置图（如电路图、光路图等）、调整的要求，哪些是直接测量量，用什么方法和器具进行测量，测量的先后次序及数据记录表格的设计等。

综合以上三点，实验预习应简要写出以下项目：



- (1) 实验目的;
- (2) 仪器设备;
- (3) 实验原理(电路图、光路图、测量关系式);
- (4) 实验大致步骤;
- (5) 测量数据记录表格。

实验的准备工作至关重要,它决定着实验效率的高低和成败与收获的大小,所以实验前务必做好充分的准备工作。

2. 实验进行

实验是依据确定的原理解决具体问题的舞台,实验者就是这场戏的导演,因此不要急着开演,而是先根据设想好的步骤进行彩排,想一想是否已熟悉实验仪器和工具的用法,怎样做会更好些、更合理些。在确认一切正常无误后,再按确定的步骤一步一步地达成实验的目的。

在实验工作进入正常状态时,特别要注意两点:

(1) 要根据设计的数据表格做好完备而清晰的记录。如记录研究对象的编号,重要仪器的名称、型号和编号;测量数据要记入事先准备好的表格中,以免遗漏;切勿将数据随意记录在草稿纸上,这是不科学的方法,而且容易丢失。

(2) 要随时用所观察到的现象和测得的数据作为反馈信息来判断实验是否正常进行,这是会不会做实验的重要标志之一。实验不是机械地完成一项测量读数工作,而是在达成既定目标,所以为防止实验中可能出现的种种意想不到的差错和疏忽,需要随时检验自己工作方式的正确性,包括做一些必要的数据处理;若在离开实验室后才发现实验有误,则为时已晚。

由上可见,实验是一项艰苦的劳动,不但要动手,而且要不断地思考、判断;实验者必须有条理地进行工作和具备严格而又谨慎的科学态度。实验也是一项快乐的工作,可以在期盼中收获成功的喜悦。

3. 实验报告

实验报告是实验成果的文字报道,撰写时,应做到字迹清楚、文理通顺、图表正确、数据完备和结论明确,应该给同行以清晰的思路、见解和新的启迪,这样才算得上一份成功的报告。实验报告的内容一般应包括:

(1) 明确的实验目的。不要照抄每个实验中“目的要求”一栏的内容,要分清目的和要求两个部分。要求只是在实现目的的过程中需要实验者掌握的具体内容,所以不能再以“要求”的形式在报告中出现,而必须在报告的具体内容中反映出实验者通过实验后已经达到了这些要求;换句话说,就是实验者在书写报告的具体内容时要紧紧抓住这些要求来写,以显示自己达到要求的程度。

(2) 实验的仪器设备(名称、规格或型号及编号)。

(3) 简明扼要的原理及测量关系式。包括必要的原理图(如电路图、光路图、装置示意图等)。原理应该按自己的理解去写,不要一味地抄袭;原理应与实验目的相呼应,写到实验目的能够实现为止。

(4) 实验步骤(各直接测量量的测量方法)。包括从原理与测量两方面对实验装置提出的调整要求与实现方法,乃至测量仪器的使用技巧(它不应只是具体操作步骤的描述,而应

是有个人体会和见解的阐述)等。

(5) 完整而清晰的原始数据记录表格和数据处理结果(包括实验图线)。完成数据计算与处理后,必须以醒目的方式完整地表示实验结果。

(6) 实验的结论和结果评价(包括实验结果的精密度、正确度、一致性及对目的达到程度的文字性结论)。

(7) 观察、分析与思考。它不是简单地回答书中的问题,而应该写出实验者在实验中所看到的现象和得到了怎样合理的解释,遇到的问题是如何发现的,又是如何解决的。在书写这部分内容时,重要的是要写出实验者的认识过程,而不只是结论性的语句。

