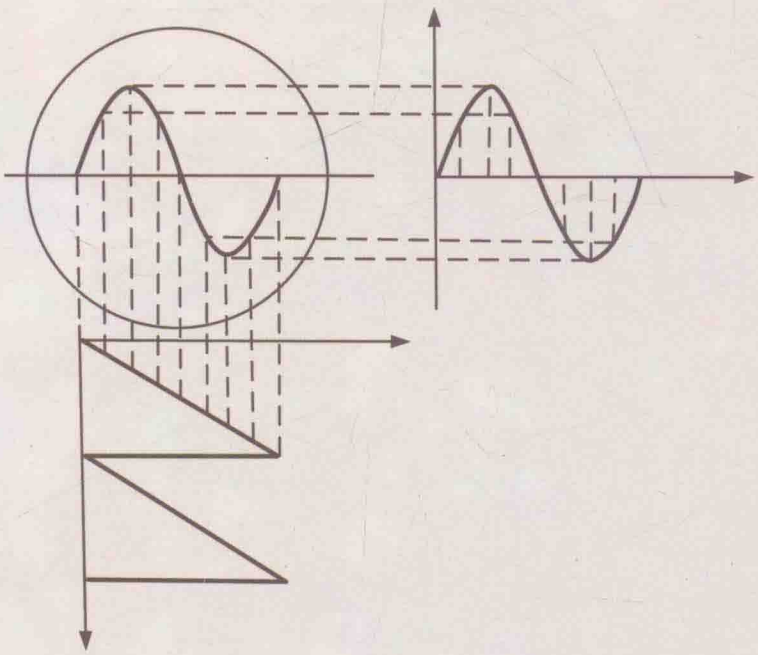
# 新编大学物理实验

主编/孙越胜　副主编/白秀军

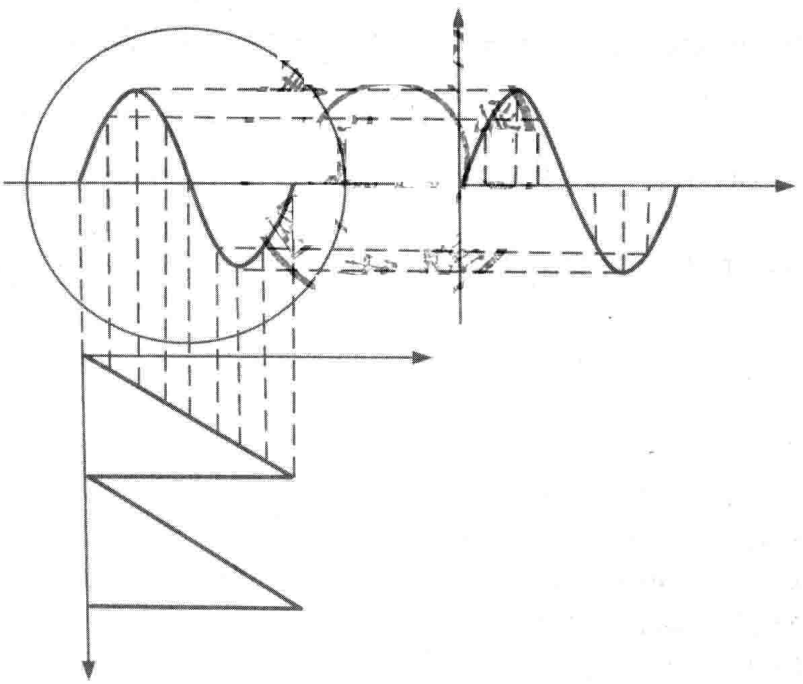


中国科学技术大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

# 新编大学物理实验

主编/孙越胜　副主编/白秀军



中国科学技术大学出版社

## 内 容 简 介

本书是根据教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导委员会2004年制定的《非物理类理工科大学物理实验课程教学基本要求》和上级主管部门颁布的相关实验室建设标准及课程教学基本要求，借鉴21世纪物理实验研究与改革成果，总结多年教学经验编写而成的。全书包括绪论、测量与误差理论、基础实验知识、基础物理实验、综合设计实验、计算机在实验中的应用简介等5章，共36个实验。为适应高素质人才培养的需要，本书力求体现时代性和先进性，注重培养学生的个性和自学能力，提高学生综合实验能力。

本书各章节内容既相互独立、自成体系，又循序渐进、互相配合。本书可作为高等工科院校、高等专科学校和高等职业学校各专业大学物理实验课程的教学用书或参考书，也可用作中学生物理实验竞赛的培训教材和实验工作者的参考资料。

**图书在版编目(CIP)数据**

新编大学物理实验/孙越胜主编. —合肥：中国科学技术大学出版社，2015.2
ISBN 978-7-312-03656-9

Ⅰ. 新… Ⅱ. 孙… Ⅲ. 物理学—实验—教材 Ⅳ. O4-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第023418号

**出版** 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路96号，230026
http://press.ustc.edu.cn
**印刷** 合肥市宏基印刷有限公司
**发行** 中国科学技术大学出版社
**经销** 全国新华书店
**开本** 787 mm×1092 mm 1/16
**印张** 19.25
**字数** 505千
**版次** 2015年2月第1版
**印次** 2015年2月第1次印刷
**定价** 36.00元

# 前　言

本书的初版是2009年由国防工业出版社出版的《大学物理实验》，因教学内容经过“2110工程”二期、三期建设，大学物理实验中心的管理水平有了长足发展，实验条件、环境、内容、方法有了显著改善，为适应新的教学要求，体现近年来实验室建设和实验教学改革成果，我们重新修订出版本书。

