



普通高等教育“十五”国家级规划教材

现代技术中的物理学

朱荣华 王 莉 主编

高等教育出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

现代技术中的物理学

朱荣华 王 莉 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是工科院校大学物理课程的改革教材.全书贯穿了物理学在现代工程技术中的应用,既注重阐述物理学基本原理,又紧密结合现代工程技术;“背景聚焦”栏目利用与当今社会生活和现代技术相关的工程实例,提供给读者生动的技术背景.全书内容包括6篇:绪论、物体的运动(质点力学,守恒定律,混沌与分形)、能源(热学)、通信(振动与波,波动光学)、材料(量子力学,原子、分子和团簇,电子材料)、相对论(狭义相对论,相对论电磁学,光电子技术).每章后附有复习题、思考题与练习题、讨论题、计算机模拟题和实验研究题.全书对于培养学生的综合能力,建立以学生自学为主、教师导学为主,“个人进取”与“团队学习”相结合的教学新模式,将极有帮助.

本书可作为高等工科院校、高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校各专业的大学物理课程教材,也可供其他专业和社会读者参考.

图书在版编目(CIP)数据

现代技术中的物理学/朱荣华,王莉主编. —北京:
高等教育出版社,2003.7
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-04-012413-0

I. 现… II. ①朱…②王… III. 物理学—高
等学校:技术学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 025906 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京人卫印刷厂		
开 本	787×1092 1/16		
印 张	27.75	版 次	2003年7月第1版
字 数	680 000	印 次	2003年7月第1次印刷
插 页	1	定 价	32.30元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是一本为工科大学生编写的大学工科物理课程的改革教材。

改革措施之一,就是建立新的教学模式,以提高学生的学习质量和学习效率。目前,学校教育普遍存在费时多、负担重、收效低、质量差、缺乏吸引力等一系列严重问题,而教学模式陈旧、科学性差是一个重要原因。陈旧,是指传统教学模式难以适应现代科技加速发展、知识量激增、培养创造性人才目标的要求。科学性差,是指传统教学模式不能反映学习心理学研究的新成果,而使得学校组织的教学活动不能完全符合大学生的认知规律。

为此,本书把“学会学习”作为一个重要的教学目标。在教材的“绪论”一篇中,增加了有关“知识分类及其认知规律”等内容的介绍,包括知识的三个层面——技能、知识、能力的学习规律,使大学生不仅知道“学什么”,还知道“怎么学”,提高学习的自觉性和主动性。在配套教材的《物理学习手册》部分,把培养学生的能力作为教学的主要目标,建立学生以自学为主、教师以导学为主、在学生“个人进取”的基础上,教师要进一步组织实施“团队学习”的教学新模式。从而,教学活动的组织更具科学性,即更符合学生的认知规律,以更好地适应 21 世纪对人才目标的新要求。

《物理学习手册》包括三部分:

● 复习

包括小结与复习题,供学生复习用。

每章、每篇后有一个小结,对主要概念加以总结和澄清,画出内容流程图,使内容结构化。小结后给出复习题。复习题按章内各节论题组织,复习本章要点。用提问方式引导学生复习,发挥教师的导学作用。其答案可以在本书相应各节内找到。

● 习题

包括思考题与习题,供学生练习用,以习得智力技能。它们都以课本为基础,在每章后出现。其中思考题要求学生有自己的独到看法;习题以数学公式为基础,许多选自实际应用,为纯数值题。它们的答案放在书末。

● 问题

包括讨论题、计算机模拟题、实验研究题,供学生“解决问题”用,对学生进行能力的培养。其中,讨论题鼓励学生思考一些开放性的问题。它没有一个单一的正确答案,通过个人思考、写短论文等,进一步组织“合作学习”,例如小组(或课堂)讨论、网上交流等。

计算机模拟题,是学生可以利用计算机工具(包括算法软件)顺利获得数学方程解,帮助学生理解不用计算机工具难以掌握的概念,以及讨论不用计算机工具难以解决的较复杂的实际问题。计算机强大的数值计算功能,使物理教学能处理的实际问题,更贴近现代,更贴近现实问题,为实

现教学内容现代化创造条件。

实验研究题,没有什么能像亲手完成一个实验那样,更能体现科学本质的实验本性。科学的本质就是通过观察验证。科学理论只适用于已经观察到的现象是不够的,还应适用于那些尚未观察到的现象。也就是说,科学理论具有预见性,通过实验获得以往未被发现或研究过的证据。这些作业既可以在实验室中完成(包括演示实验),也可以在家中用家庭用具完成。

