

mianxiang 21 shiji daxue wuli shiyan liti kaifangshi jiaocai

面向21世纪

大学物理实验

立体开放式教材

主 编 殷春浩

副主编 崔亦飞 牟致栋 于建勇

中国矿业大学出版社

面向 21 世纪

大学物理实验

立体开放式教材

主 编 殷春浩

副主编 崔亦飞 牟致栋 于建勇

中国矿业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验/殷春浩主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2003. 1

ISBN 7-81070-686-1

I. 大... II. 殷... III. 物理学—实验—高等学校—教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 005157 号

书 名 大学物理实验
主 编 殷春浩
责任编辑 钟诚
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州新华印刷厂
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 475 千字
版次印次 2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷
印 数 1~10000 册
定 价 21.50 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前言

本教材是根据《高等工业学校物理实验课程教学基本要求》和《物理实验教学大纲》而编写的。

根据“211 工程”建设、物理实验中心建设、物理学科建设与发展的要求,为培养面向 21 世纪高素质的工程人才,需要不断深入地进行物理实验教学改革;而教材改革与建设是教学改革的重要部分,它必须适应教学改革的要求。本次教材编写的指导思想体现了实验教学改革的宗旨和思路,体现了加强学生素质教育,融知识、技术、创新能力的教育为一体的观念。加强对学生创新能力的培养、因材施教、鼓励学生个性特长的发展,是物理实验教学的重要目的。

全书共分七章:物理实验的基本测量方法和基本技术、测量的不确定度与数据处理、预备引导实验、基本实验、近代物理与综合性实验、设计性实验、研究性实验共 52 个实验。书中内容有一定广度,也有相当深度,有利于不同层次的学生学习。

本书具有以下特点:

1. 在教材体系上打破了传统的力、热、声、电、光、近代的体系,改为分阶段、分层次的模块化教学体系。新体系按照培养学生实验技能的要求,根据由浅入深、由简单到复杂的原则将实验内容划分为:预备引导实验、基本实验、近代与综合性实验、设计和研究性实验等几大模块,有利于学生创新能力的培养。预备引导实验主要是对那些中学物理实验基础较差的学生进行补课,学生在经过基本实验、近代与综合性实验教学阶段后,可根据自己的实际情况选做设计性实验和研究性实验。

2. 考虑到物理实验课程是一门独立的课程,有它自身的体系,为了加强物理课程自身的基本理论和基本方法的教学,本教材将测量误差与数据处理、物理实验的基本测量方法和基本技术分别立章,这样有利于学生全面学习物理实验课程,了解整个实验教学体系,接受物理实验的系统教育。

3. 在实验内容的处理上,注意选取培养学生动手能力、思维能力和创造能力效果较好的实验项目。教材注意到了我校学生的现状及专业特点,精选了 52 个实验,其中有些实验的内容较多,且均按内容的深浅分层次,便于不同能力的学生根据自己的实际情况和专业特点选做。

4. 在实验中注意强调实验的设计思路和实验方法,而对实验步骤则尽量简化,有部分内容让学生自己设计,如数据表格,这样可以尽可能地调动学生的主观能动性,以达到培养学生的自学能力与创新意识和创新能力的目的。编者是想打破过去实验教材的模式框框,并在形式上也有所创意,所以在第一章安排了阅读材料,供学生自学。

5. 本教材的教学内容在全校校园网上公开,学生可公开自由选择实验,并且配上与本教材相配套的网上模拟仿真实验预习系统,供广大学生在做实验之前进行网上模拟仿真预

习。因此本教材具有立体开放式教材的特点。

本书由殷春浩担任主编,崔亦飞、牟致栋、于建勇担任副主编,参加编写的人员有童彬、陈涤纓、张丽萍等。

物理系、物理实验中心的同志在实验教学改革和实验中心建设中做了大量工作,本次实验教材的编写,是在此基础上完成的,它是长期从事实验教学的教师和实验技术人员共同辛勤劳动的成果。

本次物理实验教材的编写在体系和内容上有了很大变动。由于它是在物理实验教学改革的实施过程中所编写的,随着改革的深入、仪器设备的更新,其内容还要进行调整。由于编者水平有限,加之时间仓促,难免有漏误之处,真诚希望读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