报告无疑应该按自己的思路来写,特别受人赞赏的是自身体会的经验之谈。

第1章 测量与误差

实验是在理论思想指导下通过自身的观测去探索物质世界的活动。由于实际条件错综复杂、变化多端,即使在实验室中已作了充分控制,也难免受种种因素的影响,所以观测永远不会是在理想化条件下进行的,测量也不可能是完全精确的。因此,实验除了要测得应有的数据外,还有一个共同的基本问题,即需要对测量结果的可靠性做出评价,也就是对测量结果的误差范围做出合理的估计。若是将实验结果与理论预言或公认值比较,以便从中得出它们一致与否的结论,该问题就尤为重要。为此,本章将介绍测量与误差的基本知识,它将使实验者能用误差分析的方法去估计实验误差的大小,并在必要时帮助实验者设法减小误差对实验的影响。

1.1 测量及其分类

一、量、测量和单位

任何现象和实体都具有一定的形式,所有形式都要通过量来表征。也就是说,任何实体之所以能被觉察其存在,就是因为它们具有一定的量。因而可以说,量是现象和实体得以定性区别并定量确定的一种属性。物理实验就是将自然界的各种基本运动形式(力、热、电磁等)按人的意志在实验室中再现,然后研究现象和实体的各物理量之间的关系,确定它们的量值大小,找出它们之间的数量关系,从中获取规律性的认识,作为验证理论或发现规律,或实际应用的依据。而要得到这种量化的认识,测量就是必不可少的。可以这么说:没有测量也就没有科学。

所谓测量,就是人类对自然界中的现象和实体取得数量概念的一种认识过程。在这一过程中,人们借助于专门的设备,通过一定的实验方法来得到未知量 x 的数值大小,其单位为设备上所采用的测量单位。简而言之,测量就是对一个量制定一个单位,然后用这个单位与被测对象进行比较,以确定被测对象的量值大小。

若测量用的单位为 G ,经比较被测对象的量值是该单位的 k 倍,则测量值 x 表示为 $x = kG$ 。但若采用另一单位 G' 对同一对象进行测量,被测对象的量值是该单位的 k' 倍,则测量值又可表示为 $x = k'G'$ 。由于被测对象是与单位选择无关的客观实在,所以应该有 $x = kG = k'G'$; 显然,测量数值 k (或 k') 的大小与所选用的单位 G (或 G') 有关,单位越大,数值

越小。因此,对于测量而言,单纯一个数值是没有意义的,在表示一个测量值时,必须给出数值 k 和单位 G 两个部分。

单位的制定虽然具有任意性,但要行之有效,并得到国际承认。1971 年第十四届国际计量大会确定以米(长度)、千克(质量)、秒(时间)、安培(电流)、开尔文(热力学温度)、摩尔(物质的量)和坎德拉(发光强度)为基本单位,称为国际单位制(SI)的基本单位;其他量(如力、能量、电压、磁感应强度等)的单位均可由这些基本单位导出,称为国际单位制的导出单位。

为适应国际交往的需要,我国制定了以 SI 为基础的《中华人民共和国法定计量单位》,于 1991 年 1 月 1 日实施。

二、测量的分类

测量可以按各种方式进行分类。

单纯按测量形式分类,可将测量分为**直接测量**和**间接测量**两大类。直接测量就是在测量时将待测量与作为标准的量直接进行比较,即运用预先标定好的仪器进行测量,从而直接获得待测量的数值大小,如用米尺测量长度,用秒表或计时器测量时间等。间接测量则是在测量中不直接测量待测量(或是没有可以直接测量该待测量的仪器);它是基于待测量和其他几个可以直接测量的物理量之间建立的测量关系式,先分别对这些物理量进行直接测量,然后将它们的测量结果代入测量关系式中计算出待测量的数值。例如,欲测量作直线运动的物体的平均速度 $\bar{v}$,一般可直接测量它运动的位移 s 和经过该位移所用的时间 t ,然后由平均速度的定义式 $\bar{v}=s/t$ 计算出间接测量量 $\bar{v}$ 。这种间接测量的实例在实验中是很多的。

