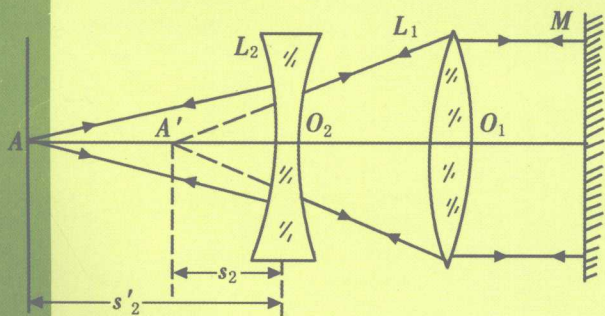


# 基础

# 物理实验教程

陶向阳 燕安 主编

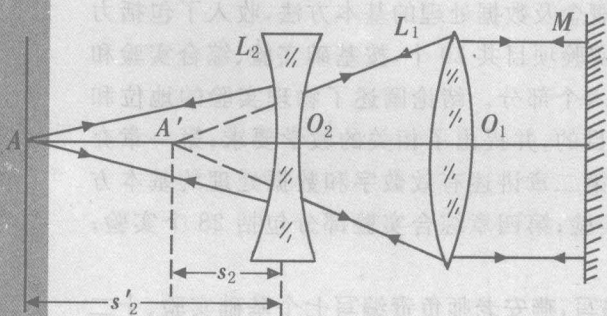


江西出版集团  江西教育出版社

# 基础

# 物理实验教程

陶向阳 燕安 主编



**图书在版编目(CIP)数据**

基础物理实验教程/陶向阳等主编. —南昌:江西教育出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-5392-4857-8

I. 基… II. 陶… III. 物理学—实验—高等学校—教材  
IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201866 号

**基础物理实验教程**

陶向阳 燕安 主编

江西教育出版社出版

URL: <http://www.jxeph.com>

E-mail: [jxeph@public.nc.jx.cn](mailto:jxeph@public.nc.jx.cn)

(南昌市抚河北路 291 号 邮编: 330008)

各地新华书店经销

江西教育印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.25 印张

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5392-4857-8 定价: 20.00 元

---

赣教版图书如有印装质量问题, 可向我社产品制作部调换

电话: 0791-6710427(江西教育出版社产品制作部)

---

## 前 言

根据国家教育部颁布的《非物理类理工学科大学物理实验课程教学基本要求》(2006年)、《综合大学物理学专业(四年制)普通物理实验教学基本要求》(1989年),结合江西师范大学物理与通信电子学院《大学物理实验》、《普通物理实验》和江西农业大学理学院《大学物理实验》课程的教学要求,我们在原有自编讲义的基础上,参考了一些文献、书籍及实验仪器生产厂(商)提供的资料,编写了《基础物理实验教程》一书,以期满足物理学专业《普通物理实验》和非物理学专业《大学物理实验》课程教学的需要。

本书介绍了误差理论、不确定度的概念及数据处理的基本方法,收入了包括力学、热学、电磁学、光学和部分近代物理实验项目共70个,按基础实验、综合实验和设计性实验进行分类。全书共分五章、六个部分。绪论阐述了物理实验的地位和作用,说明了基础物理实验课程的教学目的,并提出了相关的教学要求;第一章介绍了测量误差和测量结果的不确定度;第二章讲述有效数字和数据处理的基本方法;第三章基础实验部分编写了24个实验;第四章综合实验部分包括28个实验;第五章设计性实验收入了18个实验。

绪论及前两章由乐建新老师负责编写,燕安老师负责编写七个基础实验、十二个综合实验以及所有的设计性实验,江西农业大学涂海华老师负责了八个基础实验和三个综合实验,桑明煌老师负责了两个基础实验和七个综合实验,王琦老师负责了七个基础实验和六个综合实验,陶向阳老师负责全书的统稿、审阅和修改。参加了编写工作的还有郭琴老师、熊小华老师和刘忠明老师。肖新民教授对绪论和第一、第二章进行了审稿,并提出了许多宝贵意见。在此表示深深的感谢!

由于编者水平有限,致使出现差错或不合理之处,敬请批评指正!