2002 年 10 月

目 录

学生物理实验必读	(1)
第一节 学生物理实验守则及选课方法	(1)
第二节 关于实验预习和实验过程	(2)
第三节 怎样写实验报告	(2)
绪 论	(4)
第一章 物理实验的基本测量方法和基本技术	(7)
第一节 物理实验的基本测量方法	(7)
第二节 物理实验中的基本调整与操作技术	(11)
第三节 物理实验基本测量技术	(12)
第二章 测量的不确定度与数据处理	(22)
第一节 测量与误差	(22)
第二节 随机误差的高斯分布与标准误差	(26)
第三节 测量值的标准偏差	(27)
第四节 测量结果的总不确定度估算	(31)
第五节 实验数据的处理方法	(39)
第三章 预备引导实验	(47)
实验一 气垫导轨上实验	(47)
实验二 电磁学实验基础	(56)
实验三 用惠斯通电桥测电阻	(61)
实验四 薄透镜焦距的测定	(65)
实验五 用模拟法测绘静电场	(71)
第四章 基本实验	(77)
力学和热学实验	(77)
实验六 用扭摆法测定物体转动惯量	(77)
实验七 用拉伸法测金属丝的杨氏模量	(81)
实验八 金属线胀系数的测定	(86)

实验九 气垫导轨上的简谐振动研究	(89)
实验十 声速测量	(93)
实验十一 空气比热容比的测定	(97)
实验十二 液体粘滞系数的测定	(100)
实验十三 不良导体导热系数的测定	(102)
电磁学实验	(106)
实验十四 双臂电桥测低电阻	(106)
实验十五 交流电桥测电容和电感	(111)
实验十六 用电势差计测电动势和标定温差电偶	(118)
实验十七 高阻直流电势差计的应用	(122)
实验十八 P—N 结正向压降与温度关系的研究	(126)
实验十九 用冲击电流计测定互感系数	(131)
实验二十 霍耳效应测螺线管磁场	(135)
实验二十一 霍尔效应	(139)
实验二十二 电子示波器的使用	(142)
光学实验	(147)
实验二十三 分光计测三棱镜玻璃折射率	(148)
实验二十四 分光计测光栅常数	(155)
实验二十五 等厚干涉——牛顿环和劈尖	(157)
实验二十六 迈克尔逊干涉仪	(163)
实验二十七 法布里—珀罗干涉仪	(170)
实验二十八 单缝衍射	(175)
实验二十九 光的偏振	(181)

2

第五章 近代物理与综合性实验

实验三十 光电效应测普朗克常数	(188)
实验三十一 夫兰克—赫兹实验	(192)
实验三十二 摄谱仪	(195)
实验三十三 全息照相	(203)
实验三十四 密立根油滴实验——电子电荷的测定	(208)
实验三十五 单色仪标定	(213)
实验三十六 测定铁磁材料的磁化曲线和磁滞回线	(217)
实验三十七 良导热体铜、铝热导率的测量	(221)
实验三十八 用闪光法测定不良导体的热导率	(227)
实验三十九 核磁共振(NMR)	(234)
实验四十 塞曼效应	(237)

第六章 设计性实验

实验四十一 非平衡电桥测温仪的设计	(244)
-------------------------	-------

实验四十二 半导体温度传感器的研究..... (246)

实验四十三 改装微安表为欧姆表..... (248)

实验四十四 简易多用电表的设计..... (251)

实验四十五 RC 串联电路暂态过程的研究 (254)

实验四十六 传感器特性研究..... (256)

实验四十七 非线性电阻特性的研究..... (259)

实验四十八 用光栅衍射法测里德伯常量..... (261)

实验四十九 光强分布仪上的实验研究..... (263)

实验五十 光栅特性的研究..... (267)

第七章 研究性实验..... (269)

实验五十一 材料的磁特性研究..... (269)

实验五十二 微波的传输及介质特性研究..... (287)

学生物理实验必读

第一节 学生物理实验守则及选课方法

一、学生《大学物理实验》课程守则

① 学生应在实验课前对要做的实验进行预习,并按要求写出预习报告。无预习报告不得做实验。

② 学生在选定的时间内进行实验,不得无故缺席或迟到。实验上课时间若要变更,必须经实验中心同意,否则按无故缺席处理。

③ 进入实验室后,服从指导教师安排;出示预习报告,经指导教师检查认为合格后,方可进行实验。

④ 实验前应仔细观察仪器构造,操作时应谨慎细心,严格遵守各种仪器仪表的操作规范,如有损坏仪器,要及时报告指导教师,并填写仪器损坏(赔偿)单,根据情况按学校规定处理。

