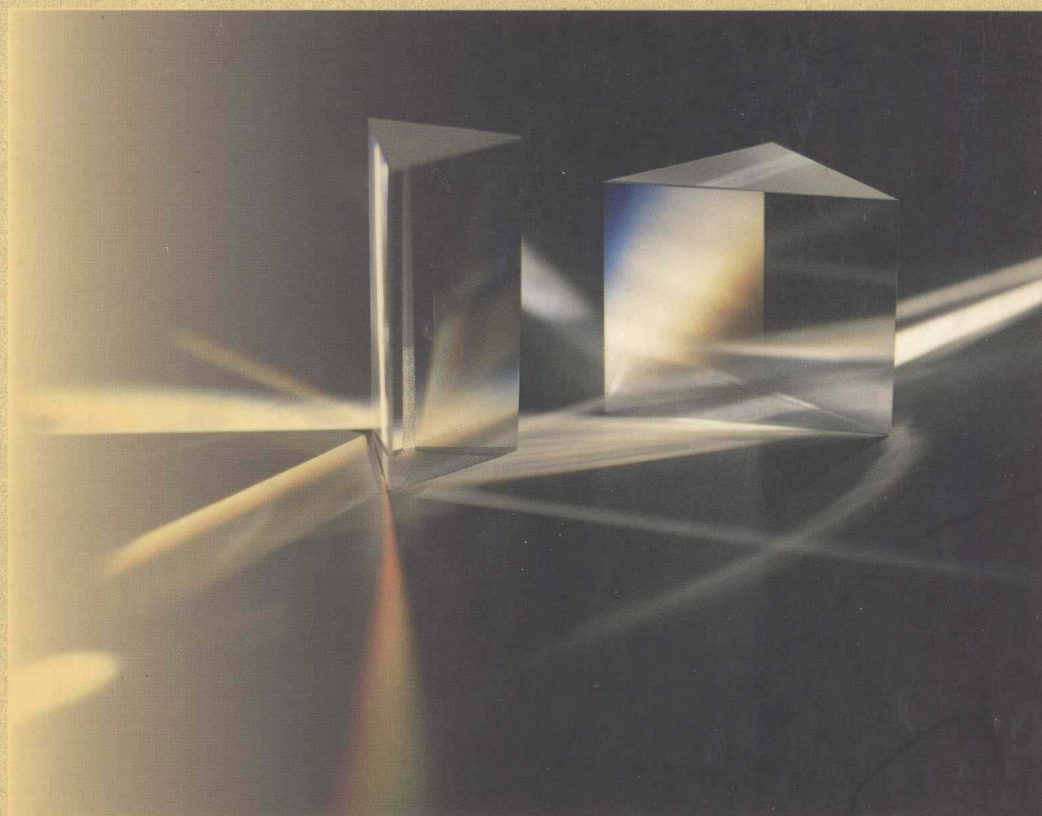


# 大学实验物理教程

A COURSE OF COLLEGE EXPERIMENT PHYSICS

李相银 姚安居 杨 庆 王海林



东南大学出版社

# 大学物理实验教程

李相银 姚安居 杨庆 王海林

东南大学出版社出版  
· 南京 ·

## 内 容 提 要

本书根据教育部大学物理课委会制定的高等工业院校物理实验课程教学的基本要求,结合 21 世纪人才培养目标,在南京理工大学多年使用的大学物理实验教材基础上编写的。全书以重点突出科学实验基本素质、实验技能培养及创新意识作为教学目标。

全书共分三篇。第一篇介绍实验物理教学思想,测量结果误差的评定方法和常用物理实验方法;第二篇为基础性实验,注意体现实验物理教学的通用性及反映现代测量方法和新技术;第三篇设计性实验和创意性实验,注重能力及创新意识的培养和提高。

本书内容新颖,有特色,可作为高等工科院校本科学生的教材,也可作为实验技术人员和其他有关人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学实验物理教程/李相银等编著. —南京:东南大学出版社,2000.9

ISBN 7-81050-670-6

I. 大... II. 李... III. 物理-实验-高等学校-教材  
IV. 04-03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 40257 号

东南大学出版社出版发行  
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 邗江公道印刷厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:21.75 字数:526 千字

2000 年 9 月第 1 版 2000 年 9 月第 1 次印刷

印数:1~8000 定价:29 元

# 前 言

本书是根据教育部颁发的《高等工业学校物理实验课程教学的基本要求》并结合 21 世纪对理工院校人才培养目标,在南京理工大学多年使用的大学物理实验教材基础上,结合多年来实验教学经验,以及参阅有关资料和教材整理编写而成的。

