

高等学校教材

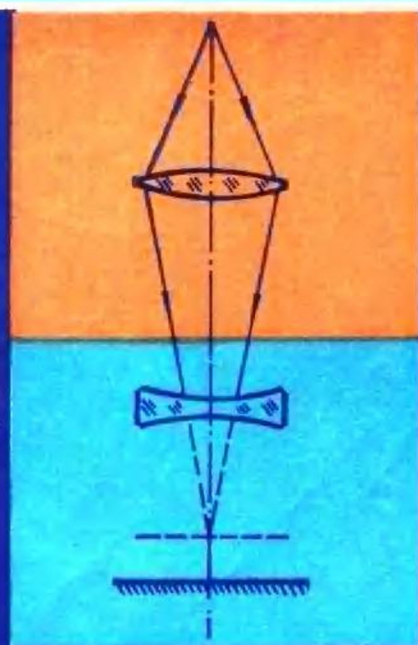
# 普通物理实验

(三. 光学部分)

第二版

杨述武 主编

王定兴 编



高等教育出版社

高等学校教材

# 普通物理实验

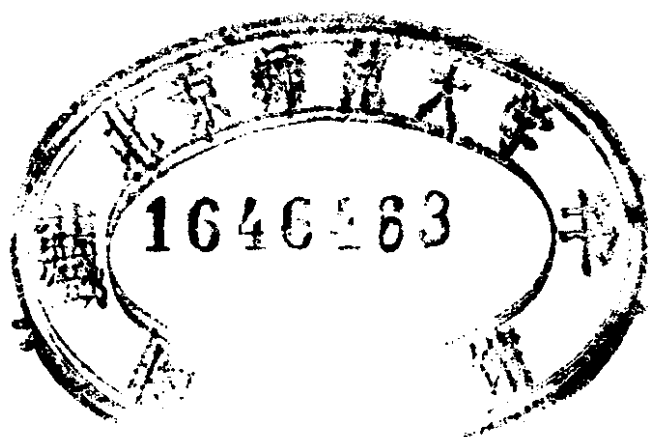
(三. 光学部分)

第二版

2011/58/10

杨述武 主编

王定兴 编



高等教育出版社

(京)112号

## 内 容 提 要

本书是在第一版的基础上,参照1989年国家教委高教司印发供试行的“普通物理实验教学基本要求”修订的。第二版基本保留了第一版的实验,同时增加了绪论及几个实验,并在通用性及培养学生的能力等方面作了一些尝试。

全书共有实验24个,可作为高等院校物理专业普通物理实验课的教材,也可供其他专业有关师生参考。

本书责任编辑:张思攀

### 高等学校教材 普通物理实验

(三. 光学部分)

第 二 版

杨述武 主编

王定兴 编

\*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张9 字数 210 000

1983年6月第1版 1993年4月第2版 1993年4月第1次印刷

印数0001—14 130

ISBN7-04-003895-1/O·1137

定价3.50元

## 第二版前言

本书是在第一版的基础上，参照1989年国家教委教材编审委员会物理实验组拟订的《综合大学、师范院校普通物理实验教学基本要求》(由国家教委高教司印发，供试行。见(89)教高司字122号文)，以及近十年来，国内物理实验教学的发展情况，组织修订的。

第二版基本保留了第一版的实验，并增加了几个实验，共有实验24个。以下对此次修订做几点说明：

1. 增加绪论部分 主要介绍光学实验的特点、观测方法、常用光学仪器的结构与调节以及使用中的注意事项等问题，另外为了学生使用方便也简要记述了数据处理的基础知识。

2. 加强了实验原理及仪器调节的说明 主要是希望学生在更好地了解实验原理和仪器调节问题的基础上，能独立地进行实验。

3. 实验的具体内容有些增加 有些实验的内容增加了，我们考虑学校的情况不同，同一学校中的学生也有差异，适当多安排些，可供指导教师和学生去选择。

4. 实验步骤适当简化 主要是促使学生在理解实验的基础上，能比较独立地做实验。

5. 修改了部分名词 参照全国自然科学名词审定委员会公布的物理学名词——基础物理学部分(1988)，对本书所用物理名词进行了修订，主要有：

| 修 改 前   | 修 改 后   |
|---|---|
| 读数显微镜<br>第一、第二焦点<br>主平面<br>平行光管<br>光栅常数<br>普朗克常数<br>1/2波片 | 移测显微镜<br>物方、象方焦点<br>主面<br>准直管<br>光栅常量<br>普朗克常量<br>半波片 |