本书的实验内容是按照分层次教学的需要编排的。第1章为实验数据处理的基础知识。这部分内容可根据实际情况选用，也可安排学生自学。第2章介绍大学物理实验的基本实验仪器、基本测量方法和基本调整技术等。这部分内容既可单独讲解，也可穿插在相关实验中介绍。关于实验内容，本书打破了传统的力学、热学、电磁学、光学、近代物理实验的顺序，改为按照教学层次编写。第3章是基础实验。通过基础实验，让学生学习基本物理实验方法和测量技术，熟悉基本物理实验仪器的工作原理和操作使用方法，学习实验数据处理和分析的基本方法，使学生在“三基”方面受到扎实、严格、全面的训练。第4章是综合设计实验。锻炼学生对物理实验知识的综合运用能力和独立工作能力，使学生在提出研究问题、设计实验方案、观察实验现象、深入研究问题的科学实验能力方面得到初步锻炼和提高。第5章是计算机在物理实验中的应用。主要介绍计算机实验数据处理、虚拟仿真技术在物理实验中的应用，使学生在基础物理实验阶段就受到现代实验技术的熏陶。

本次修订，重写了第1章，对第2、3、4章进行了修改、补充和完善，增补了第5章。本次修订版由孙越胜担任主编、白秀军担任副主编，组织编写、修订和统稿。主要编写和修订人员还有王瑜、戴玮、冯素平、赵习金、杨丽等。

实验教学是一项集体事业，无论是实验教材的编写，还是日常的实验室建设、管理以及繁重的实验教学任务，都凝聚着全体实验指导教师和实验室管理人员的智慧和劳动。在本次修订过程中，征求了学校内外许多具有丰富教学经验的实验指导教师的意见，参考并吸收了兄弟院校的有关教材和经验，甚至引用了某些内容，在此深表感谢。中国科学技术大学出版社的同志对本书的出版给出了许多中肯的意见，付出了大量的心血，对此表示衷心的感谢。

本书由杨华教授和余大斌教授担任主审。两位专家不仅仔细地审阅了全部书稿，而且对很多具体内容都提出了极好的修改意见，对本书特色的形成和质量的提高起到了极大的作用。

我们渴望杜绝书中的不妥和错误，但愿望和现实总有差距，书中存在缺点与不足在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2014年12月

# 目　录


前言 …… ( i )

绪论 …… ( 1 )

0.1 物理学与实验 …… ( 1 )

0.2 物理实验教学 …… ( 8 )

0.3 实验室规则 …… ( 12 )

第 1 章 测量、误差与实验数据处理 …… ( 13 )

1.1 测量与误差 …… ( 13 )

1.2 直接测量结果的表示 …… ( 22 )

1.3 间接测量结果的表示 …… ( 26 )

1.4 有效数字及其运算 …… ( 29 )

1.5 实验数据的处理 …… ( 33 )

1.6 怎样写预习报告和实验报告 …… ( 42 )

第 2 章 基础实验知识 …… ( 55 )

2.1 基本测量方法 …… ( 55 )

2.2 基本实验仪器 …… ( 61 )

2.3 基本调整技术 …… ( 73 )

2.4 基本操作规程 …… ( 75 )

第 3 章 基础物理实验 …… ( 80 )

实验 3.1 长度、密度测量 …… ( 80 )

实验 3.2 单摆的实验研究 …… ( 88 )

实验 3.3 气垫导轨上物体运动的研究 …… ( 90 )

实验 3.4 杨氏模量的测量 …… ( 93 )

实验 3.5 金属膨胀系数的测定 …… ( 98 )

实验 3.6 落球法测定液体的黏滞系数 …… (103)

实验 3.7 制流与分压电路特性研究 …… (107)

实验 3.8 万用表的使用 …… (112)

实验 3.9 示波器的使用 …… (116)

实验 3.10 用模拟法测绘静电场 …… (121)

实验 3.11 用电桥测电阻 …… (126)

实验 3.12 霍尔效应测量磁感应强度 …… (136)

实验 3.13 PN 结特性测量 …… (146)

实验 3.14 薄透镜焦距的测量 …… (151)




需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验 3.15　分光计的调节与使用 …… (157)
实验 3.16　折射率测定及色散曲线拟合 …… (166)

**第 4 章　综合设计实验** …… (172)
实验 4.1　碰撞与能量守恒研究 …… (172)
实验 4.2　声速测定 …… (175)
实验 4.3　电表改装与校准 …… (180)
实验 4.4　黑盒实验 …… (186)
实验 4.5　线性与非线性电学元件测定 …… (189)
实验 4.6　补偿原理与电位差计的应用 …… (193)
实验 4.7　非平衡电桥的设计与应用 …… (198)
实验 4.8　波尔共振实验 …… (200)
实验 4.9　光电传感器综合实验 …… (207)
实验 4.10　光的干涉——牛顿环与劈尖 …… (213)
实验 4.11　光栅衍射与超声光栅 …… (219)
实验 4.12　迈克尔孙干涉仪的调整和使用 …… (227)
实验 4.13　偏振光旋光的实验研究 …… (232)
实验 4.14　夫兰克—赫兹实验 …… (236)
实验 4.15　光电效应法测定普朗克常数 …… (244)
实验 4.16　密立根油滴实验 …… (250)
实验 4.17　热敏电阻温度特性研究与数字温度计设计 …… (255)
实验 4.18　微波光学综合实验 …… (261)
实验 4.19　多普勒效应综合实验 …… (272)
实验 4.20　材料磁性的研究 …… (277)

**第 5 章　计算机在实验中的应用** …… (286)
5.1　Excel 在数据处理中的应用 …… (286)
5.2　虚拟仿真实验教学 …… (291)

**参考文献** …… (302)

# 绪　论

## 0.1　物理学与实验

### 0.1.1　物理学从本质上讲是一门实验科学

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式、相互作用及其转化规律的学科。它的基本理论渗透在自然科学中的各个领域，应用于工农业生产的许多部门，是自然科学和工程技术的基础。

在人类追求真理、探索未知世界的过程中，物理学展现了一系列科学的世界观和方法论，深刻地影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活，是人类文明的基石，在人才的科学素质和人文素质培养中具有重要的作用。

物理学是一门建立在实验基础上的学科，无论是物理概念的建立，还是物理规律的发现，都必须以科学实验为基础，并通过不断出现的科学实验来验证。物理实验是科学实验的先驱，体现了大多数科学实验的共性，在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是各学科科学实验的基础。