本书具有以下特点:

1. 实验物理教学内容整个体系贯穿着强化实验基本技能、方法和实验物理思想的训练,同时注意培养和提高科学实验素质,重点突出能力培养和创新意识的训练。整个内容体系(结合培养目标)安排为三大模块:实验结果数据处理能力;三基本训练的能力;设计性实验和创意性实验能力。

2. 基础实验教学内容以现代技术的观点为指导,改变经典实验教学思想的侧重点,使经典实验内容充满近代的气息。如,在基础实验内容中,加入了引言部分,针对不同的基础实验性质,分别介绍了现代测量技术、现代测量方法和观摩现代测量仪器等。

3. 在实验物理教学思想、教学方法、教学手段及教学仪器安排上,以四个结合为核心,促进实验技能及能力素质的提高。四个结合为:

## (1) 传统实验教学方法与现代化教学手段相结合

在基础实验物理教学内容中,根据实验内容性质,分别引入了现代化教学手段,如在灵敏电流计、牛顿环、旋光仪、衍射光栅、迈克尔逊干涉仪、氢原子光谱等实验中引入了 CCD 摄像及显示系统,在有些实验中采用了 CAI 课件等。

## (2) 将实验物理思想的培养与实验技能的训练相结合

作为基础课的实验物理,其目的与作用,并不是粗略地去验证理论,而是在受到基本实验技能训练的同时,培养科学实验素质。在实验内容及仪器的安排上,注重实验设计思想和实验技能相结合。例如:可拆卸装调方便的固体激光器和用于测量参数的固体激光器相并存;板式电位差计和箱式电位差计相并存;板式双臂电桥与箱式双臂电桥相并存等实验。前者实验仪器突出实验的设计思想训练,后者实验仪器突出基本实验技能及应用的训练。

## (3) 基础实验技能训练与能力素质培养相结合

实验物理课程是理工科学生进入大学后受到系统的实验方法和实验技能训练的重要开端,它贯穿着辩证唯物主义思想,把理论与实践、方法与技能相结合,促进学生既动手又动脑,因此在基本实验训练的同时,要体现自我思维能力培养,通过思维得到的概念,思想、设计、方法等,经过“再生性思维”,重新运用以往学会的知识方法来解决新的问题。为此在基础实验训练同时安排了创意性实验(课堂教学与第二课堂课外科技活动相结合),详见第三篇第 8 章。

## (4) 能力素质培养与考试相结合

考试的目的是促进学生再学习和再深化的过程,考试方法的科学性和合理性有利于学生能力和素质的培养。为此在本课程中安排了设计性实验作为期终考试的一部分,详见第三

篇第7章。

实验物理教学是一个集体的事业,从实验仪器的制作、购置,到实验的编排和实验内容的编写,都需要许多教师及实验员同志经过长期努力和改进,因此本书是物理实验中心集体劳动的成果。

本书由李相银、姚安居、王海林、杨庆负责编写。具体分工为:李相银负责编写绪论,第一篇,第二篇中的第3章,第三篇中的第7章(设计性实验1,设计性实验2,设计性实验3,设计性实验4,设计性实验5),第三篇中的第8章;姚安居负责编写第二篇中的第4章,第三篇中第7章(设计性实验6、设计性实验7、设计性实验8、设计性实验9、设计性实验10);杨庆负责编写第二篇中的第5章,第三篇中第7章(设计性实验11、设计性实验12、设计性实验13、设计性实验14、设计性实验15、设计性实验16);王海林负责编写第二篇中第6章,第三篇中第7章(设计性实验17、设计性实验18、设计性实验19、设计性实验20、设计性实验21)。

