

● 普通高等教育“十三五”规划教材

飞行特色 大学物理

第2版

白晓明 等编著

上册



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十三五”规划教材

飞行特色大学物理

上册

第2版

白晓明 邵伟 编著

机械工业出版社

本书是空军航空大学飞行特色基础课程教材,根据教育部最新颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),并结合作者大学物理课程教学改革实际情况和多年教学经验编写而成。内容包括质点的运动、牛顿运动定律、功和能、冲量和动量、刚体的定轴转动、机械振动、机械波、气体动理论、热力学基础、相对论等,另外还配置了惯性导航、微加速度计、卫星家族、火箭推进技术介绍、惯性导航中的各种陀螺仪、混沌简介、反声探测技术和弧立波、航空大气数据计算机、新能源技术及其军事应用、太空“利剑”——粒子束武器等小篇幅阅读材料供学员选读。本书的主要特色是:各章有历史背景与物理思想发展脉络简述,展示科学家的创新过程;各节设相关内容的物理知识应用,突出理论联系实际和学以致用;在应用能力训练和章后习题中融入大量与生活、飞行和军事相关的习题,激发学员的兴趣,提高教学的针对性和有效性。

本书为高等军事或航空航天院校本科专业学生的大学物理教材,也可作为其他各层次学生的教材或自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

飞行特色大学物理.上册/白晓明等编著.—2版.—北京:机械工业出版社,2016.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-111-52640-7

I. ①飞… II. ①白… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第311356号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李永联 责任编辑:李永联 陈崇昱

责任校对:孙国雄 封面设计:马精明

责任印制:乔宇

唐山丰电印务有限公司印刷

2016年2月第2版第1次印刷

184mm×260mm·23.75印张·634千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52640-7

定价:43.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

本书自2013年问世以来,受到大学各级首长的肯定、支持和鼓励,为大学的教学改革起到了引领和示范作用,曾两次获得大学优秀教学成果一等奖,并已上报全军优秀教学成果三等奖。教材使用两年来,深受广大师生厚爱,教材特色的针对性和有效性得到了学员的广泛认可,同时也激发了广大学员的学习热情。

为了适应军事高等教育紧贴部队、聚焦实战的改革要求,回应教员和学员在教材使用中的意见和建议,解决上一版教材中部分内容飞行特色不突出的问题,我们对本书做了必要的修订,重点有以下几方面的工作。

(1) 在保留原有风格和特色的基础上,更加突出飞行特色,在物理知识应用、物理知识拓展和应用能力训练模块中增加了与飞行相关的物理知识,例如,飞机的机动飞行、筋斗、盘旋、飞机撞鸟、飞机静电、飞机油量传感器等内容。

(2) 对教材原有框架和体系做了适当变更,如将机械波的干涉和驻波内容移到下册,以便与电磁波和波动光学结合讲解,提高教学效率。本书在内容上也做了适当调整,删去了与时代不相适应的内容,增加了与信息化战争需求相适应的电磁波的极化和飞机天线等内容,更新了部分特色习题。

(3) 改正了上一版中出现的疏漏及个别表达上略有欠缺的内容和词句。

本书的修订出版是在大学和基地的资助下完成的。在出版过程中始终得到大学机关和物理教研室全体教员及机械工业出版社各方面的关注、支持和帮助,特此一并致谢。

由于时间仓促,编者的学识水平和教学经验有限,书中不当之处难免,敬请读者批评指正。

编 者

第1版前言

进入21世纪后,随着我国综合国力的增强和国防建设的转型,对空军未来发展提出了越来越高的要求。同时,新世纪爆炸式的知识信息增长使知识更新的周期不断缩短。大学扩招变原来的“精英教育”为“素质教育”,引起了生源综合能力素质的改变。在这种大背景下,再继续沿用近几十年来的物理教学模式,特别是物理教材模式,就很难适应这种时代的变化。因此,大学新课程体系人才培养方案对飞行人才在科学文化知识、能力和素质上都提出了明确要求:“掌握终身发展必备的自然科学基础理论和基本知识,了解其在军事飞行领域中的应用,了解科学发现的过程,领悟科学探究方法,形成科学创新意识;具有一定的科学思维和创新思维能力;具备运用科学思想和科学方法解决问题的能力,具有求真的科学精神、务实的科学态度和严谨的科学方法。”

大学物理作为本科生必修的一门重要基础课,在为后续课程及以后的再学习打下必要的物理基础,使学生在获得必要的自然科学知识的同时,还能得到良好的物理学思想和物理学方法的培养和训练。因此,它在落实大学人才培养目标方面具有举足轻重、难以推卸的责任。为此,我们融合我校基础部多年来飞行特色基础教育的经验和成果,编写了这套《飞行特色大学物理》教材。本书的主要特色是:

(1) 每章开篇设“引言”,重点介绍与本章内容相关的物理学史。科学并不完全等于技术,它还应该是一种文化。既面对自然,以理性的态度看待自然,也深入人性,弘扬诚实、合作、为追求真理而不屈不挠的献身精神。读史使人明智,了解科学思想的逻辑发展和历史行程,不仅对学生牢固掌握物理理论有益,还可以增强他们的质疑和批判精神。力求以发展、变化、联系的思想为标准来裁决和审视一切科学假说与科学理论,不迷信权威,这是科学能不断向前发展的动力。创新是我们时代的主题,由物理学概念、原理逐步形成的历史,就是无数智者质疑、批判和创新的历史,他们经历的科学创新过程对学员形成科学创新意识有重要的启迪作用。

(2) 每章后设“飞行军事及工程应用”阅读材料,介绍与本章物理基础知识相关的航空理论、航空设备、电子技术和未来军事装备发展的前沿知识,体现飞行特色、军事特色,充满知识性、趣味性、可读性、前瞻性、应用性、启发性和教育性,这里搭建的是一个理论联系实际、激发创新思想和引领学术前沿的平台,也是吸引军校大学生课外学习探究的园地。

(3) 每章后设“本章归纳总结”,引导学生对繁杂的知识进行归纳、总结和升华。

(4) 课后习题:习题配置充分反映物理知识在生活、工程和军事中的应用,特别是在航空等方面的实际应用,在把枯燥、单调的物理学学习转变为有趣、充满活力和生动的课程的同时,强化理论联系实际的意识和观念,开发科学思维和创新思维的能力。

(5) 每节内容分为四个部分:

1) 物理学基本内容:根据教育部颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),精选教学内容,强调科学素质的培养,从大学生的认知特点、教学规律以及物理知识体系出发,强调物理知识的系统性、整体性,强调各部分知识间的相互联系。把每节物理知识内容按照物理概念、物理规律和知识运用划分为三个层次,知识运用层次放到“航理及军事应用”或“应用能力训练”栏目,部分较深较难或教学基本要求次级要求的问题放到“物理知识拓展”栏

目,供学有余力的学生进行探究式学习。

2) 航理及军事应用: 主要介绍与本节物理内容密切相关的航理及军事应用知识,用物理学定理(定律)分析解决航理及军事、工程应用问题,从而调动学生的学习热情,加深学生对物理知识的理解,在提高教学效能的同时,实现军事航空装备科技信息的全程灌输,建立物理基础知识在应用领域中的互通性、统一性,适应科技时代多元化和科技发展综合化的要求。

3) 物理知识拓展: 把部分较深较难的问题放到这里,供学有余力的学生学习和探究。

4) 应用能力训练: 这里开辟例题、应用性习题、物理知识应用等,培养学生应用知识解决实际问题的能力。

本书上册第5~10章由白晓明编著;第3~4章由邵伟编著,绪论和第1章由余辉编著;矢量和题解由于华民编著。下册第17~19章由李春萍编著;第11~16章及第20章主要由白晓明编著,其中第11章、第12章习题和阅读材料由张健编著,第14章、第16章习题内容由郭秀娟编著。本书在编著过程中参考了国内外许多优秀教材,谨此致谢。

诚然,由于编者知识和能力有限,再加上时间紧迫,虽然有很多好的愿望,但是在实践中不可避免地会出现许多不足,因此,希望本书的每一位读者都是能给予我们最直接帮助的朋友。您在阅读或使用本书时感到的不足,对我们则正是最需要、最宝贵的意见和建议,也正是我们最希望了解和知道的,请不吝赐教。

虽然本书的编写只是教改的一个尝试,但我们还是愿意在学校、教务处及基础部等各级领导的支持下,在大家的帮助下,通过共同努力,把我校大学物理的教学改革推向新的阶段。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论	1
第1章 质点的运动	9
历史背景与物理思想发展脉络	9
1.1 参考系 质点	10
1.2 描写运动的四个物理量	14
1.3 平面曲线运动	26
1.4 相对运动	37
本章归纳总结	41
本章习题	42
本章军事应用及工程应用阅读材料——惯性导航	45
第2章 牛顿运动定律	47
历史背景与物理思想发展脉络	47
2.1 牛顿运动定律的内容	48
2.2 流体力学的基本概念	54
2.3 力学中常见的力	60
2.4 牛顿运动定律的应用	68
2.5 非惯性系 惯性力	74
本章归纳总结	79
本章习题	79
本章军事应用及工程应用阅读材料——微加速度计	84
第3章 功和能	87
历史背景与物理思想发展脉络	87
3.1 功 动能定理	88
3.2 保守力与势能	97
3.3 机械能守恒定律	102
本章归纳总结	112
本章习题	112
本章军事应用及工程应用阅读材料——卫星家族	116

