

# 第一章

## 大学物理实验基础知识

### 第一节 物理学与人类文明的关系

物理学是研究物质、能量和物质间的相互作用的学科，是关于自然界最基本形态的学科。它研究宇宙间物质存在的各种基本形式、内部结构以及相互作用，研究它们的性质、运动和转换，从而认识这些结构的组元及其整体的运动和转换的基本规律。

#### 一、物理学与科学技术之间的关系

物理规律具有最大的普适性，物理学是自然科学中的基础学科。

1999 年 3 月召开的第 23 届国际纯粹与应用物理联合会（IUPAP）代表大会通过的决议指出：

物理学是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。对物理学教育的支持和研究，对所有国家来说都是重要的，理由如下。

（1）学习和研究物理学是一项激动人心的智力探险活动，它鼓舞着年轻人，并扩展着我们关于大自然知识的疆界。

（2）物理学发展着未来进步所需的基本知识，而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转。

（3）物理学为科学进步和技术发明的应用提供了训练有素的人才。

（4）物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家，以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中，是一个重要的组成部分。

（5）物理学扩展和提高我们对其他学科的理解，诸如空间科学、信息科学、地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学，以及天文学和宇宙学等，这些学科对世界上所有民族都是至关重要的。

（6）物理学提供了应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识，如计算机层析术（CT）、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等，改善了人们的生活质量。

物理学是技术发展的主要源泉，三次产业革命（蒸汽机、电气化、信息化）均来自物理学或与物理学紧密相关。

**第一次产业革命**以 1774 年蒸汽机的发明为标志，主要由纺织机改革引起的动力需求产生了近代的**纺织业和机械制造业**，使得人类进入到利用机器延伸和发展人类体力劳动的时

代。其科学技术的**理论基础**是伽利略自由落体定律、开普勒行星运动三大定律和牛顿在《自然哲学和数学原理》中建立的完整力学体系。

**第二次产业革命**是以 1875 年发电机应用与工业标志的**电气化**，实现了生产方式的电气化。其**理论基础**是 1820 年的电磁现象（电动机原理），1831 年的电磁感应定律（发电机原理）和 1840 年的电磁波理论。

**第三次产业革命**是以 1946 年发明的计算机为标志的新信息技术革命，其核心是以微电子技术为基础的**电子信息技术**，实现了生产方式的自动化，并向信息化、智能化方向发展，包括新材料、新能源、生物工程、海洋工程、航空航天技术和电子信息技术等。其**理论基础**是量子力学和相对论。

## 二、物理学认识框架对自然科学世界图景的影响

物理学是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。物理学不仅是整个自然科学和现代工业技术的基础，也是人类认识真实世界的起点和描述自然界的方法，不同时期的人们生活在当时物理学认识框架形成的自然科学世界图景里，采用当时的物理学工作语言、概念和物理图像来描绘世界并用于工作和生活，特别是近代，物理学所带来的应用技术已经前所未有地决定着人类的存在方式。

### 1. 物理学三种认识框架的变迁

物理学的认识框架主要是指空间、时间以及把空间、时间与万物运动联系在一起的数学关系。所有的框架都是在一定的历史范畴下出现的，它所承载的也是在当时历史条件下人类所认识的主要事物。亚里士多德、牛顿、爱因斯坦都在自己所属的时代建立了各自的框架，把当时人们关心的大部分问题放入了他们的框架。

亚里士多德把空间描绘得像一座堂皇的古建筑，在那里可以容纳各种不同类型的物，并按照当时人们所能理解的方式描述了这些物的运动。亚里士多德框架中对可见事物的那些具体安排，随着时代的进步都被改变了。但是到现在，科学仍采用亚里士多德提出的三段式逻辑规则，即公理—逻辑演绎—逻辑结果。

随着人类认识的扩展，框架内的格子被装得越来越满，渐渐的，人们发现很多新的东西装在这个框架里实在不合适，于是有人试图寻找新的框架来包容新的事物。要推翻一个旧的物理世界框架，真正困难的是建立一个可以代替它的框架，因为这涉及的面实在太广，要改变认识理念非同寻常。第二个物理学框架经过伽利略等人的努力，最后由牛顿在 17 世纪完成。牛顿的这个物理世界的框架简洁又精确，时间、空间、物（用质量表示）这三个量，用万有引力、运动定律和一套微积分运算，竟然把从亚里士多德时代起一直说不清楚的宇宙图景用一些公式精确地计算了出来。

近代物理学的认识框架是相对论时空框架，爱因斯坦把时间和空间简单地用光速  $C$  联系在一起，推翻了 17 世纪以来把经典力学当作全部物理学甚至是全部自然科学最终基础的那种僵化观念。

经历了这样三个阶段的发展，近代科学经历实验化、数学化后，基本上具备了预测的能力。现代科学以一种实验的方式，通过对我们的世界进行数学还原的处理，实现了对个体和自然事物的控制和掌握。

## 2. 自然科学世界图景与人类文明

物理世界的三大时空框架与数学上的三个大的发展阶段相关联, 并和人类文明的三个历史时期相对应。可以说, 不同的认识框架导致了不同的描述逻辑语言和计算方式, 而这些语言和数学又进一步丰富自身并影响着不同阶段的人类文明。

几千年前不同时期的亚里士多德、托勒密、欧几里得和哥白尼都用同样的初等数学语言来讨论宇宙的构造。在那个时空框架里, 物的结构都是在空间上建立起来的, 时间在数学上还只是不连续的数列, 万物的图画都是静止的, 或者是不连续的, 这样的自然科学图景称为静态的或准静态的, 由此导致的人类文明也有相似的特征。那个时期人类的社会形态也限制了人们对自然认识图景的更新。

用力和速度构成世界图景的最基本要素, 以变量和函数来表达概念及规律, 使牛顿的世界图景动了起来。牛顿定律把以前认为截然不同的地面运动规律和天体运动规律概括在一个严密的理论里, 使人类第一次意识到天体运动是有规律可循的, 自然是认识的。这是人类从神学思想中解脱出来, 树立科学世界观的开端, 其历史意义巨大。牛顿图景采用经典数学逻辑进行分析推理, 其最大进步是对时间的处理, 时间不再是一个个不连续的点, 而成了实数轴上连续变化的变量。正是这种时空框架和数理逻辑体系, 使得人类开始拥有了预测的能力和改变自然的技术力量。由此人们的生存方式因技术而改变, 人类的文明也随着理念的改变而变化。

牛顿图景是工业社会的象征, 其机械自然观中理性的思维方法, 至今仍在广阔领域内发挥着巨大作用。牛顿时代的科学家认为任何物理量都是时间的连续函数, 这种函数关系就像瞬时速度那样简单, 但他们把宇宙万物僵化成像箭一样占有固定不变的空间大小和形状的“物质”, 是对物的僵化, 这是导致牛顿物理世界和工业文明僵化的根源。经典物理曾经的辉煌成就, 使得牛顿的物理学框架持续不断地影响着人们, 直到现在许多人头脑里对自然的认识仍是这个僵化的视窗, 甚至大部分人意识不到由这个僵化科学产生的哲学理念对现代人类文明的负面影响。现代地球环境的恶化、落实可持续发展观所面临的困局也许正是这种僵化延伸的后果。

