



21世纪重点教材·物理学系列

设计性研究性 物理实验教程

沈元华 主编



复旦大学出版社

-33
22





设计性研究性 物理实验教程

主编 沈元华

编著 (以姓氏笔画为序)

陈元杰 陆申龙 马世红 马秀芳 童培雄

乐永康 赵天相 赵在忠 周子平 朱永强

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

设计性研究性物理实验教程/沈元华主编. —上海:复旦大学出版社,2004.6

ISBN 7-309-04024-4

I. 设… II. 沈… 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(2004)第 044876 号

设计性研究性物理实验教程

沈元华 主编

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 邮编 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65109143(邮购)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

责任编辑 梁 玲

装帧设计 马晓霞

总 编 辑 高若海

出 品 人 贺圣遂

印 刷 上海崇明裕安印刷厂

开 本 787×960 1/16

印 张 9.25 插页 2

字 数 202 千

版 次 2004 年 6 月第一版第一次印刷

印 数 1—3 100

书 号 ISBN 7-309-04024-4/O · 322

定 价 16.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本教程所涉及的是一种新型的物理实验, 这些实验要求学生自己设计实验装置, 并着重对实验结果进行分析和研究, 才能得出结果, 故称为“设计性研究性实验”。相对于传统的“测量性验证性实验”, 它是一种较高层次的实验训练, 是为培养学生独立从事科学研究工作而设计的。为此, 本实验教程与一般的实验教材不同, 它既没有实验原理、也没有实验步骤, 有的是一系列的问题、参考材料和实验要求。学生要在查找和阅读参考材料的基础上回答这些问题, 才能搞懂有关原理并自行拟出实验步骤来实现该实验的要求。通过这样的实验, 学生能深入理解物理原理, 提高自学能力、动手能力、设计能力, 以及分析问题、研究问题、解决问题的能力, 激发创新精神。

本教程前三章包含三类共三十五个实验, 适合的年级从大学本科一年级到三年级, 需要的学时数从三学时到一学期, 实验的要求从初步学习如何设计实验到研究一个全新的课题, 内容涵盖力学、声学、热学、电磁学、光学、近代物理等各子学科。其中, 第一类实验特别注意科学性与趣味性的结合, 充分调动学生的学习积极性和创新精神; 第二类实验带有一些科学研究的性质; 第三类实验要求学生完成一个有创新意义的综合性研究课题。本教程的最后一章, 是四篇学生经设计性研究性实验而正式发表的文章及指导教师的点评, 供学生撰写实验报告、教师评阅实验报告时参考。

○序

科学技术的高速发展对人的创新能力的要求越来越高,加强学生创新能力的培养,已成为高等学校教育改革的重要任务。为了培养高素质的具有创新能力的科学研究与应用型人才,必须让学生学会从实践中发现问题、解决问题和将已有知识运用到实际中去。物理学是一门基础学科,它的发展已经改变和正在继续改变着整个世界。物理学又是一门实验科学,古往今来,物理学的发展和创新无不与物理实验密切联系,物理学中的创新成果都源自实验,而且都必须经过实验的检验。因此,物理实验教学理应成为培养学生创新能力的重要环节。

然而,长期以来,基础物理实验的教学模式单一、教学内容陈旧、教学方法过死。实验内容基本限于验证性和测量性的,缺乏由学生自己设计的带有研究性的内容。学生只要根据教材上的步骤去做,就能成功地测到数据,完成实验。这种千篇一律的实验教学内容和方式在一定程度上限制了学生的主动性与积极性,难以激发他们独立思考的兴趣和激情,没有从失败中自己寻找成功之路的经历,因而不利于创新人才的培养。正因为这样,多年来我国培养的学生与先进国家的学生相比,在考试中往往可以名列前茅,但到实际工作中,却常常缺乏动手能力,更缺乏独立思考和创新精神。

近年来,在世界银行贷款和各项配套经费的资助下,我校物理教学实验中心在研究和开发新型物理实验方面做了一系列的工作,他们排出了适合于本科一、二、三年级的各类设计性研究性实验三十多个,有六百多位学生先后选做了这些实验。实践的初步成功表明,设计性研究性实验,是一种让学生独立自主对实验方法进行设计、对实验结果进行研究的实验,与传统的测量性或验证性实验相比,它更有利于培养学生的开拓精神和创新能力。学生们通过这些实验所撰写并已发表的二十多篇论文雄辩地证明,他们在这些实验中所取得的收获和达到的水平,是过去常规实验所不可比拟的!