由于我们的水平有限,书中有不当之处,敬请读者批评指正。

**编 者**

2000年2月于南京



# 目 录

绪论 .....	1
第一篇 测量误差 结果评定 常用实验方法 .....	7
第 1 章 测量误差及其数据处理方法 .....	7
1.1 测量与误差关系 .....	7
1.2 测量结果误差估算及评定方法 .....	11
1.3 直接测量结果误差估算及评定 .....	13
1.4 间接测量结果误差的估算及评定方法 .....	15
1.5 有效数字及其运算 .....	20
1.6 常用数据处理方法 .....	23
1.7 数据处理在物理实验中的其他应用 .....	30
练习题 .....	32
第 2 章 常用物理实验方法 .....	34
2.1 比较法 .....	34
2.2 放大法 .....	35
2.3 补偿法 .....	36
2.4 转换法及传感器 .....	37
2.5 模拟法 .....	41
2.6 测量宽度展延法 .....	42
2.7 量纲分析法 .....	43
第二篇 基础性实验 .....	45
第 3 章 力学和热学实验 .....	45
引言 1 长度的测量 .....	45
实验 1 基本长度的测量 .....	55
引言 2 时间的测量 .....	61
实验 2 刚体转动惯量的测定 .....	63
实验 3 气垫导轨上的力学实验 .....	69
引言 3 质量的测定 .....	78
实验 4 密度的测量 .....	84
实验 5 液体表面张力系数测定 .....	87
引言 4 温度的测量 .....	89
实验 6 用稳态法测定橡胶板导热系数 .....	92
实验 7 比热容的测定 .....	96
实验 8 气体比热容比的测定 .....	101
实验 9 固体线膨胀系数的测定 .....	107
实验 10 弦线上驻波的研究 .....	111
参考文献 .....	115

<b>第 4 章 电磁学实验</b> .....	116
引言 5 电流的测量 .....	116
实验 11 灵敏电流计的研究 .....	126
实验 12 冲击电流计 .....	132
引言 6 电压的测量 .....	137
实验 13 电位差计 .....	142
引言 7 电阻、电容和电感的测量 .....	149
实验 14 伏安特性曲线的测绘 .....	154
实验 15 直流电桥 .....	157
引言 8 场的测量 .....	165
实验 16 静电场的描绘 .....	167
实验 17 感应法测磁场 .....	171
实验 18 霍耳效应法测量磁场 .....	176
引言 9 常用电子测量仪器 .....	183
实验 19 示波器的使用 .....	187
参考文献 .....	198
<b>第 5 章 光学实验</b> .....	199
引言 10 常用光学仪器及调试方法 .....	200
实验 20 光路调整和薄透镜焦距测量 .....	214
实验 21 折射率的测量 .....	219
引言 11 光的干涉 .....	225
实验 22 双棱镜 .....	231
实验 23 牛顿环 .....	235
实验 24 迈克尔逊干涉仪 .....	239
引言 12 光的衍射 .....	247
实验 25 衍射光栅 .....	249
引言 13 光的偏振 .....	252
实验 26 旋光效应 .....	256
参考文献 .....	259
<b>第 6 章 近代物理实验</b> .....	260
引言 14 超声基础知识 .....	260
实验 27 超声声速的测量 .....	266
引言 15 光电效应基础知识 .....	270
实验 28 光电效应 .....	276
引言 16 光谱学基础知识 .....	283
实验 29 氢原子光谱 .....	288
引言 17 全息技术基础知识 .....	292
实验 30 全息照相 .....	296
引言 18 激光基础知识 .....	302

实验 31 脉冲固体激光器的输出特性 .....	306
参考文献 .....	312
<b>第三篇 设计性实验及创意性实验</b> .....	<b>313</b>
<b>第 7 章 设计性实验</b> .....	<b>313</b>
设计性实验 1 用光杠法测定金属杨氏弹性模量 .....	313
设计性实验 2 用作图法确定刚体转动惯量 .....	314
设计性实验 3 气轨上简谐振动的研究 .....	315
设计性实验 4 用作图法确定不良导体导热过程中稳定点 .....	315
设计性实验 5 用弦音仪测定弦上传播的横波波速 .....	316
设计性实验 6 组装欧姆表 .....	317
设计性实验 7 用电位差计校准电流表 .....	318
设计性实验 8 用补偿法测量电流 .....	318
设计性实验 9 用示波器测量电容 .....	319
设计性实验 10 用灵敏电流计测量二极管的反向电流 .....	320
设计性实验 11 用霍尔效应测量通电线圈的匝数 .....	320
设计性实验 12 用自准直法测凹透镜焦距 .....	321
设计性实验 13 用劈尖法测量细丝的直径 .....	321
设计性实验 14 用旋光仪测定某种溶液的溶度 C .....	322
设计性实验 15 透明薄膜折射率(或厚度)的测量 .....	323
设计性实验 16 测定未知光波长及角色散率 .....	323
设计性实验 17 超声波频率的测量 .....	324
设计性实验 18 薄膜光吸收系数的测量 .....	325
设计性实验 19 使用分光计测量三棱镜材料的折射率 .....	325
设计性实验 20 泰曼-格林干涉仪观察火焰场温度分布 .....	326
设计性实验 21 YAG 激光束发射角的测量及误差分析 .....	326
<b>第 8 章 创意性实验</b> .....	<b>328</b>
一、创意性实验基本要求 .....	328
二、创意性实验内容提示 .....	328
三、创意性实验结果总结报告 .....	329
附录一 正态分布 .....	330
附录二 国际计量局实验不确定度规定建议书 INC-1(1980) .....	331
附录三 附表 .....	332
附表 1 国际单位制的基本单位 .....	332
附表 2 国际单位制的辅助单位 .....	332
附表 3 国际单位制中具有专门名称的导出单位 .....	332
附表 4 物理学基本常数 .....	333
附表 5 我国某些城市的重力加速度(单位: $m/s^2$ ) .....	333