## 3. 构建自洽和谐的知识体系是现代人自我强大的根基

作为现代的大学生, 应充分认识现代物理基础理论对从事技术和管理工作的意义, 应确信严格的物理逻辑推理和实验技能的训练是成为工程师不可缺少的, 应清晰理解现代科学的认识图景, 是构建自洽和谐知识体系和世界观的基石, 拥有知行合一的底蕴为自我生命的提升提供了扎实的基础, 也是面对未来挑战的能力。

造成所谓知识无用、高分低能的因素之一是由于所学知识没有形成一个有机的“大厦”。虽然头脑里装了很多的东西, 但却好似倒塌后的砖瓦碎片堆积在那里, 这些杂乱无章的知识, 既没有一个大的框架支撑它们, 也没有气血供养形成活生生的整体, 产生不了新的事物, 又何来创新? 就像四大发明, 在历史的背景下被缩成了个案, 戈壁滩上孤零零地耸立着四个石碑: 造纸术、印刷术、指南针、火药。周围没有茂密森林形成相互联系的学科体系, 其下没有支撑它们成长绿草茵茵的丰厚底蕴。

知识要变得有创造力, 就需要建构认知的框架, 牢固扎根在普适性很广很强的公理体系之上, 再将框架作为骨骼, 把那些知识化为机体中的细胞, 以逻辑推理和数理演算连接

它们，构建成脉络清晰、输运顺畅的“大厦”。就像计算机那样，需要哪个资料按照其编号就能够快速准确地找到，各个部分相互协作，能够生长出新的细胞，能够发现新的知识，也能够产生新的技术。

## 第二节 大学物理实验课程的任务和要求

教育部物理基础课程教学指导分委员会在 2010 年颁布了《理工科类大学物理课程教学基本要求》和《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》（以下简称基本要求），确定了我国高等学校理工科专业中“大学物理”和“大学物理实验”课程的地位、作用和任务。

基本要求中将“大学物理”和“大学物理实验”课程定位为高等学校理工科各专业学生重要的通识性必修基础课，指出物理教育是培养学生科学素质最有效的手段，它在培养学生科学观念、严谨的治学态度，增强学生分析问题和解决问题的能力，提高科学实验能力、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力，培养学生的探索精神和创新意识等方面，具有其他课程不能替代的重要作用。

### 一、大学物理实验课程的任务和要求

#### 1. 大学物理实验课程的具体任务

(1) 培养学生的基本科学实验技能，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。

(2) 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、爱护公共财产的优良品德。

#### 2. 教学内容基本要求

大学物理实验应包括普通物理实验（力学、热学、电磁学、光学实验）和近代物理实验，具体的教学内容和基本要求如下：

(1) 掌握测量误差的基本知识，具有正确处理实验数据的基本能力。

掌握测量误差与不确定度的基本概念，能逐步学会用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估。

掌握处理实验数据的一些常用方法，包括列表法、作图法和最小二乘法等。随着计算机及其应用技术的普及，应包括用计算机通用软件处理实验数据的基本方法。

(2) 掌握基本物理量的测量方法。

例如，长度、质量、时间、热量、温度、湿度、压强、压力、电流、电压、电阻、磁感应强度、发光强度、折射率、电子电荷、普朗克常量、里德堡常量等常用物理量及物性参数的测量，注意加强数字化测量技术和计算技术在物理实验教学中的应用。

(3) 了解常用的物理实验方法，并逐步学会使用。

例如，比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法和干涉法、衍射法等方法，以及在近代科学研究和工程技术中广泛应用的其他方法。

(4) 掌握实验室常用仪器的性能，并能够正确使用。

例如,长度测量仪器、计时仪器、测温仪器、变阻器、电表、交/直流电桥、通用示波器、低频信号发生器、分光仪、光谱仪、常用电源和光源等常用仪器。

实验中心引进了在当代工程技术中广泛应用的现代物理技术,例如,激光技术、传感器技术、微弱信号检测技术、光电子技术等。

(5) 掌握常用的实验操作技术。

例如,零位调整、水平/铅直调整、光路的共轴调整、消视差调整、逐次逼近调整、根据给定的电路图正确接线、简单的电路故障检查与排除,以及在近代科学研究与工程技术中广泛应用的仪器的正确调节。

(6) 适当介绍物理实验史料和物理实验在现代科学技术中的应用知识。

### 3. 能力培养基本要求

(1) 独立实验的能力——能够通过阅读实验教材、查询有关资料和思考问题,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,独立完成实验内容,撰写合格的实验报告;培养独立实验的能力,逐步形成自主实验的基本能力。

(2) 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,具有初步的分析与研究的能力。

(3) 理论联系实际的能力——能够在实验中发现、分析问题并学习解决问题的科学方法,逐步提高综合运用所学知识和技能解决实际问题的能力。

(4) 创新能力——能够完成符合规范要求的设计性、综合性内容的实验,进行初步的具有研究性或创意性内容的实验,激发学习主动性,逐步培养创新能力。

### 4. 分层次教学基本要求

上述教学要求,可通过开设一定数量的基础性实验、综合性实验、设计性或研究性实验来实现。这三类实验教学层次的学时比例大致分别为 60%、30%、10%。

(1) 基础性实验:主要学习基本物理量的测量、基本实验仪器的使用、基本实验技能和基本测量方法、误差与不确定度及数据处理的理论与方法等,可涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等各个领域的内容。

(2) 综合性实验:指在同一个实验中涉及力学、热学、电磁学、光学、近代物理等多个知识领域,综合应用多种方法和技术的实验。此类实验的目的是巩固学生在基础性实验阶段的学习成果,开阔学生的眼界和思路,提高学生对实验方法和实验技术的综合运用能力。

(3) 设计性实验:根据给定的实验题目、要求和实验条件,由学生自己设计方案并基本独立完成全过程的实验。

(4) 研究性实验:组织若干个围绕基础物理实验的课题,由学生以个体或团队的形式,以科研方式进行的实验。

## 二、实验室安全管理

### 1. 实验室安全准入制度

1) 实验室安全意识是学生必备的科学素养

实验室安全是校园综合治理和平安校园建设的重要组成部分。创建安全、卫生的实验

室工作环境是全体师生员工的共同责任和义务，实验室安全意识是实验管理人员、实验教师和学生必须具备的科学素质。

## 2) 实验室安全“准入制”

实验室安全“准入制”，包括实验室安全知识和实验室法规制度的学习、培训和考试，准入资格审核及建立安全准入人员档案，安全承诺书等内容，并以此作为实验室安全准入条件。

每位进入大学物理实验室的学生都应在进入实验室前，接受实验安全学习和培训，取得进入实验室的资格，并签署实验室安全承诺书。

没有获得实验室安全准入资格的学生，不能进入实验室开展学习和活动。

## 2. 学生如何获得实验室准入资格

### 1) 学生接受实验室安全培训的方式

(1) 新生在入学教育期间参观实验室，参加初步的实验室安全专题培训，接受应急演练，签署实验室安全承诺书。

(2) 入学初期，登录实验设备与实验室管理处的“安全知识”学习网站，浏览系统中实验室安全知识和有关法规制度，并结合《实验室安全手册》等资料，完成安全知识的自主学习，参加在线考试。

