

21 世纪物理学规划课改教材

大学物理实验

DAXUE WULI SHIYAN

徐国旺 黄楚云 主编



科学出版社

21 世纪物理学规划课改教材

大学物理实验

徐国旺 黄楚云 主编

科学出版社

北 京

前 言

本书是根据教育部颁发的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》(2008 年版),并结合理工科院校专业设置特点和一般物理实验室仪器设备的实际情况,在多年教学实践的基础上编写而成的。内容包括误差及数据处理、力学、热学、电磁学、光学、近代物理及设计性实验等方面的 39 个实验项目。按照 60 学时的教学计划,结合各专业的特点和开放式实验教学的要求,每个学生可以选做 20 个实验。

开设大学物理实验课的目的:通过对物理实验现象的观测和分析,学习物理实验知识,加深对物理学原理的理解;培养学生从事科学实验研究的初步能力;养成学生实事求是的科学态度;培养学生严谨踏实的工作作风,勇于探索、坚韧不拔的钻研精神及团结协作的优良品德。本书在编辑上注重实验原理的论述,对实验项目中主要仪器的结构、性能、调节和使用作了较详细的叙述,以适应开放式实验教学的需要。

本书包含了大学物理教学和大学物理实验教学一线骨干教师多年从事教学实践所积累的经验,是教学同仁们智慧的结晶。本书既涵盖了大学物理实验应有的知识点,是开放式实验教学的总结,教学实践性及操作性强;又自成体系,在一些知识点和教学点上不乏创意和独到之处。本书是一本理想的理工科大学物理实验课教材,也是相关教学、研究和实际工作者的参考读物和实验指南。

本书由徐国旺和黄楚云任主编,贺华、陈之宜、别业广、陈义万和杨昕任副主编。本书绪论、第一部分、实验十二由黄楚云编写,第二部分的第一、第二、第三、第四节及实验七、实验九由杨昕编写,第二部分的第五、第六节由杨晓艳编写,实验一、实验八由陈之宜编写,实验二、实验三由杨涛编写,实验四、实验三十一由闵锐编写,实验五、实验二十一、实验二十八由吕桦编写,实验六及附录由贺华编写,实验十、实验十九、实验三十三由甘路编写,实验十一、实验二十二由谭保华编写,实验十三、实验十五、实验二十、实验二十七、实验三十四由别业广编写,实验十四、实验十七、实验十八由江铭波编写,实验十六、实验二十三、实验二十四、实验二十五及第五部分由徐国旺编写,实验二十六、实验二十九、实验三十、实验三十二由陈义万编写。全书由徐国旺和黄楚云统稿、定稿。

由于水平有限,时间仓促,编者的初衷不一定能完全实现,缺点和不足在所难免,诚望广大读者批评指正。

编 者

2013 年 11 月

目 录

绪论	1
第一部分 常用物理实验仪器及实验基础知识	3
一、物理实验室常用仪器	3
二、电磁学实验基础知识	10
三、光学实验基础知识	11
第二部分 误差分析及数据处理	12
一、测量与误差	12
二、系统误差与随机误差	14
三、不确定度	17
四、有效数字的概念	22
五、数据处理	25
六、实验结果的计算机处理	28
第三部分 基础物理实验	35
实验一 长度与密度的测量	35
实验二 气垫导轨上测滑块的速度与加速度	43
实验三 弹性碰撞与完全非弹性碰撞	49
实验四 转动惯量的测量	52
实验五 杨氏模量的测量	62
实验六 波在弦线上传播的研究	68
实验七 液体表面张力系数的测量	71
实验八 液体的黏性系数的测量	76
实验九 示波器的原理与使用	79
实验十 超声波在空气中的传播	88
实验十一 多普勒效应实验测定声速	93
实验十二 滑线变阻器制流电路和分压电路的研究	97
实验十三 灵敏电流计的研究	103
实验十四 静电场的模拟	110
实验十五 用电桥法测量电阻	117
实验十六 电位差计的校准与使用	123
实验十七 电子射线束的电偏转	129
实验十八 电子射线束的磁偏转	134
实验十九 霍尔效应	138
实验二十 薄透镜焦距的测量	145