#### 0.1.1.1　物理实验起源于对自然现象的观察

在物理学的发展历史中，无论中外，有不少人做过实验或观察，并在此基础上做出过各种解释，提出了各种理论，还制造出不少仪器。例如，古巴比伦人曾用日晷和水钟计时，发明了梁式天平；欧几里得记载过用凹面镜聚焦太阳光的实验；阿基米德做了杠杆、滑轮和浮力实验，得出了杠杆原理和浮力定律，他说："给我一个支点，我可以撬动地球。"我国古代的《墨经》上记有小孔成像，平面镜、凸面镜、凹面镜反射成像的大小以及像的正倒与位置的关系等实验；近年来出土的湖北随州曾侯乙墓中的编钟、编磬等，说明战国时期我国的声学及乐器制造已经有了非常高的造诣；汉代开始就有许多关于杠杆、滑轮应用的记载等。但当时的观察和实验毕竟是零星的；定性的实验较多，定量的实验较少；基本停留在现象描述，少有提升概括出理论的。因此具有很大的局限性。

#### 0.1.1.2　物理学的开端

在物理学史上首先把科学实验方法引入物理学研究中，从而使物理学走上真正科学道路的开创者，是16世纪的意大利物理学家伽利略。例如，他设计的斜面实验，就蕴藏着极为丰富的实验思想。首先，他在斜面实验中有意识地忽略了空气阻力的影响，这样能撇开一些次要因素，抓住问题的主要方面，而这正是科学实验不同于自然观察之处。其次，他还改变斜面的倾角，有

意识地变更一些实验条件，观察实验结果的变化，这又是科学实验区别于自然观察的一个重要特点。他之所以选择斜面做实验，而不是原来自由落体的实验设计，是为了延长物体在运动过程中下滑的时间，与当时的时间测量技术水平相适应。最重要的是，他将科学的逻辑推理方法运用于实验研究中——在“斜面越光滑，物体运动的距离就越远”的实验结论基础上，得出“物体在光滑水平平面上的运动是匀速率直线运动”——后来被称为牛顿第一定律的这个超越实验本身的更为普遍的结论。伽利略还做了单摆的实验，总结得出单摆的周期与摆长的平方根成正比，与摆球的质量和材料无关的结论。

伽利略的实验方法和科学思想有以下几个特点：

① 把数学与实验密切地结合起来，得出各物理量之间定量的数学关系，揭示了各物理量之间的内在联系，把实验结果上升到了普遍的理论高度。

② 有意识地在实验中忽略一些次要因素，并力求把实验条件做得尽量完善和符合数学要求，在理想化的条件下，抓住问题的根本。

③ 设法改变实验的测量条件，使之易于观测。

④ 首先提出“要用实验去验证理论”的思想。

⑤ 把实验方法与理论联系起来，进行理论的演绎或逻辑的推理，得出超越实验本身的更普遍的结论。用伽利略自己的话来说，就是“实验可以用来确定一些原理，并作为演绎方法的出发点。”

爱因斯坦高度评价了伽利略对物理学的贡献，他说：“伽利略的发现以及他所运用的科学推理方法，是人类思想史上最伟大的成绩之一，而且标志着物理学的真正开端。”可以毫不夸张地说，伽利略这些卓越的关于实验方法的科学思想，对于当前的实验工作，也具有深刻的指导意义。

#### 0.1.1.3　物理学与实验

整个物理学的发展经历了积累和变革的交替发展过程，但不论在哪一个阶段，物理实验都起着不可替代的重要作用。这可以从以下几个方面得到论证。

第一，有很多物理学的理论规律是直接从大量实验事实中总结概括出来的。这方面的例子数不胜数。例如，经典物理学中的开普勒三定律是在第谷·布拉赫所积累的大量观测资料基础上，采纳了哥白尼体系而得到的。牛顿是在伽利略、开普勒、胡克、惠更斯等人的工作基础上，总结归纳万有引力定律而完成经典力学体系的。能量的转换与守恒定律也是大量实验的归纳总结，其中包括很重要的焦耳热功当量实验。电磁学中的一系列实验，例如，库仑定律（扭秤实验）、欧姆定律、安培定律、毕奥—萨伐尔定律、法拉第电磁感应定律等，都是实验的总结。

第二，在物理学发展过程中，常常产生一些不同的意见，或者用不同的理论来解释同一个问题的争论。最终，是实验对理论做出终结判断。例如，在对光的本质认识的历史过程中，微粒说和波动说的争论持续了很长一段时间。最初，由于光的成像和直线传播的事实，很自然地支持了微粒说。可是，光的独立传播，又给惠更斯的波动说提供了有力的佐证。但杨氏双缝干涉实验、泊松斑实验、马吕斯发现的光的偏振实验以及光在空气中的速度大于在水中的速度的实验等，成为了微粒说和波动说的判决性实验，都有力地支持着光的波动说。但是，光电效应实验和康普顿效应实验又给爱因斯坦光量子假说提供了有力的实验支持。最后，以光的“波动—粒子二象性”结束了这场旷日持久的争论，解释了全部的实验事实，并极大地推动了物理学的发展，拉开了近代物理量子力学的帷幕。

第三，物理实验常常成为纠正错误理论的依据和发展新理论的起点。例如，古希腊的科学家、哲学家亚里士多德曾断言：体积相等的两个物体，较重的下落得较快，并且物体下落的速度精确地与它们的质量成正比。这种理论曾经流行了 1 800 多年。科学发展到中世纪，对这一理论不断出现怀疑和反对的意见，最后以无数实验事实（包括比萨斜塔实验）以及伽利略的逻辑推理，无可辩驳地否定了亚里士多德的观点。又如，1911 年，卡末林—昂内斯在观察低温下水银的导电变化时，发现在 4.2 K 附近出现电阻突然消失的现象，而后又观察到许多金属在低温条件下的超导状态。再后来，又发现了超流现象。由此开始了一个新的物理学分支领域——超导物理。