附表 6	在 20 C 时金属的杨氏模量 <sup>*</sup> .....	334
附表 7	气体的定压比热和定容比热(J/kg · K) .....	334
附表 8	常用材料的导热系数 .....	335
附表 9	固体的线膨胀系数 .....	335
附表 10	金属和合金的电阻率及其温度系数 .....	336
附表 11	物质的熔点 .....	336
附表 12	标准化热电偶 .....	336
附表 13	常用物质的折射率 .....	337
附表 14	旋光物质的旋光率(deg/cm) .....	337
附表 15	常用光谱灯和激光器的可见谱线波长(nm) .....	338

# 绪 论

## 一、大学实验物理课程体系、内容及要求

大学实验物理是高等理工科院校重要的一门基础实验课程,是对学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础课,同时又是学生进入大学后接受系统实验方法和实验技能训练的开端。随着现代科学技术迅速发展,对大学生培养目标必须要适应现代科技发展。因此要求实验物理课程教学内容、教学方法、教学体系改革,着重于强化实验基本技能、方法和实验物理思想的训练,同时注意培养和提高科学实验素质,重点突出能力培养和创新意识训练。基础实验教学内容以现代技术的观点为指导,改变经典实验教学思想的侧重点,使经典实验内容现代化,使实验物理内容充满近代的气息。因此要求实验物理教学内容整个体系贯穿着培养目标为重点,整个内容体系安排为三大模块,即实验结果的数据处理能力,三基本训练的能力,设计性实验和创意性实验能力。除此以外,还需以四个结合为核心,促进实验技能及能力素质的提高。

### 1. 传统实验教学方法与现代化教学手段相结合

在基础性实验物理教学内容中,根据实验内容性质,分别引入了现代化教学手段,如在灵敏电流计、牛顿环、旋光仪、衍射光栅、迈克尔逊干涉仪等实验中引入了 CCD 摄像及显示系统,在有些实验中采用电化教学手段及 CAI 课件等。由于现代化教学手段的引入,增加了授课的信息量,拓宽了现代科技知识面,增强了内容的直观性和效果。

### 2. 将实验物理思想的培养与实验技能的训练相结合

作为基础课的实验物理,其目的与作用,并不是粗略地去验证理论,而是在受到基本实验技能训练的同时,培养科学实验素质,从实践中培养和提高自己分析问题和解决问题的能力。在实验内容的安排上,注重实验设计基本思想和实验技能相结合。例如,可拆卸装调方便的固体激光器和用于测量参数的固体激光器相并存;板式电位差计和箱式电位差计相并存;板式双臂电桥和箱式双臂电桥相并存等实验。前者突出实验的设计思想,后者突出基本实验技能及应用的训练。

### 3. 基础实验技能训练同时,注意能力素质培养

实验物理课程是理工科学生进入大学后受到系统的实验方法和实验技能训练的重要开端,它贯穿着辩证唯物主义思想,把理论与实践、方法与技能相结合,促进学者既动手又动脑,尤其是能力素质和创新意识培养。因此在基本实验训练的同时,要有自我思维能力培养,通过思维得到的概念、思想、设计、方法等,经过“再生性思维”,重新运用以往学会的知识办法来解决新的问题。例如,讲授衍射光栅实验时,除以测量光栅常数和波长为基本训练内容外,应该思考能否用两块光栅常数相同的光栅,是否能够构成光栅腔;迈氏干涉仪实验中除测波长和波长差等内容外,能否测定薄膜厚度,用白光能否形成白光干涉;弦线上驻波实验,除测定频率等内容外,能否用此原理及方法测定固体流场和流体流场的速度等。南京理工大学 92 届数理班同学,在做完衍射光栅基本实验内容后,积极思维,在老师指导和配合下,利