(3) 实验教学第一堂课都须包含安全教育，在实验讲授中强调有针对性的安全注意事项。

(4) 在实验学习期间，登录实验中心的网络学习相关的安全知识；在实验教学中，由实验教师在实验环节对需要注意的安全知识进行讲解。

(5) 实验室开放期间，由审核学生申请的实验室工作人员和值班教师确认学生的实验安全准入条件，并进行相关的安全教育。

### 2) 实验室安全考试

实验室安全考试分网上在线考试和各学院自行出题进行的专题考试两种方式，学生可以进行多次考试，成绩以最高得分为准。

实验室安全常识在线考试内容包含通用性知识、消防安全知识和专业性安全知识。由考生自行登录“实验室安全常识在线考试系统”进行考试。

### 3) 实验室安全准入资格审核

(1) 入学新生每人一册《实验室安全手册》，通过网上自主学习和考试，考试成绩合格后，学生自行打印或由学院统一打印实验室安全考试合格证书，交实验室（课题组）和学院（部、中心）、留档备查，并签订《实验室安全承诺书》后获得实验室准入资格。

(2) 只有基础实验课程过关的学生才能够获得进入专业实验室的资格。

## 3. 大学物理实验教学中心的实验室安全准入

“大学物理实验”课程是大学生第一门实验课程，在通过入学教育的实验室安全考试并签署《实验室安全承诺书》后，在进入实验室之前还需要进行更进一步的安全教育。通过基础实验教学严格、规范的训练，才能获得进入专业实验室的资格，所以第一门实验课程非常重要。

### 1) 大学物理实验室安全工作的特点

- (1) 实验室类别多, 管理难度大。
- (2) 实验室设备种类繁多。
- (3) 实验室使用频繁, 人员集中且流动性大。
- (4) 大学物理实验是大学学生的第一门实验课程。
- (5) 大学物理实验教学中心的教师教学和管理的工作繁重。

### 2) 实验室安全工作保护的对象

实验室安全防护系统是保证实验室安全的前提条件, 是为了将实验室潜在的危险降至最低, 以创造健康安全的工作环境。保护对象包括人员的安全、样品的安全、仪器的安全、运行系统的安全及环境的安全。

对于学生, 实验室安全至少包括人员的安全、仪器设备的安全及安全防护。

### 3) 大学物理实验室安全管理的内容

安全管理是实验室管理的重要组成部分, 实验室安全管理的对象是实验中一切人、物、环境状态的管理和控制, 是一种动态管理。因此, 实验室安全管理的内容可以大致归纳为实验室及实验设备的安全、实验教学过程的安全以及实验人员的行为安全三个方面。

既要保证实验人员的人身及财产安全, 保证实验教学活动的顺利进行, 也要确保实验室及实验设备正确安全地使用。

### 4) 大学物理实验室发生安全事故的种类

据不完全统计, 近些年, 因为用电引起的物理实验室事故高达 35%, 爆炸、烧伤引起的物理事故占 43%, 操作实验设备不正确引发的事故占 8%, 因为容器压力引发的实验事故占 12%。

(1) 电路发生的安全事故: 实验人员不按照用电安全规程操作, 发生触电事件。实验设备线路老化、维护不到位、没及时修理等引起漏电、短路, 造成仪器损毁、火灾、人员损伤。

(2) 天气引发的安全事故: 比较干燥的天气极易导致易燃物质着火, 比较潮湿的天气极易导致实验设备生锈, 温差变化大加上潮湿, 实验仪器常因放置时间长而出现问题, 一些物质的物理特质会受到冷热天气的影响, 设备启动后产生不良反应, 这些情况就容易产生安全事故。

(3) 设备伤人的安全事故: 因为学生缺乏安全知识, 物理实验时没有做好安全防范工作, 有时嬉闹恶作剧, 有时精神意识不集中出现四肢无意识的举动, 导致安全事故时有发生。不正当的操作和防护措施不充分, 对实验人员造成撞伤、脱甩。不遵守操作程序或者实验设备过于老化, 致使设备出现问题, 使实验人员触电或被火花灼伤。进实验室前没有预习, 实验教师讲解实验注意事项时不认真听讲, 不了解防范知识, 发生诸如眼睛直视激光器光源等违反操作规程的行为。

(4) 损毁设备的安全事故: 不遵守实验操作规程, 导致实验设备被毁坏。实验时漫不经心、用力没有分寸, 造成实验仪器的旋钮、开关发生无法修复的物理损坏。粗心大意将电极接反, 或者短路致使仪器指针被打断。操作精密仪器时没有按照要求进行多次预演和练习, 使得精密仪器无法使用。因为对实验设备预习不到位, 没有认识到某些仪器所属配件造成丢失或遗失。

(5) 失火失盗的安全事故：最后离开实验室的人员没有关窗、关门、关水、关电；因好奇等原因拿走实验室仪器设备中的小配件，过后没有送回；易爆易燃物品的存放有问题，废弃纸箱里以及实验室垃圾桶不加分别、随意囤积垃圾，没有及时处理实验室堆积的垃圾，所以实验室里的垃圾桶是发生火灾的极大隐患。

(6) 环境污染的安全事故：随意放置电子器件和设备造成重金属污染；没有及时驱散实验中产生的有毒有害气体；没有按照《废电池污染防治技术政策》放置购买的新电池和正在实验的电池、处置废旧电池；在进行伴有强电磁辐射的实验活动中没有按照《电磁辐射环境保护管理办法》的规定进行防护；在使用放射源与射线装置过程中发生的事故。

虽然学生实验素养的培养、实验技能的提高总伴随着一定量的实验教学仪器及其配件的损耗，但是还是要分清责任事故和非责任事故，让学生理解实验室安全所包括的对象和内容，严格按照实验规程操作，熟悉安全警示和注意事项的重要性，明晰造成人员伤害、实验仪器损坏、实验样品丢失、环境污染所应承担的责任，牢固树立实验室安全意识是工程技术人员必须具备的科学素质的认识。

### 三、“大学物理实验”课程的学习程序

#### 1. 实验课程教学的三个阶段

大学物理实验教学分实验基础知识讲授、实验项目教学、实验复习考试三个阶段。

大学物理实验教学按照实验项目进行管理，一般课程的总评成绩包括：每一个开设的实验项目成绩、期末考试成绩。若期末时某学生有一个或一个以上的实验项目没有完成，则该学生的课程总评成绩为不及格。

每个实验项目包括实验预习、实验操作、实验报告三个环节。每个实验项目的成绩包括：预习成绩 1、预习成绩 2、操作成绩、报告成绩。

大学物理实验采用信息化教学模式，在网络技术搭建的自主学习系统的基础上，大学物理实验教学中心建立了网络化的实验教学和实验室管理信息平台，实现了网上辅助教学和智能化管理，创造了学生自主实验、个性化学习的实验环境，具有较为完善的实验教学质量保证体系，这种运行机制和管理方式将逐步实现多样化、分层次的开放式教学。

#### 2. 实验项目的教学程序

一次完整的实验项目教学要经历三个过程：实验预习（简称预习）、实验操作（简称实验）、实验报告。

##### 1) 实验预习

每个实验项目的预习要在进入实验室之前一周开始，利用课外时间完成。应通过阅读实验教材明确本次实验所要达到的目的，以此为出发点，弄明白实验所依据的理论、所采用的实验方法；搞清楚控制实验过程的关键与必要的实验条件；明确实验内容和步骤；知道应如何选择、安排和调整仪器；预料实验过程中可能出现的问题等。在此基础上写出实验预习报告。预习是保证实验教学顺利进行并能取得满意结果的重要步骤。