6. 在绪论之前增加“致学生读者” 其中提出：为什么做实验，怎样才能做好一个实验，怎样才算做好一个实验，以便启发学生勤思考。

7. 操作与分析并重 实验中训练学生的操作技能是很重要的，但是为培养学生的能力，必须加强实验中分析问题和解决问题能力的训练，实验的安排、现象观察、仪器调节、数据分析和结果的评价，都要结合所学的理论去分析判断，我们期望学生能结合动手与动脑的活动，全面提高实验的能力。

本书在修订时，曾参考复旦大学贾玉润、王公治、凌佩玲主编的《大学物理实验》(复旦大学出版社,1987)及其它有关教材，并吸收了使用本书的指导教师的意见。

高教出版社曹建庭同志，山东大学物理系孟尔熹同志，苏州大学物理系和东北师范大学物理系的许多教师对本书的修订，给予很大的支持和帮助，我们深表谢意。

本书在修订过程中，虽然做了许多调查和探索，但是限于我们的能力，难免存在缺点和错误，希望使用此书的教师和学生，继续提出宝贵意见，谢谢。

杨述武

1991年7月于长春

## 致学生读者

同学们即将开始上光学实验课，在光学课中你们已经看过教师做的演示实验，那是些物理内容很丰富又很有趣的实验，现在要自己独立去做，在开始实验之前，请你们考虑一下：

### 1. 为什么要做实验？

- 教学计划规定的任务？
- 为了配合理理论学习，加强对理论的认识？
- 对实验有兴趣？
- 将来工作的需要？
- 学习一些实验方法和技术？
- 为使自己成为科学、技术专家打基础？
- .....

### 2. 怎样才能做好一个实验？

- 认真按指导书去做？
- 明确实验的物理内容，具体要求和注意事项？
- 边做边分析，观察的现象正常否，数值合理否？
- 注意仪器的性能、调节和操作？
- 明确误差的来源，注意控制误差的引入？
- .....

### 3. 怎样才算做好一个实验？

- 教师点头？
- 数值不是很理想，但是有分析，对问题比较明确？
- 对实验的物理思想比较明确，对实验的特点有体会？

- 对实验误差的认识比较明确,对控制误差的产生有体会?
- 对数据处理方法运用得恰当,结果的表示符合实际?
- 对仪器的了解比较深入,操作很正确?
- 对实验仪器的选择、实验条件的规定及有关参量的安排有明确认识?
- 对实验和理论的关系有新的体会?
- 对实验的兴趣增加了,对独立完成一个实验增加了信心?
- .....

上述的三个问题,如能注意思考,将对提高你的物理实验能力很有帮助。

# 目 录

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第二版前言                  | 1   |
| 致学生读者                  | 1   |
| 绪论——光学实验基础知识           | 1   |
| § 0-1 光学实验的内容和特点       | 1   |
| § 0-2 光学实验观测方法         | 4   |
| § 0-3 光学实验常用仪器的结构与调节   | 15  |
| § 0-4 光学仪器的正确使用与维护     | 30  |
| § 0-5 实验数据处理           | 32  |
| 实验一 薄透镜焦距的测定           | 40  |
| 实验二 光具组基点的测定           | 50  |
| 实验三 分光计的调节及棱镜玻璃折射率的测定  | 58  |
| 实验四 用掠入射法测定透明介质的折射率    | 64  |
| 实验五 望远镜和显微镜            | 74  |
| 实验六 用小型棱镜摄谱仪测定光波波长     | 88  |
| 实验七 单色仪的定标和滤光片光谱透射率的测定 | 98  |
| 实验八 用双棱镜干涉测钠光波长        | 109 |
| 实验九 用牛顿环干涉测透镜曲率半径      | 114 |
| 实验十 用透射光栅测定光波波长        | 120 |
| 实验十一 偏振现象的观察与分析        | 125 |
| 实验十二 发光强度和光通量的测量       | 137 |
| 实验十三 利用光电效应测定普朗克常量     | 149 |
| 实验十四 迈克耳孙干涉仪的调节和使用     | 157 |
| 实验十五 法布里-珀罗标准具         | 168 |



