# 学生实验

实验在中学物理占有非常重要的地位，这是因为在物理学中，概念的形成、规律的发现和理论的建立，许多都是以实验为基础的。实验或者引发了理论的建立，或者对新建立的理论进行检验。总之，物理学离不开实验，要学好物理就要做好实验。

## 实验推动了物理学的发展

在本书第二章，我们学习了伽利略研究自由落体运动的有关内容，知道是伽利略开科学实验之先河，把实验的方法引入科学研究中。

在电磁学研究中，法拉第在 10 年中坚持实验，为电磁感应定律的建立打下了基础。麦克斯韦在此基础上，对这个规律和其他电磁学实验成果进行分析，加上自己的假设，为其谱上了数学的“乐曲”，于 1864 年建立了完整的电磁场理论，并预言了电磁波。赫兹用实验证明了电磁波的存在。在 20 世纪中叶，以麦克斯韦电磁理论和其他科学成果为基础的无线电电子学，以前所未有的速度和规模改变了我们的生活。

研究质子、中子、电子及其他各种粒子的物理学分支叫作粒子物理学。在粒子物理学中有一个物理量叫作宇称。物理学家们曾经认为粒子经历的各种过程中宇称都是守恒的。1956 年，杨振宁和李政道通过对一些现象的分析，认为一个过程中如果只有强相互作用和电磁相互作用，宇称的确守恒；但是，如果是弱相互作用的过程，例如发射 β 射线的过程，宇称并不守恒。这个论断引起了物理学家们的广泛注意。1956 年后期至 1957 年年初，吴健雄和她的同事们一起设计实验（图实 -1），通过统计钴60 同位素在 β 衰变时向各个方向发射的电子数，证明了这个过程中宇称真的不守恒。她除了用实验证实宇称不守恒外，还用实验证实了电磁相互作用与弱相互作用的密切关系，对后来电、弱统一理论的提出起了重要作用。

图实-1 吴健雄在实验中

今天，物理学中的许多学说还在等待实验的证实或否定。

物体与物体之间有万有引力。如果一个物体振动或者旋转，或者有规律地变形，会不会有引力波传播出去？这是一个很自然的想法。实际上，早在 1916 年，爱因斯坦就根据他的广义相对论认为应该存在引力波。后来，物理学家们又进行了理论研究，对引力波的性质作了预言。这些预言要成为科学真理，必须有充分的实验证据。然而，引力波非常微弱，又很难接收，验证起来十分困难。

20 世纪 70 年代初，韦伯首创用铝棒做“天线”接收天体辐射的引力波。为了提高灵敏度，“天线”重达数吨，为了排除干扰，“天线”置于 − 270 ℃ 左右的超低温环境中。当时参加工作的有十几个小组，但只有韦伯宣称观测到了可能是来自其他天体的引力波信号。其后不断有人重复这个实验，但都没有肯定的结果。

20 世纪 70 年代末，泰勒等人观测围绕共同质心高速转动的双星，发现转动的周期在慢慢地变化，推测这可能是它们辐射引力波时失去了能量造成的。

直到 2016 年，科学家用激光干涉仪代替铝棒作为“天线”，建成了引力波激光干涉仪探测装置，才首次探测到了来自于双黑洞合并的引力波的信号。

我们常说“实验是物理学的基础”，这话有两方面的意思：一方面，实验和观测不断向物理学提出新的问题；另一方面，物理学的假说、理论最终要接受实验和观测的检验。

## 怎样做好物理实验

做物理实验不是一种只动手的技艺，它需要手脑并用。下面是做实验大致要涉及的几个方面。

明确实验目的 这个实验要我们做什么？是探究某个未知的规律，还是验证某个已知的规律，或者是测量某个物理量？

理解实验原理 做实验有利于透彻理解物理知识。不论做哪一类物理实验，都要搞清楚实验所根据的物理知识。

同时，实验器材的工作原理也需要了解。通常在实验操作前要认真阅读课文或实验器材说明卡，结合实物弄清它的结构、各部分的功能、使用注意事项等。

制订实验计划 本书的学生实验都没有给出具体的操作步骤，这就要求同学们在操作前作出实验计划，想好先做什么、后做什么，必要时把实验步骤设计出来。实验中可能出现什么问题？可能是什么原因引起的？应该怎样防止？如果出现问题应该怎样解决？……这些问题都应该事先有所考虑。

安全操作 操作中要注意安全，这是第一位的。

首先，要保证人身安全。凡涉及用电的器材要小心处理。要注意保护眼睛，凡在高速转动、可能出现爆炸、可能有液体溅出的场合，最好戴上护目眼镜。

其次，要保证器材的安全。各种仪器都必须按照要求使用。对于不熟悉的仪器，要先弄清它的使用要领，要学会借助说明书了解仪器的原理、使用方法。再次，养成操作前进行安全检查的习惯。保证安全的一条重要原则是，做事之前尽量估计可能出现的所有意外：转身时会不会把器材碰到地上？加热时烧杯里的液体会不会溅出来？牵引小车的重物会不会在落地之前就把小车拖到地上？……