编者

2007年12月



# 目 录

绪论 .....	(1)
第一章 测量误差和测量结果的不确定度 .....	(5)
1.1 测量与测量误差 .....	(5)
1.2 测量结果的不确定度 .....	(13)
第二章 有效数字和数据处理的基本方法 .....	(21)
2.1 有效数字 .....	(21)
2.2 实验数据处理的基本方法 .....	(23)
第三章 基础实验 .....	(30)
3.1 游标卡尺和螺旋测微器的原理和使用 .....	(30)
3.2 弦线振动 .....	(34)
3.3 扭摆法测定转动惯量 .....	(37)
3.4 气垫导轨上测滑块速度和加速度 .....	(42)
3.5 气垫导轨上的碰撞实验 .....	(48)
3.6 惯性秤 .....	(51)
3.7 声速测定 .....	(53)
3.8 凯特摆 .....	(57)
3.9 万用电表的使用 .....	(60)
3.10 示波器及音频信号发生器的使用 .....	(65)
3.11 用惠斯登电桥测中值电阻 .....	(73)
3.12 用模拟法测绘静电场 .....	(79)
3.13 方波的傅里叶分解与合成 .....	(81)
3.14 用箱式电势差计校正电表 .....	(87)
3.15 电子束实验 .....	(91)

3.16	LRC 电路谐振特性的研究 .....	(95)
3.17	LRC 电路的暂态过程研究 .....	(101)
3.18	LRC 电路的稳态特性 .....	(107)
3.19	分光计的调整和使用 .....	(114)
3.20	薄透镜焦距的测定 .....	(122)
3.21	旋光仪测糖溶液的浓度 .....	(126)
3.22	用牛顿环测凸透镜的曲率半径 .....	(130)
3.23	霍尔效应法测定螺线管轴向磁感应强度分布 .....	(133)
3.24	空间滤波与光信息处理 .....	(139)
<b>第四章 综合性实验 .....</b>		<b>(146)</b>
4.1	静态拉伸法测量钢丝的杨氏模量 .....	(146)
4.2	液体表面张力系数的测定 .....	(150)
4.3	液体粘滞系数的测定 .....	(157)
4.4	空气比热容比 .....	(159)
4.5	导热系数测定 .....	(163)
4.6	固体线膨胀系数 .....	(167)
4.7	切变模量的测量 .....	(169)
4.8	用动态法测定金属杨氏模量 .....	(172)
4.9	霍尔效应及霍尔系数的测定 .....	(177)
4.10	双臂电桥测低电阻 .....	(181)
4.11	PN 结正向压降与温度关系的研究和应用 .....	(184)
4.12	用密立根油滴实验测电子电荷 $e$ .....	(188)
4.13	电子荷质比的测量 .....	(193)
4.14	万能电桥的原理和使用 .....	(197)
4.15	用板式电位差计测量电池的电动势和内阻 .....	(202)
4.16	铁磁材料的磁滞回线和基本磁化曲线 .....	(206)
4.17	用透射光栅测定光波波长 .....	(210)
4.18	用超声光栅测液体中的声速 .....	(214)
4.19	用双棱镜干涉测钠光波长 .....	(218)
4.20	用掠入射法测定透明介质的折射率 .....	(221)
4.21	迈克耳逊干涉仪的调节和使用 .....	(223)
4.22	偏振现象的观察和分析 .....	(227)