|        |             |     |
|--------|-------------|-----|
| 实验十六   | 感光乳胶的特性曲线   | 175 |
| 实验十七   | 薄膜介质折射率的测定  | 186 |
| 实验十八   | 硅光电池的线性响应   | 190 |
| 实验十九   | 全息照相        | 194 |
| 实验二十   | 阿贝成象原理和空间滤波 | 204 |
| 实验二十一  | 光源色坐标的测定    | 214 |
| 实验二十二  | 导光纤维        | 223 |
| 实验二十三  | 磁光效应和磁光调制   | 231 |
| 实验二十四  | 电光效应和电光调制   | 241 |
| 附录 A-1 | 光学实验常用的电光源  | 251 |
| 附录 A-2 | 基本物理常量表     | 272 |

# 绪论——光学实验基础知识

## § 0-1 光学实验的内容和特点

### 一、光学实验的内容

光学和其它学科一样,也是经过长期的实践,在大量的实验基础上才逐步发展和完善的,它所建立起的经典光学理论和实验方法,在促进生产发展和社会进步的历史过程中,已经发挥了重要的作用。虽然近几十年来,现代光学的发展特别迅速,理论成果和新型光学实验技术的内容十分丰富,但是经典的实验方法仍然是现代物理实验方法的基本内容,因此,作为基础的光学实验课,学习的重点仍应该是学习和掌握光学实验的基本知识、基本方法以及培养基本的实验技能,通过研究一些基本的光学现象,加强对经典光学理论的理解,提高对实验方法和技术的认识。

为了反映科技进步,对于现代光学中的新概念和新型实验技术,我们也将通过激光全息照相和空间滤波等实验课题来拓宽视野,并初步了解现代光学实验技术的发展和应用。

光学实验应该学习和掌握的内容是:

#### 1. 学习光学中基本物理量的测量方法

光学中的基本物理量有:透镜的焦距,光学系统的基点,光学仪器的放大率和分辨率,透明介质的折射率,光波波长及相差等。

在学习实验测量方法时，要注意它的设计思想、特点及其适用条件。在测量过程中，要注意观察和分析所发生的各种光学现象，注意其规律性，以加深和巩固对所学理论知识的理解，并善于运用理论指导自己的实践。例如观察偏振现象，正确地分析和判断光波的偏振态及完成各种偏振态所需要的测量，以提高解决实际问题的能力。

## 2. 学会使用一些常用的光学仪器

光学实验中的常用光学仪器有光具座、测微目镜、望远镜、分光计、干涉仪、摄谱仪等。学会使用光学仪器的内容，包括：了解仪器的构造原理及正常使用状态，调节到正常使用状态的方法，操作要求，注意事项，并具有较好的操作技能。

## 3. 学习分析光学实验中的基本光路

光学实验中的光路，是每一个实验设计思想的具体体现，它是由许多的基本光路所组合而成的。常用的基本光路有自准直光路、助视放大光路、恒偏向光路、分束光路、激光束准直光路等，要学会分析每一基本光路在整个实验中的作用，了解光路组成元件的参量对实验产生的影响、基本光路之间的衔接配合的要求……等，还要练习应用这些基本光路，设计一些简单的测试实验，以锻炼我们的实践能力。

如果对实际光路的理解没有清晰的物理图象，很可能为实验中出现的干扰所困惑。通过实践，可以学习排除干扰，提高观测效果的方法。如怎样判断“假象”，怎样减少背景光的干扰，怎样按照光路的基本特征、又快又好地观察到测试目标……，这对于提高发现问题、分析问题、解决问题的实际能力，是十分重要的。

