

1.2 测量及其误差

1.2.1 量、测量和单位

任何现象和实体都能以量来表征.量具有对现象和实体作定性区别或定量确定的属性.

测量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.为确定被测对象的测量值,首先要选定一个单位,用它与被测对象进行比较,求出被测对象与它的比值——倍数,这个倍数即为数值.显然数值的大小与所选用的单位有关,对同一对象测量时,选用单位越大,数值就越小,反之亦然.因此,在表示一个被测对象的测量值时必须包含数值和单位两个部分.

目前,物理学上各物理量的单位,都采用中华人民共和国法定计量单位,它是以国际单位制(SI)为基础的单位.国际单位制是在1960年第11届国际计量大会上确定的,它以米(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)作为基本单位,称为国际单位制的基本单位.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(详见总附录1).

1.2.2 直接测量与间接测量

测量可分为两大类:直接测量和间接测量.

直接测量是将待测量与预先标定好的仪器、量具进行比较,直接从仪器、量具上读出量值的大小.例如:用米尺测量长度;用天平称质量;用秒表测时间等.

间接测量则是待测量由若干直接测量的物理量在一定的函数关系下,运算后获得的.例如:欲测物体运动的平均速度 \bar{v} ,可由直接测量物体运动的时间 Δt 和在时间 Δt 内通过的位移 Δs ,并由平均速度的定义式 $\bar{v} = \Delta s / \Delta t$ 计算出 \bar{v} .

1.2.3 测量误差及其分类

被测物理量的大小(即真值)是客观存在的,然而在具体测量它时,要经过一定的方案设计,运用一定的实验方法,在一定的条件下,借助于仪器由实验人员去完成.尽管我们千方百计改进实验方案设计,提

高仪器精度和测量人员水平.但是,仪器精度总有一个限度,实验方法不可能完美无缺,测量人员技术水平不可能无限提高,这就使测量所得的值与客观真值有一定差异.测量值 x 与真值 X 之差称为测量误差 Δx ,简称误差.

误差=测量值-真值

即
$$\Delta x = x - X \quad (01-1)$$

误差自始至终存在于一切科学实验的过程之中.所以,科学实验的结果不仅要包括测量所得的数据,而且还要包括误差的范围.

测量永远不可能得到真值,那么怎样的测量值是最接近真值的最佳值呢?又如何来估算误差范围呢?这就有必要对误差进行研究和讨论,用误差分析的思想方法来指导实验的全过程.

误差分析的指导作用包含下列两个方面:

(1) 为了从测量中正确认识客观规律,必须分析误差的原因和性质,正确地处理所测得的数据,尽量消除、减少误差或确定误差范围,以便能在一定条件下得到接近真值的最佳结果,并作出精度评价.

(2) 在设计一项实验时,先对测量结果确定一个精度要求,然后用误差分析指导我们合理地选择测量方法、仪器和条件,以便能在最有利的条件下,获得恰到好处的预期结果.

误差产生有多方面的原因,根据误差的性质和产生的原因,可将误差分为系统误差和随机误差两大类.

1.2.4 系统误差

系统误差的特点是:在相同的条件下(指方法、仪器、环境、人员)对同一量进行多次测量时,误差的绝对值和符号(正、负)保持不变.当测量条件改变时,误差亦按一定的规律变化.

它的来源有以下几个方面:

(1) 仪器的固有缺陷.例如:刻度不准;零点没有调准;仪器水平或竖直未调整;砝码未经校准等.

(2) 实验方法不完善或这种方法所依据的理论本身具有近似性.例如:称重量时未考虑空气浮力;采用伏安法测电阻时没有考虑电表内阻的影响等.

(3) 环境的影响或没有按规定的条件使用仪器.例如:标准电池是以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电动势数值作为标准值的,若在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下使用时,不加以修正,就引入了系统误差.

(4) 实验者生理或心理特点,或缺乏经验引入的误差.例如:有的人习

惯于侧坐斜视读数,就会使估读的数值偏大或偏小。

系统误差的消除、减小或修正都属于技能问题.可以在实验前、实验中、实验后进行.例如:实验前对测量仪器进行校准,使方法完善,对人员进行专门训练等;在实验中采取一定方法对系统误差加以补偿;实验后在结果处理中进行修正等。

虽然系统误差的发现、消除、减小或修正是一个技能问题.但是,要找出其原因,寻求其规律绝非轻而易举之事.这是因为:

(1) 实验条件一经确定,系统误差就获得了一个客观上的恒定值,在此条件下进行多次测量并不能发现该系统误差。

(2) 在一个具体的测量过程中,系统误差往往会和随机误差同时存在,这给分析是否存在系统误差带来了很大的困难。

能否识别和消除系统误差与实验者的经验和实际知识有着密切关系.因此,对于实验初学者来说,应该从一开始就逐步地积累这方面的感性知识,在实验时要分析采用这种实验方法(理论)、使用这套仪器、运用这种操作技术会不会给测量结果引入系统误差。

科学史上曾有过这样一个事例。

1907—1914 年间美国著名物理学家密立根以他巧妙设计的油滴实验,证实了电荷的不连续性,并精确地测得元电荷,即

$$e = (1.591 \pm 0.002) \times 10^{-19} \text{ C}$$

后来,由 X 射线衍射实验测得 e 值与油滴实验值差了千分之几.通过查找原因,发现密立根实验中所用的空气黏度数值偏小,以致引入系统误差.在重新测量了空气的黏度之后,油滴实验测得

$$e = (1.601 \pm 0.002) \times 10^{-19} \text{ C}$$

它与 X 射线衍射法测得的结果 $[1.602\ 177\ 33(49) \times 10^{-19} \text{ C}]$ 十分吻合。

此例说明了实验条件一经确定,多次测量(密立根曾观察了几千个带电油滴),发现不了系统误差.必须要用其他的方法(本例中改变了产生系统误差根源的条件),才可能发现它;同时也说明了实验中应从各方面去考虑是否会引入系统误差,当忽略某一方面时,系统误差就可能从这一方面渗透到测量结果中去。

我们将在今后实验中,针对各实验具体情况对系统误差进行分析和讨论.在第四章中将作专门介绍。

1.2.5 随机误差

随机误差的特点是随机性,即当我们在竭力消除或减小一切明显的系

统误差之后,在相同条件下,对同一量进行多次重复测量时,每次测量的误差时大时小,时正时负,既不可预测又无法控制.

随机误差的出现,从表面上看似乎是纯属偶然,但是人们经过长期的实践后发现,重复测量的次数很多时,偶然之中会显示出一定的规律性.我们可以利用这种规律对实验结果作出随机误差的误差估算.

物理实验数据处理辅助平台