4.23	双光栅微弱振动测量仪 .....	(232)
4.24	利用光电效应测定普朗克常量 .....	(237)
4.25	音频信号光纤传输技术实验 .....	(242)
4.26	被动式(热释电)红外传感实验 .....	(246)
4.27	夫兰克-赫兹实验 .....	(252)
4.28	光学双稳态实验 .....	(254)
<b>第五章 设计性实验 .....</b>		<b>(260)</b>
5.1	误差分配和实验仪器的选择 .....	(260)
5.2	固体密度测量 .....	(260)
5.3	用单摆测定当地重力加速度 .....	(261)
5.4	自组光路用伸长法测定金属丝的杨氏模量 .....	(261)
5.5	电表的改装 .....	(261)
5.6	测量线性电阻和非线性电阻的伏安特性 .....	(262)
5.7	数字温度计 .....	(262)
5.8	测定光电二极管特性 .....	(263)
5.9	测定电容 .....	(263)
5.10	测定磁场分布 .....	(263)
5.11	单臂电桥法测微安表内阻 .....	(264)
5.12	电位差计测定电阻 .....	(264)
5.13	测定电感器特性 .....	(265)
5.14	RC 移相电路及测量相位差 .....	(265)
5.15	测定半波整流电容滤波电路负载电阻上消耗的平均功率 .....	(266)
5.16	黑盒子 .....	(266)
5.17	望远镜的设计和组装 .....	(266)
5.18	用干涉法测量薄片的厚度 .....	(267)
<b>参考资料 .....</b>		<b>(268)</b>

---

# 绪 论

## 一、物理实验的地位和作用

马克思主义哲学告诉我们,世界的本质是物质的,运动是物质的根本属性,时间和空间则是运动着的物质的存在形式。物理学是研究物质的结构、物质的运动及其相互作用的规律的科学。由于物理学所研究的物质最基本的运动形式,普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式(如化学、生命的过程等)之中,因此物理学是一切自然科学的基础。

对物理学的研究可以从理论和实验两个方面进行。纵观物理学史,物理实验在物理学的建立和发展中一直起着非常重要的作用。物理概念的建立、物理定律的发现和物理理论的形成都是建立在严格的实验事实基础之上的,并不断受到实验的检验。例如,1924年,在光具有波粒二象性的启发下,法国理论物理学家德布罗意在其博士学位论文中阐述了著名的物质波理论,指出实物粒子(如电子)具有波动性,即能量为 $\epsilon$ ,动量为 $p$ 的自由粒子联系着圆频率为 $\omega$ ,波矢为 $k$ 的平面波,且有德布罗意关系 $\epsilon = \hbar\omega$ , $p = \hbar k$ ,这一理论为波动力学的建立奠定了坚实的基础。1927年,美国物理学家戴维森等和英国物理学家汤姆孙分别成功地获得了电子在晶体上的衍射图样,并验证了德布罗意关系,于是物质波理论有了坚实的实验基础,得到了物理学界的公认,德布罗意也因此获得1929年的诺贝尔物理学奖,而戴维森和汤姆孙则因用晶体对电子衍射所作的实验发现分享了1937年的诺贝尔物理学奖。又如,1956年夏天,美籍华裔物理学家杨振宁和李政道一起查阅了当时已有的与“宇称守恒”有关的实验事实,发现在弱相互作用下并不存在“宇称守恒”的任何实验证据,从而大胆地提出在弱相互作用下宇称不守恒,并建议用 $\beta$ 衰变等实验来验证他们的推测。几个月后,即1957年1月,美国哥伦比亚大学的美籍华裔实验物理学家吴健雄教授与美国华盛顿国家标准局的四位物理学家一起,在低温下用钴60的 $\beta$ 衰变实验证实了在这种衰变过程中宇称确实不守恒,此后其他一些实验也证明了这个结论的正确性。杨振宁和李政道因提出在弱相互作用下宇称不守恒,共同分享了1957年度诺贝尔物理学奖。再如,1924年,印度物理学家玻色将光子作为数量不守恒的粒子,用完全不同于经典电动力学的统计方法,导出了普朗克黑体辐射公式。随后,爱因斯坦将玻色的方法推广应用到理想玻色气体,并预言当系统的温度足够低时,系统中会有有限份额的玻色粒子占据动量为零的单



---

粒子态,这一现象称为玻色-爱因斯坦凝聚。由于实验技术的制约,很长时间没有在实验中观测到这一现象。随着激光冷却技术的发展,1995年6月,美国科罗拉多大学的康奈尔和维曼研究组在铷原子蒸气中第一次直接观测到玻色-爱因斯坦凝聚。几个月后,美国麻省理工学院的克特勒研究组在钠原子蒸气中实现了玻色-爱因斯坦凝聚。康奈尔、克特勒和维曼因在稀薄的碱金属气体中实现了玻色-爱因斯坦凝聚,以及在对这种凝聚物的特性进行早期的基础研究中所取得的杰出成就,共同分享了2001年度诺贝尔物理学奖。大量的事实表明,物理学是一门以实验为基础、理论与实验高度结合的科学,没有物理实验就没有物理学的发展。