每一个实验项目的预习一般包括以下两种：一是进入实验预习大厅，进行仿真实验，完成预习试卷，获得预习成绩 1（没有配套的仿真实验的实验项目除外）；二是阅读实验教材，撰写预习报告，在进入实验室操作前，实验教师检查预习报告给予预习成绩 2（每个实验项目必须有的成绩）。预习的一般步骤如下。

(1) 通过教材第二章第四节的学习,进入大学物理实验教学中心网页,下载《预习系统使用说明》和《预习系统相关软件 and 使用的说明》,并获悉本学期与自己有关的大学物理实验安排,合理安排自己的时间,规划预习时段。

(2) 进入大学物理实验室前一周,及时查看自己下一个实验项目的名称,做该实验的时间和地点,下载大学物理实验中心网页上公布的与该实验项目有关的资料。

(3) 按照预习系统中预习公告的要求进行预习。提前阅读实验教材和参考资料,弄清实验目的,理解实验原理,熟悉实验仪器和实验内容。

(4) 在阅读实验教材的基础上,进入“实验预习大厅”,熟悉仿真实验的操作方式,解答预习试卷获得预习成绩 1;若网上预习成绩不理想,还可以多次进入实验预习大厅,进一步掌握仿真实验中虚拟仪器的操作方法和测量要求,再次解答预习试卷,再次获得分数。在多次预习成绩 1 中最高分值有效,因而,同学们在进入实验室前须留给自己足够的预习时间,有关预习系统的使用方法将在第二章介绍。

(5) 在对仿真实验中虚拟仪器的性能和使用方法有一定了解的基础上,再进一步阅读实验教材,凝练实验内容,形成清晰的脉络(若能够将实验内容和步骤简化为要点或画出框图更好),针对性地关注实验注意事项、仪器操作中的难点。

(6) 写出预习报告。

**注意:**虽然有几个实验项目在预习系统中还没有仿真实验,但从预习系统网页中仍能获得相关的预习资料。对于没有仿真实验的实验项目,一定要按照实验教材和预习系统中通知公告的要求,完成预习,并撰写出预习报告。

## 2) 实验

(1) 按照大学物理实验中心网页上的时间安排,按时到对应的实验室,依据组别就坐在编排好的实验桌前,根据“实验项目展示牌”检查仪器,查看仪器的名称和摆放顺序,检查仪器没有缺损后,在“实验项目登记表”中签字;如有缺损,要及时报告给教师,并在“实验项目登记表”备注栏中简要说明。

(2) 进行实验操作前,教师将进行必要的讲解。在教师做启发性讲解时,特别要注意预习环节没有弄懂的问题,牢记注意事项及特殊规定。

(3) 讲解后,教师检查预习报告并给出预习成绩 2,学生按照组别相互配合,严格按照本次实验的内容和步骤进行实验的操作。实验过程中,教师将进行抽查、提问,并将其作为评定实验操作成绩的依据。

(4) 在实验操作过程中,学生要留心理仪器的安装与调整,测量时必须满足仪器的正常工作条件。

(5) 整个实验过程中,要有对实验原理、方法有整体认识,注意测量与观察,如实记录测量数据(原始数据)和观察到的现象。只有认真预习了,才能在预习报告中设计好表格,记录才不会凌乱。

(6) 实验出现问题和疑难时应及时向教师请教,没有得到教师的允许,不同组别的学生不得调整、不得相互“请教”,要保证每个同学的实验操作训练的时间;同时,在操作测量过程中,不同组的同学不能相互交叉帮着进行测量,在没有得到教师许可的情况下,更不能私自更换仪器设备,因为要保证实验是在等精度测量条件下进行的,否则测量数据全部作废。

(7) 一般情况下, 同组的同学都需要独立完成实验操作和测量。在一次测量中, 可以一位同学操作, 另一位同学做记录, 下次测量时交换。尽量使同组的同学有相同的机会, 避免出现依赖或者不均衡的现象。实验数据要记录在预习报告中的表格里, 不允许记录在实验教材的表格中, 否则教师不签字, 所以要认真预习并设计好表格, 实验过程中可以修改表格; 撰写实验报告时也可以重新誊写实验数据和表格。

(8) 实验基本内容测试完成后, 数据应交教师审阅并签字批准, 上交的实验报告中必须有原始数据和教师的签字, 否则本次实验没有成绩。重要的实验数据或自己有疑虑的测量要及时请教教师, 再做下一步实验。基本实验内容完成后, 可以进行选做部分的实验内容或者自行设计的实验内容。

(9) 坚决杜绝抄袭实验数据的现象, 一旦发现按考试作弊论处。不允许弄虚作假、编造实验数据, 发现编造时, 本次实验项目要重做, 否则记零分。

(10) 所有实验内容完成后, 经教师批准, 方可将仪器整理复原。学生和教师都在实验项目记录表中签字后, 学生方可离开实验室, 否则本次实验没有成绩, 随后仪器设备查出有问题, 责任由本次同组同学承担。

### 3) 实验报告

实验报告是实验学习的重要环节, 是整个实验教学中的主要组成部分。实验报告是实验结果的文字报道, 是实验过程的总结。

通过撰写实验报告可以逐步培养撰写科学技术和工程设计报告及工作总结的能力, 同时, 实验报告还是提交给教师评定实验成绩的主要依据。因此, 实验项目结束后, 应尽快整理好数据, 写出实验报告。书写一份字迹清楚、版面整洁、文理通顺、图表正确、数据完备、结果明确的实验报告是对学生的基本要求。

## 3. 怎样写实验报告

为更好地达到教学目的, 完成教学任务, 我们将实验报告分为预习报告、实验记录和课后报告三部分。实验报告一律要求用统一的实验报告纸书写。

(1) 预习报告的内容如下。

① 实验名称。

② 实验目的。

③ 实验原理, 包括: 简要的实验理论依据, 实验方法, 主要计算公式及公式中各量的意义, 关键的电路图、光路图和实验装置示意图, 注意事项等。有些实验还要求写出自拟的实验方案、自己设计的实验线路、选择的仪器等。

④ 实验步骤: 扼要地说明实验的内容、关键步骤及操作要点。对于关键的、难度大的步骤可以稍加详细地写出。

⑤ 数据表格: 预习报告中画好表格是预习报告最核心的要求, 也是实验技能和实验素养训练的重要环节; 教材中的表格只是参考, 随着实验教学的深入, 会逐步提高对设计表格的要求。

⑥ 预习思考题: 预习报告在上课前交教师审阅, 经教师认可后方可做实验。

(2) 实验记录: 这部分在实验室里完成。其内容如下。

① 实验仪器 (在预习报告里记录实验仪器的编号和型号规格、组别与教学序号)。记录仪器编号是一个好的工作习惯, 便于日后必要时对实验进行复查。

② 实验内容与观测到的实验现象。

③ 实验数据：首先要列出全部原始数据，不要擅自修改，一般数据要填写在画好的表格里；数据记录应做到整洁清晰而有条理，最好采用列表法；在标题栏内要注明单位；数据不得任意涂改；确实测错而无用的数据，可在旁边注明“做作废”字样，不要任意划去。