若按实验的内容和方法分类,则可以将测量分为**单一物理量测量**和**函数关系测量**。单一物理量测量,就是在相同条件下对某个确定的物理量进行重复测量,以获得该物理量的实验结果。函数关系测量则是通过对几个物理量之间的相互变化关系的测量来研究和获得所需要的实验结果。以单摆实验为例,在摆角很小的条件下,摆长 l 和摆的周期 T 之间有 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ 的关系式,其中 g 为重力加速度;如果实验是在固定的摆长情况下通过对周期的测量来测定重力加速度,则直接测量的量 T 是一个有确定大小的物理量,因此可以对它作多次重复测量,并获得 T 的测量结果,这种测量称为单一物理量的测量。重力加速度 g 则可通过将 l 和 T 的测量结果代入上述关系式计算得到。若实验将 T 视为 l 的函数,每改变一次摆长 l_i 测量其相应的摆的周期 T_i ,因而获得一组 (l_i, T_i) 测量值,这便成了 l 和 T 的函数关系测量,然后通过一定的数据处理方法也能求得重力加速度 g 。由此可见,实验可以采取对不同类型的量进行测量以达到目的,但与之相应的数据处理方法就会有所不同,这正是“分类”重要性的关键所在。

无论如何将测量进行分类,直接测量乃是一切测量的基础,唯有掌握直接测量的基本知识,才可能进一步理解和掌握间接测量与函数关系测量等方面的知识。

三、测量的目的

不管是哪一类测量,也不管如何进行测量,其最终目的总是希望获得待测对象的真值。然而遗憾的是,测量必须使用一定的仪器装置,采用一定的实验方法,在一定的环境条件下通过一定的实验人员去完成。由于仪器装置不够准确、实验方法不够完善、环境条件不够理想以及实验人员水平不够高(包括调整、操作和读数能力)等,使每次测量得到的值与客观真值之间总会存在差异,这种差异称为误差。若以 x 表示测量值, x_0 表示测量对象的真值,

则误差 δ 定义为

$$\delta = x - x_0$$

由此可见,测量与误差两者紧密相连,在考虑测量问题时必须同时考虑误差问题,这正是本章要研究的主题。

1.2 测量值的有效数字及其运算规则

一、测量值的有效数字

当使用测量工具(量具、仪表、仪器)对待测量进行直接测量时,由于测量工具在制造时受到准确程度的限制,所以测量工具的分度值(最小分格值)必定是一个有限的值,测量读数时能够准确地读出最小分格值,并在一般情况下还能在最小分格值下进行估读。人眼一般可以分辨到最小分格的 $1/10$ 、 $1/5$ 、 $1/4$ 或 $1/2$,至于在具体测量中能分辨到最小分格的几分之一,则要视具体情况而定。由于它是人眼能够分辨的极限值,所以任何一个测量读数应该达到这个分辨极限,但又不能超过这个分辨极限,该分辨极限就称为**读数误差**。由此可以得出结论:测量值是有一定位数的,它的末位应是读数误差的所在位。下面通过几个形象化的例子说明应该怎样进行测量读数。

例 1-1 如图 1-1 所示,用米尺测量铅笔的长度,米尺的分度值为 1mm。由于刻度线较密,笔尖与尺身又不能紧贴,所以认定最多只能估读到最小分格值的 $1/2$,即读数误差定为 0.5mm,笔长的测量值为 37.0mm,即介于 36.5~37.5mm。

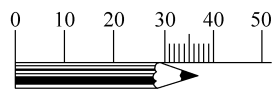


图 1-1 用米尺测量铅笔的长度

例 1-2 如图 1-2 所示,用量程为 10V 的电压表测量电压,其分度值为 1V。由于刻度线间距离较大,指针指示清晰,故可估读到最小分格的 $1/10$,即读数误差为 0.1V,读得测量值为 7.3V,即介于 7.2~7.4V。

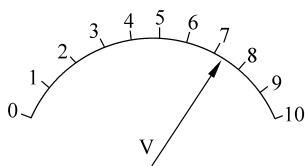


图 1-2 用电压表测量电压

例 1-3 如图 1-3 所示,用量程为 100mA 的电流表测量电流,其分度值为 5mA。由于刻度线之间的距离不够大,而指针却有一定宽度,故认定只能估读到最小分格的 $1/5$,即读数误差定为 1mA。图中的测量读数为 87mA,即介于 86~88mA。

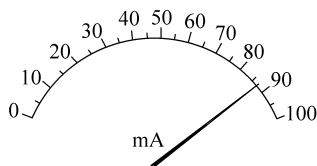


图 1-3 用电流表测量电流

由上面各例可总结出测量读数的规则如下:

- (1) 每项测量前,应先记录所用仪器的最小分格值——分度值;
- (2) 根据具体情况确定能分辨的估读限——读数误差;
- (3) 每个测量值的末位应是读数误差所在位——测量值的末位与读数误差位对齐。

只有正确地按照该规则进行测量读数,才能保证测量值的位数正确无误。(对于数字式仪表,由于是客观读数,其分辨极限应是仪表示值的末位,一般与分度值相同。)

一个测量值的有效数字就是包括末位在内的该测量值的全部数字,这些数字的总位数称该测量值的有效位数。前述例中,例 1-1 的测量值有三位有效数字。而例 1-2 和例 1-3 的测量值都只有两位有效数字。由于测量的末位就是读数误差的所在位,它标志着测量值在该位上至少已有读数误差存在,所以测量值的有效数字是测量精度优劣的一种粗略表示,是实验者在每一次测量和记录时都要遇到的基本问题,务必牢牢掌握。

在此特别强调指出实验者经常容易混淆的两点:

(1) 测量值的有效数字和纯数学的数字是有区别的。在纯数学中, $7.3=7.30=7.300$;但对测量值来说, $7.3\text{V}\neq 7.30\text{V}\neq 7.300\text{V}$,因为它们反映的测量精度是不同的。所以,对测量值不能漏读最后一位的 0(如果正好在刻度线处,估读位数是 0 的话),也不能随便在末位后添加 0,而必须遵照测量读数规则记录测量值。

(2) 测量值的有效数字位数与小数点的位置无关。如例 1-1 中,测得铅笔长度为 37.0mm;若用 cm 作单位,则为 3.70cm;若用 m 作单位,则为 0.0370m。小数点的位置虽然随所用单位移动,但因测量值的末位取决于所用测量工具的读数误差所在位,所以有效数字位数仍然都是三位。由此可见,小数点位置取决于所选用的单位,有效数字位数反映测量的精度,两者毫无关系,绝不能将有效数字理解为小数点后取几位。在对不同大小的量用不同的单位表示时,最好采用科学表示法。如上例中的 37.0mm,用科学表示法可表示为 $3.70\times 10\text{mm}$ 或 3.70cm 或 $3.70\times 10^{-2}\text{m}$,这样既能明确表示有效数字位数,又能明确表示所选用的单位。这种方法是科学技术工作者经常使用的数据表示方法。

二、有效数字的运算规则

当测量值需要进行运算时,为使运算过程中不引入新的误差,在运算结果中不损失或不增加有效数字而影响运算结果的精度,规定一些有效数字的近似运算规则将有利于简便而合理地进行运算,并能保证运算结果的取位正确。这些规则如下:

1. 加减法的运算规则(数字下加一横线的是误差所在位)

例 1-4 $13.\underline{65}+1.\underline{6220}$

$$\begin{array}{r} 13.\underline{65} \\ + 1.\underline{6220} \\ \hline 15.\underline{2720} \end{array}$$

在这个结果中,15.2 以后的 720 三位数均属误差影响位,只需像测量值一样保留一位,多余位数可按四舍六入五凑偶法则处理(或写成 4 舍 6 入 5 凑偶,5 前面为奇数则入,5 前面为偶数则舍)。此例运算结果为 15.27。

例 1-5 $16.\underline{6}-8.\underline{35}$

$$\begin{array}{r} 16.\underline{6} \\ - 8.\underline{35} \\ \hline 8.\underline{25} \end{array}$$

同样道理,运算结果中只保留一位误差影响位,则运算结果为 8.2(5 前面是偶数则舍)。

由上述得出加减法的有效数字近似运算规则是:运算结果的有效数字末位的位置和参



与运算数中最前面的末位位置相同。

2. 乘除法的运算规则

例 1-6 24320×0.341

$$\begin{array}{r}
 24320 \\
 \times 0.341 \\
 \hline
 24320 \\
 97280 \\
 72960 \\
 \hline
 8293.120
 \end{array}$$