⑤ 实验完成后,应先将实验数据交给教师审阅。实验合格者,需教师签字通过,才能拆除线路与装置。实验数据记录不能用铅笔书写。实验操作不合格者,另外安排时间补做。

⑥ 实验过程中,应注意保持实验室整洁、安静。实验完成后应将仪器、桌椅恢复原状,放置整齐,并负责打扫实验室卫生。

二、《大学物理实验》课程选课方法

《大学物理实验》课程采用开放式教学,学生每学期必须在实验中心所开出的实验项目中,选择并完成至少 10 个实验项目。每个班级指定一名同学负责选课,各班将同学按学号单、双号分成 A、B 两组。

每次每组做相同的实验内容,每次实验前一周通过网络进行预约选课,选择本次实验内容和上课时间。具体选课步骤如下:

1. 登陆教学实验中心主页。

首先进入中国矿业大学主页→进入理学院主页→进入物理教学实验中心主页。

2. 进入选课系统。

在选课系统窗口输入用户名、密码,点击“登陆”,进入选课系统。该部分有四个功能:

(1)学生选课;(2)查询选课;(3)成绩查询;(4)修改密码。

3. 选课

(1) 点击“学生选课”进入选课菜单,选择 A 组(或 B 组),选择实验内容,选择上课时间,点击“选好了”键提交。

(2) 点击“继续选课”,选择 B 组(或 A 组),点击“选好了”键提交,再点击返回选单,返回选课系统。

4. 查询选课

点击“查询选课”,进行选课查询,记录所选实验内容及上课时间。返回选单,退出选课系统,关闭浏览器。

注:若要调整所选实验内容或上课时间,可在查询选课状态下点击“删除选课”并确认后,选课将被删除,A、B 两组应全部删除。选课删除后,可重新进行选课。

第二节 关于实验预习和实验过程

物理实验课分两学期上,学生每学期选做 10 个实验,每个实验 3 学时。

1. 要做好实验首先要预习。实验前必须认真阅读讲义,做好必要的准备工作,要对实验原理和方法进行认真的理解。预习也是培养学生阅读能力、自学能力的重要环节。

没有充分的准备是做不好实验的,也不会有大的收获。实验的过程应是学生积极主动思考、研究、探索的过程,而不是跟在教师后面重复知识的过程,只有这样才能有较大的收获,因此预习是十分必要的。在预习中将关键点与难点记录下来(在教师指导下),通过实验,自己解决。在实验数据记录纸上做好数据记录表格,同时要写出实验预习报告。实验前的准备工作是培养锻炼学生理解能力与综合知识能力的重要环节。

以上工作必须在实验前做好。

2. 到实验室做实验,要让实验指导教师检查预习报告,并由教师签字,方可做实验。

教师讲解后方可动手操作仪器,实验必须在教师指导下独立完成。

3. 实验记录。实验的原始数据先记录在专用的“物理实验原始记录”纸上。实验完成后经教师签字方有效。在写报告时,必须重新整理在报告第(5)部分。原始记录要随实验报告一起上交。

原始数据一定要用钢笔或圆珠笔记录,不得任意涂改。确定测错且无用的数据,用横线划去(例:28.32),在旁边写出更改后的数字,不允许在原始数上改写或涂抹,或用胶带纸贴掉。

4. 实验结束,须教师在原始记录上签字后,再拆除实验装置。

5. 将仪器整理好。各班实验结束后,留人打扫实验室卫生。

6. 实验报告与原始记录在实验结束后一周内交,不得延误。

总之,学生应将每一个实验当做自己创新与能力锻炼的一次机会,而不是重复前人的工作。

第三节 怎样写实验报告

在科学实验与工程测量、工程设计中都要有技术报告,科学研究也要撰写科学研究论文。学生写物理实验报告是这种锻炼的开端。

实验报告由实验预习报告与实验报告组成。

预习包括以下内容:

1. 实验人姓名、班级、学号、组别、实验日期。
2. 实验名称、实验要求(说明本实验的目的)、实验仪器(本实验所用仪器名称)。
3. 原理摘要。在理解实验原理的基础上,用自己的语言简要地写出测量某物理量,进行某种研究所依据的主要原理、方法及主要公式,包括原理图、线路图或光路图,并要有说明。公式中的各物理量的意义以及公式的简化、适用条件也要说明(请学生注意既不要照抄教材,也不要寥寥数语,上述每项内容在原理部分中必须体现)。