④ 实验结果出来后要让教师签字认可，方可将仪器整理还原。

(3) 课后报告。

① 数据处理：按照实验要求对测量结果进行计算，包括计算公式、简单计算过程、作图、不确定度估算、最后测量结果等。作图应在方格纸或坐标纸上细心绘制。

② 写出实验结果表达式，归纳总结实验结论。

③ 完成教师指定的思考题。

④ 结尾，分析误差来源（以分析系统误差为主），对实验中出现的说明和讨论，以及实验心得或建议等。

预习报告、实验记录和课后报告构成一份完整的实验报告。

#### 4. 大学物理实验报告评分标准

(1) 使用规定的封面、纸张、格式、装订及规范化地书写（5分）。

(2) 有实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤（25分）。

项目名称：（5分）。

实验目的：（5分）。

实验仪器：（5分）。

实验原理：（5分）。

实验步骤：（5分）。

(3) 有完整的实验数据（30分）。

完整规范的表格：（10分）。

原始测量的数据：（10分）。

初步的数据处理：（10分）。

(4) 有完整的数据处理（30分）。

(5) 思考题、讨论、误差分析（10分）。

注：根据不同实验项目的性质、任务和要求的不同，第（3）、（4）和（5）项的分值配置会有调整，但3项的合分为70分不会变。

#### 5. 实验复习及实验考核

应充分认识到实验预习、实验复习、实验反复训练及实验考试的重要性。

鼓励学生在完成实验室的操作和测量任务后，利用课余时间到实验室多次重复实验。在期末实验考试前，将开放式实验室提供给学生专门复习做过的实验项目。

实验课程有两种总评成绩的核算方式。一是不进行实验期末考试，总评成绩由所做的实验项目平均分决定；二是进行实验期末考试，总评成绩由实验项目、实验期末考试按照一定比例构成。

实验考试时采用随机抽取试卷的方式，考试试卷包括操作题和问答题或数据处理题。考试内容包含本学期开设的所有实验项目，将每个项目的实验内容细分为考试的操作题，

使每个实验台的试题都不同，并且能够在规定时间内完成考试。

#### 四、实验室的开放

实验室开放是指学校正式建制的各级各类教学实验室，在完成计划内实验教学、科研任务的前提下，利用现有的师资、仪器设备、实施条件的资源，面向全日制在校生开放，为学生提供实践学习条件，充分调动和激发学生学习的主动性和积极性，使学生有独立思考、自由发挥、自主学习的时间和空间，做到因材施教，培养高素质人才。大学物理实验教学中心每学期都会安排开放实验室。

##### 1. 实验室向学生开放的形式

实验室向学生开放的具体形式分为自我训练型、创新实践型、科技活动型等，采用以学生为主体、教师加以启发指导的实验教学模式。

(1) 自我训练型：主要采取定期课外开放，学生自我练习提高实践动手能力的方式，适宜教学计划内的实验巩固、实验考试前的复习等。

(2) 创新实践型：主要采取校级“实验室开放基金项目”的形式申报立项综合性或设计性开放实验项目，也可根据情况组织开设在实验室的公共选修课。学生通过选修预约的方式进行，结题验收后可按教学计划申请创新学分。

(3) 科技活动型：适宜小发明、小制作、小论文等科技活动实验。实验室定期发布科研项目中的开放研究题目，鼓励部分优秀学生或有特长的学生早期进入实验室参与科学研究活动。学生也可根据学科竞赛要求或者结合学生社团活动，联系相应的实验室和指导教师自拟课题开展竞赛、制作、发明等科学实验。

##### 2. 大学物理实验室开放的内容和范围

###### 1) 开放大学物理实验教学中心教学平台的仿真实验

- (1) 面向全校所有年级的本科专业学生。
- (2) 为高中没怎么做过物理实验的同学开放基础性实验。
- (3) 为想了解物理实验中的仿真实验、熟悉信息化教学的同学，开设常规仿真实验。
- (4) 为参加各种竞赛、想进一步学习的同学，开设提高性仿真实验。

###### 2) 开放大学物理实验教学中心的实验室

- (1) 在常规教学之外，面向全校所有年级的本科专业开放实验室。
- (2) 在常规教学时段，主要开放本学期正在进行的物理实验项目。
- (3) 在本学期教学任务完成后、大学物理实验考试前，主要开放本学期所有开设的实验项目。
- (4) 在整个学期，为承担创新项目、开放实验项目、开放实验基金项目以及竞赛等的同学开放与项目相关的实验。
- (5) 在大学物理实验考试结束后，将开放若干个基础性实验、综合性实验、研究性实验以及提高性实验，供同学们选择。

大学物理实验教学中心每学期初将根据实验设备与实验管理处的统一要求，在校园网和大学物理实验教学平台发布本学期开放实验室计划和管理措施，在网络公布开放实验室所开放的实验项目和实施方案，同学们可以据此报名参加。

### 第三节 新工科大学物理实验课程的建设

物理学是一门面向理工科各专业学生的重要必修基础课程。大学物理类课程的教学在培养学生的科学素质,包括科学思维方法、科学研究方法和创新精神以及灵活运用数学工具等方面,都具有独特的优势。学习物理及其实验的过程中形成的坚实物理基础、深刻物理思想以及良好的学习能力,是一个优秀专业技术人才所必须具备的科学素质。另外,当今世界科技发展速度十分迅猛,越来越多的物理学先进原理被应用于各行业的生产研发领域,对于应用型本科院校培养的人才群体更是需要直接面对生产领域的科学技术问题,具有足够的物理学知识基础就显得尤为重要。

#### 一、专业训练与普及教育的不同

在大学物理及实验课程的学习过程中,将通过知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观三个维度帮助学习者初步树立工程意识,自觉地探索将物理原理和方法运用于工程技术实际问题的途径;培养从实际出发提出问题、分析问题和解决问题的能力;训练自主学习的方法,培养自主建构知识网络的能力,为终身学习打好基础;更重要的是在受教育的过程中感受专业化训练对工程师的重要性,体会专业教育与普及教育的区别,提高专业素养和科学素质。

任何科学学科的方法范式和概念术语体系是经由无数专业工作者千锤百炼所发展完善的严密的符号体系,它不仅沟通时具有精准的特点,还具有交流的高效率。

很多进入大学的新生对物理学充满憧憬和兴趣,头脑中常常有天马行空的奇思妙想。但是,他们需要认识专业的科学工作者与业余的科学爱好者之间的分别就在于能否理解和进入科学共同体。业余科学爱好者所欠缺的不是他们的观点或发现是否正确,而是能否用正确的方式表达和思考。业余科学爱好者最大的障碍就在于他们不掌握学术的术语,其他人要理解他们的概念必须从头梳理,耗时耗力。而且由于他们的思考没有使用精准的概念体系,一个重要概念在思考的过程中内涵和外延随时都可能发生着变化而不自知。

一个没有进入或者拒绝进入科学共同体的业余科学爱好者在一个信息冗余的时代越来越没有价值。任何非专业人士想做出有价值的科学成就和技术发明及工程成就,就得接受专业的学术训练,接受科学共同体的概念术语体系和方法范式。

与高中的普及性教育不同,在大学专业教育中,可以采用比喻、拟人等教学方法,但那只是一个指代,最终要以专业的术语严密地表达和阐述;为了防止表达概念术语的歧义,很多时候应采用生涩的词汇甚至数学的符号或式子来定义,不能因为是应用型专业就忽视专业化的学术训练。在大学物理实验的教学过程中我们应建立对数学和物理的严格性的理解和敬畏,同时在心理上培养对严格性的亲切感,通过实验教学形成专业的概念术语体系和方法范式,并能够用数理逻辑语言去严密地描述我们感觉到的东西。

