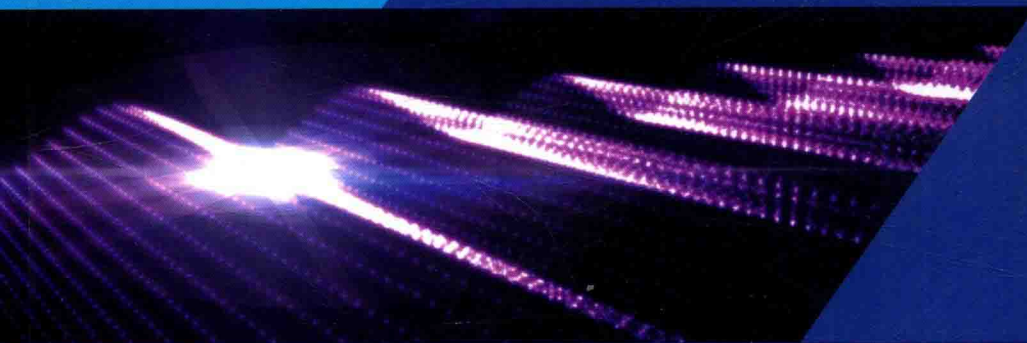


物理学基础及应用丛书

数字化物理实验 设计与案例

丁益民 编著



科学出版社

物理学基础及应用丛书

数字化物理实验设计与案例

丁益民 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书立足于高等学校创新型人才培养的新要求,从物理创新性实验设计的角度出发,以案例的形式介绍利用数字仿真技术、数字传感技术和智能手机传感技术进行物理实验的数字化设计的方法。本书主要包括物理实验设计与研究概述、测量与不确定度、数字化实验数据处理方法、数字化实验设计方法、数字模拟创新性实验案例、数字传感创新性实验案例、手机传感创新性实验案例和物理实验论文案例,共计8章。

本书可作为物理课程与教学论专业硕士研究生的物理实验设计与研究教材,也可作为高等学校理工科各专业高年级本科生的大学物理实验教材,还可供广大中学、大学物理教师及社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

数字化物理实验设计与案例/丁益民编著. —北京:科学出版社, 2017.8

(物理学基础及应用丛书)

ISBN 978-7-03-054142-0

I. ①数… II. ①丁… III. ①物理学—实验—高等学校—教材
IV. ①O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第194425号

责任编辑:高 嵘 焦惠丛/责任校对:彭珍珍

责任印制:彭 超/封面设计:苏 波

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年8月第一次印刷 印张:11 3/4 插页:1

字数:277 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

进入 21 世纪以来, 社会对人才的综合素质与创新能力提出了更高的要求, 然而我国目前高等学校在培养学生的创新意识、创新精神和实践能力等方面还存在明显不足, 因此开展对创新型人才培养的研究具有重要的意义。创新教育以培养人的创新精神和创新能力为基本价值取向。创新教育的方式有多种, 其中, 以物理实验教学为载体的创新教育, 是培养学生创新精神和创新能力的一条重要途径。

本书以培养学生创新能力为目的, 从物理创新性实验设计的角度出发, 以案例的形式介绍利用数字仿真技术、数字传感技术和智能手机传感技术进行物理实验的数字化设计的方法。将数字技术引入到大学物理实验教学中, 引导学生在实验教学中发现问题, 并采用信息技术的手段对物理问题进行研究, 对物理实验进行改进, 既有利于改进实验设备, 也有利于培养学生的创新能力。本书在编写上具有以下特点。

(1) 定位独特。本书定位为普通高等院校师范专业物理课程与教学论学术型硕士和学科教学/物理教育专业硕士的专用教材, 也可供本科高年级学生创新性实验教学使用。

(2) 突出创新。书中的创新性实验案例大多是由作者及指导的学生已发表的实验研究论文成果提炼而成, 每个实验案例都具有一定创新性。

(3) 渗透信息技术。书中将信息技术与物理实验教学进行全方位的整合, 特别强调计算机仿真和数字传感器在物理实验中的应用, 可培养学生利用信息技术改进物理实验的能力。