最后，操作要谨慎。任何粗心大意都会使精心准备的实验归于失败。实验的每一阶段之后都要对其进行评估，也就是回想刚才的操作有没有什么问题，可能引起什么误差，等等。

记录原始数据 实验来不得半点粗心和虚假。实验数据从来不以人的意志而改变。要获得正确的实验结果，离不开严谨、求真的态度。实验中观察到的现象、测量的数据、得出的结论，很可能跟预期的不一样，这时我们要实事求是，尊重事实。不能随意更改记录去“凑数”。检查一下，实验设计是不是有问题？操作是否有失误？……

撰写实验报告 实验后要仔细分析数据，从中得出结论。认真写出实验报告。发表自己的成果和见解，与他人交流成果是当代科学研究的重要组成部分。把自己的实验成果告诉别人，听取别人的批评和质疑，同时，从别人的成果中受到启发。在这个过程中，实验报告是很好的媒介。

## 误差和有效数字

任何测量结果都不可能绝对准确。测量值跟被测物理量的真实值之间总会有差异，这种差异叫作**误差**（error）。

由仪器直接读出的数据叫作直接测量结果。直接测量结果的误差来源于两方面。一是仪器本身的缺陷，例如刻度尺的刻度不够准确、天平两臂不严格等长；二是实验人员操作和读数的不准确，例如用停表计时，按下按钮的时刻总会稍有滞后或提前。又如，中学实验室中温度计的分度值为 1 ℃，靠目测只能估计到分度值的 ，肯定会有误差。

通过改进仪器和谨慎操作，可以减小误差，但任何仪器的测量都不能完全消灭误差。

偶然误差和系统误差 人读仪表时，眼睛的位置可能稍向左偏或稍向右偏，电表指针由于轴上的摩擦，停下来的位置可能一次偏大、一次偏小。这些误差是由偶然因素造成的，叫作**偶然误差**（accidental error）。偶然误差的特点是，当多次重复测量时，偏大和偏小的机会比较接近，可以用取平均值的方法来减小偶然误差。**系统误差**（systematic error）是由仪器结构缺陷、实验方法不完善造成的。例如，天平两臂不完全等长会造成系统误差；测量重力加速度时由于没有消除空气阻力等影响也会引起系统误差。系统误差的特点是，多次重复测量的结果总是大于（或小于）被测量的真实值，呈现单一倾向。

绝对误差和相对误差 假设用分度值为 1 mm 的刻度尺测一段铜线的直径，读数为 1.3 mm。限于刻度尺的精确度，测量有一定的误差。若被测量铜丝直径的真实值为 1.2 mm，那么测量值与真实值之差则为

1.3 mm − 1.2 mm ＝ 0.1 mm

物理学中把测量值与真实值之差，叫作**绝对误差**（absolute error）。

除绝对误差之外，人们通常要考虑这个绝对误差是在测量多大的测量值时产生的，如果绝对误差相同，但测量值大，这个绝对误差在整个测量中所占的比例就小。物理学中把绝对误差与测量值之比，叫作**相对误差**（relitive error），即

相对误差＝

相对误差是一个比值，没有单位，通常用百分数表示。在上面的例子中，被测铜丝直径的相对误差是

＝ 8%

如果把铜丝密绕在木棒上，测量 10 圈铜丝的直径之和，由于用的是同一刻度尺，绝对误差可以认为还是 0.1 mm。但是，所测 10 圈铜丝直径的测量值已增大到 13.0 mm。此时的相对误差为

＝ 0.8%

可见，在绝对误差相同的情况下，测量值越大，相对误差就越小。

有效数字 在图实 -2 中，根据刻度尺的刻度可以读出点 A 的位置 *x*A。从图中看出，使用分度值为 1 mm 的尺，并且估读到毫米数的下一位，得到 *x*A = 13.3 mm。其中的末位数 3 是估读的、不可靠的，*x*A 的真实值在 13 mm 和 14 mm 之间。但是这个不可靠的数字 3 还是有用的，仍要写出来，因为它表示点 A 在 13 mm 和 14 mm 两条刻度线之间，靠近中点但离 13 mm 刻度线稍近一些的位置。

*x*A

0 mm

10

20

图实 -2 读数时可以读出一位估读的数字

这种带有一位不可靠数字的近似数字叫作**有效数字**（significant figure）。例如，13.3 mm 是三位有效数字，改写成 1.33 cm 或 0.013 3 m 仍然是三位有效数字。

如果仍用这把刻度尺测量另一点 B 的位置，点 B 的中心恰好与 19 mm 的刻度线正对（图实 -3），这种情况应当怎样处理呢？正确的记录是 *x*B = 19.0 mm，而不应写成 19 mm。这种情况下，1、9 都是可靠的，但若写成 19 mm，就意味着数字 9 是不可靠的，显然与事实上测量仪器的准确度不相符。由此可以知道，最末一位非零数字后面的数字 0 是有意义的，不能随意舍去或添加。小数中最前一位非零数字前面的 0 是表示小数点的位置的，不是有效数字。例如 0.92 s、0.085 kg、0.006 3 m，都是两位有效数字。为了正确表述有效数字，特别大或特别小的数字都要用科学记数法，例如月球到地球的平均距离为 3.84×105 km，钨原子的半径为 1.37×10−10 m。

*x*B

10

20

0 mm

图实 -3 估读时的数字应该是 0

实验的结果往往是由若干直接测量值经过运算得到的，每一个直接测量值的误差都对最后结果产生影响，应当按一定的数学方法来确定运算结果的有效数字。但是这种处理方法比较复杂，中学阶段不做要求，运算结果一般取两位或三位有效数字就可以了。