在总结这些实践经验的基础上,以沈元华教授为首的物理实验中心的教师们共同编写了这本特色鲜明的实验教材。它的适应面很广、选择余地很大。适合的年级从大学本科一年级到三年级,每个实验需要的时间从几学时到几十学时,实验的要求从初步学习如何设计实验到研究一个全新的课题,实验内容涵盖力学、声学、热学、电磁学、光学、原子物理等各个领域。它既适合于复旦大学这样的综合性重点大学,也适合于广大理工科及其他各类

高等学校。

复旦大学将迎来建校 100 周年的庆典,物理系也已建系五十多年了。复旦大学物理系历来重视实验教学,五十多年前院系调整后的第一任实验教研组长就是著名一级教授周同庆先生(后来成为物理系第一位中国科学院学部委员)。我系培养的学生也多以实验动手能力强为特色。值复旦百年华诞之际,物理实验中心奉上的这份献礼,体现了“博学而笃志,切问而近思”的校训,反映出“刻苦、严谨、求实、创新”的学风,凝聚着广大实验教学工作者的智慧、心血和光荣。我相信,本教材的推广,必将有利于我国物理实验教学的改革,有利于创新人才的培养。



2004 年 3 月

前言

几十年来,基础物理实验的教材形成了一种传统的模式,它指出实验的目的要求、阐明实验的基本原理、描述实验的仪器设备并介绍实验的方法和步骤。学生阅读了这样的教材后,只要按部就班地在实验室已安排好的仪器设备上进行调试、测量、记录,并进行适当的数据处理,就可以得出结果,完成实验。实践已证明,这样的实验教材,对于让学生初步学习如何进行物理实验、学会基本仪器的使用、加深对物理理论的了解,都是有益的,也是必要的。但只有这样的实验,对于学生动手能力、研究能力,特别是创新能力的培养,却是远远不够的。

新世纪对大学教育提出了更高的要求,在教育部世界银行贷款“新世纪高等教育教学改革工程项目”中,专门设立了“设计性或研究性物理实验教学内容与仪器的研究”项目,复旦大学物理教学实验中心有幸成为该项目的承担者。在该项目经费的资助下,我们在研究和开发这种新型物理实验方面做了一系列的工作,也取得了一些成绩,本教材就是该项目的成果之一。

所谓“设计性研究性实验”,是一种较高层次的实验训练,它要求学生自己查找和阅读各种参考材料,在此基础上,根据一定的实验要求,自行选择实验仪器、设计实验步骤、观察和记录实验现象和数据、研究实验过程中发现的种种问题,最后完成实验。虽然这种实验一般要花费较多的时间,而且往往要经历某些失败、甚至多次的失败,但却是培养学生独立从事科学研究工作能力特别是创新能力所必须的。

显然,对不同的年级、不同基础的学生,这种实验训练的要求不应相同。为此,本教材按不同的训练要求,以三章分别列出了这些新型的实验:第一类实验特别注意科学性与趣味性的结合,充分调动学生的学习积极性和主动性。这些实验在原理上比较浅显,大多以中学物理知识为基础,因而适应面很广,一年级学生就可以进行这一类实验,其目的主要是激发学生学习物理知识、研究与探索物理规律的热情和积极性,加深对物理规律的切身感受和实际体会,提高他们的动手动脑能力,激励创新精神;第二类实验着重培养学生进行科学研究工作的能力,包括查阅文献资料的能力、根据具体要求设计实验的能力、在实践中发现问题和解决问题的能力,以及总结、归纳能力,撰写、宣读论文的能力(书面与口头表达能力)等等;第三类实验主要是为高年级优秀学生安排的,并以“获得创新成果”为目的,实验结束时,每