改革措施之二,就是重组新的课程体系。当前,工科物理教学面临的危机,其原因有多种,但最主要的在于内容的陈旧。在处理“经典与现代”关系的问题上,我们经常违背了“教学内容必须与本学科发展水平相适应”的教学原则,陷入了“确保经典、扩展现代、推动教学内容现代化”的误区,包括赋予经典概念的现代内涵、开窗口、设接口,把现代科技新进展嫁接其上,用增写短文、开讲座、增设选修课等办法,介绍现代物理学的新进展及其应用等。这样做的结果,“加法多、减法少”,“喜新不厌旧”,加剧了学时数与教学内容膨胀之间的矛盾。在未解决学时数这个瓶颈问题之前,确保经典是硬的,扩展现代是软的。现代内容形同虚设,即使讲了一点,同人们生活息息相关的现代科技成果仍在“正文外”、“窗外”、“课外”,进不了教学的主渠道,从整体上看教材结构并无实质性变化。改革有进展,但成效不大。教学内容现代化有一个结构性的问题。为此,在内容选择上,要变革“确保经典、扩展现代”的传统规则。本着“教学内容与现代科技水平相适应”的原则,把一个不断变化的物理学建立在现代基础上,向学生提供相对稳定的知识和方法,使现代内容进入教学主渠道。

本书不是理科物理学教材的简写本,而是专门为有工科特色的课程设计的。本书把“工程技术”作为一个元素引进了教材。全书贯穿了物理学在现代工程技术方面的实际应用,既阐述了物理学的基本原理,又说明了现代技术的重要问题。并用这种方式向大学生介绍为理解他们生活的这个技术世界所需的思想、概念、原理和方法。现代高新技术的发展日新月异,其应用越来越广泛。因此,通过相关的技术活动了解物理学及其应用,可以实现教学内容的现代化。本书增加了“背景聚焦”栏目。这些栏目利用与当今社会生活和现代技术密切相关的实例(这些实例也是经常出现在报纸和大众科学杂志上的论题),为学生提供了许多亲切、易懂的技术背景,宣传了“物理学就在我们身边”,激发学生的学习兴趣和学习的动力。在工程技术层面上,围绕对工程分析特别有用的工程基本概念(系统、信息、能源和材料)合理地组织教学内容,特别重视高新技术在技术进步中的核心作用、带动作用以及在产业发展中的提升作用,提出了一些与当今世界有关的重要技术思想、技术原理和技术路线,对学生进行“综合素质教育”。

为此,在重组课程体系的过程中,对所选择的内容要进行价值评价:坚决删去一些过时的、非基础化的、派生性的、细节性的传统内容;坚决抛弃或修正一些过时的概念体系、名称术语、认识形式和方法;坚决不重复高中内容,在高中认知水平上讲述新的内容;坚决不重复其他课程的内容(包括其他基础课与专业课),协调好与它们的关系。在教学内容的选择上,要喜新厌旧,使它的面貌焕然一新,要与现代生活息息相关,有时代特色。在教学内容的组织上,要整合,不要拼盘,把原来分散在不同部分的概念、定理、事实、现象,按科学的逻辑进行重组、归纳和系统化,形成新的有序的知识体系,在更高的和更一般的理论层面上作统一的描述,而不作简单的加法或减法。科学不仅是关于这个技术世界的一堆知识,更是人类获得知识的一条途径。因此,学习科学方法比学习科学知识更重要,学生可以在阅读本书时亲切地感受到这一点,它是贯穿全书的主题之一。

改革措施之三,是把计算机数值计算和模拟技术应用于物理教学过程,成功走通教学内容现

代化的道路。

数学是科学理论的实质.科学探索的目的,只是寻求自然现象的数学描写.数学方程是物理学解释自然现象的唯一可靠保证.纯粹数学推理有一种预言实际现象的令人难以置信的精度,它一连串的推论能产生非凡的应用结论,高技术本质上是一种数学技术.而一个数学方程,也仅在计算出解的数学结果能与测量数据比较时才具有科学性.借助实验测量和数学推理对一切可观测的自然现象做出完满解释的哲学观念,才是科学方法的精髓,是科学的真正开端.因此,在物理学教学过程中,绕过数学就像绕过实验一样,都是有害的,恰恰相反,应该教育学生重视数学在科学中的基础作用.问题的困难在于,学生学物理为了解方程,必须花费大量时间学习有关的数学分支.为了掌握计算技能,还要进行大量的练习,花费更多的时间.由于学时数的限制,学生缺乏必要的数学语言看懂一些数学方程,即使看懂了,也缺乏必要的计算技能解方程.在这种情况下,数学成为学生学习物理课程的拦路虎.学生无法发挥数学方程的巨大威力,直接处理大量的实际问题,而只能处理最简单的问题,学生逐渐失去学习物理的兴趣,使物理课程失去它在课程体系应有的地位.