本书分为物理实验设计与研究概述、测量与不确定度、数字化实验数据处理方法、数字化实验设计方法、数字模拟创新性实验案例、数字传感创新性实验案例、手机传感创新性实验案例和物理实验论文案例, 共计 8 章。本书主要由丁益民编写, 在编写过程中, 得到了湖北大学物理与电子科学学院领导周斌院长、杨昌平副院长及物理系各位老师的支持和帮助。物理系研究生徐春芳、王浩然、胡琪珩等, 本科生金驰名、颜建、周欢等在实验案例研究方面也做了大量工作, 在此表示衷心感谢。限于编者水平和能力, 书中难免存在疏漏和不妥, 敬请读者批评、指正。有任何问题请通过电子邮件与我们联系: dymhubu@sina.com。

编著者

2017 年 5 月

目 录

前言	
第一章 物理实验设计与研究概述	1
第一节 物理实验的作用和地位	1
第二节 创新人才培养与创新性物理实验	2
第三节 物理实验研究的基本程序	3
第四节 物理实验测量方法	4
第五节 物理实验研究论文的撰写	9
参考文献	11
第二章 测量与不确定度	12
第一节 测量	12
第二节 误差	14
第三节 不确定度和测量结果的表示	20
第四节 实验数据的处理方法	26
参考文献	32
第三章 数字化实验数据处理方法	34
第一节 用 Excel 软件处理实验数据	34
第二节 用 Origin 软件处理实验数据	39
第三节 用 MATLAB 软件处理实验数据	44
参考文献	51
第四章 数字化实验设计方法	52
第一节 基于 MATLAB 的物理模拟实验设计	52
第二节 基于 DISLab 的物理实验设计	61
第三节 基于智能手机的物理实验设计	68
参考文献	76
第五章 数字模拟创新性实验案例	77
实验一 利用 MATLAB 模拟点电荷系的电场线和等势面	77
实验二 基于 MATLAB 带电线段电场线和等势线的模拟	82
实验三 基于 MATLAB 的光的单缝衍射实验模拟研究	85
实验四 基于 MATLAB 的 GUI 功能的机械波模拟	90
实验五 基于 MATLAB 的 GUI 功能的多光学现象仿真	95
实验六 基于 MATLAB 的 GUI 功能的 α 粒子的散射实验模拟	100
第六章 数字传感创新性实验案例	104
实验七 基于 DISLab 平抛运动实验的改进	104

实验八 用 DISLab 研究斜抛运动	108
实验九 用 DISLab 位移传感器测量重力加速度	113
实验十 基于 DISLab 电容充电法速度的测量	118
实验十一 基于 DISLab 瞬时速度连续性的测量研究	122
实验十二 风速测量实验的设计与探究	127
实验十三 利用 DISLab 温度传感器测金属比热容	131
实验十四 基于 DISLab 温度传感器的导热系数测定	136
第七章 手机传感创新性实验案例	141
实验十五 利用智能手机传感器研究简谐振动	141
实验十六 利用智能手机研究气垫导轨上的阻尼振动	144
实验十七 利用智能手机测定重力加速度	148
实验十八 利用智能手机测定刚体的转动惯量	152
实验十九 利用智能手机验证牛顿第二定律	156
实验二十 利用智能手机测量声波的波长	160
第八章 物理实验论文案例	166
论文案例一: 用 DIS 位移传感器研究气垫导轨上的阻尼振动	166
论文案例二: 基于 MATLAB 软件 GUI 功能的机械波模拟	172

彩图

第一章 物理实验设计与研究概述

第一节 物理实验的作用和地位

物理学是研究物质世界最基本的结构、最普遍的相互作用和最一般的运动规律的科学。物理学是以实验为基础的科学，实验是物理学的基础，无论是物理概念的产生，还是物理规律的发现，都是建立在严格的科学实验基础上的，同时，建立起来的理论正确与否也必须通过实验来验证。因此，物理实验在物理学的发展过程中起着重要的作用。下面从两个方面用实例进行说明。

一、物理实验为物理规律的发现打下坚实的基础

真正把科学实验方法引入到物理学研究中的是 16 世纪的意大利物理学家伽利略，为了彻底否定亚里士多德关于速度与外力成正比等错误的运动学理论，伽利略做了著名的比萨斜塔实验后又做了斜面实验。在设计思想巧妙的斜面实验中，他把当时难以直接测量的速度和时间的关系，转化为路程和时间的关系，并通过实验的研究和数学推理得到反映匀加速直线运动重要特性的时间平方定律，从而断定斜面运动是匀加速直线运动；在改变斜面倾斜度实验时获得同样的定律，推断自由落体运动也是匀加速直线运动，从而揭示自由落体运动之谜。可见物理规律的发现是以物理实验为基础的。