完整的实验报告要包括如下内容:

实验预习报告的(1)至(3)部分直接作为实验正式报告的前三部分(在预习时学生直接写在报告纸上)。

4. 实验步骤(实验内容)。要求写出仪器的主要调整方法和测量技巧,不要照抄教材的操作步骤,一定要反映实际的操作过程。

5. 数据处理。包括实验数据表格,原始记录不能代替报告的数据表。要有数据计算的主要过程(列出公式、依据公式代入数据、结果)、图表和最后结果的误差分析。要认识到,科学研究的最后结果不是产生在测量之后,而是产生在对测量数据的分析处理之后。特别需要指出的是,学生往往只重视结果“值”是什么,而忽略结果的不确定度、结果的适用范围,而这才是科学研究与工程测量中更为重要的实验结果的一部分。

6. 实验小结。小结内容范围很广。可以发表自己的见解;对观察到的实验现象进行分析,对结果与误差原因进行分析;也可以对实验方法提出改进意见,谈一下自己设计的实验方案;还可以谈自己通过实验在科学素养锻炼方面的体会。

7. 由教师签字的实验原始记录。

绪 论

大学物理实验是理工类专业学生进入大学后首先要学习的实验课程。本课程教学的基本目的是培养与提高学生的科学素养和能力,使学生受到系统的物理实验基本知识、实验方法、实验技能的训练。在教学改革的新形势下,物理实验的目的与作用的新内容是培养学生的创造意识与创新能力。这里说的科学素养主要是指科技工作者应具备的科学的 worldview、在科学的方法论指导下的研究方法、高尚的职业道德、正确的科学价值观和优秀的心理素质等。人们获取的知识与掌握的技能,通过内化而形成科学素养。而科学素养又在人们的科学活动中很自然地起着指导和规范人们行为的作用。在培养适应知识经济时代的工程技术人员的过程中,物理实验课的作用是什么课程都不可替代的。

物理学的知识,它的 worldview、思维方式及研究方法,一直在优秀人才的身上发挥着重要作用。现代高技术的发展没有一项不与物理学发展有着直接的或间接的联系。而物理实验又是物理学发展的基础。

物理学研究的是以认识物质世界的基本属性,研究物质运动的基本规律为对象。自然界由运动着的物质组成,从宏观到微观,物理学研究各种物质的存在形式,如电磁场是物质,光是物质,等等。物理学还研究物质的客观属性,如物质运动的基本形式与规律及其互相转换的条件。观察与实验是科学研究的基本方法,物理实验的基本任务是测量,不论是直接的还是间接的,都是观察的定量反映,这也是认识物质世界最基本的方法。

随着人们认识的不断加深,真理的绝对性与认识的相对性在实验测量值的认识上有了具体的表现。真值是客观存在的,只能接近而永不能达到。测量值的精度可以随着技术的发展、仪器的更新不断得到提高,但客观真值是达不到的。人们对客观世界的认识就是如此。相对论及量子理论出现后,人们对物质世界又有了新的认识,也说明了这一点。

物理实验不仅是技能的训练,更重要的是科学世界观的培养。在整个学习过程中,学生应通过测量方法的学习、实验仪器的使用、实验条件的建立、实验结果的分析,培养科学的唯物主义的世界观。科学的研究方法对科学发现与发明起着重要作用,科技工作者应从唯物主义的方法论出发指导自己的研究。因此,学生应注意培养自己的这种科技工作者应具备的基本素养。

每一个物理实验都包含着矛盾的对立统一。做实验就是解决矛盾,在实验中不仅仅要解决具体问题,更重要的是要熟悉观察实验的方法,掌握抽象、假说、数学和逻辑等自然科学研究的一般方法,掌握物理实验中具体的研究方法,学习实验的设计思想与设计路线,研究问题的各种基本方法,这是物理实验的关键。如在改表实验中的替代法、在拉伸法测金属丝的杨氏模量实验中的光放大法、在电磁学实验中的电信号放大法、在电位差计实验中的补偿法、在声速测量实验中的干涉法及比较法、在非电量测量实验中声、光、热、力的转换测量法、