运算结果中只保留一位误差影响位,结果应为 8.29×10^3 ; 它有三位有效数字。

例 1-7 $85425 \div 125$

$$\begin{array}{r}
 683.4 \\
 125 \overline{) 85425} \\
 \underline{750} \\
 1042 \\
 \underline{1000} \\
 425 \\
 \underline{375} \\
 500 \\
 \underline{500} \\
 0
 \end{array}$$

同样地,误差影响位只取一位时,运算结果为 6.83×10^2 ,它有三位有效数字。

由此得出乘除法的有效数字近似运算规则是:在一般情况下,运算结果的有效数字位数和参与运算数中有效位数最少的那个数的位数相同。因为这些规则是近似的,所以只适用于一般情况,在某些特殊情况下可能有违例的现象。如:

例 1-8 2432×0.841

$$\begin{array}{r}
 2432 \\
 \times 0.841 \\
 \hline
 2432 \\
 9728 \\
 19456 \\
 \hline
 2045.312
 \end{array}$$

按规则,参与运算的有效数字位数最少的 0.841 只有三位有效数字,运算结果应取三位,但从误差影响位考虑则可以取四位。由此可见,上述的规则只是一种粗略的近似规则,是不严格的,因而,在实际运算时,中间过程的运算结果可多保留一位有效数字,最后结果的取位根据运算结果的误差影响才能确定。

3. 函数运算时的有效数字运算规则

例 1-9 $\ln 543$

为确定其有效数字位数,可认为测量值末位读数误差为 1,然后计算(用计算器进行计算):

$$\ln 543 = 6.29710932$$

$$\ln 544 = 6.29894924$$

比较这两个计算结果,差异出现在第 4 位上,则可确定 $\ln 543$ 应取 4 位有效数字:

$$\ln 543 = 6.297$$

例 1-10 $\sin 60^\circ 16'$

同样认为测量值末位的读数误差为 $1'$,则计算:

$$\sin 60^\circ 16' = 0.868343121$$

$$\sin 60^\circ 17' = 0.868487354$$

两者的差异出现在第四位上,故 $\sin 60^\circ 16' = 0.8683$,为四位有效数字。

由此可见,函数运算结果的有效数字可用测量值末位变化 1 时其结果在哪一位产生差异来确定应取的有效位数,这是一种最为原始而直观的方法。

如果用数学中的微分方法,则立即可定出有效数字末位的位置,仍以上面两例为例:

例 1-11 $d(\ln x) = dx/x$, $x = 543$, $dx = 1$, 则 $dx/x = 0.0018$, $\ln 543$ 可取到小数后第三位, $\ln 543 = 6.297$, 为四位有效数字。

例 1-12 $d(\sin x) = \cos x \cdot dx$, $x = 60^\circ 16'$, $dx = 1'$, 应化为弧度, $dx = 1' = \pi/(180 \times 60)$, 则 $(\cos 60^\circ 16') \times \pi/(180 \times 60) = 0.00014$, 可取到小数后第四位, 所以 $\sin(60^\circ 16') = 0.8683$, 为四位有效数字。

直观法和微分法结果一致。

4. 运算中常数的取位规则

在测量运算中,经常会遇到一些常数参与其中,例如测量了一个球的直径 D ,要计算该球的体积 $V = \pi D^3/6$; 其中 6 是准确值,它的有效数字便是无穷多的; 而 $\pi = 3.141592653 \cdots$ 它的取位多少应根据测量值 D 的位数来定,其规则是: 参与运算的常数的取位至少应和测量值的位数相同。

测量值的有效数字及其运算是每一个实验都会遇到的问题,实验者必须养成按有效数字及其运算规则进行读数、记录、处理和表示运算结果的习惯,并据此理解他人所表示的数据和结果。特别应该指出的是: 在普遍使用计算器(机)的时代,计算器(机)可以给出较多位的数字,但实验者应该清晰地知道运算结果该取到哪一位,切莫写出与实际情况不相符的荒谬可笑的结果来。

1.3 误差公理及误差分类

一、误差公理

凡定量实验都需进行测量,凡测量均会有误差,所以一切实验结果都会有误差,误差自始至终存在于一切科学实验的过程中,这已是一条为实践所证实,也为一切从事科学实验的人们所确认的公理。