二、物理理论的正确性需通过物理实验进行验证

1924 年法国人德布罗意在光波具有微粒性的启发下，明确提出实物粒子具有波动性，即通常人们所说的“波粒二象性”。假设粒子能量为 E ，动量为 p ，同时伴随着物质波的频率为 ν ，波长为 λ ，则它们之间的关系为 $E = h\nu$ ， $p = h/\lambda$ 。这是一个大胆而伟大的假设，伟大的物理学家爱因斯坦，对此给予充分的肯定，他称这是照亮我们最难解开的物理学之谜的第一缕微弱的光，并提名德布罗意获诺贝尔物理学奖。要强调说明的是，德布罗意本人当时指出，可以通过电子在晶体的衍射实验来证明上述假设。果真在 1927 年，美国科学家戴维孙和革末用被电场加速的电子束打在镍晶体上，算出电子束动量对应的物质波长与在晶体光栅上衍射极大值对应波长的关系，证实了德布罗意关于 p 、 λ 间的假设关系成立。最终德布罗意的假设得到公认，他本人也获得了 1929 年的诺贝尔物理学奖。这一历史事实雄辩地说明了实验结果在物理理论的确立中所占有的重要地位和所起的关键作用。

由于物理实验在物理学的重要地位，引人注目的诺贝尔奖常常颁给在物理实验中有重大发现的人。在诺贝尔物理学奖中，从 1901 年第一次授奖至今已有百余年的历史，有 160 余名获奖者。其中因实验物理学方面的伟大发现或发明而获奖的占三分之二以上，如 1901 年，首届诺贝尔物理学奖得主德国人伦琴，他因发现 X 射线而获奖；1902 年的得主是荷

兰塞曼,他在 1894 年发现光谱线在磁场中分裂的现象;1903 年的得主是法国人贝克勒尔和居里夫妇,他们发现了天然放射性元素镭,由此成为核物理学的奠基人。由此看出,这些实验方面的发现已被公认为是物理学发展中的最伟大的成就。可见实验物理在物理发展中的地位是多么重要。

总之,没有物理实验就没有物理学的发展,正是由于实验手段的不断进步、实验精度的不断提高、实验设计思想的巧妙创新等,人类才在认识自然界的历程中不断前进,不断攀上更高的山峰。

第二节 创新人才培养与创新性物理实验

一、创新人才培养

进入 21 世纪以来,社会对创新人才培养提出了更高的要求。创新人才,是指具有创新性思维,在任何工作上都能够创新性地开展工作、创新地解决问题,开拓工作新局面的人才。如何培养创新型人才,目前还没有统一的说法,原北京师范大学校长钟秉林的观点,值得我们思考:

(1) 创新人才培养和成长的基础是人的全面发展。创新人才是具有创新思维和创新能力的并能够取得创新成果的人才,这就要求创新人才必须具备以下几个基本素质:一是深而广的知识基础;二是以创新思维和创新能力为特征的智力和能力;三是以创新精神和创新意识为中心的自由发展的个性;四是积极的人生价值取向和崇高的献身精神;五是国际化视野和竞争意识;六是强健的体魄和健康的心理。

(2) 大学是创新人才培养的重要基地,学校教育是创新人才培养的核心因素。一个年轻人的大学生活,是创新人才成长的关键阶段,但不是创新人才培养的全部。创新人才培养和成长与基础教育、家庭教育和社会发展环境密切相关,而创新成果往往又是在他们大学毕业之后,在工作实践中显现出来的。因此,学校、家庭和社会要明确各自在创新人才培养中的职责,形成合力,为创新人才培养创造条件。

(3) 创新人才培养要多样化。创新人才的类型和培养方式是多种多样的。创新人才既包括学术型人才、应用型人才和技能型人才,也包括高职、本科、硕士、博士等层次。因此,创新人才的培养要多样化。不同类型、不同行业、不同层次的创新型人才的培养不能一刀切,人才培养的目标和标准要多样化、人才培养的模式要多样化、课程体系和教学内容要多样化。

二、创新性物理实验

创新性物理实验是以培养学生创新能力为目的的物理实验形式。创新性物理实验不同于物理科学实验,它是以教学为目的,其目标一般不在于探索,而在于培养人才。它是大学物理实验课程的最高层次。创新性实验与其他层次的实验有一定区别,主要表现在以下几个方面:

(1) 实验内容的不确定性。创新性实验与基础性实验和综合性实验的不同之处是实验的内容是不确定的。实验课题的选择既可以由实验教师提出,也可以由学生在实验过程自己发现问题并提出。实验课题即使确定了,在实验的探究过程中,很多具体实验内容有可能会根据不同的情况,作适当调整,表现出明显的不确定性。

(2) 实验方式的开放性。创新性实验内容的不确定性使得其教学方式不能采用课表式的固定教学方式,而必须采取相对灵活的开放式教学方式。我校开展创新性实验教学主要采用以下两种形式:其一是开设“创新性实验”选修课,一般采用 32 学时左右的弹性学时,学生在创新性实验课中自主选择实验课题,进行探究式学习。其二是以“项目研究”的形式,学生用课外时间,在教师的指导下自主约定时间到实验室进行实验研究。学生在“项目研究”中取得一定的研究成果,可认定为选修了一定学分。

(3) 实验方法的探究式。创新性实验采用“探究式”教学方法,其教学流程依次为提出问题、文献检索、设计实验、实验研究和撰写论文。探究式教学法不仅提高了学生的问题意识,还使学生信息检索、文献阅读、实验设计以及论文写作等多方面的能力得到培养。

第三节 物理实验研究的基本程序

创新性物理实验教学采用探究式教学的方式。它的特点是学生在教师的指导下自主地提出问题、独立地设计实验方案并以小组合作的方式完成实验研究并得出实验结论。创新性实验研究的过程一般包括以下几个方面。

一、确定研究课题

实验课题的选择是实验研究的首要任务,创新性实验的选题既要具有科学性、创新性和实用性,还要考虑实现的可能性。研究性课题的选择往往是在教师的指导下,由学生自主选择的。这不仅要求教师要把握科学需求和研究趋势,同时还要考虑学生的实际,注意把握好课题的难度。过难或过易的研究课题对学生的研究性活动会带来不利的影响。实验课题的选题也不是一成不变的,考虑到研究的创新性,课题选择一定要与文献调研相结合,调研结果可能会进一步修改正在研究课题的任务与目标。

二、调研课题文献

确定研究课题后,就要查阅课题相关文献进行调查研究。调查的内容主要有:在该课题研究方面国内外有哪些研究者,已经做了哪些研究工作,这些工作包括哪些方面、有何优缺点,当前最好的方法已经做到什么程度,还有什么问题没有解决,目前的发展趋势是什么等。文献调研是科学研究中至关重要的一步,如果调研不够充分,就会导致重复了别人的工作,浪费时间和精力。在调研过程中还要注意坚持独立思考,保持自己独立观点,不要被文献资料束缚了自己的思想。

三、设计实验方案

设计实验方案是实验研究的关键步骤,在大量调研的基础上,作出研究的总体计划、选择研究的突破口和切实可行的技术路线。实验方案包括研究的理论依据、建立的物理模型、确定的实验方法、选择的实验仪器与测量工具等。同时实验方案还要与数据处理方法以及误差分析相结合,使实验方案具有先进性、预见性和可行性。

四、进行实验研究

创新性实验往往不是一次就能完成的,理论上可行的实验方案在实际操作中并不一定能够成功。实验中要注意运用理论指导实践,有针对性地运用各种测量方法减小实验的系统误差。在实验过程中还要仔细观察、认真分析,并根据具体情况及时调整实验方案,以期达到最好的实验效果。实验数据的记录一定要客观、真实,要养成实事求是的工作作风。

五、分析实验结果

对记录的大量实验数据进行认真的整理和分析,可以用表格、图像、照片等分析总结实验结果。对于主要的实验结果,要仔细分析,探讨所得结果与研究目的或假设的关系以及与他人研究结果的差异。对研究结果进行解释,并分析研究结果的重要意义。

六、撰写实验论文

根据实验研究的数据与结果,撰写实验报告或实验研究论文,对实验研究成果进行总结。好的实验研究论文经教师修改后可考虑在国内外物理实验教学期刊上发表。

第四节 物理实验测量方法

任何物理实验几乎都离不开对物理量的测量。物理测量泛指以物理理论为依据,以实验装置和实验技术为手段进行测量的过程。在物理实验过程中,把具有共性的测量方法叫做物理实验中的测量方法。掌握物理实验中基本的测量方法、常用物理量的测量仪器的使用,对培养学生的科学素养、工程技术意识与科研能力都有着重要的意义。本节将介绍物理实验中基本的测量方法和常用物理量的测量。