物理实验是依据一定的实验目的,采用某种实验方法,借助相应的实验仪器和设备,在特定条件下,对所研究的物理现象进行观察和测量,以便深入揭示物理现象的本质的过程。在长期的发展过程中,物理实验已形成了一整套实验理论和实验方法,这些理论和方法已经广泛渗透到了自然科学的各个学科和工程技术领域。实验知识、实验理论和实验方法的掌握,实验技能的提升以及实验素养的形成,是一个日积月累的过程,需要长期的专门训练。

基础物理实验课是对高等院校理工科专业学生进行科学实验基本训练的一门独立的实验课程,和其他基础课一样,虽然探索内容不多,却是学生进入大学后受到的实验方法和实验技能系统训练的开端。它在培养学生用实验手段去发现问题、分析问题和解决问题的能力方面起着重要的作用,同时也为学习后续实验课程,乃至今后独立进行科学实验研究打下良好的基础。因此,高等院校理工科专业学生在努力学习物理理论的同时,也要重视大学物理实验的训练,两者不可偏废。

## 二、物理实验课程的教学目的

大学物理实验课重在培养学生的基本实验技能,提高学生的科学实验素质,其主要目的如下:

1. 通过对物理现象的观察、物理量的测量和分析,使学生加深对物理概念、物理规律和物理理论的理解和认识。
2. 学习物理实验的基础知识和基本方法,掌握常用测量仪器的调整和使用,培养基本的实验技能。
3. 学习实验数据处理的基本方法,能够分析实验结果的可靠程度,并能撰写合格的实验报告。
4. 培养学生理论联系实际、实事求是的科学态度,严肃认真、一丝不苟的工作作风,勇于探索、坚韧不拔的科学精神以及遵守实验操作规程、爱护实验器材的良好习惯。

### 三、物理实验课程的教学要求

为了达到上述课程的教学目的,学生必须遵守以下教学要求:

1. 实验前必须认真预习。课前要仔细阅读实验教材或查阅有关的参考资料,明确本次实验的目的、原理和方法,了解主要的实验步骤。对实验中涉及的仪器,要弄清构造原理、使用操作方法和注意事项。在此基础上简明扼要地写出书面的预习报告,实验前把预习报告交实验指导教师检查,不预习或不合要求者不准进行实验。预习报告主要包括实验名称、实验目的和实验原理三部分内容。

2. 实验时必须严肃认真地进行操作、观测和记录。学生进入实验室后应遵守实验室规则和仪器操作规程,爱护仪器。实验操作时精神要集中,观察要仔细,注意分析实验现象,在教师指导下及时排除实验故障。观测后要立即准确、如实地记录实验数据,不得拼凑、涂改或事后追记数据。如果发现数据不合理,应仔细分析其原因,然后重新进行测量。所有实验的原始数据都应整洁地记在专用的实验数据记录本上。数据测量完毕,应将原始数据交实验指导教师检查,教师签字认可后,学生才能整理仪器,离开实验室。

3. 实验后要及时写出实验报告。实验报告既是实验过程的总结,也是实验结果的书面报告,其主要内容包括:

(1)实验名称;

(2)实验目的;

(3)实验原理。在理解的基础上简要叙述实验的物理内容,包括必要的电路图、光路图及实验装置的示意图,列出实验所依据的主要公式,并说明其适用条件及各物理量的含义、单位,切忌整篇照抄。

(4)实验仪器。记录实验所用主要仪器的名称、型号和规格。

(5)实验步骤。根据实际的实验过程,写出关键的实验步骤。

(6)实验数据。根据实验数据的特点设计表格,采用列表法,整理实验数据记录本上的原始数据,并将其写在实验报告上。注意不要遗漏数据表格的标题、各物理量的单位及测量条件。