美好的物理假说要成为科学定论——物理学原理——也必须经过实验的检验。常常有这样的一种情况，在某些实验事实的基础上，科学家通过想象或建构出一个物理模型或演绎出新的理论体系或给出理论上的预言等。无论这些理论看起来是如何地有创见、合情合理、在数学上无懈可击、可以解释迄今为止的很多实验事实，但是，这还不够，在得到实验验证之前，这种理论还只能算是一种设想、一种假设，不能被公认为科学的定论。例如，19 世纪 60 年代开始，麦克斯韦在大量实验基础上，把法拉第关于电磁感应现象所做的大体上定性的解释，发展成为定量的数学形式，并提出了“涡旋电场”和“位移电流”的假说，建立了著名的麦克斯韦方程组，从理论上预言了电磁波的存在，并阐明电磁波以光速在空间传播，与光波具有共同的特性等。但是，直到 1887 年，赫兹接收到了由振荡源放电发出的电磁波，并且做了电磁波的反射、折射、衍射和偏振实验，测出电磁波的传播速度与光速具有相同的数量以后，才从实验上验证了麦克斯韦的全部假说，麦克斯韦的理论才得到普遍的接受。又如，广义相对论是爱因斯坦在 1915～1916 年间提出来的。当时，由于创建狭义相对论以及在其他领域里的卓越贡献，爱因斯坦已是一位有很高声誉的物理学家。而广义相对论立论新奇、结构严谨、推论精确、数学和谐，被认为是物理学发展史上罕见的珍品。但直到 1919 年 5 月 29 日，英国爱丁顿爵士率领的日食观测队，在西非几内亚湾的普林西比岛进行观测，得到与广义相对论理论预言相符的实验结论，并在以后类似的及其他的实验多次重复验证，广义相对论才作为一门崭新的科学理论被人们所公认，并成为宇宙学研究的重要理论基础。

物理实验对物理学发展的推动作用，还体现在“实验—理论—实验”的过程中，这是物理学发展的一般模式。物理学的基础是实验，物理学从本质上说是一门实验科学。当然，强调实验的重要性，绝不意味着轻视理论。特别是物理学发展到今天，用已经确立的理论来指导实验向新的未知领域探索，就显得更加重要。任何轻视实验或者轻视理论的做法都是错误的。正如密立根在 1923 年获诺贝尔物理学奖时说的：“科学靠两条腿走路，一是理论，一是实验，有时一条腿走在前面，有时另一条腿走在前面。但只有使用两条腿，才能前进。在实验过程中寻找新的关系，上升为理论，然后再在实践中加以检验。”

#### 0.1.1.4　物理实验与技术进步

物理实验也是推动技术进步与发展的有力工具。物理实验的基本设计思想、基本测量手段以及现代物理实验技术等为科学的发展与技术的进步提供了强有力的支持与保障，X 射线的发现及其在技术中的应用即为明证。1895 年德国物理学家伦琴发现了 X 射线，1906 年实验证实 X 射线是一种频率很高的电磁波，有干涉、衍射现象，有很强的穿透本领，还有电离效应、光化学效应、荧光效应和生物效应等。利用 X 射线的这些性质，发明了 X 光透视射线技术，将 X 射线装置和计算机结合，形成 X 射线断层扫描成像技术——CT。X 射线衍射技术还广泛应用于材

料的结构分析中。再例如，激光技术的发现及其在工业、信息领域和军事技术中的广泛应用。早在1916年，爱因斯坦就提出了光的受激辐射理论。直到20世纪50年代，随着光学技术、微波技术、无线电技术的迅速发展，1960年，光家族的新秀——激光终于问世了。第一台激光器一出现，马上就引起世界各国科学界的重视，出现了激光加工、激光检测、激光通信、激光医学、激光化学、激光全息等应用。特别是在军事上，激光测距技术、精确激光制导武器、高功率激光定向武器等，使军事装备呈现出新的特点。所以说，物理实验既是开拓新理论、新领域的有力工具之一，又是发展科学技术的催化剂和推动力。

## 0.1.2　近代物理发展中的关键性实验

1900年12月，德国物理学家普朗克提出了“能量子假说”，从此拉开了近代物理的序幕。本节，我们通过对近代物理两大理论基础——量子力学和相对论——建立过程的回顾，了解物理实验在新观点、新概念、新理论提出过程中的巨大推动作用。

### 0.1.2.1　相对论建立的历史过程

经典物理学发展到19世纪，达到了它的顶峰，具有代表性的事件是1846年9月23日海王星的发现和1888年赫兹(H. R. Hertz)用实验验证了麦克斯韦(J. C. Maxwell)预言的电磁波的存在。

**物理学史小资料：海王星的发现**

1781年，英国人威廉·赫歇尔依靠天文观测发现了天王星。在长期的天文观测中发现，天王星的运动存在某些极小的不规则性，但不能归因于任何已知天体的影响。于是人们就猜测在天王星外侧可能存在一颗未曾发现的新行星，是它对天王星的轨道起了附加的影响。英国剑桥大学的青年学生亚当斯(Adams)利用万有引力定律，从观测到的天王星的运动，来计算这颗未知星的位置。经过几年的努力，因其数学计算十分艰巨，1845年10月终于推算出新行星在特定时刻出现在轨道上的位置，并将计算结果写信报告给格林尼治天文台。由于亚当斯是一位不出名的年轻数学家，所以没有受到足够的重视。1846年8月，另一位法国青年勒维耶(Leverrier)也独立完成了计算工作，并写信给柏林天文台，在收到这封信的当天晚上，台长亲自寻觅，在非常靠近预言位置的天区发现了这颗行星。

就在科学家陶醉在经典物理学取得的巨大的成就之中时，“在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云。”这两朵乌云就是指用经典物理理论无法解释，甚至是与经典物理理论相矛盾的两个涉及经典物理学根基的实验——“迈克尔孙—莫雷实验”和“黑体辐射实验”。要真正理解为什么说“迈克尔孙—莫雷实验”和“黑体辐射实验”是物理学晴朗天空中的两朵乌云，首先必须了解经典物理学的基本观点。