用课余时间完成了用 Lau's 效应快速测量光学平板玻璃折射率实验装置,获得南京理工大学“大学生创新杯”二等奖等。由此可见,学生在得到基本内容和方法训练后,要积极经过再思维,有利于提高科学实验素质和创新意识。

#### 4. 能力素质培养与考试相结合

考试的目的是促进学生再学习和再深化的过程,考试方法的科学性和合理性有利于促进学生的能力和素质培养。实验物理课程总学时数为 60 学时,分二学期完成。第一学期授课内容为 30 学时(测量误差及数据处理方法,力学、热学、电学实验),期中考试形式为笔试,考试目的是能够对实验结果数据作出科学地评价,并能结合具体实验原理、方法、步骤等,在实验中提高测量的准确度和精确度。第二学期授课内容学时数为 30 学时(光学、近代物理),考试形式为闭卷式设计性实验考试,在试前三星期公布设计性实验题目(含第一学期所学过的实验内容),让学生们复习准备,设计性实验题一般在 16~18 个,在考试前 15 分钟任意抽签,抽到哪个试题就设计那个实验。因此除了要求掌握 60 学时的实验原理、方法外,还必须熟练掌握使用各种仪器设备,还要了解仪器的性能指标,还需具备一定的分析问题和解决问题的能力,尤其是自身实验素质。

## 二、实验物理课程基本训练的有关程序

实验物理课程通过对实验现象的观察、分析和对物理量的测量,加深对物理学原理的理解。因此实验教学基本思想和程序归结为:实验思想→实验仪器→实验条件→实验方法→实验测量→实验分析→实验结果数据处理。根据这一教学思想和程序,学生遵循的基本学习程序可分为以下三个阶段:

### 1. 实验前预习

由于实验课课内时间有限,因而必须预先熟悉实验内容,否则要在短短的课内时间完成整个实验无疑是困难的。在实验之前,应对实验原理、待测物理量、实验要获得的结果等做到胸有成竹。若事先全不了解,只是机械地照教材中实验步骤看一步动一步,虽然得到了实验数据,但却不了解其物理意义,收获是不会大的,因此必须作好预习。预习一般以理解本教材所述原理为主,并大致了解实验具体步骤。为了使测量结果眉目清楚,防止漏测数据,应按实验要求画好数据表格,上面注上文字符号代表的物理量和单位,并确定测量次数。

预习时,要写好预习报告。预习报告内容主要包括:

- (1)实验名称;
- (2)实验目的;
- (3)仪器设备;
- (4)基本原理,包括重要的计算公式、电路图、光路图及简要的文字说明;
- (5)数据草表。

其中数据草表是供实验时记录原始数据用的。

### 2. 进行实验

实验正式进行前,首先要熟悉一下将要使用的仪器、设备等的性能以及正确的操作规程,切忌盲目操作;其次要全面地想一想实验操作程序,不要急于动手,因为误解一步或调错一次,都有可能使整个实验前功尽弃。

实验中要注意对现象的观察,尤其对所谓的“反常”现象,更要仔细观察分析,不要单纯

地追求“顺利”；要学习对观察到的现象和测得的数据随时进行判断，以确定正在进行的实验过程是否正常合理；对实验过程中出现的故障，要学会及时排除。

每次测量后应立即将数据记录在数据草表中，并注意正确确定它的有效位数。当实验结果与实验条件有关时，还要记下相应的实验条件，例如当时的室温、湿度、大气压等。

实验结束时，要把测得的数据交给指导教师检查签字。对不合理的或错误的实验结果，经分析后还要补做或重做。离开实验室前，要整理好使用过的仪器，做好清洁工作。

### 3. 写实验报告

书写实验报告是实验完成后的全面总结，要以简单扼要的形式将实验结果完整而又真实地表达出来。写报告要使用统一规格的实验报告纸，要求文字通顺、字迹端正、图表规范、结果正确、讨论认真，并应于实验后及时写好实验报告。

一份完整的实验报告通常包括下述内容：

- (1)实验名称；
- (2)实验目的；
- (3)仪器设备；
- (4)基本原理，包括重要的计算公式、电路图、光路图及简要的文字说明；
- (5)数据表格及处理(包括计算和作图)，这里的“数据表格”不同于预习报告中的“数据草表”，应该另行正规画出，并把数据草表记录的原始数据填入数据表格中；
- (6)实验结果；
- (7)问题讨论；
- (8)预习报告中的“数据草表”，应作为附件，附于实验报告之后。交实验报告时一并交给指导教师。