(7)数据处理。采用合适的数据处理方法对实验数据进行处理,绘制必要的图线,得到实验结果,并对实验结果进行不确定度分析。

(8)思考题。完成教师指定的思考题。

(9)实验小结。内容不限,可以是对实验现象的分析和讨论,对实验关键问题的研究体会,对实验的改进设想,也可以是实验心得和收获等。

实验报告一律用专用的物理实验报告纸书写,要力求内容完整、文字简练、条

---

理清楚、字迹端正、数据齐全和图表规范。实验报告完成后要及时交给实验指导教师。

---

# 第一章 测量误差和测量结果的不确定度

物理实验是以测量为基础的,测量是物理实验中必不可少的环节,是物理实验最重要的组成部分。依据一定的理论和方法,借助各种仪器和设备,对各种物理量进行测量,使得我们可以定量地研究物理现象,检验理论学说,发现物理规律。由于受实验理论、实验方法、实验条件和测量者等因素的制约,任何测量结果都不可能是绝对准确的,它不可避免地含有误差。测量结果的不确定度是对测量误差的一种综合评价,是与测量结果相关联的参数,用来表征测量结果的可信赖程度。

本章先介绍有关测量和误差的基本知识,再介绍测量结果不确定度的评定方法。

## 1.1 测量与测量误差

### 一、测量

所谓测量,就是将待测的物理量直接或间接地与一个被选作计量标准的同类物理量进行比较,以确定它是标准量的多少倍的过程。这个标准量称为该物理量的单位,倍数称为待测物理量的数值。一个物理量必须由数值和单位组成。按照中华人民共和国法定计量单位的规定,物理量单位均是以国际单位制(SI)为基础的,其中米(长度)、千克(质量)、秒(时间)、安培(电流强度)、开尔文(热力学温标)、摩尔(物质的量)和坎德拉(发光强度)是基本单位,其他物理量的单位可由这些基本单位导出,故称为导出单位。

测量按其过程可分为直接测量和间接测量。凡是能用测量仪器或仪表直接测得待测量大小的测量,称为直接测量。例如,用米尺量度物体的长度,用温度计测量物体的温度,用天平称衡物体的质量,用秒表测量时间,用安培表测量电路中的电流强度,用箱式电位差计测量干电池的电动势等,均为直接测量。然而大多数物理量都没有直接测量的仪器,需要进行间接的测量。所谓间接测量,就是先经过直接测量得到一些物理量的数值,然后再依据待测量与若干个直接测量量的函数关系式进行计算,最后得出待测量结果的测量。例如,用单摆测量重力加速度  $g$  时,先对摆长  $L$  和周期  $T$  进行直接测量,然后再由公式  $g=4\pi^2 L/T^2$  求出  $g$  的量值,重力加速度  $g$  的测量便是间接测量。

从测量条件上可以把测量分为等精度测量和不等精度测量。在对某一物理量进行多次重复测量的过程中,每次测量条件都相同的一系列测量称为等精度测量。也就是说,影响测量的各种因素(如测量方法、测量仪器、测量环境、测量者及其心理状态等)都不变的多次测量,就是等精度测量。在等精度测量中,每次测量的可靠程度都相同。如果在对某一物理量进行多次重复测量时,测量条件完全不同或部分不同,各测量结果的可靠程度自然也不同,这样的一系列测量称为不等精度测量。例如在测量某物理量时,原是同学甲在测量,后换作同学乙进行测量,由于测量者不同,因而这种测量为不等精度测量。

由于对等精度测量的数据进行处理比较容易,所以绝大多数实验都采用等精度测量。然而,在长时间的测量过程中,要保持测量条件完全相同是极其困难的。一般来讲,当某一条件的变化对结果影响不大时,可将这种测量近似看作等精度测量。本书也只限于等精度测量的数据处理。

## 二、测量误差

### 1. 误差

在一定条件下,任何物理量都客观地存在一个唯一确定的值,这个值称为真值。测量的目的就是希望能够获得被测量的真值,但由于实验理论的近似性、测量仪器灵敏度和分辨率的局限性、环境的不稳定性等因素的影响,被测量的真值是不可能通过有限次测量而获得的,只能无限地逼近真值,测量结果和被测量真值之间总会存在或多或少的偏差,这种偏差就称为测量值的误差。设被测量的真值为 $x_0$ ,测量值为 $x$ ,绝对误差为 $\Delta x$ ,则有

