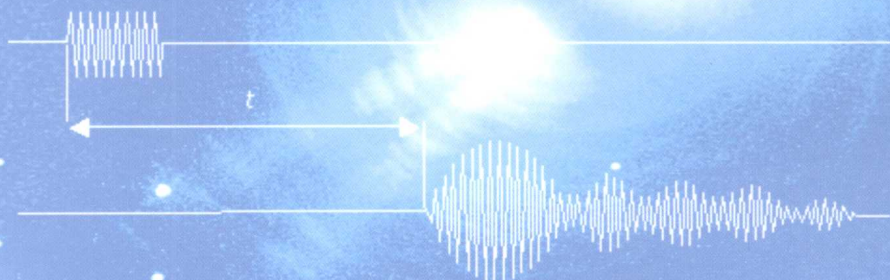


全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 大学物理实验

第二版

习 岗 杨初平 主编



 中国农业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理实验

第二版

王 勇 孙建明 主编

清华大学出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

# 大学物理实验

第二版

习 岗 杨初平 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理实验/习岗, 杨初平主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2006. 6 (2007. 7 重印)

全国高等农业院校教材

ISBN 978 - 7 - 109 - 10899 - 8

I. 大… II. ①习…②杨… 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 (2006) 第 052824 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 薛 波

---

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版 2006 年 6 月第 2 版

2008 年 6 月第 2 版北京第 3 次印刷

---

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 17

字数: 300 千字

定价: 22.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

## 第二版前言

本书是我们编写的《大学物理实验》(2003, 中国农业出版社)的第二版,是全国高等农林院校“十一五”规划教材。在第二版的编写中,根据几年的使用经验,我们保持了原书的原有框架和编写风格,在内容上做了一些调整和改编。改写了误差处理部分,对基本实验和综合性实验中的一些实验内容、实验方法和测试手段进行了更新,补充了相当篇幅的近代物理实验。近代物理实验内容的补充,一方面使本书的实验内容更加全面与系统,另一方面为在大学物理实验课程中实行分级实验和教学提供了条件,从而满足各专业对大学物理实验课程的不同要求。

在本书的编写中,我们吸取了长期以来我国高等农林院校大学物理实验教学改革的经验,综合考虑了21世纪高等农林院校物理教学改革、课程现代化和能力培养的要求。全书包括学生守则、绪论、测量误差与数据处理方法、物理实验仪器及其调整方法、物理实验基本方法、基本实验、设计性实验、综合性实验和近代物理实验内容。本书具有如下特点:

1. 在实验数据处理中介绍了不确定度的概念和使用方法,同时介绍各种农业科研中常用的实验数据处理方法,培养学生在科学研究中数据处理的能力。

2. 将物理实验中一些常用仪器单独作为一章介绍,使内容相对系统与完善,以避免各实验中仪器的重复介绍,同时使本书兼具有工具书的一些功能。

3. 基本实验项目中包括了高等农林院校中理工科和农林科各专业所需开设的基本实验内容,这些实验的目的、原理和步骤编写较为详细,便于自学,有利于开放实验室中学

生独立学习与操作。

4. 在基本实验项目的基础上,编写了若干设计性和综合性实验,要求学生在完成了一定数量的基本实验的基础上独立地进行实验过程各个环节的设计,培养学生的动手能力和独立思考能力。设计性和综合性实验的开设对于培养学生的创新能力很有意义。

5. 编写了一定数量的近代物理实验内容。这部分实验所涉及的物理理论较为深入,实验所采用的仪器更加精密,实验操作也较为复杂。因此,通过对近代物理实验内容的学习与了解,有助于加深学生对物理现象和规律的认识,同时进一步培养学生的实验技能。

本书第二版由习岗、杨初平主编,宋清、刘军、刘慧、王念萍和李海等老师编写了基本实验的部分内容,谭穗妍和劳媚媚老师编写了近代物理实验部分,郑庆珍老师也参与了教材的编写工作。由于编者水平所限,错误和疏漏之处恳请读者批评指正。

编 者

2006年4月

# 第一版前言

本教材是在多年使用的物理实验讲义基础上，根据《高等农业院校农牧类普通物理教学基本要求》和《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》编写的，该书可作为高等农林院校各专业的“大学物理实验”课程教材。在编写中我们吸取了长期以来我国高等农林院校物理实验教学改革的经验，综合考虑了面向 21 世纪高等农林院校物理教学改革、课程现代化和能力培养的要求。全书包括学生实验守则、绪论、测量误差与数据处理方法、物理实验仪器及其调整方法、物理实验基本方法、基本实验、设计性实验和综合性实验等内容。本书具有如下特点：