#### 二、在实验过程中认识精确科学的范式

精确科学所包含的高等数学知识和实验理念已融入大学物理及其实验的教学中。

### 1. 由经验科学到精确科学

人类的科学、技术、工程已经由经验阶段发展到精确阶段。经验从实践中来，一般以定性为特征，很少采用精确数字描述，基本不用数学知识，至多采用初等数学知识。工业化时代的早期，在企业和工厂，技术人员在生产和管理中，往往以经验为主，这时技能和动手操作往往谈不上精确，但是那些精细的高技能却蕴含了精密的高精尖，这些高技术难以在人群中模仿和推广。以经验为主要核心技能的生产至少存在 3 个问题：一是由于定性的“经验”往往带有一定的主观性，因而以经验为基础的推理或判断失误概率较大，容易导致错误的结果；二是定性的“经验”导致精确重复实验的难度很大，“经验”和相关技术的传承成为难题，导致大量优秀技术失传；三是在经验科学阶段，定性归纳推理成为主要的推理范式，由于没有采用精确的高等数学进行抽象概括和演绎推理，因而要揭示本质性的自然规律几乎没有可能。

伽利略把数学方法与实验测量相结合，将理论和实验相互印证，开创了现代精确科学的研究范式，它是现代一切自然科学的一般研究范式。该范式要求对实验和理论进行客观、精确定量、任意可重复地循环对比、修正和提高，从而不断提升理论与实验的精确程度和符合程度，最终揭示宇宙客观规律。

### 2. 现代精确科学的研究范式

人类能够观察得到薄膜上的彩色干涉条纹应该相当早，但对光的波动性的认识却是在 1801 年由托马斯·杨的双孔干涉实验确立的，这之间至少隔了几千年。在之前的研究中，人们无法从薄膜彩色条纹的观察中得到在实验室里的人工可控的实验装置和实验手段，也就无法由经验升华为科学原理。托马斯·杨以其奇思妙想的实验装置和随后对双缝干涉、牛顿环的实验研究，以及菲涅尔等人的努力，最终构建了完善的光的干涉和衍射理论，精确地解释了实验结果。后来科学家们由定量的光的干涉原理剖析薄膜的条纹，建立了两种薄膜的物理模型和相应的能观察到稳定干涉图样的光源模型，从而精确地定量阐释了复杂的薄膜干涉，并认识到了普通光源的发光机制。

由伽利略开创的现代精确科学的研究范式如下，可以循环往复。

- (1) 精确实验，总结实验规律。
- (2) 提出假说，定量解释实验规律。
- (3) 根据假说，利用数学演绎和逻辑推理，获得推论或预言。
- (4) 对推论或预言进行客观、精确定量、任意可重复的实验检验。
- (5) 修改理论及假说。
- (6) 实验检验假说和理论。

上述精确科学研究范式由伽利略率先倡导，后人不断完善而成，故也被称为“伽利略科学研究范式”，它是现代一切自然科学的一般研究范式。

### 3. 精确科学的三个特征

“客观”是指科学实验结果的客观性，即只要实验条件严格一致，实验结果便唯一确定，与实验操作者、实验进行的时间或地点等均没有关系。

“精确定量”要求科学实验必须用数字、函数或微分方程精确定量描述和演绎。

“任意可重复”是指在时间、体力、脑力、资金、仪器设备等允许的范围内，可任意次重复实验过程。

#### 4. 精确科学对实验重复次数的选取法则

精确科学并没有将“可重复”上升至“无限可重复”，不仅代表实验重复次数的提升，更规定独立科学对实验重复次数的选取法则。从“无限可重复”理性地降至“任意可重复”，表明科学实验的重复次数的有限性和相对性，体现了科学的真实意义所在，也告知了科学的局限性。

在精确科学研究范式中，有一个过程十分苛刻：利用数学演绎和逻辑推理获得理论或预言，并与更精确的实验进行客观、精确定量、任意可重复的反复验证。换言之，精确科学不仅要求实验测量越来越精确，还要求理论越来越能够精确描述、计算、演绎并预测实验规律，揭示实验现象背后的深层宇宙规律。

所以，在学习物理知识、潜心进行物理实验的过程中，高等数学和物理实验相辅相成，是体会和学习精确科学的基础，在这个体会过程中以大学物理及实验的教学为载体，在获取专业需要的物理知识的同时，更汲取了精确科学思想和方法。

### 三、精确实验越来越与微分方程紧密联系在一起

16 世纪以后，以微积分为代表的现代高等数学开始诞生并不断发展，为精确科学的发展提供了强有力的支持。可以说，几百年来，精确科学紧紧伴随着高等数学的发展而发展。

数学的基本特征：一是高度的抽象性和严密的逻辑性；二是应用的广泛性与描述的精确性；三是研究对象的多样性与内部的统一性。

#### 1. 偏微分方程是某些宇宙真理的数学表达

爱因斯坦的相对论是精确科学的理论典范，其中采用的现代高等数学包括微积分、线性代数、张量分析、群论、拓扑学、微分几何等，其所得结论的精确度令世人赞叹不已。迄今为止，诸如“引力红移”、“光线弯曲”等已得到极高精确实验的验证。2015 年 9 月 14 日，来自 LIGO/VIRGO 合作组的三位科学家雷纳·韦斯、基普·索恩、巴里·巴里什通过精确度太高、实验难度极大的 LIGO 实验直接探测到并且发现了引力波，获得了 2017 年的诺贝尔物理学奖。

随着精确科学的不断发展，一个又一个宇宙客观真理相继被揭示。人们发现，在实空间中，宇宙客观真理一般由偏微分方程描述。

精确描述宇宙客观真理的是一个一个不同类型的偏微分方程。根据不同的边界条件，经过严格且巧妙的数学求解和演绎，便可获得一个又一个科学问题，创造一个又一个人类文明的奇迹。因此，这些偏微分方程当之无愧地被誉为“宇宙客观真理的化身”。

#### 2. 精确科学与实验误差

事实上，精确的实验测量数据与严密逻辑的高等数学演绎，两者将实验与理论进行客观、精确定量、任意可重复地循环验证；而实验数据测量越精确，重复次数越任意，与高等数学精确演绎结果越吻合，越能揭示本质性宇宙客观规律，由此建立的科学理论也越逼近宇宙客观真理。所以，人们才在伽利略范式中发现，花费巨大的代价，任意可重复地进

行精确的实验并与精确的理论循环验证。

同时,通过大学物理和大学物理实验的学习能认识到:精确是相对的,不精确是绝对的。所谓精确,是一个相对的概念,并具有鲜明的时代特征。

放大电路的  $H$  参数模型的几种电路模型,由简至繁,体现的正是电子线路由低频到高频、再到微波,越来越精确的工程发展历程。

数学是精确的,它可无限逼近绝对精确值,然而,当采用数学这一工具(包括大型计算机)计算实际科学问题时,必须建立简化模型,进行近似计算,不可能绝对精确。

由于受仪器设备精确度极限、周围环境变化、人为因素等影响,人类所进行的一切实际科学实验均存在误差,从来没有绝对精确而无误差的科学实验。科学的任务并不是消除误差,而是减小误差,将误差减小至实际应用的允许范围之内。