先讨论经典物理学的绝对时空观。为什么要首先讨论时空观呢？我们知道，力学是研究物体机械运动的。物体的运动就是它的位置随时间的变化。因此，无论是运动的描述或是运动定律的说明，都离不开长度和时间的测量。牛顿对空间和时间的定义是：绝对空间，就其性质来说与此外的任何事物无关，总是相似的、不可移动的。(原文：Absolute space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable.)绝对、真实及数学的时间本身，从其性质来说，均匀流逝与此外的任何事物无关。(原文：Absolute, true and

mathematical time of itself and from it own nature, flows equally without relation to anything external.)牛顿的时空观被称为绝对时空观,其主要特征是空间和时间是分离的。

经典物理学的绝对时空观的物理表现,就是力学的相对性原理,数学表现就是伽利略坐标变换。运动是绝对的,而运动的描述是相对的。为定量描述物体的运动,研究运动状态变化的原因,必须选定适当的参考系。因此,一个必然的问题就是:对于不同的参考系,长度和时间的测量结果是一样的吗?运动是否满足相同的规律?基本力学定律的形式是否完全相同?力学的相对性原理和伽利略变换回答的就是这个问题。伽利略在他1632年出版的《关于两个世界体系的对话》一书中,在宣传哥白尼的日心说时,为解释地球地表现上的静止,曾以大船作比喻,写了一段非常生动的话。无独有偶,这种关于相对性原理的思想,在我国古籍中也有记述,成书于西汉时代(比伽利略早1 700年)的《尚书纬·考灵究》中有这样的记述:"地恒动不止而人不知,譬如人在大舟中,闭蒲而坐,舟行而人不觉也。"上述描述的中心思想是,我们不能仅仅根据在一个惯性参考系内机械运动的现象来判断该参考系是否相对其他惯性系运动。为什么会出现这种现象呢?这是因为在一切彼此做匀速直线运动的惯性参考系中,满足力学规律的机械运动现象都是相同的,不存在一个与其他惯性参考系不同的特殊惯性系。也就是说,对力学规律而言,一切惯性参考系都是等价的,力学规律在所有的惯性系中都应该具有相同的数学表达形式。惯性参考系对力学规律的等价性就称为力学的相对性原理。

让我们再回到经典电磁理论中来。经典电磁理论是"以太"的电磁理论,认为电磁波的传播需要介质,电磁波动是介质的运动状态。麦克斯韦对电磁理论的重要贡献是他的两个假设,涡旋电场假设指出变化的磁场激发电场,位移电流假设指出变化的电场激发磁场。变化的电场和磁场相互激发,在空间传播,形成电磁波。根据麦克斯韦方程组,可以推导出电磁场传播的波动方程。如果伽利略变换(即经典物理的绝对时空观和力学的相对性原理)对电磁理论是适用的,那么电磁波的波动方程在不同的惯性系中将呈现不同的形式。由于牛顿力学规律和伽利略变换已被大量科学实验和日常生活经验(即宏观、低速世界中的现象和实验)验证为正确,所以针对"在不同惯性系中电磁波传播的波动方程具有不同的形式"这一结论,并考虑到经典物理学"机械论"的电磁波这一历史背景,一种合理解释或推论是:在相对以太静止的惯性系中光以速率 $c$ 传播,麦克斯韦方程组及其波动方程在相对以太静止的惯性系中成立;在相对以太运动的惯性系(相对速度为 $u$)中光可以以 $c+u$ 或 $c-u$ 传播,波动方程具有不同的表达形式,即经典电磁理论不满足在伽利略变换下的不变性,相对电磁规律而言,惯性系是不等价的,存在一个最优的惯性系——相对以太静止的惯性系,用电磁规律可以分辨出某一惯性系相对最优的以太惯性系的运动速率。

狭义相对论建立过程中的关键性实验是迈克尔孙—莫雷实验(参见表0.1)。该实验是试图利用电磁规律求出地球惯性系相对以太惯性系运动速率的一个实验。具体实验装置、实验原理、干涉条纹移动的计算公式和实验结果可参阅有关文献。

遗憾的是,迈克尔孙—莫雷实验没有达到其预期的实验结果,也就是没有观察到干涉条纹的移动,$\Delta N=0$。没有达到预期的实验结果,称为示零实验或零结果实验(null experiment)。

这里要提醒同学们注意:示零结果实验往往有着重要而又深刻的意义。诺贝尔奖获得者阿尔瓦雷斯曾经用X射线照射埃及古萨地区的一座金字塔,当时一些报纸报道说,他没有任何发现,阿尔瓦雷斯总是纠正说:他发现了一件事,那就是不存在尚未为人所知的墓室。零结果和没有结果完全是不同的概念。还必须指出的是:继迈克尔孙—莫雷实验以后,瑞利—布拉斯实验(1902年、1904年)、特劳顿—诺布耳实验(1903年)等很多实验都尝试用电磁学实验来观察地



需要全本请访问 www.ertongbook.com

球相对“绝对静止以太”的运动，也都没有获得成功。

迈克尔孙—莫雷实验的示零结果说明：麦克斯韦的电磁理论不满足伽利略的相对性原理。迈克尔孙—莫雷实验的示零结论的实质是：揭示了伽利略变换（即经典物理学的绝对时空观和力学相对性原理）与经典电磁理论之间的矛盾。迈克尔孙—莫雷实验的示零结果对经典物理学提出了严峻的挑战——是否存在“以太”？如果以太不存在，那么传播电磁波的介质是什么？电磁波理论是否正确？经典物理学的绝对时空观是否正确？力学的相对性原理（伽利略相对性原理）是否有局限性？等等。