计算机的出现,极大地增强了学生数学计算的能力.学生通过数学建模,借助算法软件,应用计算机模拟技术,可直接处理当代社会的各种问题.计算机强大的数值计算功能可以使学生迅速获得方程的解,大大提升了学生的问题解决的能力,从而激发了学生的学习兴趣,提高了物理课程的地位.正如把计算机工具引入传统课程(例如制图、各类课程设计等)后已引起课程面貌巨大的、实质性的变化那样,我们有信心期望物理课程也必然发生同样的变化.

高等职业教育(包括高等专科教育)、成人高等教育与本科教育一样,都是中等教育后的一个高等教育层次.本书将同时为这两种教育(大专与本科)提供教材,以使受过高等职业教育(包括高等专科教育)、成人高等教育的学生,能更顺利地接受本科教育.

在使用本教材时,可以根据高等教育层次和专业需要,在论题的选择和组织上,教师可以有充分的灵活性.经验表明,在教学过程中,与其在许多论题上蜻蜓点水,不如在较少论题上解剖麻雀.我们也意识到,采用本教材,意味着对课程的重新设计.围绕新的教学目标,教学内容、教学方法与教学手段的协调一致,要有一个不断试验、不断完善的过程,本教材仅是一种探索.虽然这种探索的各个方面已在国内有成功的先例,但书中错误、不当之处在所难免,望读者批评指正.

在本书编写过程中,西南交通大学徐行可、王祖源、吴平、曾勇、谢东、张晓、张庆福等老师选编了部分复习题、思考题和习题等,参与了本书稿的多次讨论,并提出了许多修改意见,在此一并致谢.

朱荣华 王 莉

2003年2月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 82028899 转 6897 (010)82086060

传真：(010) 82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮编：100011

购书请拨打读者服务部电话：(010)64054588

策划编辑	蒋青
责任编辑	董洪光
封面设计	杨立新
责任绘图	黄建英
版式设计	马静如
责任校对	胡晓琪
责任印制	宋克学

目 录

第一篇 绪论	1	• 背景聚焦:卫星通信	147
§ 1 过程性知识	1	第五章 振动与波	153
§ 2 陈述性知识	3	§ 5-1 振动	153
§ 3 科学	5	• 背景聚焦:音乐与物理	159
§ 4 科学技术	13	§ 5-2 波	167
§ 5 生活的真理	16	• 背景聚焦:噪音控制	177
第二篇 物体的运动	21	§ 5-3 调制与解调	180
• 背景聚焦:航天技术	21	• 背景聚焦:数字图像处理	182
第一章 质点力学	27	第六章 波动光学	191
§ 1-1 运动学	27	§ 6-1 惠更斯-菲涅耳原理	192
§ 1-2 运动的特征	28	§ 6-2 成像技术	200
§ 1-3 质点力学	35	• 背景聚焦:数码相机(DSC)	202
第二章 守恒定律	44	第五篇 材料	209
§ 2-1 动量守恒定律	44	• 背景聚焦:物质由原子组成	210
• 背景聚焦:火箭	48	第七章 量子力学	213
§ 2-2 火箭运动方程	49	§ 7-1 波粒二象性	214
§ 2-3 角动量守恒定律	52	§ 7-2 概率幅	219
§ 2-4 机械能守恒定律	58	§ 7-3 薛定谔方程	221
§ 2-5 航天器的轨道运动	64	• 背景聚焦:扫描探针显微镜	226
第三章 混沌与分形	80	§ 7-4 测量原理	230
§ 3-1 周期解与混沌	80	第八章 原子、分子和团簇	246
§ 3-2 奇怪吸引子	94	§ 8-1 原子结构	246
• 背景聚焦:混沌的应用	102	§ 8-2 全同性原理	249
第三篇 能源	109	• 背景聚焦:玻色-爱因斯坦凝聚	251
• 背景聚焦:能源的未来	109	§ 8-3 分子结构	253
第四章 热学	112	§ 8-4 团簇	258
§ 4-1 温度	112	• 背景聚焦:C ₆₀ 和碳纳米管	262
• 背景聚焦:温度尺度举例	116	第九章 电子材料	268
§ 4-2 热力学第一定律	116	§ 9-1 晶态	268
• 背景聚焦:温室效应	124	§ 9-2 能带 超晶格	269
§ 4-3 热力学第二定律	125	§ 9-3 微电子学	277
• 背景聚焦:以负熵为生	138	§ 9-4 单电子晶体管	283
• 背景聚焦:全球臭氧枯竭	140	• 背景聚焦:量子计算与量子通信	290
第四篇 通信	147	第六篇 相对论	297