实验二十一	显微镜与望远镜放大率的测量	150
实验二十二	用牛顿环测量透镜的曲率半径	154
实验二十三	分光计的结构与调整	160
实验二十四	用分光计测量三棱镜的折射率	166
实验二十五	用双棱镜测量光波的波长	172
实验二十六	单缝衍射	177
实验二十七	光栅的衍射	185
实验二十八	阿贝折射仪的使用	188
实验二十九	迈克耳孙干涉仪的调整和使用	192
第四部分	近代物理实验	197
实验三十	密立根油滴实验	197
实验三十一	电子荷质比的测量	207
实验三十二	用光电效应测定普朗克常量	212
实验三十三	弗兰克-赫兹实验	218
实验三十四	全息照相实验	225
第五部分	设计性实验	230
实验三十五	重力加速度的测量	230
实验三十六	压力传感器特性的研究及应用	235
实验三十七	电表的改装	238
实验三十八	数字温度计的设计	241
实验三十九	光敏开关的设计	243
附录 A	中华人民共和国法定计量单位	246
附录 B	物理实验常数表	249

绪 论

一、物理实验的重要性

物理学是人类认识自然界的基础,它揭示和阐述物质世界基本构成及其运动和相互作用的基本规律。物理学对人类社会的发展起到了极大的推动作用,是现代科学的基石,也是当代前沿科学的源泉。从神舟卫星升空,蛟龙号入海,到融入人类日常生活中的手机、电视、笔记本电脑,再到医学检查手段的B超、CT,乃至核武器、核能源,都根植于物理科学的成就之上。

物理学也是一门实验科学。发现新的物理现象、探索物理规律、验证物理理论,都离不开物理实验。纵观整个物理学的发展,就会发现实验对物理理论的建立起着十分重要的作用。从力学中的伽利略通过实验发现的自由落体定律、惯性定律,到卡文迪许实验验证静电力与距离的平方反比规律,法拉第的电磁感应实验,再到托马斯·杨的双缝干涉实验验证光的波粒二象性,那些设计精巧的经典实验,无一不闪烁着物理学家们思想的光芒。诺贝尔物理学奖从1901年开始获奖的150多位获奖者中,因物理实验方面的伟大发现或发明而获奖的占2/3以上。毫不夸张地说:没有物理实验就没有物理学。

科学的迅猛发展使得有些知识很快陈旧,但是物理实验揭示的规律和基本原理仍然在物理学及其衍生分化开来的其他学科中得到广泛应用。在探索和开拓新的科技领域中,物理实验仍然是强有力的工具和基础。工程技术在探索新理论、新材料、新工艺中,必须进行科学实验,而物理实验提供了实验方法设计、数据处理、常用仪器选择等基础知识。大学物理实验是工科学生必修的基础课,是学生接受系统科学训练和技能培养的开端,在培养学生发现、观察、分析、研究、解决问题的能力方面,在培养思维和创造能力、激发求知欲望、养成严谨科研作风等方面都起到至关重要的作用。

二、物理实验的教学目的

本课程的教学任务和目的如下:

(1) 培养学生的科学实验技能、科学思维和创新意识,提高学生科研实验素质,使学生初步掌握科学实验的思想和方法;

(2) 培养学生严谨务实的科学作风,实事求是的科学态度,积极主动的探索欲望,遵章守纪、团结协作的科学精神;

(3) 使学生掌握物理实验的基本理论和基本方法,初步培养学生的实验研究能力;

(4) 使学生熟悉各种常用仪器的结构、性能及使用方法,培养其正确进行实验操作、准确测量的能力;

(5) 使学生掌握正确处理实验数据、分析和估算实验误差的基本理论和方法,培养学生正确处理和分析实验数据的能力。

三、物理实验的教学环节

大学物理实验课程具有其他课程无法替代的重要性。学生在学习物理实验课程时,应该做到如下几点。

1. 实验预习

实验预习是实验成功与否的先决条件。学生在实验前必须认真预习,应该在上课前仔细阅读相关实验全部内容,掌握实验原理;了解实验内容和步骤,明确要观察的物理现象和需要测量的物理量及测量方法;了解实验仪器的使用方法和操作程序。要求通过预习,整理出实验要点,提交预习报告。

预习报告包括实验目的、原理、内容、仪器、步骤及数据记录表格等内容。

2. 实验操作

实验操作是实验课的中心环节。学生应该根据实验教材要求,在教师指导下,独立完成实验操作全过程。

学生进入实验室后,首先做好如下两项工作。

(1) 清点仪器。对照实验项目检查实验桌上的仪器设备,如有短缺或损坏,应及时向老师反映,予以补充或更换。实验过程中如有丢失或损坏,应及时向老师如实报告,必要时还需填写书面报告。

(2) 认识仪器。清点无误后,要对仪器充分观察,了解仪器结构、特性、调节和使用方法。在此基础上,进行仪器的安装或调试、电路连接和光路调整等工作,为测量实验数据做好充分准备。

测量实验数据时,要注意是否满足实验条件,是否正确执行操作规范,是否采用正确的读数方法,是否准确记录实验数据等。对实验中出现的问题要认真分析、思考,要看成是学习的良好机会,尝试独立排除故障或解决问题。