1. 实验数据处理以标准差为主，同时尽可能多地介绍各种农业科研中常用的实验数据处理方法，培养学生科学研究中数据处理的能力。

2. 对物理实验中一些常用仪器单独作为一章介绍，使内容相对系统与完善，以避免各实验中仪器介绍的重复，同时使本书兼具有工具书的一些功能。

3. 基本实验项目中包括了高等农业院校中理工科和农科各专业所需开设的绝大多数实验内容，这些基本实验的目的、原理和步骤编写较为详细，便于自学，有利于开放实验室中学生独立学习与操作。

4. 在基本实验项目的基础上，编写了若干设计性和综合性实验，要求学生在完成一定数量的基本实验的基础上独立地进行实验过程各个环节的设计，以培养学生的动手能力和独立思考能力。设计性和综合性实验的开设对于培养学生的创新能力很有意义。

## 大学物理实验

本书由习岗、杨初平主编，参加编写的人员有宋清、刘慧、王念萍、李海和老兆荣等老师。由于编者水平所限，错误在所难免，恳请读者批评指正。

**编 者**

2003 年 5 月

# 学生实验守则

1. 实验前必须认真预习，明确实验目的、原理、步骤、要求和注意事项，写出预习报告。预习报告经教师检查签字后方可进行实验。

2. 物理实验实行多个不同实验同时进行的大循环式的实验方式，学生每一人（或二人）一套仪器。学生应努力学会和养成独立思考、独立操作的习惯，提高自身的动手能力。

3. 学生必须在规定的时间内完成实验。因故不能做实验者，应向指导教师请假。所缺实验应在期末本课程结束前，在指定时间内补齐，否则，物理实验成绩按不及格处理。

4. 实验时要严肃认真，仔细观察，积极思考，如实记录实验数据。实验数据须经教师审查签字通过。若实验失败或实验结果误差太大，应该重做。

5. 上课时，学生应服从教师和实验室工作人员的安排和指导。要保持安静，遵守纪律，不动用与本实验无关的仪器设备。不准吸烟，不准随地吐痰，自觉保持室内清洁卫生。

6. 实验中，要注意人身安全和设备安全。要爱护仪器设备，遵守操作规程。实验准备就绪，经教师检查许可后方可进行实验。凡违反纪律或操作规程、损坏仪器设备，造成损失者，必须写出深刻的检查，并根据情节轻重进行赔偿。