第4章 冲量和动量	118
历史背景与物理思想发展脉络	118
4.1 冲量 动量定理	119
4.2 动量守恒定律	128
4.3 质心 质心运动定理	136
4.4 角动量 角动量守恒定律	140
4.5 质量流动与火箭飞行原理	147
本章归纳总结	152
本章习题	153
本章军事应用及工程应用阅读材料——火箭推进技术简介	158
第5章 刚体的定轴转动	161
历史背景与物理思想发展脉络	161
5.1 刚体及刚体运动	162
5.2 转动定律	168
5.3 定轴转动中的功能关系	178
5.4 刚体的角动量 角动量守恒定律	182
本章归纳总结	189
本章习题	189
本章军事应用及工程应用阅读材料——惯性导航中的各种陀螺仪	195
第6章 机械振动	198
历史背景与物理思想发展脉络	198
6.1 简谐振动	199
6.2 简谐振动的旋转矢量表示法 相位差	207
6.3 简谐振动的能量 能量平均值	211
6.4 简谐振动的合成	215
6.5 阻尼振动 受迫振动 共振	221
本章归纳总结	225
本章习题	226
本章军事应用及工程应用阅读材料——混沌简介	229
第7章 机械波	232
历史背景与物理思想发展脉络	232
7.1 机械波的一般概念	233
7.2 平面简谐振动的波函数和物理意义	240
7.3 波的能量 能流密度(波强)	247
7.4 多普勒效应	253
本章归纳总结	256
本章习题	256
本章军事应用及工程应用阅读材料——反声探测技术和孤立波	258

第8章 气体动理论	261
历史背景与物理思想发展脉络	261
8.1 平衡态 状态参量	262
8.2 理想气体的压强和温度	267
8.3 气体分子热运动的速率分布	277
本章归纳总结	286
本章习题	287
本章军事应用及工程应用阅读材料——航空大气数据计算机	288
第9章 热力学基础	290
历史背景与物理思想发展脉络	290
9.1 热力学第一定律	291
9.2 热力学第一定律对理想气体的应用	298
9.3 绝热过程	303
9.4 循环过程 卡诺循环	308
9.5 热力学第二定律	316
本章归纳总结	327
本章习题	327
本章军事应用及工程应用阅读材料——新能源技术及其军事应用	331
第10章 相对论	334
历史背景与物理思想发展脉络	334
10.1 狭义相对论	335
10.2 狭义相对论的时空观	342
10.3 狭义相对论动力学	349
本章归纳总结	354
本章习题	355
本章军事应用及工程应用阅读材料——太空“利剑”——粒子束武器	355
习题参考答案	358
附录 矢量	366
参考文献	371

绪 论

1. 什么是科学

科学是一个历史的发展的概念，要给出一个全面的、确切的定义是十分困难的。一般而言，科学有广义和狭义之分。广义地说，科学包括自然科学、人文科学、社会科学和思维科学。狭义地说，科学仅指自然科学和技术科学，自然科学是发现，回答“是什么”和“为什么”。技术科学是人类为达到物质性目的而使用的成套的知识系统，它回答“做什么”和“怎么做”。科学是人对客观世界的正确认识，是人类寻求知识的过程及成果体系。

要讲自然科学，首先要知道什么是自然界。广义的自然界就是宇宙的总和，包括人和社会；狭义的自然界，即自然环境的同义语。一般来说，自然科学是研究自然界不同事物的运动、变化和发展规律的科学。

现代自然科学包括基础科学、技术科学和应用科学三大部分。

基础科学以自然界某种特定的物质形态及其运动形式为研究对象，目的在于探索和揭示自然界物质运动形式的基本规律。它的任务是探索新领域，发现新原理，并为技术科学、应用科学和社会生产提供理论指导和开拓美好的应用前景。基础科学是整个自然科学的基石，是现代科学发展的前沿，也是技术发明的“思想发动机”。数学、物理、化学、天文学、地理学和生物学等属于基础科学。

技术科学以基础科学的理论为指导，研究同类技术中具有共性的理论问题，目的在于揭示同类技术的一般规律。它是直接指导工程技术研究的理论基础。技术科学的研究都有明确的应用目的，是基础科学转化为直接生产力的桥梁，也是基础科学和应用科学的主要生长点。因此，技术科学在经济发展中占有重要的地位，是现代科学中最活跃、最富有生命力的研究领域。如在第二次世界大战后，属于技术科学的原子能科学、计算机科学、能源科学、航天科学、机械工程学、材料科学、空间科学、冶金学等一系列新兴技术科学的迅猛发展，已成为世界第三次科技革命的重要标志。