**0.1　狭义相对论的实验基础**

| 理论 | | 光传播实验 | | | | | | | 其他方面实验 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 光行差实验 | 斐索牵引系数实验 | 迈克尔孙—莫雷实验 | 肯尼迪—戎迪克实验 | 运动光源和镜子的实验 | 德西戎双星实验 | 迈克尔孙—莫雷实验 | 质量随速率改变实验 | 一般质能等效的实验 | 运动电荷辐射实验 | 高速介子衰变实验 | 特劳顿—洛布尔实验 | 永磁体单极感应实验 |
| 以太理论 | 固定以太没有收缩 | A | A | D | D | A | A | D | D | N | A | N | D | D |
| | 固定以太洛仑兹收缩 | A | A | A | D | A | A | A | A | N | A | N | A | D |
| | 以太被实物牵引 | D | D | A | A | A | A | A | D | N | N | N | A | D |
| 发射理论 | 原始光源 | A | A | A | A | A | D | D | N | N | D | N | N | N |
| | 弹射 | A | N | A | A | D | D | D | N | N | D | N | N | N |
| | 新光源 | A | N | A | A | D | D | A | N | N | D | N | N | N |
| 狭义相对论 | | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |

说明：A——理论与实验结果符合；
D——理论与实验结果不符合；
N——理论不能应用于实验结果的分析。

解决问题可能的途径如下：

① 经典力学和经典电磁学都是对的，以太假说也是必要的，设法提出某些假说来解释一部分实验结果。例如，为解释迈克尔孙—莫雷实验等，有“以太完全牵引假说”和洛仑兹的“以太收缩假说”。

② 经典力学和它满足的力学相对性原理、伽利略变换是对的，麦克斯韦电磁理论及其以太假说是不完全对的，应当进行改造。例如，里兹的“发射假说”等。

③ 爱因斯坦的狭义相对论。爱因斯坦认为：首先，任何实验都没有观察到地球相对以太参

考系的绝对运动，这正表明：根本就不存在那样一个假想的以太参考系。彻底地抛弃以太，应该如实地认为“电磁场不是介质的状态，而是独立的实体，正像构成物质的原子那样，不能归结为任何别的东西，也绝不能依附在任何载体上。”其次，实验表明，电磁现象与力学现象一样，并不存在一个最优的惯性参考系，即电磁规律也应该像力学规律一样，满足相对性原理。

但是电磁理论与经典伽利略变换之间的矛盾又怎样解决呢？这就需要通过建立惯性系之间新的变换关系，即建立新的相对性原理来解决。电磁理论应该满足这个新的相对性原理（变换关系），而经典力学必须进行改造。当然，在回到正常速度的日常生活世界里时，新的相对性原理和坐标变换应该过渡到伽利略相对性原理和坐标变换。

1905 年 6 月，爱因斯坦发表了论文《论动体的电动力学》，提出了两条基本假设。假设一，物理体系的状态及变化的规律，同描述这些状态变化时所参考的坐标系究竟是相互匀速移动着的坐标系中的哪一个并无关系。假设二，任何光线在“静止的”坐标系中都是以确定的速度运动着的，不管这道光线是由静止的还是运动的物体发射出来的。

#### 0.1.2.2　量子力学建立的历史过程

早在 19 世纪 30 年代，法拉第就发现在真空中放电会出现辉光现象。随着真空技术的发展，物理学家进一步发现，真空管内的金属电极在通电时其阴极会发出某种射线，这种射线受磁场影响（带电），具有能量，被称为阴极射线。

1895 年 11 月 8 日晚，德国物理学家伦琴在做阴极射线实验时，意外地发现了一种新的穿透力极强的射线。后来科学研究表明，该射线是一种波长极短的电磁波。但当时由于不了解其本性，伦琴将它称为 X 射线。由于 X 射线可以穿透皮肉、透射骨骼，在医学上很有用处。因此，这个发现一公布，立刻在社会上引起巨大轰动。伦琴也因为发现 X 射线而成为世界上第一个荣获诺贝尔物理学奖（1901 年）的人。有关 X 射线的消息引起了法国物理学家贝克勒尔的注意。贝克勒尔出生在一个研究荧光的世家，因此他马上联想到 X 射线是否与荧光有关。但多次实验表明，发射荧光的物质并不发射 X 射线。后来，他又用铀盐做荧光实验，在实验研究中发现了一种不同于荧光的新射线，从而于 1896 年发现了天然的放射性。当然，将放射性研究推向新高度的是波兰裔女科学家居里夫人。X 射线不仅导致了放射性物质的发现，也促进了电子的发现。1897 年，英国物理学家 J·J·汤姆孙用实验证明了阴极射线确实是一种带负电的粒子流，并通过测定其荷质比，确定了该粒子的电量与质量，发现了“电子”——它是电荷的最小单位。

X 射线、天然的放射性和电子的发现表明，原子“atom”（在拉丁语中就是“最小不可分”的意思）并不是“最小不可分”的，它一定有内部结构。关于原子结构问题的研究，进入社会公众和物理学家的视野，给新世纪的人们打开了一个新的奇妙的微观世界。

直接导致量子概念出现的并不是原子结构问题，而是一个古典热力学的难题——黑体辐射中的“紫外灾难”。1900 年 10 月，德国物理学家普朗克采用拼凑的办法，得出了一个与黑体辐射实验曲线吻合得非常好的经验公式，但该公式的理论依据尚不清楚。不久。普朗克发现，只要假设物体的辐射能不是连续变化的，就可以对该公式做出合理的解释。1900 年 12 月 14 日，普朗克将他的发现报告给德国物理学会，并将最小的不可再分的能量单元称作“能量子”或“量子”。量子假说与物理学界几百年来信奉的“自然界无跳跃”的物理量连续变化的观念直接矛盾，因此并不被物理学家所接受。第一个意识到量子概念的普遍意义，并将它运用到其他问题上的是爱因斯坦。爱因斯坦建立了光量子理论以解释光电效应实验中出现的新现象。光量子