7. 实验时要节约用水、电、气、药品和材料。

8. 实验结束后，要整理好仪器设备和工具，清洁实验台面和周围环境，在实验卡上登记并经教师检查、实验室工作人员验收后，方可离开实验室。

9. 学生要根据教学要求，独立、认真地写好实验报告，并在规定时间内及时上交。实验报告不合格或不及格者应重做，否则，实验成绩将按不及格处理。

# 目 录

第二版前言  
第一版前言  
学生实验守则

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 绪论 .....                    | 1  |
| 第一章 测量误差与数据处理方法 .....       | 4  |
| 第一节 测量误差及分类 .....           | 4  |
| 一、直接测量与间接测量 .....           | 4  |
| 二、真值与测量值 .....              | 5  |
| 三、测量误差 .....                | 5  |
| 四、测量误差的分类 .....             | 5  |
| 第二节 测量误差的估计方法及测量结果的表示 ..... | 6  |
| 一、直接测量量的误差估计 .....          | 6  |
| 二、间接测量量的误差估计 .....          | 9  |
| 三、测量结果的表示方法 .....           | 10 |
| 第三节 测量的有效数字及其运算 .....       | 14 |
| 一、测量的有效数字 .....             | 14 |
| 二、有效数字的性质 .....             | 14 |
| 三、确定测量结果有效数字的方法 .....       | 15 |
| 四、有效数字的运算规则 .....           | 16 |
| 第四节 数据处理的基本方法 .....         | 18 |
| 一、列表法 .....                 | 19 |
| 二、作图法 .....                 | 19 |
| 三、图解法 .....                 | 21 |
| 四、拟合法 .....                 | 22 |
| 五、逐差法 .....                 | 25 |
| 练习 .....                    | 26 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>第二章 物理实验常用仪器及其调节方法</b>     | 28 |
| <b>第一节 常用力学和热学实验仪器及其使用方法</b>  | 28 |
| 一、长度测量仪器                      | 28 |
| 二、质量测量仪器                      | 31 |
| 三、计时仪器                        | 32 |
| 四、常用温度测量仪器                    | 35 |
| <b>第二节 常用电磁学实验仪器及其使用方法</b>    | 38 |
| 一、电阻箱与滑线变阻器                   | 38 |
| 二、电流表                         | 40 |
| 三、检流计                         | 42 |
| 四、万用电表                        | 44 |
| 五、电桥箱                         | 50 |
| 六、示波器                         | 52 |
| 七、信号发生器                       | 56 |
| <b>第三节 常用光学实验仪器及其使用方法</b>     | 58 |
| 一、移测显微镜                       | 58 |
| 二、分光计                         | 59 |
| <b>第四节 物理实验常用电源与光源</b>        | 62 |
| 一、直流电源                        | 62 |
| 二、交流电源                        | 63 |
| 三、常用电源装置介绍                    | 64 |
| 四、物理实验常用光源                    | 65 |
| <b>第五节 物理实验仪器的基本调节方法与操作规程</b> | 67 |
| 一、物理实验仪器的基本调节方法               | 67 |
| 二、电磁学实验基本规则                   | 69 |
| 三、光学实验基本规则                    | 71 |
| <b>第三章 物理实验的基本方法</b>          | 72 |
| <b>第一节 比较法与放大法</b>            | 72 |
| 一、比较法                         | 72 |
| 二、放大法                         | 76 |
| <b>第二节 平衡法与补偿法</b>            | 77 |
| 一、平衡法                         | 77 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 二、补偿法 .....                               | 78  |
| 第三节 转换法与模拟法 .....                         | 79  |
| 一、转换法 .....                               | 79  |
| 二、模拟法 .....                               | 82  |
| 第四章 基本实验 .....                            | 80  |
| 实验 4-1 基本测量仪器的使用 .....                    | 84  |
| 实验 4-2 用气垫导轨测定速度与加速度 .....                | 87  |
| 实验 4-3 液体黏滞系数的测定(落球法) .....               | 92  |
| 实验 4-4 扭摆法测定物体转动惯量 .....                  | 95  |
| 实验 4-5 液体表面张力系数的测定 .....                  | 101 |
| 实验 4-6 空气比热容比的测定 .....                    | 103 |
| 实验 4-7 万用表和惠斯登电桥的使用 .....                 | 106 |
| 实验 4-8 温差电动势的测量 .....                     | 110 |
| 实验 4-9 材料导热系数的测定 .....                    | 116 |
| 实验 4-10 电子示波器的使用 .....                    | 119 |
| 实验 4-11 用模拟法测绘静电场 .....                   | 123 |
| 实验 4-12 集成霍尔传感器法测量圆线圈和亥姆霍兹<br>线圈的磁场 ..... | 126 |
| 实验 4-13 霍尔效应的应用 .....                     | 131 |
| 实验 4-14 分光计的调整与使用 .....                   | 136 |
| 实验 4-15 用牛顿环测量透镜的曲率半径 .....               | 140 |
| 实验 4-16 用迈克耳逊干涉仪测量光波的波长 .....             | 144 |
| 实验 4-17 单缝衍射光强分布的测量 .....                 | 147 |
| 实验 4-18 利用物质的旋光性测量糖溶液的浓度 .....            | 150 |
| 第五章 设计性实验 .....                           | 154 |
| 实验 5-1 不规则形状固体密度的测量 .....                 | 154 |
| 实验 5-2 电表的改装 .....                        | 154 |
| 实验 5-3 非平衡电桥的应用 .....                     | 155 |
| 实验 5-4 用牛顿环测量钠光灯谱线的波长 .....               | 156 |
| 实验 5-5 用角度法测量棱镜的折射率 .....                 | 157 |
| 实验 5-6 马吕斯定律的验证 .....                     | 158 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>第六章 综合性实验</b> .....          | 159 |
| 实验 6-1 霍耳位置传感器的定标和杨氏模量的测定 ..... | 159 |
| 实验 6-2 用布儒斯特角法测量薄膜折射率 .....     | 163 |
| 实验 6-3 普通摄影与放大 .....            | 168 |
| 实验 6-4 光学全息照相 .....             | 173 |
| <b>第七章 近代物理实验</b> .....         | 176 |
| 实验 7-1 普朗克常数的测定 .....           | 176 |
| 实验 7-2 密立根油滴实验 .....            | 183 |
| 实验 7-3 塞曼效应 .....               | 191 |
| 实验 7-4 微波电子自旋共振 .....           | 208 |
| 实验 7-5 核磁共振 .....               | 215 |
| 实验 7-6 夫兰克-赫兹实验 .....           | 223 |
| 实验 7-7 声光效应 .....               | 230 |
| 实验 7-8 电子束实验 .....              | 239 |
| 实验 7-9 声速的测定 .....              | 248 |
| <b>附录</b> .....                 | 257 |
| <b>主要参考文献</b> .....             | 259 |