## 4. 继续学习分析误差的方法和提高对实验数据的处理能力

在光学实验中，要继续提高对实验数据的处理能力和对实验结果误差原因的分析水平，从而能正确地表达和评价实验结果。分

析误差产生的原因以及减小实验误差的有效途径，不仅加深对实验理论的认识，也必然加强对测量方法和选择仪器的理解。

当然有意识地提高实验素养、培养正确的实验习惯和科学作风，应贯穿在整个学习过程中。

## 二、光学实验的特点

### 1. 实验和理论密切结合

众所周知，光波的本质是频率极高的电磁波。例如可见光的频率为  $10^{14}$  Hz 的数量级，即在  $10^{-9}$  s 的时间内，光扰动就有几十万次之多，而实验只能测定在观察时间内的平均结果。因此在光学实验中，必须应用理论知识来指导实践。如果不掌握光的基本理论，不熟悉光源发光的宏观特性，不了解光波的相干性和偏振态，有些光学实验(如干涉)将很难做好，而有些光学实验(如偏振)甚至无法进行。对于光学元件的选择、实验光路布置的合理性、光学实验现象的观察、寻觅和判断，光学仪器的调节和检验等问题，实验者必须把实验和理论密切地结合起来，尊重实际，详尽观察和记录各种光学现象及其出现的条件，结合理论，经过思考，做出正确的分析和解释，只有这样，才能巩固和加强对理论知识的理解，提高实验的兴趣，增长实验的才干，扩大实验的收获。

### 2. 仪器调节的要求较高

光学实验中使用的仪器一般比较精密。象分光计、迈克尔孙干涉仪等的测量精密度都较高，但要能充分发挥仪器测量的高精度，必须在仪器使用前，将仪器按照要求调节好。光学仪器的调节，不仅是一项基本的实验操作，而且包含着丰富的物理内涵，必须在详细了解仪器性能和特点的基础上，建立起清晰的物理图象，才能选择有效而准确的调节方法，根据观察到的现象，检验和判断仪器是否处于正常工作状态，提出应该采取的解决办法。这也只有在理论指导下，通过反复耐心的实验操作训练，才能切实地掌

握。对此,实验者绝不能存有侥幸心理,盲目地实践,否则,轻者会影响实验的正常进行,重者将导致精密仪器性能的下降,直至损坏。

### 3. 要求较高的实验素养

光学实验还有一个特点,就是很多光学测量都是实验者通过对仪器的调整,对目标的观察和判断以后进行读数的,因此实验者理论基础、操作技能的高低、判断准确程度,都将使测量数据具有不同的偏离和分散,从而影响测量结果的可靠性。因此实验者必须在实验过程中,注意不断提高实验素养,尽力排除“假象”和其它因素的干扰,力求客观而正确的反映实际。

另外,为了取得较好的实验效果,减少环境杂散光的干扰,有的光学实验须在低照度环境下进行。因此,要小心谨慎、安全操作,防止事故。要避免光学元件跌落损坏,仪器读数失误,并注意眼睛卫生,保护视力。

随着科学技术突飞猛进的发展,各个科研生产领域对光学实验技术提出了越来越高的要求,许多现代化的精密光学仪器的问世,不但促进了光学学科自身的进展,也为其它学科的发展,如天文、化学、生物和医学提供了重要的实验手段,应该看到,光学实验技术正发挥着日益重大的作用。

## § 0-2 光学实验观测方法

在普通物理的光学实验中,通常用自己的视觉器官(眼睛)对光学实验现象进行观察,这种观察方法不但简便灵活,而且具有很高的感光灵敏度,同时观察到的图象还有立体感和颜色的分布。这种通过人的视觉直接观察的方法,称为主观观察方法。但人眼

观察有一定的局限性,有时必须采用光探测器和有关仪器的配合,来弥补人眼的不足,这种借助于仪器测量的方法,则称为客观测量方法.

### 一、主观观察方法

1. 人眼视觉 人眼本身就是一个成象的光学系统,见图 0-2-1. 观察者所看到的图象就是被观察的物体在人眼视网膜上所成的实象. 在人眼的视网膜上分布有大量的感光细胞,感光细胞有圆柱细胞和圆锥细胞两种,圆柱细胞是分管暗视觉的,它不能产生颜色感觉,但它的感光灵敏度却比圆锥细胞高几十倍. 圆锥细胞分管亮视觉,有颜色感觉和较高的分辨能力. 它能分辨图象的细节,但灵敏度较差. 因此,只有在足够亮(大于几个  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ) 的情况下,锥状细胞起作用时,才会产生颜色的感觉. 由于圆柱细胞不能使人眼明辨颜色,所以在黄昏时,所有物体看起来都是呈灰色的.