个实验都要写出论文,并进行答辩和交流,其中优秀的应能在正式学术刊物或学术会议上发表。在每章前都对该章实验的特点和要求作了介绍,对学时数和教学方法提出建议。

本教材共收集第一类设计性研究性实验 11 个,第二类设计性研究性实验 15 个,第三类设计性研究性实验 9 个。这些实验教材的初稿是由复旦大学物理教学实验中心的骨干教师们撰写的,他们是:赵在忠(第一章实验 1.3、1.4、1.10;第二章实验 2.1、2.2、2.3)、童培雄(第一章实验 1.2、1.5、1.6、1.7、1.8、1.9)、陆申龙(第二章实验 2.9)、周子平(第二章实验 2.7、2.10)、赵天相(第二章实验 2.6、2.8)、陈元杰(第二章实验 2.4)、马秀芳(第二章实验 2.5、2.11、2.12、2.14、2.15)、马世红(第三章实验 3.5)、乐永康(第三章实验 3.4)、朱永强(第三章实验 3.8、3.9)、沈元华(第一章实验 1.1、1.11;第二章实验 2.13;第三章实验 3.1、3.2、3.3、3.6、3.7)等,由沈元华修改并统编。

近六年来,我校学生通过这类设计性研究性实验已写出高质量的实验报告一百余篇,其中七十余篇论文已在《大学物理》、《物理实验》等多种学术刊物上正式发表,4 篇在国际会议上发表。在本教材的最后一章,我们选择了 4 篇学生经设计性研究性实验而发表的文章,并加上指导教师的点评,供学生撰写实验报告、教师评阅实验报告时参考。

虽然这些实验都在复旦大学试行过,并证明是可行的,但其他学校的老师要采用本教材可能会有困难,因为教材中所列的参考书不一定都能借到,而真正要带好这些实验,仅看这些参考书也还是不够的。为此,我们又编写了一套“设计性研究性物理实验教师用书”的电子教材(光盘)。在该光盘中,我们对每一个实验中的每一个问题都作了详细的解答(相当于“题解”),对每一项实验内容该如何做,都作了提示(相当于“教案”)。这些内容集中了本中心各位老师具体指导这些实验的丰富经验和心得体会。教师可根据此书指导学生进行实验,但这样的教材显然不能直接交给学生,否则一切都讲明白,就谈不上设计与研究了。因此这种光盘是内部限量发行的,只供应教师。在本书最后的“附录”中,我们选编了教师用书的一个实验的一小部分内容,以供参考。当然,针对不同学生的不同情况,教师可以适当把电子教材中的部分内容介绍给学生,这对于基础较差的学生是有益的。介绍什么、介绍多少,则由每位老师根据学生情况具体掌握。

时代在前进,学科在发展。设计性研究性实验不像测量性验证性实验那样稳定,可以“数年如一日”地进行,它必须不断推陈出新。有些实验经过几届学生做过后,已没有多少内容可供自己独立设计和研究了,就应该淘汰。年年增加新内容,是设计性研究性实验能保持其趣味性、先进性、创新性和有效性的关键。因此,本教材将是一本滚动性发展的教材,每年充实新内容,淘汰旧实验,不断发展改进。也正因为如此,本教材难以做到精雕细镂,错误在所难免,切望各位领导、专家、同行和同学们不吝指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第一章 第一类设计性研究性实验	1
实验 1.1 “碰撞打靶”实验中能量损失的分析	2
实验 1.2 测量音叉的固有频率	5
实验 1.3 频率的测定和烧杯打击乐的形成	7
实验 1.4 频闪法测量频率的探索	10
实验 1.5 “风洞”实验	13
实验 1.6 用多种方法测量水滴自由下落时的重力加速度	15
实验 1.7 用可闻(听)声波测声速	17
实验 1.8 三个探讨性实验	19
实验 1.9 用激光显示李萨如图形	22
实验 1.10 电磁感应与磁悬浮力	25
实验 1.11 奇妙的红汞水——散射光研究	28
第二章 第二类设计性研究性实验	30
实验 2.1 重力加速度的测量	31
实验 2.2 磁阻尼系数和动摩擦系数的测量	34
实验 2.3 霍耳传感器与杨氏模量的测量	38
实验 2.4 液体表面张力系数的测量	41
实验 2.5 激光光电传感器在落球法测量液体粘滞系数中的应用	44
实验 2.6 计算机测量实验——用双通道温度传感器研究冷却规律	47
实验 2.7 弱电信号测量——用集成运算放大器组装万用电表	50
实验 2.8 计算机测量实验——用霍耳传感器研究磁场	54
实验 2.9 铽化铟磁电阻传感器的磁阻特性测量及应用	56
实验 2.10 集成 I/V 变换器与除法器在光学实验中的应用	59
实验 2.11 望远镜与显微镜的组装	62
实验 2.12 偏振光反射率与入射角的关系及折射率的测定	65