以上(1)~(4)部分内容，如无大的变动，就可以使用预习报告中的相应内容代替，而不必重写。

### 附 实验报告范例

学号 ××××××××                      姓名 × × ×

一、实验名称：衍射光栅。

二、实验目的：测定光栅常数  $d$ ；用已知  $d$  的光栅测量未知谱线的波长。

三、实验仪器：JJY 型分光计(最小读数  $1'$ )、衍射光栅、汞灯( $\lambda_{\text{汞}} = 546.07\text{nm}$ )。

四、实验原理：当平行光垂直光栅入射时，满足光栅公式  $d\sin\varphi = k\lambda$  ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ) 的光形成明线。

由上式，如果已知波长  $\lambda$  和衍射级次  $k$ ，就可根据测得的衍射角  $\varphi$  求出光栅常数  $d$ ；如果知道光栅常数  $d$  和衍射级次  $k$ ，就可根据测得的衍射角  $\varphi$  求出相应光谱线的波长。

为了保证平行光入射与出射，并减小测量误差，在测量前必须将分光计调节到使用状态。分光计调好的标准为：平行光管能够发出平行光；望远镜能够接收平行光；平行光管光轴、望远镜光轴都要垂直于仪器的旋转主轴。

五、实验步骤

1. 调节分光计。
2. 将光栅放置在载物平台上,并注意让它与平行光管垂直,使光栅条纹垂直于旋转主轴。
3. 测出绿谱线( $\lambda_{\text{绿}} = 546.07\text{nm}$ )  $\pm 1$ 级和  $\pm 2$ 级的衍射角,由光栅公式求出光栅常数  $d$ 。
4. 测出兰谱线  $\pm 1$ 级和  $\pm 2$ 级衍射角,根据前面测得的  $d$  和光栅公式,求出兰谱线的波长  $\lambda_{\text{蓝}}$ 。

## 六、实验数据

### (一) 测定光栅常数 $d$

亮纹级数	读数			衍射角		$\sin\bar{\varphi}_k$	$\lambda/\text{nm}$	$d/\text{nm}$	$\bar{d}/\text{nm}$
	$\theta$	$\theta'$	平均	$\varphi_k$	$\bar{\varphi}_k$				
$k = 0$	50°18'	230°17'	140°18'						
$k = +1$	30°5'	210°5'	120°5'	20°13'	19°13'	0.3219	546.07	$1.659 \times 10^3$	$1.658 \times 10^3$
$k = -1$	68°32'	248°32'	158°31'	18°13'					
$k = +2$	6°18'	186°18'	96°18'	44°0'	41°13'	0.6590			
$k = -2$	88°45'	268°46'	278°46'	38°26'					

### (二) 测定光波波长

亮纹级数	读数			衍射角		$\sin\bar{\varphi}_k$	$d/\text{nm}$	$\lambda/\text{nm}$	$\bar{\lambda}/\text{nm}$
	$\theta$	$\theta'$	平均	$\varphi_k$	$\bar{\varphi}_k$				
$k = 0$	50°18'	230°17'	140°18'						
$k = +1$	34°23'	214°21'	124°22'	15°56'	15°13'	0.2626	$1.658 \times 10^3$	435.4	435.8
$k = -1$	64°47'	244°48'	154°48'	14°30'					
$k = +2$	16°52'	196°54'	106°53'	33°25'	31°45'	0.5262			
$k = -2$	80°23'	260°22'	170°23'	30°5'					

计算对于标准值的相对误差

$$\lambda_0 = 435.8 \text{ nm}$$

$$E = \frac{\bar{\lambda} - \lambda_0}{\lambda_0} = 0$$

## 七、问题讨论

1. 光栅光谱和棱镜光谱有哪些不同之处?在上述两种光谱中,哪种颜色的光偏转最大?

答:光栅光谱和棱镜光谱采用不同的分光器件——衍射光栅和三棱镜得到。前者依据光栅方程  $d\sin\varphi = k\lambda (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$ ;后者根据不同波长的光在玻璃中的折射率不同——色散。在光栅光谱中,对于同一衍射级次  $k$ ,  $\lambda$  越大  $\varphi$  也越大,即红光偏转最大;在棱镜光谱中,由于  $\lambda$  越大折射率越小,偏向角也越小,故紫光偏转最大。

2. 当狭缝太宽或太窄时将会出现什么现象?为什么?