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

没有误差的测量结果是不存在的,在误差必然存在的情况下,测量的任务是:(1)设法将测量值中的误差减至最小;(2)求出在该测量条件下,被测量的最近真值(最佳值);(3)估计最近真值的可靠程度。

### 2. 系统误差、随机误差和粗大误差

按照误差的性质和产生原因,可将误差分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。实验数据中,三类误差是混杂在一起出现的,但必须分别讨论其规律,以便采取相应的措施去减少误差。

#### (1) 系统误差

在同一实验条件下(实验方法、实验仪器、实验环境和测量者都不变)多次测量同一物理量时,符号和绝对值保持不变的误差,或按某一确定的规律变化的误差,称为系统误差。产生系统误差的原因主要有:①测量仪器的固有缺陷,例如,刻度不准,零点未调好,元件老化等;②实验环境不符合要求,例如,温度和气压的偏高或偏低,恒定外电场或磁场的影响等;③实验理论的近似性和测量方法的不完善,

例如,由单摆测重力加速度  $g$  所用公式的近似性,在空气中称质量时未考虑空气浮力的影响,量热时没有考虑热量的散失,测电压时未考虑电压表内阻对电路的影响等;④测量者的某些固有习惯,例如,按秒表时的习惯性超前或滞后,在刻度尺上读数时视线的习惯性偏左或偏右。

系统误差不能由多次重复测量来发现和消除,必须从产生它的根源入手,采取适当的措施,使之降低到最小的程度。系统误差又可分为已定系统误差和未定系统误差。已定系统误差的数值是可以确定的,应该把它从实验结果中扣除,消除它的影响。未定系统误差的具体数值是不知道的,只知道它的大致范围,一般用误差限的方法进行估算。

### (2) 随机误差

在同一实验条件下多次测量同一物理量时,测量值总是有稍许差异而且变化不定,并在消除系统误差之后依然如此,这部分绝对值和符号经常变化的误差称为随机误差。随机误差是由测量过程中一些随机的或不确定的因素引起的,这些因素包括人的感官灵敏程度和仪器精密程度有限、周围环境的微小波动以及测量对象本身的不确定性等。例如,用毫米刻度的米尺去测量物体的长度时,往往估读到毫米下一位,由于受人眼分辨能力的限制,这个估读数值就存在一定的随机性,也就带来了随机误差。又如,用分析天平称衡微小物体的质量时,外界气流和周围环境的振动都会导致测量结果的起伏。再如,用螺旋测微器测量钢丝的直径时,测量位置的变化也会导致测量值的变化。

随机误差的变化是不能预先确定的,也是不可避免的。但在相同的实验条件下,对被测量进行多次测量时,可以发现随机误差服从一定的统计规律,可以利用这种规律对测量结果的随机误差进行估算。

### (3) 粗大误差

凡是用测量时的客观条件不能解释为合理的那些突出的误差称为粗大误差。这是测量者在观测、记录和整理数据的过程中,由于不正常地使用仪器、粗心大意和疲劳等引起的。可以采用和别组数据比较的方法来发现含有粗大误差的异常数据,也可运用异常数据剔除准则来判别,此类数据必须舍去,不让其参与计算。

值得注意的是,一方面,在任何一次测量中,测量误差既不会是单纯的系统误差,也不会是纯粹的随机误差,而是两者都有;另一方面,系统误差和随机误差的区别也不是绝对的,在一定条件下,它们还可以互相转化。因此,在测量过程中,不必过于强调它们之间的区别,而应用概率统计理论对它们进行统一的研究和处理。