实验 2.13 双棱镜干涉的深入研究	68
实验 2.14 太阳能电池基本特性的测量	71
实验 2.15 液晶光阀实验研究	75
第三章 第三类设计性研究性实验	79
实验 3.1 迈克耳孙干涉仪的深入研究	80
实验 3.2 光学薄膜的制备与特性研究	83
实验 3.3 用化学气相沉积(CVD)方法制备金刚石膜	88
实验 3.4 磁控溅射制备立方氮化硼薄膜	92
实验 3.5 全息照相的研究	95
实验 3.6 X 射线系列实验	97
实验 3.7 光镊子的组装、测试和应用	100
实验 3.8 扫描隧道显微镜的应用和样品分析	104
实验 3.9 粉碎电磁波的性质和应用	108
第四章 设计性研究性实验报告(论文)选	111
论文 1 一种非超声波测声速的方法	113
论文 2 坡莫合金磁阻传感器的特性研究与应用	116
论文 3 谈实验设计如何提高学生的兴趣——从 X 射线系列实验得到的启发	122
论文 4 迈克耳孙干涉仪测平行玻片折射率实验的进一步研究	128
附录 设计性研究性物理实验教程教师用书(电子教材)的内容节选	134
光学薄膜的制备与特性研究(实验 3.2)	135

○设计性研究性物理实验教程○

第一章 □第一类设计性研究性实验



“兴趣是最好的老师”。在实验教学过程中,首先要让学生对物理实验有浓厚的兴趣,才能谈得上提高与创新。因此,本章所列的 11 个设计性研究性实验特别注意科学性与趣味性的结合,充分调动学生的学习积极性和创新意识,并让学生自己选题、自己确定实验的内容和深度、自行设计实验装置、自行准备实验器材、自行拟定实验步骤、自己动手动脑去进行研究并完成实验。这些实验在原理上比较浅显,大多以中学物理知识为基础,因而适应面很广,一年级学生就可以进行这一类实验。其目的主要是激发学生学习物理知识、研究与探索物理规律的热情和积极性,加深对物理规律的切身感受和实际体会,提高他们的动手动脑能力,激励创新精神。

由于这一类设计性研究性实验内容与常规实验相差不多,因此可以把它们安排在常规必做实验的教学中。这样,每个学生都有机会进行这样的实验。但由于常规教学的学时数是规定的,而设计性研究性实验的学时数变化较大,因而我们建议,可允许学生用两次实验时间做一个实验,或一次实验时间做两个实验,使学生有较多自由安排的时间。实践证明这种方法是可行的,受益面很广,每个学生都可以得到设计性研究性实验的训练。当然,对于兴趣更大、有志于实验研究的学生,这远远不够,为此我们的做法是开设一门全校公选课,让全校各系学生自由选修。这样就可满足这些特别爱好物理实验的学生的要求,他们有机会在一学期中做十多个饶有兴趣的设计性研究性实验,从而活跃思维,提高动手能力,激励他们的创新精神。

实 验

EXPERIMENT

1.1 “碰撞打靶”实验中能量损失的分析

一、实验目的、意义和要求

物体间的碰撞是自然界中普遍存在的现象;单摆运动和平抛运动是运动学中的基本内容;能量守恒与动量守恒是力学中的重要概念。本实验研究两个球体的碰撞及碰撞前后的单摆运动和平抛运动,应用已学到的力学定律去解决打靶的实际问题;特别是从理论分析与实践结果的差别上,研究实验过程中能量损失的来源,自行设计实验来分析各种损失的相对大小,从而更深入地理解力学原理,并提高分析问题、解决问题的能力。

二、参考书籍与材料

1. 郑永令,贾起民. 力学. 上海:复旦大学出版社,2001.
2. 沈元华,陆申龙. 基础物理实验. 北京:高等教育出版社,2003.