一、比较法

比较法是将相同类型的被测量与标准量直接或间接地进行比较而得到测量值的方法。

它是物理测量中最基本、最常用、最重要的测量方法。比较法可分为直接比较法和间接比较法。

1. 直接比较法

直接比较法是将被测量与同类物理量的标准量具进行比较,直接读数得到测量数据。例如,用米尺直接测量某一物体的长度时,米尺的最小分度毫米,就是作为比较用的标准单位。在测量过程中,指示标记的位移在标尺上相应的刻度值就表示出被测量的大小。由于这种测量过程简单方便,在物理量测量中的应用较广泛。

2. 间接比较法

多数物理量难于制成标准量具,无法通过直接比较法测出,当一些物理量难以用直接比较测量法测量时,可以利用物理量之间的函数关系将被测量与同类标准量进行间接比较测出其值。这种借助于中间量或将被测量进行某种变换来间接实现比较测量的方法称为间接比较法。例如,用李萨如图形测量交流电信号的频率,就是先将被测信号和标准信号同时输入示波器转换为特殊的图形,再由标准信号的频率换算出被测信号之频率。用示波器测量直流电压、交流电压和非正弦波的电压,也都采用间接比较测量的方法。

二、放大法

在物理实验测量中常遇到一些微小物理量,用给定的某种仪器进行测量往往带来很大误差,甚至无法直接测量。为提高测量精度,常需要采用合适的放大方法,选用相应的测量装置将被测量进行放大后再进行测量,这种方法称为放大法。放大法包括累计放大法、机械放大法、光学放大法、电子电路放大法等。

1. 累计放大法

在被测物理量能够简单重叠的条件下,将它延展若干倍再进行测量的方法,称为累计放大法。例如,在转动惯量的测量中,用秒表测量三线扭摆的周期时,不是测一次扭转周期的时间,而是测出连续40次扭转周期的总时间 t ,再用 $T=t/40$ 算出三线扭摆的周期。

累计放大法的优点是在不改变测量性质的情况下,将被测量扩展若干倍后再进行测量,从而增加测量结果的有效数字位数,减小测量的相对误差。在使用累计放大法时,应注意两点:一是在扩展过程中被测量不能发生变化;二是在扩展过程中应避免引入新的误差因素。

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。螺旋测微放大法是一种典型的机械放大法。螺旋测微计、读数显微镜等的测量系统的机械部分都是采用螺旋测微装置进行测量的。常用的读数显微镜的测微丝杆的螺距是

1mm, 当丝杆转动一圈时, 滑动平台就沿轴向前或后退 1mm, 在丝杆的一端固定一测微鼓轮, 其周界上刻成 100 分格, 因此当鼓轮转动一分格时, 滑动平台移动了 0.01mm, 从而使沿轴线方向的微小位移用鼓轮圆周上较大的弧长精确地表示出来, 大大提高了测量精度。

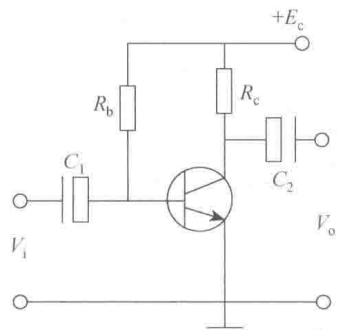
3. 光学放大法

常用的光学放大法有两种: 一种是使被测物通过光学装置放大视角形成放大像, 便于观察判别, 从而提高测量精度。例如, 常用的测微目镜、读数显微镜等, 这些仪器在观察中只起放大视角作用, 并非把实际物体尺度加以变化, 所以并不增加误差。另一种是使用光学装置将待测微小物理量进行间接放大, 通过测量放大的物理量来获得微小物理量。如在“用拉伸法测金属丝的杨氏模量”实验中, 利用光杠杆原理把被测长度的变化加以放大, 使得该量的测量能够较精确。光杠杆原理已被广泛应用于其他测量仪器或测量技术中, 许多高灵敏度的电表, 如灵敏电流计、冲击电流计、光点检流计等, 都应用了光杠杆的放大原理。