真实记录实验数据,是一个科学工作者的基本职业道德要求。在实验过程中,当实验结果与已知值或公认值出现偏差时,不允许篡改或伪造数据。实验过程比结果更重要。

实验完成后,把记录的原始实验数据呈交指导教师审阅,经认可后学生可结束实验。学生应整理好实验仪器,清理干净实验桌面方可离开实验室。

3. 实验报告

实验报告是对实验过程的全面总结,由学生在课后独立完成。

实验报告除预习报告的所有内容外,还包括实验数据记录、数据处理、误差及误差分析、实验结果或结论以及问题与讨论等。

第一部分 常用物理实验仪器及实验基础知识

一、物理实验室常用仪器

1. 电源

电源分交流电源(AC)和直流电源(DC)两种。

(1) 交流电源。实验室常用的交流电为市电,它有单相、三相之分,可通过调压变压器(亦称自耦变压器)获得连续可调的交流电压。单相电压为 220 V,频率为 50 Hz。

(2) 直流电源。实验室普遍采用直流稳压电源和干电池作为直流电源。在输出电压符合要求的情况下,要注意电流是否在额定范围之内,电流过载,将导致电源急剧发热而损坏。稳压电源具有过载保护功能,使用中若短路或超负载,输出自动回零,排除过载原因后,重新开启电源,输出会恢复正常。

2. 标准电池

标准电池可以提供准确而稳定的电动势,是直流电动势的标准器,不能作为电源来使用。标准电池是汞镉电池。按形状有 H 形封闭式和单管封闭式, H 形封闭式标准电池结构如图 1-1 所示。按硫酸镉溶液的浓度又分为饱和式和非饱和式。饱和式的电动势稳定,但对温度的变化敏感。若 E_{20} 表示 20℃ 时的电动势,则 t ℃ 时的电动势由下式进行修正:

$$E_t = E_{20} - 4 \times 10^{-5} (t - 20) - 10^{-6} (t - 20)^2 \text{ V}$$

E_{20} 由生产厂家按产品级别给出(通常 $E_{20} \approx 1.01865 \text{ V}$)。不饱和式不必进行温度校正。标准电池按准确度分为 I、II、III 三个等级。I、II 级标准电池在 1 min 之内的最大允许电流为 $1 \mu\text{A}$,内阻不大于 1000Ω , III 级的最大允许电流为 $10 \mu\text{A}$,内阻不大于 600Ω 。

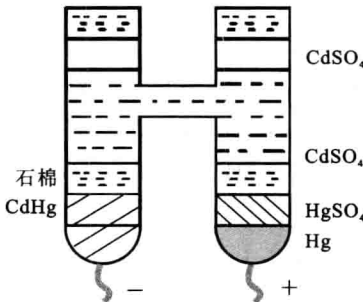


图 1-1 H 形封闭式标准电池

使用标准电池,电流不允许超过最大允许电流($1 \sim 10 \mu\text{A}$),接通标准电池的时间应尽量地短暂,绝对不允许当电源使用,也不允许用伏特表(或万能表的伏特挡)测量端电压,不许倾斜、倒置、振动及烘烤。

3. 电表

电流表和电压表的表头,绝大多数使用磁电式电表。因此只简要介绍这类电表。

磁电式电表的结构如图 1-2 所示。线圈置于永久磁铁和铁心之间所形成的固定磁场中,整个线圈由轴承系统支撑,可绕其轴转动。线圈的端部分别与一对相反放置的螺旋状游丝相连。这对游丝的另一端与测量机构的固定部分相连,是用来产生反抗力矩的,同时也起着把电流引向线圈的作用。线圈轴的外端装有指针,从有分度的刻度盘上可以看出它的偏转程度。当有电流 I 通过转动线圈时,线圈在磁场力的作用下发生转动,其所受的转动力矩为