科学素养的形成,若没有精确科学的训练就缺少了科学理念的核心;创新能力的培养,若没有精确科学的支撑就很难站得高、看得远,更难以追赶和企及工业化 4.0。对精确科学技术工程的认识不足,将对信息化时代的产业和经济发展造成负面影响。

#### 四、新工科大学物理实验课程的建设

“大学物理实验”课程是高等学校理工科专业必修的学科基础课,为各应用型本科专业发展和人才培养目标的实现服务,即以“培养具有现代职业素养、适应地方经济发展和行业技术进步的基层应用型工程技术人才”为根本目标,在“大学物理实验”课程中落实“重品德、实基础、强能力、高素质、善应用”的人才培养模式,以学生为中心、社会需求为导向、能力为本位,构建符合学校定位与培养目标的应用型大学物理实验教学体系。

##### 1. 重构应用型工科专业的“大学物理实验”课程

新建应用型本科院校面临三种转型任务:“专科型”、“学术型”向“本科型”转变;在“高职高专型”与“综合性理科型”之间寻找向“应用型”发展;“传统教育型”向“互联网+教育”的发展。这三种叠加的转型发展现状迫切需要对原有课程体系进行改革与重组,都指向推进重构课程体系,课程重构是新建地方本科高校转型发展着陆生根的重要途径,新建地方本科高校的教育教学目标的达成最终都聚焦于课程。所以应用型高校的大学物理实验教学中心的建设与发展应适应新工科专业转型发展的需求,“大学物理实验”课程重构的核心是教学内容。

以应用型工科教育思想和学校各专业发展对人才的需求重构大学物理类课程教学内容,并通过对课程内容的筛选、设计、调整与整合,使得教育思想和办学理念得以落实、落细、落小。将“培养规格与行业标准相融合”、“教学内容与工程实际相融合”、“教学过程与工作过程相融合”、“教学场所与真实工厂相融合”、“教师队伍与工程师队伍相融合”这五个产教融合理念贯穿在课程设置、教学大纲、教学内容、教学方法等方面,筛除陈旧,凝练精华,跨越烦琐的中间曲折过渡陈述,缩短科学理论与工程技术之间的距离,重构课程教学内容,将专业课程里的工程案例作为实例,以知识和能力、过程和方法、情感态度和价值观作为课程重构的核心,并在教学中思想、能力、知识三者并重。积极探索和实践理工融合、理工互动的教育教学方式,选拔各专业教师融合到大学物理和大学物理实验教学团队中,并让大学物理教师和大学物理实验教师承担相近的专业课程,形成良性的互动。

探索将新工科的教学理念运用到教学的整个过程中,实验项目的教学内容参照工程实

践案例,实验教学管理和教学过程尽量贴近工作过程,实验报告吸纳工程方案的特点,在新工科应用型实验教学模式的基础上,在信息化技术的支持下,将物理知识及其实验技能应用与确定的、实用的工程流程、程序、系统和方法。通过大学物理及实验的教学,为学生对广义工程建模奠定基础;能够在分组实验中具有良好的协作能力,能够就广义工程活动与同行以及社会公众进行有效的沟通,能够在具有多样性的团队中作为个体、成员或负责人有效地发挥作用,具备理解阅读操作说明书和撰写报告、设计文档等能力,能够认识在专门技术领域进行自主学习和终身学习的必要性,并培养相应的能力。

## 2. 采用信息化手段改造实验教学环节

将教学改革聚焦于新工科人才培养目标之下的专业课程体系重构中,明确大学物理类课程服务于专业人才培养的作用,探索适应于时代发展的教育思想和教学方法,落实到实验教学的各个环节中。

与理论课程不同的是,实验课程往往缺乏理论课程教学过程中的做习题、复习。下面是一个理论学习的学习链条:

**(课程预习)→(课堂听课)→(课后温习)→(课后作业)→(考前复习)→(课程考试)**

理论课学习,学生可利用教科书课前预习,提高听课的效果,课后可利用笔记和教科书进行复习,消化课程内容,再通过作业训练巩固和检验自己的学习成果。作为教师教学的两个环节,课堂教学可充分发挥效率,考试可客观、准确地把握教学质量关口。

但以往实验教学不存在这样的条件,学生无法依靠书本进行实验预习、复习和操作训练。实验教学的第1、4、5环节往往被忽略,实验教学仅仅局限在实验室的3~4小时,在实验室学生无法完全消化实验教学的内容,也难以熟练掌握实验技能,实验教学效果不佳。经过采用信息化手段,现在能够实现如下的实验教学环节,提高了教学质量和教学效率。

**(实验预习)→(课堂实验)→(实验报告)→(开放实训)→(实验复习)→(实验考试)**

以前实验教学的安排就像流水线生产一样,在课堂上学生只能忙于操作,谈不上对学生理论联系实际思维的培养,实验教学缺少学生自主学习的环境;没有实验预习,学生就难以养成带着有准备的手眼、有思想的头脑去做实验。

实践能力的核心是理论联系实际思维的形成,不是简单的操作和技能。无论是教还是学,都必须充分认识到实验预习、实验复习、实验反复训练及实验考试的重要性。针对实验教学中缺乏实验预习、实验复习、实验作业练习和实验考试的问题,近几年我们在开创信息化教学手段、提高物理实验教学质量的思路下,建立了开放式的实验教学平台。

## 3. 网络化管理、信息化教学、开放式学习

立足于开放式教学,建立大学物理实验信息化管理系统,将大学物理教学系统与校园网融为一体。中心所有系统都架设在专属的服务器上,无须建立独立的仿真实验室。以45个仿真实验为依托的大学物理实验教学平台,利用互联网及计算机技术能够为基础较为薄弱的学生开设预备性实验,为学有余力的学生开设提高性实验。学生预习、做仿真实验都可以在宿舍、网吧或学校机房中完成,甚至用平板和手机也可通过外网访问,24小时开放,让学生在时间和空间上都能有自主学习的条件。

实验预习、实验复习和实验操作技能的训练需要在一定的教学平台上进行,在这样的

教学平台上形成学生自主学习的环境，在这样的环境中学生自主到开放式的实验室中进行各种实验项目的实验，如验证性实验、设计性实验、综合性实验和开放式实验，这样就可以激发学生的热情。

因为物理学的发现归根结底来源于人们对科学的热爱，来源于对未知事物的好奇心。在自主学习中体验实验结果的期待和发现规律性带来不可替代的快乐。

#### 4. 建立分层次、模块化实验教学体系

通过认识工科专业教育目标所需要的知识和能力、过程和方法、情感态度和价值观三个维度来研判大学物理类课程在其间的作用。建立了与理论教学有机结合，以能力培养为核心，分层次的实验教学体系。

依据学校发展的总体规划和工科专业的需求，分层次、模块化设置实验项目。课程开设了基础性实验、综合性实验、设计性或研究性实验，这三类实验教学层次的学时比例分别为 60%、30%、10%，达到了“基本要求”的指标。同时，按照循序渐进的原则，由易后难，分批次晋级式地设置实验项目模块。每学年更新一两个实验项目，不受传统实验划分的制约，根据实验的难易程度、前后衔接、教学要求，划分为四个模块（基础性实验、综合性实验、设计性或研究性实验、选修或开放性实验），进行教学的依次轮换。