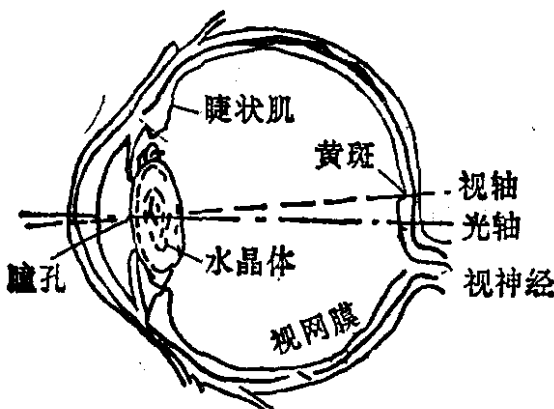


图 0-2-1

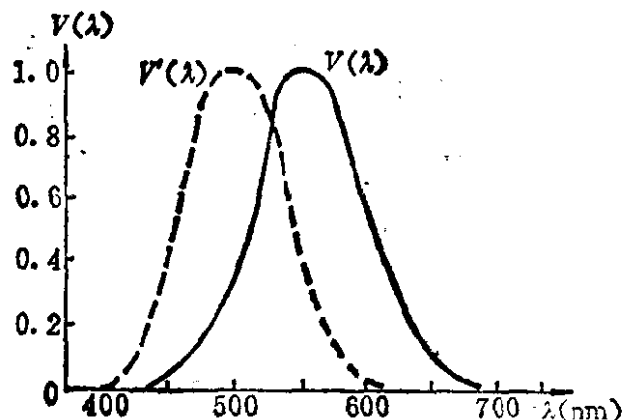


图 0-2-2

2. 视见函数 人眼的视觉对于不同波长的光波灵敏度是不同的,一般情况下,人眼只能对  $380\sim 760\text{ nm}$  的可见光波产生视觉反应,它对绿光的感光灵敏度最高,而对红光的感光灵敏度则低得多. 在正常的亮度(大于几个  $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ )下,将测量结果画成曲线即如图 0-2-2 中实曲线  $V(\lambda)$  所示. 其最大值位于  $555\text{ nm}$  处,  $V(\lambda)$

又称为明视觉的视见函数。当亮度小于  $0.01 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  时，视见函数则如图 0-2-2 中虚曲线  $V'(\lambda)$  所示，称为暗视觉的视见函数，其最大值位于  $507 \text{ nm}$  处。

### 3. 人眼的亮度感觉

人眼所能感觉的亮度范围是非常宽的，其上下限之比可达  $10^{12}:1$ ，即光辐射通量变化的范围在  $2 \times 10^{-5} \text{ J/s}$  至  $4 \times 10^{-17} \text{ J/s}$  之间，均能为人眼所感受。这后一数值相当于每秒钟可观察到几十个光子流(对  $\lambda=500 \text{ nm}$ )。这种观测范围跨越了十二个数量级的光探测器，是任何其它探测器所无法比拟的。但是，人眼并不能同时感受这样大的亮度范围，当人眼适应了某一环境下的平均亮度后，视觉范围也就有了一定的限制。在正常的亮度时，人眼所能区分的亮度上下限之比为  $10^3:1$ ，当平均亮度很低时，此值将降至  $10:1$ 。

### 4. 人眼的分辨特性

当人眼观察物体上相隔一定距离的两物点时，如果选定的两物点靠得很近，视角减小到一定程度，人眼就不再能分辨出是两个独立的物点，而只感觉是连在一起的一个物点。这说明人眼分辨景物细节的能力有一极限值，这种分辨细节的能力称为人眼的分辨力。

在正常照度下，人眼黄斑区的最小分辨角约为  $1'$ 。当物体与环境背景的亮度相近时，分辨力也会降低。

### 5. 人眼的错视觉

图 0-2-3 中线段 AB 和 CD 的长度相等，但由于附加的箭头方向相反，结果造成观察时的视觉是 CD 长，AB 短。即人眼视觉对自然现象作出主观判断时，可能出现某种假象，为此时常应用其它的科学的方

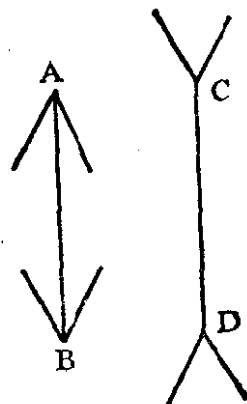


图 0-2-3

法进行客观的检验,以期得出正确的结论.