应用科学是综合运用技术科学的理论成果，创造性地解决具体工程和生产中的技术问题，创造新技术、新工艺和新生产模型的科学。如农业工程学、水工程学、生物医药工程学等。应用科学是自然科学体系中的应用理论和应用方法。它直接作用于生产，针对性强，讲究经济效益，与技术科学在某些方面无严格界限，所包括的学科门类最多，社会对其投入的人力、物力、财力也最多。应用科学按照不同的应用领域可划分为工程技术科学、农业技术科学、交通技术科学等。

现代自然科学的这三大大部分各有研究的对象和目的，既是自然科学体系中的不同组成部分，又是三个密切联系的不同层次，互相影响，互相促进。

2. 科学理论的评判标准

怎样的科学知识能成为科学理论呢？即所谓的科学理论的理性标准是什么。

(1) 内部连贯性

首先,要求科学概念的内部联系具有内部连贯性,即不存在逻辑矛盾和数学矛盾。无矛盾性(或自洽性)是一个理论正确性的最重要的标准。

逻辑理性:理论要对科学知识进行逻辑重构,成为“假设—演绎”体系。每一个科学结论,在进行逻辑论证时,必须找到论据,在寻找论据时,需不断向后追溯,但这是不可操作的。可操作的办法是,在逻辑链的某个点上,中断论证程序,这个中断点,就是任何科学理论的基本假设、公理系统和基础概念框架,它作为未加论证的前提而被引进,有约定或假设的性质。任何由此通过逻辑演绎途径得出的结论,它的证实是相对的而非绝对的,前提的假设性传递给了结论,任何科学的理论体系,都是假设演绎体系。从这个意义上说,逻辑理性要求全部科学知识都是假设性的,包含了信仰的成分。

科学理论的这一基本特征,决定了人们在构建科学理论时,可以自由地选择公理系统(原理、原则、准则、前提、初始命题),这些公理,既不是“自明”的,也不一定是不可“证实”的,只是为了构建理论,人们必须从某个地方开始论证而放弃了证明它的企图。科学理论的逻辑理性要求无矛盾性,这表明,一种理论若在其前提或结论中显示了一种矛盾,则肯定是错误的了,人们可以通过揭露其矛盾来驳倒这个理论。一个包含矛盾的理论,由于矛盾与非连贯性会激发人们的好奇性,以及寻找一种更佳理论的巨大兴趣,如科学理论中发现的许多“悖论”,通常会导致理论的发展,甚至是新理论的产生。

数学理性:逻辑给知识以确定性,数学给知识以精密性。数学作为科学的语言,精确地描述了大自然,“大自然这本书是用数学语言写成的”,而“数学化”也早已成为科学知识的公认准则。科学理论的内部连贯性同时要求有数学理性,不存在数学矛盾。这里有两个基本问题。

一是对科学理论的逻辑理性与数学理性要求是否是相互独立的?英国数学家罗素认为,数学不过是逻辑的延伸,企图从不可怀疑的逻辑公理出发演绎出全部数学真理,结果这种努力失败了,表明了它们的独立性。

另一个,数学理论有假设性吗?德国数学家希尔伯特在研究数学基础问题时,把数学命题与逻辑法则用符号写成公式,得到一个形式化的公理系统,并企图证明公理内部的相容性,以确保通过演算、证明获得的数学结论的无矛盾性,如果这种相容性得以证明,则所有的数学结论都是确定的,都是“真”的,而哥德尔的不完备性定理宣告了这种努力的失败。

数学系统作为一个“公理—演绎”系统,其公理集的相容性是无法证明的,它对数学推演的数学结论,能否摆脱矛盾,我们除了猜测外,并不能给予明确的答复。因此,数学公理集与定理之间的关系类似于理论与经验事实之间的关系,数学公理集与理论一样,本质上是假设性的,数学定理能否证明,与经验事实能否说明一样,是一个悬而未决的问题。英国数学家拉卡托斯提出了“数学是拟经验的”观点,数学系统固然是一个由公理集到定理集沿逻辑展开的演绎系统,但这个系统中公理集内部的相容性是不可证明的,因而不具有内禀真理的功能,而某些特殊定理却具有真理功能。数学公理集的真理性,不是通过证明,而是从它们推导定理的真理性获得的。一个公理集,如果由它推出的定理经过验证是真的,则这个公理集可能是真的;如果它推出的真的定理愈多,则该公理集为真的概率就愈大。数学系统的真理性最终是建筑在经验基础上的,通过归纳方法来考察其成功的程度,数学系统的公理集本身并没有为系统提供真理的基础,而是提供一种解释,它与逻辑公理集一样,使科学理论具有解释功能。