$$M = nBSI$$

式中, n 为线圈匝数; S 是线圈的面积; B 是间隙中磁感应强度。

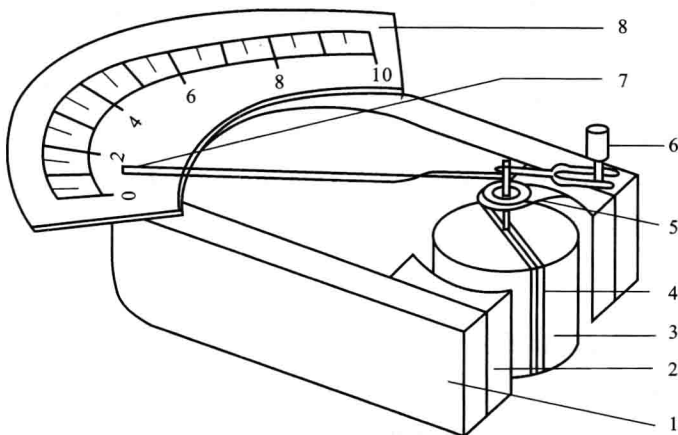


图 1-2 磁电式电表

1. 永久磁铁; 2. 极掌; 3. 圆柱形铁心; 4. 线圈; 5. 游丝; 6. 调零螺杆; 7. 指针; 8. 刻度盘

当线圈转动 θ 角时,在平衡状态下,与线圈联动的指针就在仪表面上示出某刻度的位置,此时有

$$\theta = \frac{nBS}{D} \cdot I = kI$$

式中, D 为游丝的扭转系数; 比例系数 $k = nBS/D$ 为该仪表的电流灵敏度,其物理意义表示通过单位电流时仪表所偏转的角度。线圈偏转的角度和通过线圈的电流 I 成正比,这就是磁电式仪表读数刻度盘上的刻度呈线性分布的依据。

表头的两端并联分流电阻,构成电流表,串联分压电阻,构成电压表。

各种电表按仪器误差的大小分为 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.5 和 5.0 共 7 个等级。

各电表的量程为 A_m (即所用挡次的满刻度值),准确度等级为 k ,则电表指示的任意测量值的最大误差(系统误差)为 $\Delta A = \pm A_m \cdot k\%$ 。

电表使用方法及注意事项:

(1) 注意正确连接电表。电流表必须串联在待测电路中,电压表必须与待测电压的电路并联。

(2) 注意选择合适的量程。根据待测电流或电压的大小,选择合适的量程。若量程太小,过大的电流或电压会将电表损坏;若量程过大,则指针偏转太小,使读数不准确。

(3) 注意电表的极性。使用直流电表,必须注意电表的正负极。

(4) 注意电表的安放位置。 $\perp$ ($\uparrow$) 为垂直放置; $\sqcap$ ($\rightarrow$) 为水平放置; $\angle$ 为倾斜放置。

(5) 注意避免读数视差。为了减小视差,读数时必须使视线垂直于刻度面,精密电表刻度槽下装有反光镜,读数时应使指针与它镜中的像重合。

(6) 注意读出有效数字。

4. 检流计(灵敏电流计)

指针式检流计主要用于检测微小直流电流,它具有较高的灵敏度。它的特点是指针零点在刻度盘中央,便于测出不同方向的电流,常用于指示电路平衡。它的面板如图 1-3 所示。

指针式检流计的主要指标有:

(1) 检流计常数。指针每偏转一小格时,流过偏转线圈的电流强度。通常用“A/格”作单位。检流计常数越小,则检流计越灵敏。

(2) 内阻。检流计内部直流电阻,以 R_g 表示。

指针式检流计的使用方法如下:

(1) 首先将检流计的接线柱端钮按“+”、“-”标志正确接入电路。

(2) 将小旋钮移向白色圆点位置,使指针处于自由摆动状态。并用零位调节器将指针调整零位。

(3) 按下“电计”按钮,检流计即被接入电路。如需将检流计长期接入电路时,可将“电计”的按钮按下后转动一角度。

(4) 若使用中指针不停地摆动,待指针通过中间零点位置时,按一下“短路”按钮马上松开,指针便立即停止。

(5) 检流计应用完毕后必须将“电计”和“短路”按钮放松,并将小旋钮移向红色圆点位置,将指针锁住。

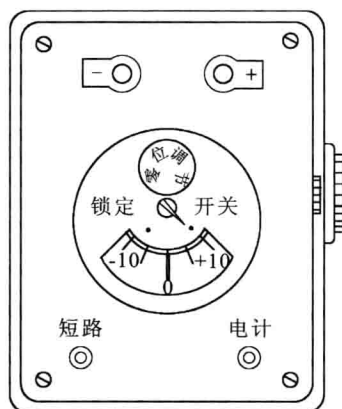


图 1-3 指针式检流计面板示意图

5. 电阻

1) 滑线式变阻器

滑线式变阻器如图 1-4(a)所示,其阻值可以线性地连续改变。它是将涂有绝缘层的电阻丝绕在长直瓷管上,其两端固定在接线柱 A、B 上制成的。滑头 C 与电阻丝紧密接触,它滑动时能改变引出电阻值的大小。

滑线式变阻器在电路中有两种用法:

(1) 制流器。将滑线式电阻接成如图 1-4(b)所示的电路,即构成制流器,可用来改变电路中电流的大小。

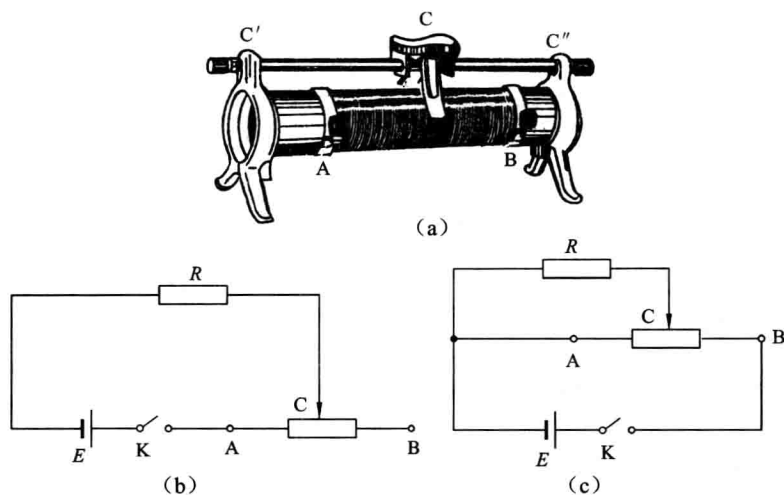


图 1-4 滑线式变阻器

(2) 分压器。其接法如图 1-4(c)所示,用来改变电路中电压的大小。

2) 旋转式电阻箱

旋转式电阻箱由数组电阻串联而成,每组由 9 个等值的电阻线圈组成。改变各旋钮的位置,可以得到不同的阻值。

图 1-5 所示为常用的 ZX21 型旋转式电阻箱,它的阻值准确,可作为标准电阻用。其最大电阻可达 99 999.9 Ω ,由“0”与“99 999.9”两个接线柱引出。若电路中仅需“0~9.9 Ω ”或“0~0.9 Ω ”,则分别由“0”与“9.9”或“0”与“0.9”两个线柱引出,这样可以避免电阻箱其余部分的接触电阻和导线电阻对低电阻的附加误差。这是一种 6 旋钮电阻箱,6 个旋钮分别控制十分之一位($\times 0.1$)、个位($\times 1$)、十位($\times 10$)、百位($\times 100$)、千位($\times 1000$)和万位($\times 10000$)的电阻值。

电阻箱指示的阻值是各旋钮指示值之和。例如, $\times 10000$ 位挡的旋钮指示为 8, $\times 1000$ 挡指示为 7, $\times 100$ 挡指示为 6, $\times 10$ 挡为 5, $\times 1$ 挡为 4, $\times 0.1$ 挡为 3,则电阻箱指示的阻值为 87 654.3 Ω 。

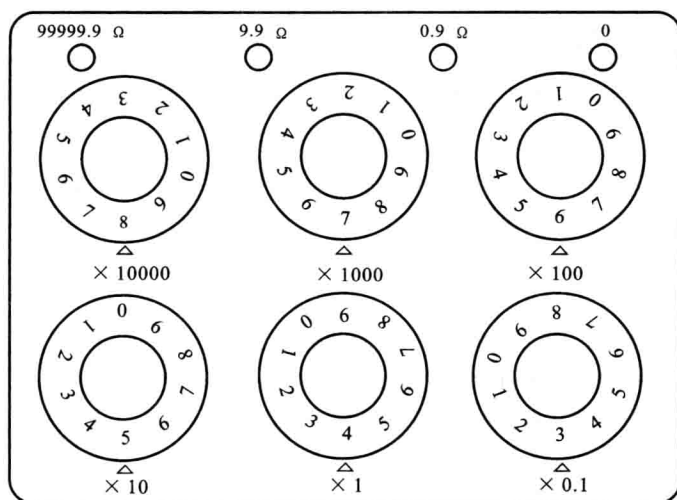
根据标准,电阻箱准确度等级分为 0.01,0.02,0.05,0.1,0.2,0.5 和 1.0 共 7 个等级。电阻箱的仪器误差,通常由下面的公式计算:

$$\text{绝对误差 } \Delta R_{\text{仪}} = \pm (Ra + bm) \%$$

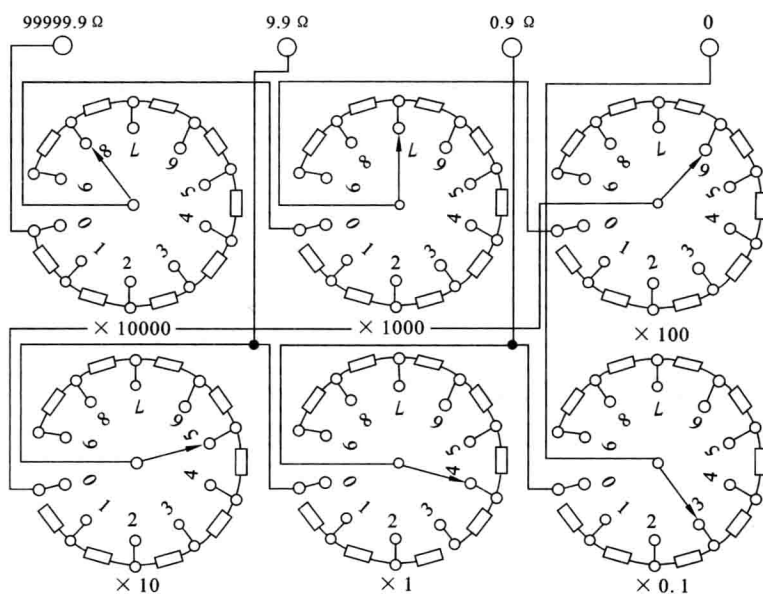
$$\text{相对误差 } \frac{\Delta R_{\text{仪}}}{R} = \left(a + b \frac{m}{R} \right) \%$$

式中, a 为电阻箱的准确度等级; R 为电阻箱所示的值; b 是与准确度等级有关的系数; m 是所使用的电阻箱的旋钮数。

使用电阻箱时,为确保其准确度,不得超过其额定功率或最大允许电流;不能使电阻值为零,以免损坏其他仪表。当遇到电阻由 90 Ω 变为 100 Ω 时,应先将 $\times 100$ 拨到 1 处,然后再将 $\times 10$ 挡拨至 0。



(a) 面板图



(b) 内部线路示意图

图 1-5 旋转式电阻箱

6. 常用光源

能够发光的物体统称为光源。实验室中常用的是将电能转换为光能的光源——电光源,常见的有热辐射光源、气体放电光源和激光光源三类。

1) 热辐射光源

白炽灯和卤素灯是常用的热辐射光源。

2) 气体放电光源

使电流通过气体(包括某些金属蒸气)而发光的光源称为气体放电光源。其中钠光灯和

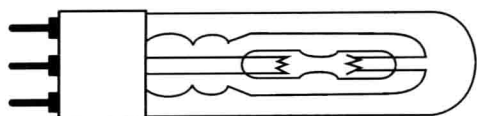


图 1-6 钠光灯

汞灯是实验室中最常用的单色光源。

钠光灯结构如图 1-6 所示。在额定电压 (220 V) 下, 钠光灯管壁温度升至约 260℃ 时管内钠蒸气压约为 3×10^{-3} Torr ($1 \text{ Torr} = 1.332 \times 10^2 \text{ Pa}$), 发出波长为 589.0 nm (纳米) 和 589.6 nm 两种单色黄光最强, 可达 85%。

而其他几种波长的光 (818.0 nm 和 819.5 nm 等), 仅有 15%。因此, 在一般应用时, 可以取 589.0 nm 和 589.6 nm 的平均值 589.3 nm 作为钠光灯的波长值。

汞灯结构如图 1-7 所示。汞灯可按蒸气压的高低, 分为低压汞灯、高压汞灯和超高压汞灯。低压汞灯最为常用, 其电源电压与管端工作电压分别为 220 V 和 20 V, 正常点燃时发出青紫色光, 其中主要包括 5 种单色光, 它们的波长分别是 579.0 nm (黄)、577.0 nm (黄)、546.1 nm (绿)、435.8 nm (蓝)、404.7 nm (紫)。

使用钠光灯和汞灯时, 灯管必须与一定规格的镇流器串联后才能接到电源上去, 以稳定工作电流。点燃后通常要预热 3~4 min 才能正常工作, 熄灭后也需冷却 3~4 min 才可重新开启。

3) 激光光源

激光是一种亮度极高, 单色性、方向性极好, 空间相干性和时间相干性都很高的光。激光器的发光原理是受激发射而发光。激光器的种类很多, 如氦氖激光器、氦镭激光器、氩离子激光器、二氧化碳激光器、红宝石激光器等。

实验室中常用的激光器是氦氖 (He-Ne) 激光器, 它由激光工作物质 (如图 1-8 所示的激光管中的氦氖混合气体)、激励装置和光学谐振腔三部分组成。氦氖激光器发出的光波波长为 632.8 nm, 输出功率在几毫瓦到十几毫瓦之间。多数氦氖激光管的管长为 200~300 mm, 且两端加有高压 (1500~8000 V), 操作时应严防触及, 光波能量集中, 故切勿迎着激光束直接观看激光, 否则未扩束的激光将造成人眼视网膜的永久损伤。