# 绪 论

## 一、物理实验的地位和作用

科学理论来源于科学实验，并受到科学实验的检验。物理学的理论就是通过观察、实验、抽象、假说等研究方法，并通过实验检验建立起来的。

观察和实验是物理学中重要的研究方法。观察就是对自然界发生的某种现象，在不改变自然条件的情况下，按照原状加以观察研究。而实验则是按照一定的研究目的，借助特定的仪器设备，人为地控制或模拟自然现象，使自然现象以比较纯粹或典型的形式表现出来，进而对其进行反复的观察和测试，探索其内部规律的一种方法。

物理学从本质上说是一门实验科学。首先，无论是物理规律的发现，还是物理理论的验证，都有赖于实验。在物理学的发展史上，伽利略用实验否定了亚里士多德“力是维持物体运动的原因”的论断，麦克斯韦根据电磁学的实验定律建立了电磁场理论，并预言了电磁波的存在，但其结果也只有在赫兹进行了电磁波实验后才被人们所公认。其次，实验是物理理论演变和发展的动力。例如，20 世纪初，光电效应和黑体辐射等一系列物理实验的事实与经典理论发生矛盾，导致了相对论和量子力学的产生。再次，实验是理论付诸于应用的桥梁。例如，尽管热核聚变理论指出，通过热核聚变可能获得巨大的能量，但是要想实现它还需要通过许多艰苦的实验才能实现。当然，物理实验既是理论研究的基础，又离不开理论的指导。实验课题的选择、实验的构思和设计、实验方法的确定、实验数据的处理以及在实验结果中提出的科学假设和科学结论，都始终受理论的支配。总之，历史表明，物理学的发展是在实验和理论两方面相互推动和密切结合下进行的。

物理实验不仅在物理学的发展中占有重要的地位，而且在其他自然科学和工程技术的发展中也起着重要的作用。物理实验是众多高新技术发展的源泉，原子能、半导体、激光、超导和空间技术等最新科技成果都与物理实验密切相关。因此，物理实验在科学技术的发展中具有极为重要的地位，它是科学技术发展的基础和源泉。

## 二、大学物理实验课的目的

大学物理实验是为了对学生进行科学实验基础训练而独立开设的一门基础实验课程，其教学内容与大学物理理论课程相配套。通过该课程的学习不仅可使学生加深对物理学理论的理解，更重要的是培养学生的基本实验技能，在实验方法和动手能力等方面受到较为严格的训练，从而提高创新能力。大学物理实验是大学各专业学生开展科学研究的基础。

大学物理实验课的教学目的是：

(1) 通过物理实验现象的观察、测量和分析，学习运用理论指导实验、分析和解决实验问题的方法，加深对理论的理解。

(2) 初步培养学生科学实验的能力。这些能力包括：通过阅读教材或资料，能概括出实验原理和方法，能正确使用基本实验仪器，掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能，正确记录和处理数据，分析实验结果，撰写合格的实验报告，完成简单的具有设计性内容的实验。

(3) 培养学生实事求是的科学态度，严谨踏实的工作作风，勇于探索的创新精神以及遵守纪律、团结协作和爱护公物的优良品德。

## 三、物理实验课的主要教学环节与要求

### 1. 实验预习

为了在规定的时间内顺利完成实验内容，在实验前必须对实验内容进行认真预习。预习一般通过阅读理论教材、教学参考书和实验指导书来完成。通过预习，了解实验目的、基本原理和实验方法。对于实验中将要使用的仪器，要弄清楚仪器的原理、结构、操作规程和应注意的问题。在预习的基础上，应写出预习报告。预习报告一般包括以下几个方面：①实验名称；②实验目的；③实验原理（包括实验线路图或有关计算公式）；④实验的主要步骤；⑤记录数据的表格等。