在模拟法测静电场实验中的模拟法、在示波器实验及某些近代物理实验中的动态测量法,这些都是具体的实验方法。此外还有实验数据处理的基本方法,如:数字平均法、最小二乘法、分组求差法等。

在实验中还要锻炼学生与他人合作的精神、克服挫折的心理准备、选择与批判的能力、独立判断能力、文学修养等。学生要注重培养自己的实事求是的科学态度和严肃认真的工作作风。实事求是就是既要客观地反映研究的结果,又要从实际出发,灵活、务实地处理问题。

一、物理实验课的目的与任务

1. 进行实验现象的观察与分析的训练,学习基本物理实验方法与技术、常用物理量的测量、常用仪器的使用,使学生了解并掌握物理实验的一些基本知识,加深对物理学基本原理的理解,学会物理实验的一些基本技能,掌握物理实验的基本方法,如比较法、补偿法、替代法、放大法、转换测量法、模拟法等。

2. 培养与提高学生在实验中提出和发现问题、分析问题的能力以及独立实验的能力。能够阅读实验教材、理解实验的基本原理与内容,能借助教材或仪器使用说明书正确使用常用仪器,能正确取得实验数据。掌握误差理论的基本知识,掌握有效数字运算及数据处理的方法。绘制图标、曲线,能分析、说明实验现象与结果,能简单地分析误差,写出简明扼要的实验报告。

3. 培养与提高学生的科学实验素养。培养学生理论联系实际、实事求是的工作作风,严肃认真的工作态度,不怕困难、勇于探索的精神和遵守纪律、爱护公共财物、相互协作的优良品德。爱护仪器设备,遵守实验室各项规章制度和实验操作规程,维护实验室整洁卫生。

二、物理实验课的教学要求与学习方法

大学物理实验分三个步骤进行:

(一) 课前预习

课前预习是做好实验的前提。在实验之前应仔细阅读教材和相应的参考资料及利用校内实验预习系统进行模拟仿真预习,明确实验依据的原理、要点,实验方法、特点,所用仪器装置大致结构及操作要点,重点是实验原理及实验方法的理解与掌握,对实验过程要有了解。在这个基础上,用自己的理解写出预习报告,报告要求见“学生物理实验必读”第二节。实验原理要简单明了,既要叙述清楚原理、内容、主要公式、原理图、电路图、光路图等,又要避免照抄教材,否则就达不到预习的目的。

思考题要认真预习,经思考仍不清楚的问题留在实验中加以解决。

(二) 课堂实验

实验是中心环节。实际操作前要认真听指导教师讲解重点和难点,熟悉各种仪器的使用方法和操作规程,记录实验条件(如日期、同组人姓名、气压、湿度、温度等),然后按实验内容及步骤进行实验。实验中,应仔细观察实验现象,如实、正确地记录实验数据,不允许随意涂改数据,更不允许抄袭他人的数据。所谓正确,是指按要求记录有效数字。学生要发挥自己的主观能动性,遇到疑难问题或出现故障时,首先应自己分析解决,解决不了时,应及时请教师指导。学生应独立完成实验,不提倡在操作过程中每一步都机械地对照讲义完成实验,要做到这些必须在预习时对实验过程有一个全面的了解。

(三) 课后完成实验报告

善于对自己的工作做总结,才会有所收获,才能提高。实验报告是对实验结果全面评价的书面总结,是积累知识和进行学术交流的依据,是实验不可缺少的重要环节。实验报告应对原始数据进行处理,得出实验结果,并对实验结果进行评价、分析和讨论。分析和讨论的对象包括实验现象、误差原因及对实验结果的影响、实验方法的改进、个人心得体会和见解等。报告中注意数据处理是关键,最后实验结果的有效数字、误差(或不确定度)要正确表示。

第一章 物理实验的基本测量方法和基本技术

科学的研究方法对科学发现与发明起着重要的作用。我们不仅要学会观察、实验、抽象、假说、数学和逻辑方法等自然科学的一般方法,也要掌握物理实验中的基本的测量方法,学习实验的设计思想与设计路线及基本的实验技术。

第一节 物理实验的基本测量方法

物理实验方法即是以一定的物理现象、物理规律和物理学原理为依据,建立合适的物理模型,研究各物理量之间关系的科学实验方法。不论是精典的还是现代的物理实验都离不开定量的测量和计算,所以实验方法通常指测量方法与数据处理方法这样两个方面。