### 三、测量的准确度、精密度和精确度

对测量结果进行总体评定时,一般均应将系统误差和随机误差联系起来看。反映测量结果与真值接近程度的量称为精度,它与误差的大小相对应。因此,可用



误差的大小来表示精度的高低,误差小则精度高。精度可分为准确度、精密度和精确度,它们都是用来评价测量结果好坏的,但是这些概念的涵义不同,使用时应加以区别。

准确度是指测量数据偏离真值的程度,它反映了系统误差的影响程度。准确度高,则测量结果接近真值的程度好,系统误差较小。

精密度是指测量数据本身的离散程度,它反映了随机误差的影响程度。精密度高,则测量数据的重复性好,随机误差较小。

精确度是指测量结果的重复性及接近真值的程度,它反映了系统误差和随机误差综合的影响程度。精确度高,则测量结果接近真值的程度好,测量数据的重复性好,系统误差和随机误差都较小。

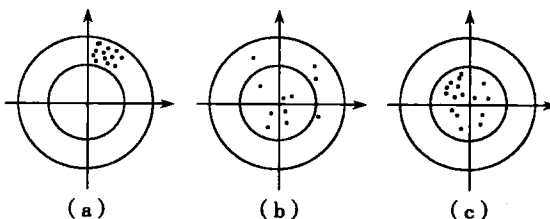


图 1-1

对于实验和测量来说,精密度高准确度不一定高,而准确度高精密度也不一定高,只有当精密度和准确度都高时,精确度才高。现在以打靶结果为例来形象说明三个“度”之间的区别。图 1-1 中,(a)图表示子弹相互之间比较靠近,但偏离靶心较远,即精密度高准确度较差;(b)图表示子弹相互之间比较分散,但没有明显的固定偏向,故准确度高而精密度较差;(c)图表示子弹相互之间比较集中,且都接近靶心,精密度和准确度都很好,亦即精确度高。

#### 四、随机误差的统计规律

##### 1. 随机变量及其数字特征

从概率统计的角度来看,物理实验中的每一次测量其实都是一次随机试验,这类试验具有以下三个特征:(1)每次试验的可能结果不止一个,并事先知道试验的所有可能结果;(2)进行一次试验之前不能确定哪一个结果会出现;(3)试验可以在相同条件下重复地进行。随机试验的每一个基本结果都是一个随机事件,称为基本事件,或称为样本点。样本点的全体构成样本空间,而随机事件则为样本点的某个集合。只有当随机事件所包含的某一个样本点出现时,才能说这个事件发生了。

为了对随机试验进行定量的描述,可以对试验的每一个结果赋予一个相应的值,这样就在事件与数值之间建立起一定的对应关系。取值带有随机性的变量称为随机变量,它在随机试验中,随试验结果的不同而随机地取各种不同的数值,而且对取每一个数值或某一范围内的值都有相应的概率。随机变量至少有两种类型,一是离散型随机变量,它所可能取到的值是有限多个的或 $(-\infty, \infty)$ 上无限多个的离散值;另一是连续型随机变量,它可取到某个区间 $[a, b]$ 或 $(-\infty, \infty)$ 上的一

切值。连续型随机变量  $\xi$  在  $x$  附近  $x \sim x+dx$  的范围内取值的概率为  $\rho(x)dx$ , 其中  $\rho(x)$  为连续型随机变量  $\xi$  的概率密度函数, 用来描述其概率分布。连续型随机变量  $\xi$  在  $(x_1, x_2)$  区间内取值的概率为

$$P\{x_1 < \xi < x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} \rho(x) dx. \quad (1-2)$$

概率密度函数  $\rho(x)$  满足归一化条件

$$\int_{-\infty}^{\infty} \rho(x) dx = 1, \quad (1-3)$$

它表示全部概率之和为 1。

随机变量  $\xi$  具有两个数字特征, 一是数学期望  $E\xi$ , 它反映了随机变量  $\xi$  取值的平均值; 另一是方差  $D\xi$ , 它反映了随机变量  $\xi$  取值的离散程度。对连续型随机变量  $\xi$ , 其数学期望  $E\xi$  和方差  $D\xi$  分别定义为

$$E\xi = \int_{-\infty}^{\infty} x\rho(x) dx \quad (1-4)$$

$$D\xi = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E\xi)^2 \rho(x) dx \quad (1-5)$$

方差  $D\xi$  的平方根  $\sqrt{D\xi}$  称为随机变量  $\xi$  的标准差。

## 2. 均匀分布

均匀分布是一种等概率分布, 服从均匀分布的随机变量  $\xi$  的概率密度函数为

$$\rho(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a < x < b, \\ 0, & \text{其它.} \end{cases} \quad (1-6)$$