三、实验前应回答的问题

(一) 关于单摆运动和平抛运动

1. 什么是单摆? 什么是单摆运动? 单摆运动中,动能与势能是如何相互转换的? 在加速度为 g 的重力场中,质量为 m 的单摆的最大速度 v 与最大高度 h 的关系如何? 实际的单摆运动中可能有哪些能量损失? 如何判断和测量这些能量损失的大小?

2. 什么是平抛运动? 平抛运动中,动能与势能是如何相互转换的? 质量为 m 、初速度为 v 的平抛物体所抛出的水平距离 x 和下落的铅直距离 y 的关系如何? 平抛运动中可能有哪些能量损失? 如何判断和测量这些能量损失的大小?

(二) 关于碰撞

1. 什么是弹性碰撞? 什么样的碰撞可看作弹性碰撞? 实际上是否有真正的弹性碰撞?

2. 什么是非弹性碰撞? 非弹性碰撞中是否有能量损失? 什么是完全非弹性碰撞? 什么样的碰撞可看作完全非弹性碰撞? 实际上是否有真正的完全非弹性碰撞?

3. 什么是正碰撞? 什么是斜碰撞? 正碰撞或斜碰撞和弹性碰撞或非弹性碰撞是否有关?

(三) 关于能量守恒和动量守恒

1. 什么是能量? 什么是机械能? 什么是动量?
2. 在什么条件下, 体系的总能量守恒? 在什么条件下, 体系的机械能守恒?
3. 在什么条件下, 体系的总动量守恒? 在非弹性碰撞中, 总动量是否守恒?

四、实验室可提供的主要器材

1. “碰撞打靶”装置(如图 1.1-1 所示)。用两细绳挂在两杆上的铁质“撞击球”被吸在升降架上的电磁铁下;与撞击球质量和直径都相同的“被撞球”放在升降台上。升降台和升降架可自由调节其高度。可在滑槽内横向移动的竖尺和固定的横尺用以测量撞击球的高度 h 、被撞球的高度 y 和靶心与被撞球的横向距离 x 。

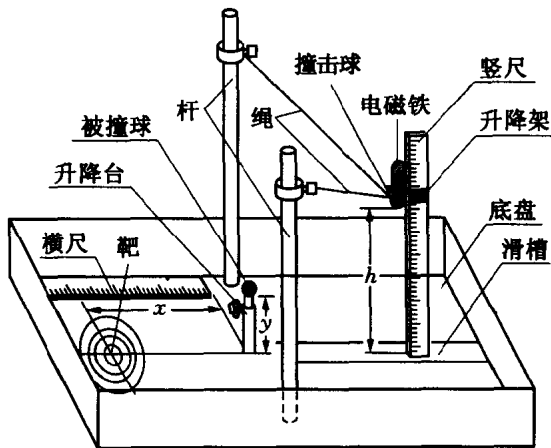


图 1.1-1 “碰撞打靶”实验装置

2. 不同大小、不同材料的撞击球和被撞球。
3. 游标卡尺、电子天平、钢尺等。

五、实验内容

1. 按照靶的位置, 计算无能量损失时撞击球的初始高度 h_0 。(要求切断电磁铁的电源时, 撞击球下落与被撞球相碰撞, 使被撞球击中靶心)。
2. 以 h_0 值进行若干次打靶实验, 确定实际击中的位置(考虑如何确定?); 根据此位置, 计算 h 值应移动多少才可真正击中靶心?
3. 再进行若干次打靶实验, 确定实际击中靶心时的 h 值; 据此计算碰撞过程前后机械能的总损失为多少?