数学理性与逻辑理性一样揭示了科学知识的假设性,同样要求科学理论成为“假设—演绎”系统。

(2) 外部连贯性

实验理性：要求科学理论有外部连贯性，即理论与观察的一致性。一种理论，如果它本身或者从它推出的结论，能够通过经验得以证实或证伪，它就是可以检验的，不可检验的陈述是无意义的，实验理性必然要求科学假设具有可检验性。科学理论不仅必须描写为一个逻辑系统和数学系统，以描述一个可能的世界，更重要的还要描述我们的经验世界。作为一个逻辑系统和数学系统，它适用于描述世界，但对现实世界却一筹莫展；作为一个形式化和符号化系统，既不能通过经验得到证实，也不能通过经验而被驳倒，它的正确性，仅是从公理集中无矛盾地推导出来，只有经验才能建立关于现实世界的认识。

可检验性原则：它为科学假设提供了一个方法论原则，即科学假设原则上是可检验的。不具备可检验性的假设，不能成为科学假设，应从科学理论中排除，这又称为科学的实证性。科学理论的一组假设是演绎的前提，科学理论作为一个整体即“假设—演绎”系统发展着，一个理论原则上有无限多的逻辑推理。因此，对于科学理论的最终“经验证实”是不可能的。波普尔主张理论永远得不到证实，但原则上必可被证伪，这再一次揭示了科学理论的假设性。逻辑的、数学的、实验的理性要求是科学理论的必要标准，其他则是有用标准。

(3) 美学要求

一个科学理论只在某些特定接触点，即通过某些实验事实与实在世界有联系，这些实验事实支持了这个科学理论，但并没有证实这个理论。实际上，在这些接触点（实验事实）保持不变的情况下，往往可以有多个科学理论可供选择，哪一个理论更好呢？

若两种理论在经验上等价，描述了同样的经验资料，则简单性是一个有用的标准，即公理集中有最少数量的独立假设的那个理论更好。若两种理论在经验上不等价，则统一性、概括性、普遍性也是一个有用的标准，即应用经验范围广、说明价值高的那个理论更好。对称性在现代科学发展中已成为一个新标准，即对称性更高的理论更好。

简单性、统一性、对称性展示了对科学理论的审美要求，这样的要求传达了这样一个信息：大自然是在最基础的水平上按美学原则设计的，现代科学理论既需要理性框架，还需要审美框架。美学标准更多地应用在科学实践中，在面临新假设、新观念的情况下更为有用，在理论创新中它是科学家所追求的东西（超过了逻辑理性）。

3. 物质世界的层次和数量级

物理学是一门基础科学，它的研究对象是自然物质的物理性质、相互作用及运动规律。物质世界是一个多层次结构的系统，科学的任务就是要通过不断发展的层内分析与逾层分析，推动对这个系统的整体认识。

人类的认识是从其所生活的狭小天地开始的，人类通过直观形式与经验范畴构建的世界图像（世界观）与现实世界结构（部分的）相一致，这使人类特别良好地适应了生物学环境。知觉认识与经验认识是在适应这个生物学环境的进化过程中形成的，并通过遗传固化下来，作为一种天生的禀赋来适合这个环境，就像尚未降生的马蹄已适合于草原、孵化以前的鱼鳍已适合于水域一样。这个日常经验范围以人为中心，其量值的数量级基准为

时间：s； 空间：m； 质量：kg；

并成为世界系统的一个宏观层次。由此出发，科学通过实验、观察、测量，不断拓展经验范围，通过直觉、逻辑、数学，不断提出与这个拓宽了的经验范围相符的新的世界图像。

时空为世间万物的存在和演化提供了舞台，对宇宙的探索是人类自远古以来就孜孜以求的

目标之一，中文里“宇宙”中的“宇”指上下四方的空间，“宙”指古往今来的时间，对宇宙及世间万物的认识就构成了人们的世界观。

(1) 空间尺度

从物理学研究对象所涉及的空间尺度来看，相差是很大的。现代天文观测表明，河外星系普遍存在光谱红移现象，说明宇宙是处在膨胀过程中，从宇宙诞生到现在，宇宙延展了 10^{10} ly（光年）以上，即 10^{26} m 以上，这说的是宇宙之大的下限。从整个宇宙来看，我们的太阳系只是这宇宙中的沧海一粟。从物质可以小到什么程度来看，《庄子·天下篇》中引用了一段名言：“一尺之捶，日取其半，万世不竭”，说的是物质世界往小的方向可以无限分割下去。现代物理告诉我们，宏观物体是由各种分子原子组成，原子的大小是 10^{-10} m 量级。原子核是由质子和中子组成，每个质子和中子的大小约为 10^{-15} m，大概是原子大小的十万分之一。原子核比质子或中子大的倍数依赖于原子核中包含多少个质子和中子。但是，原子核比 10^{-15} m 仍大不了多少。质子和中子又由更为基本的粒子——夸克组成。用间接的方法得知，夸克和电子的大小将小于 10^{-18} m。所以，实物的空间尺度从 10^{26} m 到 10^{-18} m，相差 44 个数量级！表 0-1 列出了物质世界中各种实物空间尺度的数量级。