理论的提出使对光的本质的历史争论进入了一个新的阶段。

量子力学建立过程中的关键实验和理论还有：α粒子的金箔散射实验与卢瑟福原子核式结构、玻尔的量子化的原子结构理论；1923～1925年德布罗意提出的物质波假设与1926年戴维逊—革末电子晶体衍射实验、1927年G·P·汤姆孙的透射电子的衍射实验；夫兰克—赫兹实验与原子的能级结构；斯特恩—盖拉赫实验与电子的自旋等；1961年约恩松的电子的单缝、双缝和多缝衍射实验；1986年单电子的双缝干涉实验；1993年利用STM技术的量子围栏实验中的物质波的驻波图样等。

## 0.2　物理实验教学

### 0.2.1　课程的地位和作用

物理实验是根据物理学的研究目的，依据物理学的基本原理，选择适当的实验仪器和实验装置，用人为的方法让物理现象再现并进行测量和研究的一种科学活动。同时，物理实验又是一门研究物理测量方法与实验方法的科学。物理实验的内容包括力、热、电、磁、光、近代物理等科学技术研究的各个方面，如果把高科技领域特别是现代军事技术领域中的许多“高、精、尖”实验或装备拆成“零件”，则绝大部分都可在基础物理实验中找到其出生点。

大学阶段物理实验课程的学习，不同于中学阶段的实验课。中学阶段的物理实验课主要是为了扩大视野、丰富感性知识、加深对所学理论知识的认识和增加动手机会，它仅是物理课堂理论教学的一个附属和补充教学环节。大学开设的物理实验课程是独立于“大学物理”理论课程教学之外的、对学生进行科学实验基本训练的一门独立的必修基础实验课程，是高等理工科院校各专业的第一门实践性主干公共基础课程，是本科学生接受系统实验方法和实验技能训练的开端。

物理实验课程内容覆盖面广，具有丰富的实验思想、方法、手段，同时能提供综合性很强的基础实验技能训练，是培养学生科学实验能力、提高学生科学素质的重要基础。它在培养学生运用实验手段去分析、观察、发现乃至研究、解决问题的能力方面，在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的科学实验素质方面，具有其他实践类课程不可取代的作用，并为学生将来的学习、工作奠定良好的基础。

### 0.2.2　课程具体任务

使学生在物理实验的基本知识、基本方法、基本技能(“三基”)方面得到严格和系统的训练。基本知识包括实验原理、各类仪器的结构和工作机理、误差知识与实验误差分析等。基本方法包括如何根据实验目的确定实验思路与方案、如何选择和正确使用仪器、如何避免或减少误差提高实验精度、如何采取一些特殊的方法来获得难以获得的结果等。基本技能包括粗调、微调、准直、共轴、调零、定标等各种调节方法和测试技术等。三基训练可能会很单调、繁琐和枯燥，但这却是实验教学必不可少的重要一环，它体现了最基本的实际动手能力，因此必须耐心、细致、坚韧。没有严格和系统的基础性“三基”训练，很难成为高素质的人才。

在“三基”训练的基础上，通过综合、设计、研究性实验教学，培养学生的科学实验基本技能，提高学生的科学实验基本素质，使学生初步掌握实验科学的思想和方法；培养学生的科学思维和创新意识，使学生掌握实验研究的基本方法，提高学生的分析能力和创新能力；提高学生的科学素养，培养学生理论联系实际和实事求是的科学作风，认真严谨的科学态度，积极主动的探索精神，遵守纪律、团结协作、爱护公共财物的优良品德。

## 0.2.3　能力培养的基本要求

**1. 自学能力**

物理实验独立设课，和大学物理同步进行。为保障一人一组完成实验教学，同时又满足实验仪器的使用效率要求，提高实验室建设效益，实验课均采取按模块循环设置实验项目的办法实施。经常会出现实验原理在理论课中还没讲到，实验已经做到的情况。这就要求学生能够通过阅读实验讲义、相关参考资料和网络课程教学资源等，学习理解实验原理、设计思想和测量方法等实验内容，即学生应具备一定的自学能力。

**2. 独立实验能力**

能够通过阅读实验讲义和仪器使用说明书等，掌握实验原理及方法，做好实验前的准备；正确使用仪器及辅助设备、独立完成实验、撰写内容翔实、格式规范的实验报告；培养学生独立实验的能力，逐步形成自主实验的基本能力。

**3. 分析与研究的能力**

能够融合实验原理、设计思想、实验方法及相关的理论知识，对可能出现的实验现象进行预判断，对实验结果进行分析、判断、归纳与综合；掌握通过实验进行物理现象和物理规律研究的基本方法，具备初步的分析与研究能力。

**4. 理论联系实际的能力**

培养学生耐心细致的观察能力，能够在实验中发现问题、分析问题，并学习解决问题的科学方法，逐步提高学生综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。培养学生正确使用常用实验仪器，掌握基本物理量的测量方法和实验操作技能，能够正确记录和处理实验数据，绘制实验曲线，分析并说明实验结果，写出合格的实验报告，能够自行设计和完成某些不太复杂的实验任务等，具备从事科学实验的初步能力。通过对物理实验现象的观察与分析，学会运用理论指导实验、分析和解决实验中出现的新问题，从理论和实际的结合上加深对理论的认识和理解。培养理论联系实际的工作作风。

**5. 创新能力**

培养学生敏锐的分析判断能力，提高对物理现象直觉判断和发现新事物的创新意识与能力。能够完成符合规范要求的设计性、综合性、研究性内容的实验，进行初步的具有研究性和创新性内容的实验，激发学生的主动性和学习兴趣，提高学生的创新能力和综合科学素质。

## 0.2.4　基本教学环节

不论是哪个层次、模块的物理实验，也不论其内容如何、方法怎样，实验课的基本程序大都相同，主要包括下面三个重要环节。为达到物理实验课的教学目的，学生应重视物理实验的各教学环节。