4. 分析能量损失的各种来源,设计实验以测出各部分能量损失的大小。

5. 改用不同材料、不同大小的撞击球和被撞球进行上述实验,分别找出其能量损失的大小和主要来源。

对上述各实验结果进行分析、研究,并设计和进行进一步的实验以得出一般性的结论,考虑提出改进意见。

六、实验报告的要求

1. 写明本实验的目的和意义。
2. 阐述实验的基本原理、设计思路和研究过程。
3. 记下所用仪器、材料的规格或型号、数量等。
4. 记录实验的全过程,包括实验步骤、各种实验现象和数据处理等。
5. 分析实验结果,讨论实验中出现的各种问题。
6. 得出实验结论,并提出改进意见。

实 验

EXPERIMENT

1.2 测量音叉的固有频率

一、实验目的、意义和要求

音叉是一种振动频率已知的声学器件,其基音很强、泛音很弱。本实验要求学生自行设计出几种不同方法来测量音叉的固有频率,并进行比较,从而提高设计实验的能力。

二、参考书籍与材料

1. 赵凯华,罗蔚茵. 新概念力学. 北京:高等教育出版社,1995.
2. 沈元华,陆申龙. 基础物理实验. 北京:高等教育出版社,2003.
3. 童培雄,刘贵兴,沈元华. 从自学物理实验中学学习正确的测量方法,大学物理,19(9), 2000, 28~29.

三、实验前应回答的问题

1. 什么是振动? 什么是机械振动? 什么是振动的频率? 什么是物体振动的固有频率? 音叉振动的固有频率与哪些因素有关?
2. 什么是压电效应? 什么是压电陶瓷片? 它有哪些应用? 如何用压电陶瓷片测量音叉的固有频率?
3. 什么是光电效应? 什么是内光电效应? 什么是光电池? 硅光电池有哪些特性?
4. 激光有哪些特点? 如何选用硅光电池、激光器等组成实验装置测量音叉的固有频率?
5. 是否还有其他方法可将音叉振动的声信号转化为电信号?

四、实验室可提供的主要器材

音叉、数字式示波器、氦氖激光器或半导体激光器、压电陶瓷片、硅光电池、连接线等。

五、实验内容

1. 用压电陶瓷片测量音叉的振动频率。

2. 用硅光电池、激光器等器材组成实验装置测量音叉的振动频率。
3. 用其他方法测量音叉的振动频率。

六、实验报告的要求

1. 实验的目的与意义。
2. 简要介绍本实验涉及的基本原理。
3. 本实验的设计思路、设计过程和实验结果。
4. 比较各种方法测得音叉固有频率的差别,并讨论其原因。
5. 实验过程中遇到的问题及解决的办法,特别是实验者有创新和有体会的内容。
6. 本实验的收获和体会。

实 验

EXPERIMENT

1.3 频率的测定和烧杯打击乐的形成

一、实验目的、意义和要求

人类生活的空间充满着各种各样的波,而各种频率的声波组成波的一个重要分支,它既给人类带来快乐又给人类带来烦恼。人耳能听到的声波,即“音调”的频率一般在 20 Hz 到 20 000 Hz 之间,而给人类以美妙乐感的“音调”频率范围远比这一范围要小,所以研究声波中的频率对人类的生活非常重要。

本实验是通过在烧杯内加水以改变其频率,通过多个组合使其形成一系列不同频率的“加水烧杯”,从而组成有趣的打击乐器来演奏简单的乐曲。另外在确定每个“加水烧杯”的音名时,用数字示波器进行频率校正,使实验者从实验中加深频率和音名内在联系的理解,了解固有频率的改变方法,并增加了物理实验的乐趣。

二、参考书籍与材料

1. 沈元华,陆申龙. 基础物理实验. 北京:高等教育出版社,2003.
2. TDS-200 型数字式实时示波器说明书,TEKTRONIK INC., 2001.

三、实验前应回答的问题

(一) 关于频率

1. 什么叫固有频率? 它与振动系统本身的什么性质有关?
2. 什么叫基频,它和声学中的什么概念有关?

(二) 关于声学

1. 什么叫声波? 它是怎样形成的? 什么叫声强和响度? 它们有哪些共同点和不同点?
2. 什么叫回声? 它有什么益处和害处? 害处应怎样防止?
3. 什么叫音色? 在欣赏乐曲时,如何识别音色的优劣?
4. 什么叫音名? 它在声波系统中有何重要作用?

四、实验室可提供的主要器材

1. TDS-200 型数字式实时示波器 1 台,精度较高,面板如图 1.3-1 所示。具体操作方法