表 0-1 物质世界的空间尺度

空间尺度/m	实物	空间尺度/m	实物
10^{26}	宇宙大小	10^6	地球半径
10^{23}	星系团大小	10^3	地球上的高山
10^{21}	地球到最近的河外星系的距离	1	人的身高
10^{20}	地球到银河系中心的距离	10^{-3}	一颗细砂粒
10^{16}	地球到最近的恒星的距离	10^{-5}	细菌
10^{12}	冥王星的轨道半径	10^{-8}	大分子
10^{11}	地球到太阳的距离	10^{-10}	原子半径
10^9	太阳的半径	10^{-15}	原子核、质子和中子
10^8	地球到月球的距离	10^{-18}	电子和夸克

(2) 时间尺度

从物理学研究对象所涉及的时间尺度来看相差也是很大的，我们所知的宇宙的寿命至少为 100 亿年，即 10^{18} s，而粒子物理实验表明，有一类基本粒子的寿命为 10^{-25} s，两者相差 43 个数量级！表 0-2 列出了物理世界中各种实物的时间尺度的数量级。

表 0-2 物质世界的时间尺度

时间尺度/s	实物运动的周期、寿命或半衰期	时间尺度/s	实物运动的周期、寿命或半衰期
10^{18}	宇宙寿命	1	脉冲星周期
10^{17}	太阳和地球的年龄， ^{238}U 的半衰期	10^{-3}	声振动周期
10^{16}	太阳绕银河中心运动的周期	10^{-6}	μ 子寿命
10^{11}	^{226}Ra 的半衰期	10^{-8}	π^+ 、 π^- 介子寿命
11^9	哈雷彗星绕太阳运动的周期	10^{-12}	分子转动周期
10^7	地球公转周期	10^{-14}	原子振动周期
10^4	地球自转周期	10^{-15}	可见光
10^3	中子寿命	10^{-25}	中间玻色子 Z^0

既然物理世界在时空尺度上跨越了这么大的范围,我们进行描述也自然要把它划分为许多层次,在每个层次里,物质的结构和运动规律将表现出不同特色。凡速度 v 接近光速 c 的物理现象,称为高速现象, $v \ll c$ 的称为低速现象。在物理上,把原子尺度的客体叫作微观系统,大小在人体尺度上下几个数量级范围之内的客体,叫作宏观系统。如果把物理现象按空间尺度来划分可分为三个区域:量子力学、经典物理学和宇宙物理学。如果把物理现象按速率大小来划分,可分为相对论物理学和非相对论物理学。人类对物理世界的认识首先从研究低速宏观现象的经典物理学开始,到 20 世纪初才深入扩展到了研究高速、微观领域的相对论和量子力学。

4. 物理学是科学的世界观和方法论的基础

物理学描绘了物质世界的一幅完整图像,它揭示出各种运动形态的相互联系与相互转化,充分体现了世界的物质性与物质世界的统一性,19 世纪中期发现的能量守恒定律,被恩格斯称为伟大的运动基本定律,它是 19 世纪自然科学的三大发现之一和唯物辩证法的自然科学基础。著名的物理学家法拉第、爱因斯坦对自然力的统一性怀有坚定的信念,他们一生都在矢志不渝地为证实各种现象之间的普遍联系而努力着。

物理学史告诉我们,新的物理概念和物理观念的确立是人类认识史上的一次飞跃,只有冲破旧的传统观念的束缚才能得以问世。例如普朗克的能量子假设,由于突破了“能量连续变化”的传统观念,而遭到当时物理学界的反对。普朗克本人也由于受到传统观念的束缚,在他提出能量子假设后多年,长期惴惴不安,一直徘徊不前,总想回到经典物理的立场。同样,狭义相对论也是爱因斯坦在突破了牛顿的绝对时空观的束缚后而建立起来的。而洛伦兹由于受到绝对时空观的束缚,虽然提出了正确的坐标变换式,但却不承认变换式中的时间是真实时间,因此一直没有提出狭义相对论。这说明,正确的科学观与世界观的确立对科学的发展具有重要的作用。

物理学是理论和实验紧密结合的科学。物理学中很多重大的发现、重要原理的提出和发展都体现了实验与理论的辩证关系:实验是理论的基础,理论的正确与否要接受实验的检验,而理论对实验又有重要的指导作用,两者的结合推动物理学向前发展。一般物理学家在认识论上都坚持科学理论是对客观实在的描述,著名理论物理学家薛定谔声称,物理学是“绝对客观真理的载体”。