#### 5. 教学内容注重传统与现代的结合，与工程技术密切相关

根据现有条件，在课程中逐步引进在当代科学研究与工程技术中广泛应用的现代物理技术，例如，激光技术、传感器技术、微弱信号检测技术、光电子技术、磁悬浮技术等。模拟企业的工作场景，按照工程教育的理念进行实验教学的过程管理。

重构课程教学内容，筛除陈旧，凝练精华，跨越烦琐的中间曲折过渡陈述，缩短科学理论与工程技术之间的距离，将专业课程里的工程案例作为实例。

#### 6. 在实验教学中培养学生的自主性学习能力

实验教学的预习由学生自主选择时间，实验室中的操作训练包含可选的实验内容，特别是推动学生靠自己提供实验指导书独立完成实验，开放实验，提供学生自主选择的实验项目。

在整个实验教学过程中，逐渐将常用的物理实验方法（如比较法、转换法、放大法、模拟法、补偿法、平衡法、干涉及衍射法）分阶段、分层次，由易到难，逐步教学生学会使用。

通过仿真实验、开放式实验、物理竞赛等将实验教学活动延伸出课堂和学时外，进入网络和宿舍……

#### 7. 像对待工程方案那样撰写实验报告

“大学物理实验”课程采用清华大学朱鹤年教授一整套的不确定度理论，重视测量误差基本知识的教学，逐步传授用不确定度对直接测量和间接测量的结果进行评估，使学生具有正确处理实验数据的基本能力。在实验报告中突出学生对实验现象的观察、实验问题的分析和总结。

通过撰写实验报告，使学生能够融合实验原理、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,具有初步的分析与设计及研究的能力。

### 8. 加强计算技术在物理实验教学中的应用

Excel 软件功能强大,集数据的编辑、整理、统计分析、图表绘制于一身,易学易用,无须编程。在学习 MATLAB、Origin、PowerPoint 软件前,学生已经接触过 Excel。利用它能够很方便地解决实验数据的处理、不确定度的计算、绘制表格、实验数据的图示,并对实验结果进行分析,减少烦琐数据运算的枯燥,防止运算中的错误,节省时间,有效提高学生的学习兴趣和学习效率。让学生用刚学过的绘图技能和通用软件处理实验数据,可以实现以下功能。

- (1) 辅助分析,实现高度异常值的剔除。
- (2) 完成复杂计算,实现数据的自动处理。
- (3) 生成图表,改变数据隐含的趋势信息。
- (4) 拟合曲线,显示数据的内在联系。

同时,利用 Excel 建立大学物理实验项目的快速数据检测系统,能够帮助教师实时检测学生实验数据的准确性,更有效地进行实验教学的过程管理。

### 9. 建立大学物理实验教学质量保障体系

制定大学物理实验教学的管理制度、实验项目的教案、实验报告规范及评分标准,制定大学物理实验课程质量标准,建立实验项目数据档案,严格保证实验教学的各个环节的质量,以达成基本教学目标的实现。

### 10. 建立多元的实验考核方法

实践教学就要注重各个实验环节,中心制定了一系列的规章制度和考核方式。

手脑并用、学做合一。强调头脑的作用,没有预习就是没有头脑,动手操作大打折扣。通过两次预习成绩的评定,考核学生实验前的网络预习、检查课前预习报告并提问抽查,督促学生带着有准备的头脑进实验室。

在实验室里的实验操作,要求学生注意观察实验现象、学会分析实验过程中的问题,教师将及时监督和提问学生,要求学生当面演示某个操作和测量过程,在实验结束前要求学生摆好仪器,还原接手仪器时的摆放布局,根据实验操作的表现和测量结果给实验操作评分。

在实验项目成绩中,实验报告与实验操作所占的比例是一样的。应用型人才的培养并不意味着只需懂得操作,而不用掌握实验数据处理和分析的方法。大学物理实验教学重视数据处理和结果分析,把这作为实验重要的组成部分。那种没有不确定度的实验测量结果是不能被采信的,甚至不能作为科学测量。

每个实验项目的成绩由实验预习、实验操作和实验报告组成,每一环节都有严格、规范考核和评判标准,经得起检验,也能够起到独立评判课程学习效果的量度。

期末考试范围包含学过的所有实验项目,将所有实验项目的实验内容以适当的时段组织一系列的考试操作题。考试试卷既有操作题,也有数据处理和实验分析的问答题。考试前开放实验室,督促学生将所学的实验都搞懂、搞熟、搞透,不留死角。期末考试时,

采取学生随机抽签的方式，在规定的时间内完成抽取的试卷，获得期末考试成绩。期末考试也可以采用独立完成新的实验项目的方式进行考核。

鼓励学生参加开放实验项目、竞赛项目、创新创业等项目，参加物理实验兴趣小组，将这些实践活动作为总评成绩的一部分，或者计入创新学分，激发学生的实验兴趣，提高实验教学的效果。

## 五、实验室规则

(1) 实验前，必须认真复习教材中的有关内容，仔细阅读实验指导书，明确实验的目的、要求、内容和方法，并按要求做好实验前的准备工作。

(2) 必须在上课前进入实验室，在规定的位置听讲和做实验，遵守纪律，不得大声喧哗、吃东西和任意走动。保持实验室内环境的肃静和整洁。

(3) 实验前要根据“仪器卡片”检查仪器，如有缺损，立即向教师报告。检查仪器后，要在《实验项目登记表》中签字，并在备注中注明仪器问题。

(4) 未了解仪器性能之前切勿动手，使用仪器时，必须严守仪器操作规程，不准擅自拆卸仪器。

(5) 按实验方案做好一切准备后，应认真检查，确认无误，经实验指导教师同意后，方可开始实验，对实验数据要认真记录和分析，达到实验的要求后，才能结束实验。

(6) 应严格按操作规程进行实验，凡使用电源的实验，应请教师检查线路，经允许后方可接通电源。若发现有异常现象或故障，必须立刻断开电源，向指导教师报告，待查明原因，排除故障后，才能继续进行实验。

(7) 未经指导教师允许，不得动用与本实验无关的设备、仪器、仪表与工具，不得做规定实验以外的实验项目。

(8) 学生应正确使用和爱护实验室的设备、仪器、仪表和工具，特别是仪器面板上的按钮和旋钮要轻按、缓转，对原材料和元器件应注意节约和合理使用，如有损坏和丢失，应查明原因，凡由于粗心大意或违反操作规定致使仪器损坏的都属非正常情况，要追究责任人的责任，按规定赔偿，情节严重的要给予相应的处分。

(9) 实验完成后，必须清理所用的仪器、仪表、设备与工具，并将其放回原处，恢复到实验前的状态，认真填写“实验项目登记表”，经教师检查和在“预习报告”、“原始数据”及“学生课堂考核登记卡”上签字，并在做完室内清洁后，方能离开实验室。

(10) 在开放式实验教学以及实验复习及实验考核中，遵照“开放实验室管理办法”和相关管理规定执行。

## 第四节 测量与误差

### 一、测量

为确定待测对象的量值而进行的实验过程称为测量。

物理实验就是借助仪器将待测物理量同一选作单位的标准物理量进行直接或间接比较来确定它们间的倍数关系，从而得出待测物理量的量值。所以测量是物理实验的基本过程。