4. 电子电路放大法

在物理实验中往往需要测量变化微弱的电信号(电流、电压或功率), 微小的电流或

电压常用电子放大器放大后才能有效地进行观察、控制和测量。如光电效应法测普朗克常量实验中, 就是将十分微弱的光电流通过微电流测量放大器放大后进行测量的。电子放大作用是由三极管完成的。最基本的交流放大电路如图 1-1 所示, 当微弱信号 V_i 由基极和发射极之间输入时, 在输出端就可获得放大了一定倍数的电信号 V_o 。



三、平衡法

图 1-1 共射极晶体管放大电路

平衡态是物理学中的一个重要概念, 在平衡态下, 许多复杂的物理现象可以以比较简单的形式进行描述, 一些复杂的物理关系亦可以变得十分简明, 实验会保持原始条件, 观察会有较高的分辨率和灵敏度, 从而容易实现定性和定量的物理分析。

所谓平衡态, 其本质就是各物理量之间的差异逐步减小到零的状态。判断测量系统是否已达到平衡态, 可以通过“零示法”测量来实现, 即在测量中, 不是研究被测物理量本身, 而是让它与一个已知物理量或相对参考量进行比较, 通过检测并使这个差值为“0”, 再用已知量或相对参考量描述待测物理量。利用平衡态测量被测物理量的方法称为平衡法。例如, 利用等臂天平称衡时, 当天平指针处在刻度的零位或在零位左右等幅摆动时, 天平达到力矩平衡, 此时物体的质量(作为待测物理量)和砝码的质量(作为相对参考量)相等。温度计测温度是热平衡的典型例子, 惠斯通电桥测电阻亦是一个平衡法的典型例子。

四、补偿法

补偿测量法是通过调整一个或几个与被测物理量有已知平衡关系（或已知其值）的同类标准物理量，去抵消（或补偿）被测物理量的作用，使系统处于补偿（或平衡）状态。处于补偿状态的测量系统，被测量与标准量具有确定的关系，由此可测得被测量值。补偿法往往要与平衡法、比较法结合使用。

如图 1-2 所示，两个电池与检流计串接成闭合回路，两个电池正极对正极，负极对负极相接。调节标准电池的电动势 E_0 的大小，当 E_0 等于 E_x 时，则回路中没有电流通过（检流计指针指零），这时两个电池的电动势相互补偿了，电路处于补偿状态，因此利用检流计就可判断电路是否处于补偿状态。一旦处于补偿状态，则 E_x 与 E_0 大小相等，就可知道待测电池的电动势大小。这种测量电动势（或电压）的方法就是典型的补偿法。

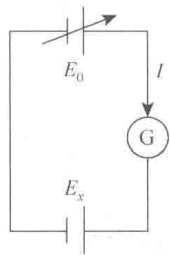


图 1-2 补偿法

由上可见，补偿测量法的特点是测量系统中包含有标准量具，还有一个指零部件，在测量过程中，被测量与标准量直接比较，测量时要调整标准量，使标准量与被测量之差为零，这个过程称为补偿或平衡操作。采用补偿法进行测量的优点是可以获得比较高的精确度，但是测量过程比较复杂，在测量时要进行补偿操作。在物理实验中，补偿法的应用十分普遍，常见的有温度补偿法、长度补偿法、电流（电压）补偿法、光程补偿法等。

五、模拟法

模拟法是指不直接研究自然现象或过程的本身，而用与这些现象或自然过程相似的模型来进行研究的一种方法。模拟法可分为物理模拟法和数学模拟法两类。

1. 物理模拟法

物理模拟就是人为制造的模型与实际研究对象保持相同物理本质的物理现象或过程的模拟。如为研制新型飞机，必须掌握飞机在空中高速飞行时的动力学特性，通常先制造一个与实际飞机几何形状相似的模型，将此飞机模型放入风洞（高速气流装置），创造一个与原飞机在空中实际飞行完全相似的运动状态，通过对飞机模型受力情况的测试，便可方便地在较短的时间内以较小的代价取得可靠的有关数据。

2. 数学模拟法

数学模拟是指把两个不同本质的物理现象或过程，用同一个数学模型来模拟。例如，在静电场的描绘实验中，静电场与稳恒电流场本来是两种不同的场，但这两种场所遵循的物理规律具有相同的数学形式，因此，我们可以用稳恒电流场来模拟难以直接测量的静电场，用稳恒电流场中的电势分布来模拟静电场的电势分布。