答：狭缝太宽时谱线太亮、太宽，所以会造成较大的测量误差；狭缝太窄时谱线亮度不够，甚至会造成找不到谱线。因此应该使狭缝宽窄合适。

3. 入射光未垂直照射光栅所造成的后果：

从本次实验数据来看， $k$  为正值时的衍射角均大于  $k$  为负值时的衍射角。通过分析可知，这是由于入射光未垂直照射光栅所造成的，由此给实验带来了系统误差。

当光线以  $\theta$  角入射光栅时，光栅公式变为

$$d(\sin\varphi + \sin\theta) = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

由于对正、负  $k$  级而言， $\theta$  值为一正一负，所以造成两边衍射角不相等。如果只取一侧的衍射角，代入  $d\sin\varphi = k\lambda$  计算，则误差较大。在本实验中，由于把正、负同级衍射角取了平均，部分地消除了由此造成的误差。在测波长时，由于入射角  $\theta$  不变，所以进一步抵销了由此造成的误差。

但是从操作技能等方面考虑，今后应尽量避免类似情况发生。

附 原始数据草表(略)

点评：这是一份比较好的实验报告。

1. 在报告首页上方，写明班级、学号、姓名，可以避免与别人的报告搞混，也便于教师登记成绩，发还报告。

2. 写明实验日期、时间，可供今后查阅。如能进一步注明环境条件，如气温、天气等，则会有更大的参考价值。

3. 仪器一栏，写明了仪器型号，往往可以由此知道极限误差以及使用方法。

4. 用自己的语言对原理作了概述，有主要公式。如能画上光栅衍射示意图则更佳。

5. 数据表格清晰。在记录及处理数据时，遵照了有效位数运算规则。如，由于仪器误差约为  $1'$ ， $\varphi$  在  $15^\circ \sim 42^\circ$  范围内，故  $\sin\varphi$  的末位在小数点后第 4 位；由于  $d = \frac{k\lambda}{\sin\varphi}$ ， $\lambda$  为 5 位， $\sin\varphi$  为 4 位，故  $d$  也取 4 位有效位数，等等。

6. 发现了实验数据中的问题，并进行了一定的分析。这是一种值得提倡的科学态度。千万不能看到数据中的问题后，采用篡改数据的自欺欺人办法。

如果能进一步作定量的分析，收获可能会更大一些。

8. 报告完整，并把原始数据附在报告最后一起交来，便于核对数据。

### 三、物理实验规则

为了保证基础实验教学的正常进行，培养同学严肃认真、实事求是的科学态度，培养善于思考、勤于动手的学习作风，特制定以下规则，望大家严格遵照执行：

1. 实验前要充分做好预习准备工作，必须按要求写好预习报告，否则不得参加实验。上次实验的报告应在下次实验前交指导老师。

2. 实验中，应严格遵守课堂纪律和实验规程，正确操作，认真观测。要保持室内安静、整洁，严禁喧哗、嬉闹，禁止吸烟，禁止乱涂乱画，禁止随地吐痰，保证有良好的实验环境。

3. 对实验中使用仪器设备及实验结果，要作实事求是的分析，反对掩盖矛盾或弄虚作假

假的学风。原始数据应经老师审阅签字,再整理仪器恢复原状,方可离开实验室。交实验报告时,实验中测量的原始数据必须附上。

4. 要自觉爱护仪器设备及在做实验中要注意技术安全,未经教师许可不要擅自接通仪器电源等,光学仪器的玻璃加工面不要用手去触摸,不允许擅自擦拭,各组仪器不得擅自调换。

5. 因故不能准时到课的学生,必须在课前向老师请假,经准许后方可安排补做实验,否则按旷课处理,缺交实验报告者,不准参加实验考试,实验成绩按不及格处理。



# 第一篇 测量误差 结果评定 常用实验方法

## 第1章 测量误差及其数据处理方法

### 1.1 测量与误差关系

#### 一、测量(measurement)

测量是人类认识自然改造自然必不可少的手段。所谓测量,就是用一定的测量工具或仪器,通过一定的方法,直接或间接地得到所需要的量值。例如我们要知道某一物体的长度,可借用长度测量工具(米尺、卡尺、千分尺、激光干涉测长仪等)直接对物体测量。如果要知道一个物体的密度,根据公式:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{4M}{\pi D^2 H} \quad (1.1-1)$$