### 2. 实验操作

学生进入实验室，经老师检查预习报告认为合格后方可进行实验。开始做实验时，学生应首先对照仪器实物，熟悉仪器的使用方法，安装调整好仪器，然后进行测量、观察和记录数据。实验完成后，将原始实验数据交给教师签名，整理还原好仪器等实验用品，在《仪器使用登记卡》上登记，经教师检查签名后方可离开实验室。实验操作是培养动手能力的重要环节，决不能抱着为了测出数据，应付实验报告的目的去做实验。进入实验室后，应该像一个科学工作者那样，井井有条地布置好实验用品，安全操作，认真钻研，仔细分析实

验中出现的问题。如果实验过程中出现了故障，要尽可能自己解决。原始测量数据应真实可靠，并记录在预习报告中的数据表格上，不得随便涂改修正。

### 3. 实验报告

做完实验后，应及时进行测量数据的整理和计算（包括数据的重新列表、计算、作图和误差分析等），然后根据这些材料写出一份简明、工整、有见解的实验报告。完成实验报告的目的是培养学生以书面形式总结工作和报告科研成果的能力。实验报告要求行文流畅、字迹端正、数据完整、图表规范、结果正确。

一份完整的实验报告应包括实验名称、实验目的、仪器用具、实验原理、实验步骤、数据记录与处理和讨论等内容。实验原理应在理解教材的基础上用自己的语言简要叙述。实验步骤应结合自己的体会写出主要的操作步骤、关键性的仪器调整方法和测量技巧，不要照抄教材。测量数据一般以列表的形式出现，数据处理要写出数据计算的主要过程、图表以及误差分析等。在实验报告中应给出完整的实验结果。有些实验结果可用作图表示。若有些实验仅仅是观察现象或验证某一物理定律，则只需扼要写出实验结论。对于最后的小结或讨论，其内容不限，可以是实验中一些问题的研究体会，也可以是对实验中一些现象的分析、实验的收获及改进实验的建议和措施等。

最后应该指出，进行物理实验应该强调实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风，伪造测量数据和抄袭等现象要坚决杜绝。

# 第一章 测量误差与数据处理方法

一般而言，任何科学实验都要涉及大量的测量数据，掌握测量数据的分析与处理方法是物理实验的主要任务之一，也是培养和提高实验能力的极为重要的方面。由于实验数据的测量及其处理贯穿在每个实验之中，因此，首先在本章介绍测量误差的基本概念及数据处理方法。

## 第一节 测量误差及分类

### 一、直接测量与间接测量

#### 1. 直接测量

进行物理实验不仅要定性地观察物理变化过程，还要定量地测量物理量的大小。可以用仪器直接进行的测量称直接测量，测量的物理量称直接测量量。如用米尺测量物体的长度、用天平称取物体的质量、用秒表读出时间的长短都是直接测量，而长度、质量、时间都是直接测量量。

#### 2. 间接测量

对大多数物理量，并不存在相应的可以直接测量读数的仪器，其值的获得只能由一些直接测量量代入一定的函数关系式而间接得到。这些物理量的测量称为间接测量，这些物理量可称为间接测量量。例如，测量圆柱体的密度时，我们可以直接用卡尺测出它的高度  $h$  及直径  $d$ ，用公式  $V = \pi d^2 h / 4$  算出体积，然后再用天平称出它的质量  $M$ ，再据  $\rho = M/V$  得到密度  $\rho$ 。像  $\rho$  这样的物理量即为间接测量量。

#### 3. 等精度测量

测量仪器的不同、测量方法的差异、测量条件的改变以及测量者素质的差别都会造成测量结果的不同。这样的测量称不等精度测量。而同一个人用同样的方法，使用同样的仪器并在相同的条件下对同一物理量进行的多次测量，叫做等精度测量。在等精度测量中尽管各测量值可能不相等，但没有理由认为哪一次（或几次）的测量值更可靠或更不可靠。实际上，一切物质都在运动中，没有绝对不变的人和事物，只要其变化对实验的影响很小乃至可以忽略，就可