常见电路元件符号见表 1-1, 常见电气仪表盘面上的标记符号见表 1-2。

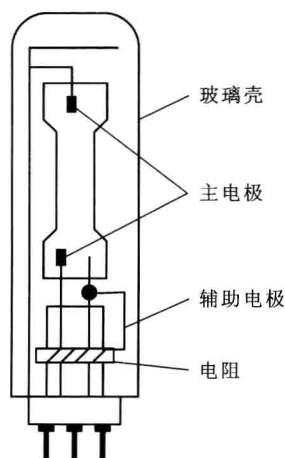


图 1-7 汞灯

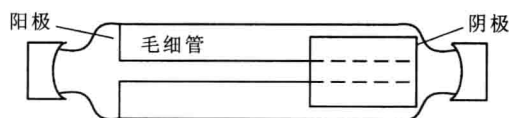


图 1-8 氦氖激光管

表 1-1 电路中常用电器元件的符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电流计		变压器	
电流表		二极管(晶体)	
电压表		三极管(晶体)	
直流电	— DC	指示灯	
交流电	~ AC	单刀单掷开关 C	
交直流两用	≈	双刀单掷开关	
电源、电池		双刀双掷开关	
电 容		接 地	
电 阻		连接线路	
可变电阻		不连接线路	
电感线圈			

表 1-2 常见电气仪表盘面上的标记符号及其意义

名 称	符 号	意 义	名 称	符 号	意 义
磁电式		表示电表的基本结构	电表直放	⊥ 或 ↑	表示电表表面放置的方向
整流式			电表平放	┌ 或 →	
热偶式			电表与水平 60°	∠60°	
电子管式			高压⚡警戒		电表能经受 50Hz、2kV 交流电压, 历时 1min 的绝缘强度试验
晶体管式			耐压 2kV		
电动式				☆	
磁电式 (铁动式)			耐压 500V	☆	同上, 但试验电压 500V

续表

	名 称	符 号	意 义		名 称	符 号	意 义	
电 表 级 别	0.1 级	⓪.1	一般作标准用表	高压 及 绝缘		☆	未经绝缘强度试验	
	0.2 级	⓪.2		防 外 磁 场 等 级	磁电式一级 防外磁场	Ⓐ	在 5T 外 磁 场 影 响 下,电表指示数的 变化一级不超过 量程的百分比;一 级±0.5%; 二级±1.0%; 三级±2.5%; 四级±5.0%	
	0.5 级	⓪.5	一般测量或指示数 值用		二级防外磁场	Ⅱ		
	1.0 级	①.0			三级防外磁场	Ⅲ		
	1.5 级	①.5			四级防外磁场	Ⅳ		
	2.5 级	②.5	工 作 环 境	A 组仪表	△A	一般仪表,通常不标 符号在 0~±40℃ 条件下工作		
	5.0 级	⑤.0		B 组仪表	△B	在-20~+50℃条件 下工作		
电 流 种 类	直 流	—		表示电表可测的电 学量类型		C 组仪表	△C	在-40~+60℃条件 下工作
	交流(单相)	~				热型仪表	△	在-10~+50℃,湿 度不大于 98%条件 下使用
	交直流两用	≐						* A、B、C 三组仪表使 用时相对湿度都低 于 95%
	三相交流	≈						

二、电磁学实验基础知识

在做电磁学实验时,为了保证安全,防止损坏仪器设备以及保障实验顺利进行,应注意下列操作规则:

- (1) 在连接线路之前,应结合实验目的和实验原理看懂电路图。了解各种仪器的性能、作用和使用方法,明确各种导线的作用和连接的必要性。
- (2) 先将各种仪器设备放在操作、连线和读数都比较方便的位置,然后选择合适的导线连接线路。电源的一个电极先不要接线,电键应打开,连接时应根据物理意义按回路来连接,通常是先连主回路,后连其他并联部分。
- (3) 除电源外的全部电路连接完毕后,自己检查认为正确无误后再由教师复查,经教师复查认可后,才能连接电源进行实验。
- (4) 为使电路中电流开始不致过大,在电路中应注意下面几点:①电阻箱应先取最大值;②调节电流的变阻器应取最大电阻值;③分压电阻器应先取分压最小值(即分压为零);

④有极性的仪器,正负极不能接错。

(5) 开始通电时,要用跃接法,即轻轻合上电键后立即断开,在点接触的一瞬时,同时观察电路中各种仪器有无异常情况,如打火花、冒烟、指针偏转过猛或反向偏转等。若一切情况正常,才能合上电键进行实验。