可借用长度测量工具测量物体的高度  $H$  和直径  $D$ ,借用天平称衡物体的质量  $M$ ,然后通过(1.1-1)式,可间接得到所需要的量值  $\rho$ 。依照测量方法的不同,可将测量法分为两大类:

##### (1)直接测量(direct measurement)

直接测量是将待测量与预先定好的仪器、量具进行比较,直接从仪器或量具上读出量值大小的测量。例如,用长度测量工具测长度、宽度、高度、半径、直径等,用电表测量电压、电流,用秒表或数字毫秒计、电子钟等测量时间,用功率计或能量计测量激光输出的功率或能量等。

##### (2)间接测量(indirect observation)

需先由直接测量获得的数据,利用已知的函数关系经过运算才能得到待测量数值。例如某一物体面积  $S = a \times b$ ,激光测距方程  $L = \frac{1}{2}ct$ ,那么,面积  $S$  和距离  $L$  都是间接测量量值,则长度  $a$  宽度  $b$  和时间  $t$  都是直接测量量值。

#### 二、误差(error)

##### 1. 误差的定义

测量的误差等于测量结果减去被测量的真值,即

$$\text{测量误差} = \text{测量值} - \text{真值}$$

或

$$\Delta N = N_{\text{测}} - N_{\text{真}} \quad (1.1-2)$$

上式所定义的误差反映的是测量值偏离真实值的大小和方向。所谓  $N_{\text{真}}$ ,对任何一个物理量,在一定条件小都具有一定大小,这是客观存在的,但实际上  $N_{\text{真}}$  是一个理想的概念,因

为在实际测量中不可避免地要存在误差,一切测量结果都含有误差,同一个物理量,即使同一个人,用同一台仪器,在相同的条件下进行多次测量,各次测量结果一般也不完全相同,更不等于测量的  $N_x$  值,因此测量与误差是形影不离的。

## 2. 误差来源

### (1) 仪器误差(instrument error)

是指在测量时由于所使用的测量仪器仪表不准确引起的误差。误差大小根据仪器本身的灵敏度来确定,但任何仪器都存在误差。

### (2) 环境误差(environment error)

由于测量仪偏离了仪器本身使用规定的环境或者测量条件,例如气流扰动,温度的微小起伏,电源电流、电压、频率、外界电磁场等等因素的影响,都会使测量产生误差。

### (3) 测量方法误差(measurement error of a method)

这种测量误差是由于测量方法不完善及所依据的理论不严密而产生。因此,凡是在测量结果的表达式中没有得到反映,而在实际测量中又起作用的一些因素所引起的误差,例如高灵敏度测量仪器规定在洁净室使用却在一般实验室使用,使用的电源设备有绝缘漏电,测量激光脉冲宽度应该要用静电屏蔽而不用寄生电势,引起与接触电阻的压降等,都会产生方法(或理论)误差。

### (4) 人员误差(itself in error)

这是由于实验者的主观因素和操作技术引起的分辨能力,感觉器官灵敏度的不完善,操作不熟练,估计读数始终偏大或偏小等,可能会造成误判而产生的人员误差。

根据误差产生的原因以及误差的性质和来源,对误差进行分类,大致可以分为三类,即系统误差,随机误差,粗大误差,下面分别介绍。

## 三、误差的分类

### 1. 系统误差(system error)

系统误差是指在同一被测量的多次测量过程中,保持恒定或以可预知方式变化的测量误差的分量。系统误差及其产生的原因可能已知,也可能未知。系统误差包括已定系统误差和未定系统误差。已定系统误差是指符号和绝对值已经确定的系统误差;未定系统误差是指符号或绝对值未经确定的系统误差。

系统误差的特征是其确定性(恒定或以可预知的方式变化)。系统误差的来源主要有仪器的固有缺陷(例如电表的示值不准、零点未调好、等臂天平的两臂不相等),环境因素(如温度、压强偏离标准条件),实验方法的不完善或这种方法依据的理论本身具有近似性(如伏安法测电阻时没有考虑电表内阻的影响、称质量时未考虑空气浮力的影响),实验者个人的不良习惯或偏向(如有的人习惯于侧坐斜坐读数,使读得数值总是偏大或总是偏小),以及动态测量的滞后等。

由于系统误差在测量条件不变时有确定的大小和正负号,因此在同一测量条件下多次测量求平均并不能减小它或消除它。

对于系统误差,必须找出其产生原因,针对原因去消除或引入修正值对测量结果进行修正。系统误差的处理是一个比较复杂的问题,没有一个简单的公式可以遵循,需要根据具体