综上所述,通过物理教学培养学生正确的世界观是物理学科本身的特点,是物理教学的一种优势。要充分发挥这一优势,就要提高自觉性,把世界观的培养融入到教学中去。

一种科学理论的形成过程离不开科学思想的指导和科学方法的应用。科学的思维和方法是在人的认识上实现从现象到本质,从偶然性到必然性,从未知到已知的桥梁。科学方法是学生在学习过程中打开学科大门的钥匙,在未来进行科技创新的锐利武器,教师在向学生传授知识时,要启迪和引导学生掌握本课程的方法论,这是培养具有创造性人才所必需的。

5. 物理学的社会教育和思想文化功能

(1) 科学的双重功能

把物理学仅仅看成一门专业性的自然科学是不全面的。从物理学史的简短介绍即可看出,物理学的基本观点是人们自然观和宇宙观的重要组成部分。近代科学的发展过程首先是天文学和物理学的发展过程,是从无知和偏见中解放出来的过程,也是人们从漫长的中世纪社会中解放出来的过程。这一过程在 20 世纪发展到一个新的更高的阶段,相对论和量子力学的建立不仅

是物理学上的伟大革命，而且常被认为是第三次科学革命，也可以说是人类思想史上的伟大革命。

马克思在一百多年前就曾说过，科学是“最高意义上的革命力量。”1883年马克思逝世时，恩格斯致悼词说：“在马克思看来，科学是一种在历史上起推动作用的、革命的力量。任何一门理论科学的每一个新发现，即使它的实际应用甚至还无法预见，都使马克思感到衷心喜悦，但是，当有了立即会对工业、对一般历史发展产生革命影响的发现的时候，他的喜悦就完全不同了。”

爱因斯坦也说过：“科学对于人类事务的影响有两种方式，一是大家都熟知的：科学直接地、并在更大程度上间接地生产出完全改变了人类生活的工具；二是教育的性质——它作用于心灵。”

21世纪物理学的“文化味”越来越浓，也就是说，它日益成为社会一般知识、社会一般意识形态的重要组成部分了。下面将列举一些特点来说明：物理学既是科学，也是文化；首先是科学，但同时又是一种高层次、高品位的文化。

(2) 物理学是“求真”的

物理学研究“物”之“理”，从一开始就具有彻底的唯物主义精神，一切严肃而认真的物理学家都会坚持“实践是检验真理的唯一标准”这个原则，并且这种“实践”在物理学中发展出了特定的“实践”方法，具有其他学科还达不到的精密程度，再结合严格的推理，发展出了一套成功的物理学研究方法，进而不断发现新的物理规律。规律是真理，而这种“真理”又都是相对真理：物理学家清醒地懂得：一切具体的真理都是相对的而非绝对的，我们只能通过对相对真理的认识不断逼近绝对真理。因此，迷信历史上的权威和原有的认识是不对的，企图追求一种终极的理论也是不对的。

(3) 物理学是“至善”的

物理学致力于把人从自然界中解放出来，导向自由，帮助人认识自己，促使人的生活趋于高尚，从根本上说，它是“至善”的。从四百多年的历史来看，物理学已经历了几次革命：力学率先发展，完成了物理学的第一次大综合，这是第一次革命；第二次是能量守恒和转化定律的建立，完成了力学和热力学的综合；第三次是把光、电、磁三者统一起来的麦克斯韦电磁理论的建立；到20世纪，第四次革命则是由相对论和量子力学带动起来的。每一次革命都会产生观念上的深刻转变，而处在每一转变时期的物理学，在本质上都是批判性的。但是，这种批判是非常平心静气和讲道理的，高明的后辈物理学家总是非常尊重前辈物理学家，在肯定他们杰出的历史功绩的同时，根据实验事实和时代发展的需要，指出他们的不足或片面之处，从而达到认识上的飞跃，建立新理论。新理论决不是对旧理论的简单否定，而是一种批判的继承和发展，是认识上的一种螺旋式上升。新理论必须把旧理论中经过实践检验为正确的那一部分很自然地包含或融入在内。高明的物理学家又总是很务实的，他们决不会让自己处于一种旧的“破”掉了、而新的又“立”不起来、以致两手空空的僵局。物理学，尤其是量子力学发展史在这方面提供的经验，是值得其他科学借鉴的。

不过，物理学也有自己的教训。有过这样一段历史时期，物理学受到“哲学”的外来干预，有些人喜欢对各种物理理论简单地贴上“唯心论”或“唯物论”的标签。例如，量子力学的“哥本哈根观点”就常被扣上一顶“唯心论”的帽子。历史事实已经证明，这种态度对科学的发展是非常有害的，那些批评者远远没有被批评者来得高明。我们必须看到，重要的是前辈物理学家说对了或做对了什么（哪怕是不明显地或不自觉地），而不是他们曾讲错了一两句话，因为在他们那时讲错一两句话，跟今天的我们多讲对一两句话一样，都是毫不稀奇的事情。人类知