(6) 在改变电表量程或改接电路中任何部分时,必须断开电源,以免发生危险或损坏仪器,改接电路完毕后应再请教师检查。

(7) 不管电路中无高压,都要养成避免用手或身体接触电路中导体的习惯。

(8) 实验完毕,应将电路中仪器调到最安全的位置,打开电键。经教师检查完实验数据后,再拆线。拆线时应先拆去电源,最后将所有仪器摆放整齐,导线扎好,桌面收拾整洁后离开实验室。

三、光学实验基础知识

光学实验是物理实验的重要组成部分之一。研究光学通常有两个目的:了解光学仪器,即仪器的部件及其所起的作用;研究光学现象。

光学实验的突出特点是实验与理论的联系比较密切。这就要求学生在实验课前充分预习,做好理论上的准备,了解实验的基本原理。

光学实验的另一特点是光学仪器的测量精度都比较高(如分光计上的角度能读到 $1'$,而干涉仪上长度的最小分度为 1×10^{-4} mm),实验规律性强,重复性好。

光学实验还有一个特点,就是仪器贵重易损,调试要求严格。此外有些光源强度大,易对人体造成伤害。所以做光学实验要遵守以下实验规则:

(1) 必须在了解了仪器的使用方法和操作要求后,才能使用仪器。操作前,必须认真阅读使用说明书。

(2) 对各个可动的机械部件,如旋钮、狭缝、刻度盘和转台等,必须在弄清其作用后再施操作,且应动作轻缓,耐心细致,不能强扳硬拧,更不能随意拆卸仪器。

(3) 大部分光学元件是由玻璃制成的,如透镜、反射镜、棱镜和光栅等,在使用时要轻拿轻放,勿使元件受到冲击或摔碰,以免造成缺损或破裂。

(4) 光学元件上的光学表面是经过精细抛光的,应保持清洁和干燥。拿取光学元件时,绝不能用手触及光学表面,只能接触被磨砂的非光学表面,如透镜或光栅的边缘、棱镜的上下表面等。

(5) 光学仪器和元件,在用完之后应立即收入箱内,或加罩保护并放置干燥剂来防尘防潮。

(6) 为防止唾液或其他液体溅落于光学表面,不准对着光学元件哈气、说话、打喷嚏和咳嗽。光学表面的灰尘可以用特制的软毛刷轻轻掸去,切不可用嘴吹。

(7) 光学表面的轻微污痕,可用镜头纸或麂皮拂去,不能强力擦,更不准用其他物品如手帕、衣服和纸张等擦拭。光学表面的严重污痕、指印等,应由专业实验人员用乙醚、丙酮或酒精清洗。所有镀膜的光学表面,都不能触摸或擦拭。

第二部分 误差分析及数据处理

一、测量与误差

1. 测量与读数

1) 测量

将被测物理量与作为标准的物理量进行比较,求出被测物理量为标准物理单位多少倍的过程称为测量。测量是实验的基础,是人们对物理现象的规律和特性由感性认识上升为理性认识的必然过程。测量所得物理量称为测量量,它必须包括数值及单位两个部分。

依据操作方法的不同,测量大致可分为如下两类:

(1) 直接测量。能从仪器量具上直接读出测量量的测量称为直接测量,用这种方法获得的物理量称为直接测量量。例如,用游标卡尺测量长度,用物理天平测量质量,用秒表测量时间等均属直接测量,它们所获得的物理量,如长度、质量和时间等均为直接测量量。

(2) 间接测量。依据某些物理原理(函数关系式),将可直接测量的物理量代入函数关系式进行计算才能获得待测物理量的测量称为间接测量。例如,圆周长的测量、重力加速度的测量(用单摆)等都属于间接测量。

测量圆周长 L 须先直接测出圆半径 r , 然后代入关系式

$$L = 2\pi r$$

来计算。

测量重力加速度须先测出单摆的周期 T 及摆长 l , 然后代入关系式

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T}$$

来计算。

2) 读数

从仪器或量具上获取待测物理量的过程称为读数,它是物理实验中的重要环节,对实验的精确度有着一定的影响。

依据获取数据方法的差异,读数有直读与估读之分。

(1) 直读。从仪器或量具上直接读取数据的过程称为直读,其优点是直观、快捷,多用在能够“对准”的仪器或量具上(如游标卡尺)。此外,数字仪表(如旋转式电阻箱)也用直读。

(2) 估读。有些仪表,如螺旋测微器(千分尺)等,因构造问题而不能直读,只好估读。所谓估读,就是必须通过估算才能得出最后结果的一种读数方法,其要点是先直读仪器最小分格以上的整数部分(其值称为可靠读数),后用估算法估出最小分格以下的部分(只取一位数,其值称为存疑值,或称可疑值)。可靠读数与存疑值之和即为测量的结果。