### 0.2.4.1　实验前的预习

**1. 为什么要预习**

由于实验课的时间有限，而熟悉仪器和测量方法的任务一般来说又比较重，因此在规定的时间内熟悉仪器的使用、完成仪器的调试和实验数据的测量，对大多数学生来说并不是一件轻松的事。如果学生在进入实验室后才开始学习实验原理，了解要测量什么物理量等，实验时就不知道要研究什么问题、实验中会出现哪些现象、要测量哪些物理量等，实验就没有针对性，只能机械地按照教材所列出的实验步骤，亦步亦趋地完成，离开了教材就不知道怎样动手。虽然用这样呆板的方式也能完成实验，也能测得实验数据，但却不了解它们的物理意义，不能判断数据的准确性，不能根据实验数据推得实验结果及它们是否验证了物理规律或发现了新的实验现象，自然也不会根据所测量的实验数据去分析、发现实验结果。实验预习的好坏是能否做好物理实验的关键。

做好预习，一方面能够在课上高质量地完成实验，提高学习的效率和兴趣；另一方面也可以避免损坏仪器和出现安全事故。

**2. 怎样才能做好预习**

首先是理解掌握实验原理。结合实验讲义和理论课教材，必要时可到图书馆借阅相关参考书，认真阅读，基本弄懂实验所用的原理和方法；要学会从预习中整理出主要实验条件、实验关键及实验注意事项，了解该实验会出现哪些物理现象，理解掌握该实验要测量什么物理量或验证哪条物理规律，是直接测量还是间接测量，要预判测量对象可能的大小(估算数量级范围)；如果是间接测量，要掌握计算公式及相应物理量所使用的单位等；如果是验证物理规律，要了解是怎样通过实验数据的分析处理来验证实验规律的；要根据实验任务拟订好实验数据记录表，为了使测量结果眉目清楚，防止漏测数据，预习时应根据实验要求画出实验数据记录表格，在表格上标明文字符号所代表的物理量及单位，并确定测量次数。结合实验讲义初步掌握实验仪器的使用；有些实验还要求学生课前自行拟订好实验方案，自己设计线路图或光路图等。

课前预习的好坏是实验中能否取得主动、顺利完成实验的关键。预习的书面结果是写好实验预习报告。上课时，指导教师将检查学生的预习情况，对于没有预习和未完成预习报告的学生，指导教师有权停止该学生本次实验。

### 0.2.4.2　实验中的操作

与教室最大的区别就是实验室中有大量的仪器设备和实验材料。在不同的实验室中，还分别有大功率电源、自来水源、压缩气体、激光、放射性物质、易燃易爆物品以及有毒有害物品等。

因此，进入实验室必须详细了解并严格遵守实验室的各项规章制度。这些规章制度是为了保护人身安全和仪器设备安全而规定的，违反了就有可能酿成事故。

学生进入实验室后，应对照实验预习报告和实验指导书，检查实验桌上的实验仪器是否和实验要求相一致。了解实验仪器的结构与功能，熟悉实验仪器的面板设计、各旋钮的作用与调节方法等。但注意，在此阶段不要接通电源，不要旋转旋钮、操作仪器。应认真、仔细听实验指导教师讲解实验原理、计算公式、仪器的使用方法、实验过程中的关键环节与注意事项等。

实验的主要内容是实验操作。实验时应按照仪器使用说明的要求正确操作和使用仪器，按照实验要求合理摆放实验仪器。力学或光学实验要根据测量精度，合理调整各仪器之间的距离。电磁学实验要仔细搭建实验电路。在实验过程中要注意安全操作，细心观察实验现象、记录实验数据。

认真观察、记录、分析和探索实验中的问题。不要指望实验工作会一帆风顺，在遇到问题，例如，在望远镜视场中看不到被测物体或它所成的像、示波器看不到波形等时，应看成是学习的良机，要冷静地进行分析和处理。仪器发生故障时，也要在教师的指导下学习排除故障的方法。总之，要将着重点放在对实验能力的培养上，而不是测出几组数据就敷衍了事。

要以严肃、严谨的态度对待实验数据。测量实验数据时要特别仔细，以保证读数准确，因为实验数据的优劣，往往影响或决定实验工作的成败。根据仪表的最小刻度单位或者准确度等级决定实验数据的有效数字，实验数据要有单位。实验结果一定要真实，要用钢笔或圆珠笔记录原始数据，不允许修改或编造实验数据。如果确系记错了，也不要涂改，应轻轻划一道，在旁边写上正确值，使正误数据都能清晰可辨以供在分析测量结果和误差时参考。不要用铅笔记录原始数据，不要给自己留下涂改的余地，也不要先在草稿纸上记录再誊写到数据表格中，这样容易出错，况且也不是“原始数据”。当实验结果与温度、湿度、气压等有关系时，还要记下实验进行时的室温、空气湿度和大气压。希望学生注意纠正自己的不良习惯，从一开始就培养良好的科学工作作风。实验结束时，将原始数据交教师审阅签字，整理还原仪器后方可离开实验室。

#### 0.2.4.3　实验后的报告

实验后要及时对实验数据分析处理。如果原始记录删改较多，应加以整理，对重要的数据要列表。数据处理包括计算、作图、误差分析等。计算要有计算公式或计算举例等，代入的数据都要有根据，便于别人看懂，也便于自己检查。作图要按照作图规则，图线要规矩、美观。数据处理后应给出实验结果。最后撰写出一份简洁、明了、工整、有见解的实验报告。这是对每一个学生必须具备的报告工作成果能力的培养，也是撰写科技论文的基本训练。

实验报告是实验工作的分析总结。主要包括以下几方面的内容：

① 实验名称。

② 实验目的。

③ 实验原理。

简要叙述有关物理内容，包括实验装置图、电路图、光路图以及测量中依据的主要公式、公式中各物理量的含义及单位、公式成立所满足的实验条件等。

④ 实验步骤。

根据实际的实验过程写明关键步骤，仪器使用的注意事项和安全注意要点等。

⑤ 原始数据记录表与数据处理。

记录中应有实验组别和仪器编号、规格及完整的实验数据。要完成数据计算、实验曲线绘



需要全本请访问 www.ertongbook.com