上述两种模拟法很好地配合使用，就更能见成效。随着计算机的不断发展和广泛应用，

用计算机进行模拟实验更为方便, 并能将两者很好地结合起来。

六、干涉法

应用相干波干涉时所遵循的物理规律进行有关物理量测量的方法, 称为干涉法。利用干涉法可进行物体的长度、薄膜的厚度、微小的位移与角度、光波波长、透镜的曲率半径、气体或液体的折射率等物理量的精确测量, 并可检验某些光学元件的质量等。

例如, 在著名的牛顿环实验中, 可通过对等厚干涉图样牛顿环的测量, 求出平凸透镜的曲率半径; 在迈克耳孙干涉仪的使用实验中, 应用干涉图样, 可准确地测定光束的波长、薄膜的厚度、微小的位移与角度等物理量。

共振干涉法是测量振动频率的重要方法之一。将一未知振动施加于频率可调的已知振动系统, 调节已知振动系统的频率, 当两者发生共振时, 则此已知频率即是该未知系统的固有频率, 如振簧式频率计的工作原理就是共振干涉法。

七、转换法

由于属性关系, 许多物理量无法用仪器直接测量, 或者即使能够进行测量, 但测量起来也很不方便, 且准确性差, 为此常将这些物理量转换成其他能方便、准确测量的物理量来进行测量, 之后再反求待测量, 这种测量方法叫转换法。最常见的玻璃温度计, 就是利用在一定范围内材料的热膨胀与温度的关系, 将温度测量转换为长度测量。

1. 转换法测量的作用

(1) 可以把不可测的量转换为可测的量。例如, 曹冲称象, 就是把不能直接测的大象的重量变成可测的石块的重量的这一转换法思想。

(2) 把不易测准的量转换为可测准的量。例如, 利用阿基米德原理测量不规则物体的体积, 即把不易测准的不规则物体的体积变成容易准确测量的浮力来测量。

(3) 用测量改变量替代测量物理量。例如, 金属丝杨氏模量的测定就是通过对金属丝长度的改变量 ΔL 的测量来进行的。

(4) 绕过一些不易测准的量。例如, 在综合实验中, 光电效应法测普朗克常量 h 利用了爱因斯坦的光电效应方程

$$V_s = \left(\frac{h}{e} \right) \cdot \nu - \frac{W_0}{e}$$

测出不同入射光频率 ν 对应的光电流截止电压 V_s , 作出 V_s - ν 关系直线, 由该直线的斜率可方便地求出普朗克常量 h , 而不必考虑金属表面的逸出功 W_0 究竟为多少。

2. 两种基本的转换测量法

(1) 参量转换法。

利用各种参量变换及其变化的相互关系来测量某一物理量的方法称为参量转换法。例

如,在拉伸法测金属丝的杨氏模量实验中,依据胡克定律,在弹性限度内,应力 F/S 与应变 $\Delta L/L$ 成正比,即

$$\frac{F}{S} = E \cdot \frac{\Delta L}{L}$$

其比例系数即为金属丝的杨氏模量。利用此关系式,将关于杨氏模量 E 的测量转换为应力 F/S 与应变 $\Delta L/L$ 的测量。又如重力加速度是通过单摆的长度与周期的幂函数关系来测量的。这方面的例子在物理实验中是很多的。

(2) 能量转换法。

能量转换法是指将某种形式的物理量通过能量变换器(也叫传感器)变成另一种形式的物理量的测量方法。一般来说是将非电学物理量转换成电学量。如把机械量转换为电学量的传感器(如压电换能器),把磁学量转换为电学量的传感器(如霍尔元件传感器),把光学量转换为电学量的传感器(如光电传感器,包括利用外光电效应、内光电效应的光电传感器),把热学量转换为电学量的传感器(如温差电偶)等。传感器在科学技术和非电量电测系统中占有非常重要的地位。

3. 转换法测量与传感器

转换法测量最关键的器件是传感器。传感器种类很多,从原则上讲所有物理量都能找到与之相应的传感器,从而将这些物理量转换为其他信号进行测量。

一般传感器由两个部分组成,一个是敏感元件,另一个是转换元件。敏感元件的作用是接收被测信号,转换元件的作用是将所接收的待测信号按一定的物理规律转换为另一种可测信号。传感器性能的优劣由其敏感程度以及转换规律是否单一来决定。敏感程度越高,测量越精确;转换规律越单一,干扰就越小,测量效果就越好。例如,在综合性实验中,用磁阻传感器测量地磁场,磁阻传感器就是一种磁电转换器件,其基本原理是霍尔效应和磁阻效应。在霍尔效应及其应用实验中,用集成霍尔传感器作探测器探测载流线圈的磁场,也是将磁学量的测量转换为电学量的测量来进行的。