## 6. 视差

视差问题在力学、电学实验中已有介绍,在那里主要是讲从仪器上读数时要注意防止视差,以保证读数的准确性.在光学实验中除要注意读数时的视差问题外,还利用视差现象进行如下判断:

(1) 被观察的物与象,或象与象是否重合?

(2) 如果未重合,那末哪个离观测者近一些?这种判断对于指导仪器的调节,确定象的位置很有帮助.

如图 0-2-5 所示,人们在观察远近不同的物体 A 和 B 时,常会发生视觉差异的现象,称为视差.当观察者的眼睛 E 沿着垂直于 AB 连线向右(或左)移动时,将观察到物体 A 和 B 之间有相对运动.距离近的物体 A 的移动方向与观察者眼睛移动的方向相反即向左(或右),而距离远的物体 B 的相对移动方向与观察者眼睛的移动方向相同即向右(或左).

如果物体 A 和 B 离观察者眼睛的距离相等,则当观察者眼睛左右移动时, A 和 B 之间将不产生相对运动.因此,根据视差的现象,可以帮助我们准确地判断 A、B 的远近及是否共面.

在普通物理的光学实验中,常通过助视光学仪器(测微目镜,显微镜,望远镜等)来测量物象的大小,这就必须使象和助视光学仪器中的测量准线(叉丝)对准,并同处一个平面上,即要求两者之间不存在视差.没有视差,是有助视测量仪器已调节好的标志.所以在使用光学测量仪器时,只有做到测量准线和被测目标之间无视差地对准,才能发挥仪器应有的性能.

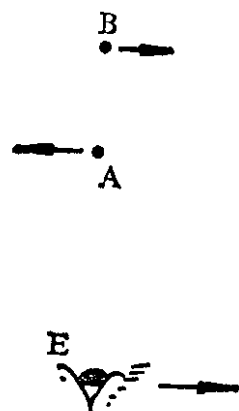


图 0-2-4



## 二、客观测量方法

人眼作为常用的光探测器的特点和局限已如前所述，对超出可见光范围的光学现象或对光强测量有较高的精度要求，则需要采用其它设备作光探测器，进行客观测量，以弥补人眼的不足。

常用的光探测器均为光电子器件，系应用固体材料的光电效应而制成，故又称光电探测器。它将待测的光讯号转变为电讯号，配合适当的测量电路进行测量，因而测量比较客观、灵敏和精确。

### 1. 光电探测器的选择和使用

光电探测器的主要性能是：

**光谱灵敏度  $S(\lambda)$**  光电探测器对光波探测的灵敏度随入射光波的波长变化而变化。探测的相对灵敏度(最大值定为1)按波长的分布函数就称为相对光谱灵敏度  $S(\lambda)$ 。从函数曲线便可了解该探测器的工作波长范围、光谱响应的峰值波长和探测极限等特性。

**积分灵敏度** 用光电探测器测量一定波长范围内的总辐射通量时，单位辐射通量引起光电探测器的反应称为积分灵敏度。常以每流明的微安数或每瓦的安培数来评价。

**响应时间** 光电探测器从开始接受光照到获得稳定的信号输出，常需要一定的时间，称为光电探测器的响应时间。

**线性响应** 如果光电探测器产生的光电流与照射在它上面的光通量(或光照度)成正比关系，则称为光电探测器的线性响应。

使用光电探测器应注意：

(1) 光电探测器应存放在暗处，避免强光照射，以免出现灵敏度下降的“疲劳”现象。一旦出现“疲劳”现象，应立即停止使用，并存放暗处，则可全部或部分恢复。

(2) 使用中应注意减小非信号光产生的本底电流(包括热激