物理实验的基本任务是测量。由于测量内容的广泛,故带来测量方法繁多。按被测内容划分,可分为电量测量和非电量测量,电量包括电流、电压、功率及电路参量、电阻、电容、电感等,非电量如温度、压力、速度、加速度、位移、质量、应变等。按被测物理量随时间变化来划分,可分为静态测量和动态测量。概括起来,物理实验就是以物理理论为依据,配以适当的实验装置和实验技术进行测量,在获取实验数据后,选择适当的处理方法进行处理,最后得到实验结果。

这里只概括介绍物理实验中常用的几种基本测量方法。

一、比较测量法

1. 直接比较法

直接比较法是将待测量与经过校准的仪器或量具进行直接比较,测出其量值。如米尺测量长度就是最简单的直接比较法。直接比较法的特点:① 待测量与标准量的量纲相同,例如用米尺测量某物体的长度,同为长度的量纲。② 待测量与标准量直接进行比较,从而获得待测量的量值。③ 待测量与标准量的比较是同时发生的,没有时间的超前与滞后。

2. 间接比较法

对于某些无法直接比较的物理量,通常借助于一个中间量,或将待测量进行某种变换,来间接实现比较测量,这就是间接比较法。例如安培计,是利用电磁力矩与机械力矩平衡时,电流大小与安培计指针偏转量之间具有一定对应关系的原理制造的,在测量时,安培计指针的偏转能间接地通过比较测出电路中的电流强度。

数字式电压表的核心——双积分式模/数(A/D)转换器,也是采用间接比较法。它是利用不同电压对电容的充放电时间不同这一原理,用计数器计数,并同一标准电压值比较,将电压的测量转为间接对时间的测量。测出的时间(计数)值就是电压值。

二、平衡法

平衡状态是物理学的一个重要概念。在平衡状态下,许多复杂的物理现象可以采用简

单方法描述,而复杂的函数关系也可变得比较简明,由此就便于进行定量和定性的分析。

利用平衡状态测量待测物理量的方法,称为平衡法。例如用天平称物体质量是一种平衡测量。又如用惠斯通电桥测量电阻 R_x ,也是一种平衡测量,由于当电桥平衡时电流计指示为零才能得出

$$R_x = (R_1/R_2)R_3$$

的关系而测出 R_x 。

三、补偿法

根据某一测量原理,在提供一种可调的标准来抵消待测物理量所显现的作用的条件下,对待测物理量进行测量的方法,称为补偿法。用电势差计测电池电动势的实验,是补偿测量的典型范例。在该实验中,待测电池电动势 E_x 被电势差计上 V_{AC} 所补偿,从而得到待测电动势 E_x 值。关于电势差计测量电池电动势的详细内容见“电势差计测电动势”实验。

由于电桥与电势差计实验均以电流计的指针指示零时获得测量结果,所以也称为零示测量法。零示测量最大的优点是:判别平衡与否,仅决定于电流计的灵敏度,而与它的精确度无关。这样在选择仪器时,只需考虑其灵敏度,而不用考虑精确度,这给仪器选择提供了较大余地。

四、放大测量法

为了适应各种范围内的精密测量,把待测物理量按一定的规律加以放大,再进行测量,这就是放大法。广义的放大,包括倍数小于1的,即缩小。放大法从其原理上可分为:积累(或累计)放大、光学放大、电子学放大等。

1. 积累(或累计)放大法

如果测量仪器达不到精度要求,常采用在时间或空间上累计的方法以减小测量的相对误差。例如用单摆测重力加速度实验,要用秒表测单摆摆动的周期,如果所用计数器的仪器误差为0.1 s,单摆周期约为1 s,则测量单个周期时间间隔的相对误差为10%,若测50个周期的累计时间间隔,则相对误差为0.2%,就提高了测量的精度。这属于“时间”累计。

又如测量干涉条纹间距时,若其条纹间距的数量级为 10^{-2} mm,为了减小测量的相对误差,一般不是一个间隔一个间隔地去测量,而是测量若干个,例如条纹间距为 $l=0.050$ mm,所用量具误差为 $\Delta l=0.005$ mm,则测量一个间距 l 的相对误差为10%;若采用放大法测量100个条纹的总间距,即 $L=5.000$ cm,这样相对误差便减小到0.1%,使测量精度大为提高。这属于“空间”累计。