其中  $a$  和  $b$  是均匀分布的两个有限参数。将 (1-6) 式代入 (1-4) 和 (1-5) 式, 可得均匀分布中随机变量  $\xi$  的数学期望  $E\xi$ 、方差  $D\xi$  和标准差  $\sqrt{D\xi}$  分别为

$$E\xi = \frac{a+b}{2} \quad (1-7)$$

$$D\xi = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (1-8)$$

$$\sqrt{D\xi} = \frac{b-a}{\sqrt{12}} \quad (1-9)$$

在大学物理实验中, 均匀分布是一种很重要的分布。对数字仪表、机械停表以及游标卡尺等测量仪器而言, 由于小于其最小读数单位的数值不能显示, 因而在一定区间内它们的读数是一个定值, 由此引入的误差可认为服从均匀分布。对于未定系统误差, 一般也认为它们服从均匀分布。例如, 有些仪器的误差在其允差 (误差限) 的范围内可以认为服从均匀分布, 其概率密度函数如图 1-2 所示。图中  $\Delta_{\text{仪}}$  表示仪器的允差,  $\rho(x)$  表示仪器的误差  $\Delta$  的概率密度函数。仪器的允差或误差限

$\Delta_{\text{仪}}$  是指在仪器规定的使用条件下,正确使用仪器时,仪器的指示值和被测量的真值之间可能产生的最大误差,其数值通常是由制造厂家和计量单位使用更精密的仪器经过鉴定比较后给出,符号可正可负,可在产品说明书和仪器手册中查找到或根据仪器级别、量程等算出。对常用的指针式电表, $\Delta_{\text{仪}}$  可由下式估算:

$$\Delta_{\text{仪}} = \text{量程} \times \text{级别} \% \quad (1-10)$$

它表示在该量程下正确使用仪器进行测量,结果可能出现的最大误差。我国的指针式电表分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 和 5.0 等七个级别。某些常用实验仪器的主要技术要求和允差见表 1-1。应当说明,仪器的允差是指所制造的同型号同规格的所有仪器中有可能产生的最大误差,并不表明每一台仪器的每个测量值都有如此之大的误差。它既包括仪器在设计、加工、装配过程中乃至材料选择的欠缺所造成的系统误差,也包括正常使用过程中测量环境和仪器性能随机涨落的影响,其性质在很大程度上取决于仪器的精度。一般级别较高的仪器和仪表(如 0.2 级精密电表),仪器误差主要是随机误差,级别低的(如 1.0 级以下)主要是系统误差,而常用的 0.5 级或 1.0 级表,则两种误差都可能存在。

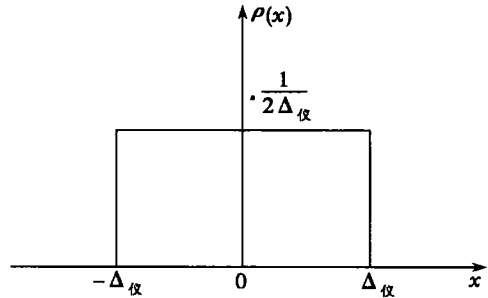


图 1-2

表 1-1 某些常用实验仪器的主要技术要求和允差

仪器名称	量 程	最小分度值	允 差
木尺(竹尺)	30~50 cm	1 mm	±1.0 mm
	60~100 cm	1 mm	±1.5 mm
钢板尺	150 mm	1 mm	±0.10 mm
	500 mm	1 mm	±0.15 mm
	1000 mm	1 mm	±0.20 mm
钢卷尺	1 m	1 mm	±0.8 mm
	2 m	1 mm	±1.2 mm
游标卡尺	150 mm	0.02 mm	±0.02 mm
		0.05 mm	±0.05 mm
外径千分尺	0~25 mm	0.01 mm	±0.004 mm
七级天平 (物理天平)	500 g	0.05 g	0.08 g(满量程)
			0.06 g(1/2 量程)
			0.04 g(1/3 量程)