识的发展从来都是一种集体积累的长期而曲折的过程,这个过程永远不会终结。在科学探索中,我们一定要有这种历史的观点和“宽以待人、严以律己”的态度。物理学之所以发展得这样快,就是由于在主流上一直有着这种良好的或者说宽松和务实的研究传统和学术氛围。

(4) 物理学是“美”的

如果几千年前人们要问:“大地是圆的还是方的”,几百年前人们关心“地球是不是位于宇宙的中心”,那么今天人们要关心的问题就不仅是“宇宙演化的过去、现在和将来”,而是“人类的生存环境究竟怎样?”“能源问题的出路何在?”“我们的子孙将生活在一个什么样的世界上”,等等。我们应当引导青少年从小就关心这样的问题,启发他们思考新的问题。

1969年法国数学家曼德布罗特(B. Mandelbrot)提出了一个问题:“英国的海岸线究竟有多长?”乍一听来,这是一个无意义的问题。其实不然,海岸线总是曲曲折折的,你测量时究竟用怎样的标度,是用望远镜、普通的尺子、放大镜,还是用显微镜?对这一问题的深入研究导致一门新学科的产生,即所谓分形(fractal)或自相似理论。人们一旦理解了之后,马上会惊奇地发现,自然界原来存在那么多的“分形”或“自相似结构”(局部中又包含整体的无穷嵌套的几何结构)。例如,溶液中结晶的析出过程、固体金属的断裂面、生物体中的DNA构型、人体中血管从主动脉到微血管的分支构造、人肺中肺泡的空间结构,等等。

与非线性运动中的混沌现象相伴随的图形,仔细分析起来,往往具有分形的构造。今天已能用计算机将这种图形放大、用彩色绘制出来,它们美丽的程度是惊人的。几百年来,人们对物理学中的“简单、和谐和美”赏心悦目,赞叹不已。事实上,对这三个词含义的理解不断地随时间而深化,这是一种不断地再发现和再创造的过程。首先,物理规律在各自适用的范围内有其普遍的适用性(普适性)、统一性和简单性,这本身就是一种深刻的“美”。表达物理规律的语言是数学,而且往往是非常简单的数学,这又是一种微妙的美。其中,物理学家不仅发现了对称的美,也发现了不对称的美,更妙的是发现了对称中不对称的美与不对称中对称的美。再说“和谐”,人们曾经以为,只有将相同的东西放在一起才是和谐的,而物理学,特别是量子物理学的发展揭示的真理证明了古希腊哲学家赫拉克利特的话是对的:“自然……是从对立的東西产生和谐,而不是从相同的东西产生和谐。”至于“简单”,人们曾以为原子是最简单而不可分的物质,后来知道它不简单,可以分,一直分到了“粒子”,如中子、质子,电子。它们“简单”吗?非常不简单,用加速器去打它,它照样可以“分”,并且变出许多新的粒子来。一个粒子的稳定存在是与环境分不开的,如一个中子在不同的核环境下就有不同的寿命(半衰期)。“一个多体体系是由单体组成的,单体的存在是多体存在的前提”。这话不错,但只说了一半,另一半应该是:“单体的稳定性(粒子的质量和寿命等性质)是由多体(环境)所保证(或赋予)的,多体的存在是单体存在的前提。”当我们深入到小宇宙去的时候,时刻也不能忘记作为背景的大宇宙的存在。中国古代哲学讲“天人合一”,包含有深刻的道理,我们前面说到希腊的原子论观点还需要中国“元气”学说作为补充,也是这个缘故。在我们看来,现代物理学的发展正在把东西方的智慧融合起来,并生长出真正的(非外来的)自然哲学,而这种哲学对于我们自己怎样做好一个现代人,并成为现代社会中的一个深思熟虑、负责任而有远见的成员,不会是没有启迪的。

中华民族要在21世纪屹立于世界民族之林,就必须在科学技术上迎头赶上发达国家的水平,而科学技术的灵魂在于创新,创新需要很高的理论水平。现象往往是十分复杂而丰富多彩的,而探索其背后的本质,则是科学的任务。爱因斯坦说:“从那些看来与直接可见的真理十分不同的各种复杂现象中认识到它们的统一性,那是一种壮丽的感觉。”科学的统一性本身就显示出一种崇高的美。李政道也认为:“科学和艺术是不可分割的,就像一枚硬币的两面,它们共同的基础

是人类的创造力，它们追求的目标都是真理的普遍性，普遍性一定植根于自然，而对它的探索则是人类创造性的最崇高表现。”吴健雄则指出：“为了避免出现社会可持续发展中的危机，当前一个刻不容缓的问题是消除现代文化中两种文化——科学文化和人文文化——之间的隔阂。”而为了加强这两方面的交流和联系，没有比大学更合适的场所了。只有当两种文化的隔阂在大学校园里加以弥合之后，我们才能对世界给出连贯而令人信服的描述。