2. 机械放大法

利用机械部件之间的几何关系,使标准单位量在测量过程中得到放大的方法,称为机械放大法。机械放大法可以提高测量仪器的分辨率,增加测量结果的有效数字位数,例如螺旋测微计利用螺杆鼓轮(微分筒)机构,使仪器的最小刻度从1 mm变为0.01 mm,从而提高测量精度。

3. 光学放大法

光学放大法大体分为两种,一种是将被测物通过光学仪器形成放大像,以便于观察判别。例如用测微目镜或移测显微镜观察被测对象等;另一种是通过测量放大的物理量来获得本身较小的物理量。例如在拉伸法测金属丝的杨氏模量与线胀系数测量实验中,是采用测量长度微小变化的光杠杆镜尺法(详细内容参见这两个实验)。不仅如此,一些测量仪器

也是利用光学平面镜多次反射来延长光程进行测量的,如冲击电流计、光点复射式检流计就是将在悬丝上的平面镜的微小转角经平面镜的几次反射放大为光斑的大的位移。有时为了尽可能放大被测位移(长度)如测量激光束的发散角,常采用如图 1-1-1 所示的平行平面镜装置,使较小发散角的激光束在两镜间多次反射后射出,再测量其光斑大小。

4. 电子学放大法

在对微弱电信号进行观察、测量的实验中,常用到电子学放大法。图 1-1-2(a)所示的共发射极三极管放大电路就是最基本的交流信号放大电路。

在图 1-1-2(a)所示的电路工作时,交流电压 U_i 由基极 B 和发射极 E 之间输入,在输出端可获得放大一定倍数的交流电压 U_o 。其基本原理是利用半导体 PN 结形成的基极对集电极电流的控制作用。三极管是由两个 PN 结构成,如图 1-1-2(b)所示,通过基极电流的微小变化引起集电极电流很大的变化,从而实现电信号的放大作用。根据电子学,有电压放大、电流放大、功率放大。目前用来在电路中对电信号进行放大的元件发展很快,在许多场合已不再是简单的三极管电路了,特别是对微弱信号放大,已普遍采用集成放大电路,如专门用于弱信号放大的仪器放大器、高精度运算放大器等。

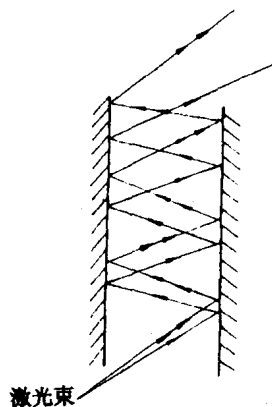


图 1-1-1

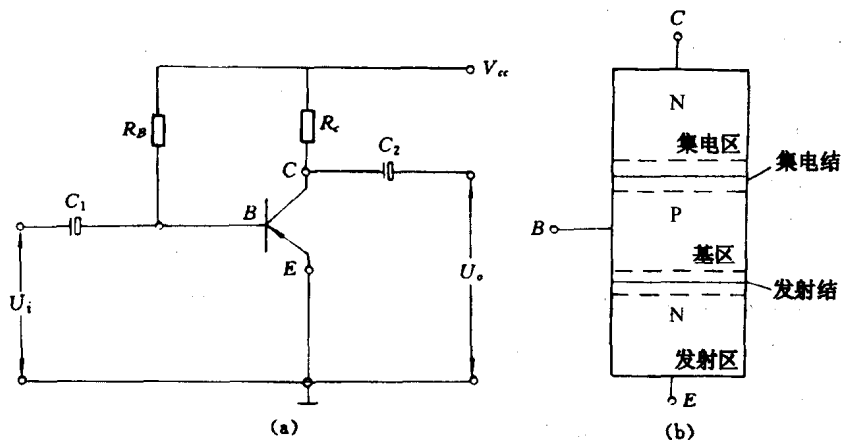


图 1-1-2

五、转换测量法

转换测量法是利用物理量之间的各种效应和定量函数关系通过变换原理进行测量的方法。通常转换测量法的测量都是将不能直接测量的物理量转为用已有仪器可以测量的物理量。由于物理量之间存在多种效应,所以有各种不同的换测法,随着科学技术的发展,物理实验方法渗透到各学科领域,实验物理学也逐步向高精度、宽量程、快速测量、遥感测量和自动化、智能化测量方面发展,这一切都与转换测量紧密相关。

换测法大致可分为参量换测法和能量换测法两大类。

1. 参量换测法