传感器是现代检测、控制等仪器设备的重要组成部分,由于电子技术的不断进步,计算机技术的快速发展,传感器在现代科技与工程实践中的重要地位越来越突出,已成为一门新兴的科学技术。

第五节 物理实验研究论文的撰写

科研论文是科研成果的载体,是作者在某一科学领域中对某一课题进行潜心研究而获得的科研成果的认真表述。物理实验研究论文是科研论文的一种,它是物理实验研究成果的总结,对于一般的期刊论文通常由以下几部分组成。

一、引言

引言作为论文的开头,以简短的篇幅介绍研究工作的背景和目的、缘起和提出研究要

求的现实情况,以及相关领域内前人已做的工作和研究的现状,说明前人研究中存在的问题,以及本研究与前工作的关系,并简要介绍本文的研究设想、研究方法、预期结果和工作意义,引出本文的主题以引导读者。

引言要言简意赅。引言内容不要与摘要雷同,对于比较短的论文可以只用一小段文字表述,重点说明论文的研究目的、理论依据、实验基础和研究方法,简单阐述其研究内容,三言两语预示本研究的结果、意义和前景,但不必展开讨论。引言的目的是让对该领域并不是特别熟悉的读者能够了解进行这方面研究的意义、前人已达到的水平、已解决和尚待解决的问题,最后用一两句话说明论文的目的和主要的创新之处。

二、正文

正文是论文的核心部分,对于实验研究论文一般包括实验原理、实验装置、实验方法与具体步骤、实验数据与图表、实验结果与分析等。论文主体内容应包括以下三部分。

(1) 实验原理:对于实验研究论文,首先要说明的是实验原理。实验原理是指自然科学中具有普遍意义的基本规律,它是实验设计的依据和思路。实验原理是设计性实验的基础,只有明确实验的原理,才能真正掌握实验的关键、操作的要点,进而进行实验的设计、改造和创新。在实验原理的表述中还包括实验设计的整体思路和方法。

(2) 实验装置与步骤:依据实验原理和实验设计方案,选取适当的实验仪器绘制实验装置图,在此基础上设计实验方法和具体的步骤。

(3) 实验结果与分析讨论:以图像或表格等手段整理实验结果,并对实验结果进行分析、计算和讨论,包括通过数理统计和误差分析说明结果的可靠性、可重复性等;进行实验结果与理论结果的比较;实验结果部分的讨论;还有对研究内容及成果进行较全面、客观的理论阐述,要着重指出本研究内容中的创新、改进以及与前人研究的不同之处。

三、结论

结论是论文最终的、总体的结论。值得注意的是,它不是正文中各段的小结的简单重复,而是要经过进一步总结与提炼,归纳出论文的最终结论,结论应该准确、完整、明确、简洁。在结论中还可以提出论文中尚待解决的问题,并就进一步研究及应用前景进行讨论。

四、参考文献

在论文的最后列出撰写论文所参考引用的主要文献。列出论文参考文献的目的是让读者了解论文研究命题的来龙去脉,便于查找,同时也是尊重前人劳动,对自己的工作有准确的定位。因此这里既有技术问题,也有科学道德问题。参考文献应按照论文中引用出现的顺序依次列出,并加以序号,在正文引用处还须注明这个序号。

参考文献的具体格式各出版社有所不同,但总体来说,期刊类和书籍类的参考文献的

格式为：

(1) 期刊文献格式：[序号]主要责任者. 文献题名[J]. 刊名，年，卷（期）：起止页码.

(2) 书籍文献格式：[序号]主要责任者. 文献题名[M]. 出版地：出版者，出版年：起止页码.

参 考 文 献

丁益民，徐扬子. 2008. 大学物理实验：基础与综合部分[M]. 北京：科学出版社

汪静，迟建卫，等. 2015. 创新性物理实验设计与应用[M]. 北京：科学出版社

吴泳华，霍剑青，浦其荣. 2005. 大学物理实验（第一册）[M]. 北京：高等教育出版社

朱世坤，辛旭平，聂宜珍，等. 2010. 设计创新型物理实验导论[M]. 北京：科学出版社