• 背景聚焦:卫星全球导航定位系统 (GPS)	297	§ 11-4 涡旋电场	350
第十章 狭义相对论	299	• 背景聚焦:发电机	353
§ 10-1 洛伦兹变换	299	§ 11-5 位移电流	356
• 背景聚焦:牛顿时空观	307	§ 11-6 麦克斯韦方程组	359
§ 10-2 GPS时	311	• 背景聚焦:磁悬浮列车	367
§ 10-3 相对论力学	314	§ 11-7 广义相对论基本思想	369
• 背景聚焦:核能利用	317	第十二章 光电子技术	390
第十一章 相对论电磁学	329	§ 12-1 量子论与相对论相结合	390
§ 11-1 静态电场	329	§ 12-2 激光器工作原理	396
§ 11-2 静磁场	333	§ 12-3 半导体激光器	399
• 背景聚焦:现代电池技术	341	§ 12-4 量子电动力学的基本思想	404
§ 11-3 运动电荷所受的电磁力	346	• 背景聚焦:生物技术	413

第 1 篇

绪 论

学习,既要解决“学什么”的问题,也要解决“怎样学”的问题.从终身教育的观点看,学校教育应为学校后教育打基础,能使学校后的自学、职业或其他方向的培训均可嫁接其上.为此,学校教育除了强调学习必要的基础知识以外,“学会学习”应成为一个重要的教育目标.

我们处在科技加速发展的时代,知识经济即将成为 21 世纪的主导型经济.为适应这个变化越来越快的社会,“自学”已成为每个人一生的事业.学校教育应注意培养学生的“自学能力”,使学生能在学校后教育中有能力抓住和利用各种机会进行自学,以更新、深化和充实从学校获取的知识,向更好的工作岗位和更高的教育层次自由流动.因此,培养学生的自学能力,使学生有能力进行有效的、实用的和富有吸引力的学习更为重要.这里着重讨论知识的分类及其认知的规律,希望它可以对学生如何学习有所启示.

§ 1 过程性知识

人类积累的知识分为两类:

一类为过程性知识,又称操作性知识或技能.它产生于实际生活的功利需要,通过改变现状创造新的生活条件或生存环境,技能把这种需要转化为有用的事物.它是通过“做什么、怎么做”定义的,每一种产品的使用说明书,都提供了这类知识.

另一类为陈述性知识,又称言语知识,简称知识.它产生于人类本性中的求知需要,通过把事物的存在本身转化为一个疑问,用“是什么、为什么”定义,然后寻找事物存在的原因.每一种学说、学科理论都提供了这类知识.

1-1 技能

技能包括三个要素:操作、顺序和时间模式.例如,一个舞蹈由一系列动作组成,其顺序与动作有同样的重要性,改变了顺序与改变了动作一样,也改变了舞蹈本身.它的时间模式是由音乐控制的.“电视机”这个产品,说明书上是用“打开电源、选台、设置电视频道、画面调整、声音调整”(怎么做)定义的,它指引我们怎样“看电视”(做什么).

1-2 学习模式

技能作为知识主体是习得的,示范、练习和训练结果反馈是技能学习的一般模式。示范是以正确的操作序列,向学生展示技能的全过程,目的是明确学习内容(学什么);练习是对技能的模仿,通过模仿反复思考技能的操作要领和进行的过程(怎么学),直至在大脑记忆中形成操作性的心理表象,即内化为图式后,也就习得了技能;存储在记忆中的图式(经验),能发挥操作的控制执行工具的作用。每当做一件事时,通过判断激活了图式,大脑就能自动地(一般是无意识的)控制活动的方式,自动完成图式中的操作程序。例如,投掷技能要求运动员在不同时刻激活几十块肌肉产生一个严格训练的动作程序。激活图式后,大脑借助向肌肉神经传递信息产生动作,把习得的投掷技能转化为一次投掷运动,就像弹奏一曲乐谱那样,把它转变为美妙的旋律。仅当学生的训练结果得到反馈后,才能知道这种练习是否还要继续下去,这是技能学习最重要的外部条件。老师纠错指正、习题答案等提供了这类反馈。用结构化的方式,把技能的三个要素组织在一起,是人类大脑固有的一种认知能力。

1-3 干中学

技能是练出来的,除了练习以外,没有更简单的办法。你学“照相机”,你就要去使用它。你要学会“解题”,就要去解几道题。要干中学,干就是学,光阅读(说明书、解题步骤、例题)是学不到过程性知识的;要多次练习,每次练习要有针对性,可以导致操作的准确性、操作顺序的流畅性以及时间模式的精确性;执行技能一般走图式激活的途径。通过反复练习,提高熟练程度,直至图式激活能无意识发生,技能能自动化执行,养成习惯。

技能包括操作与执行性程序两部分,它们都要习得。只对其中之一而不对另一部分进行练习,技能学习是无效的;技能可分动作技能和心智技能两类,它们是相关的。在运动技能中,既有外显的动作,还有内隐的规则,而规则属于心智技能部分,作为动作序列的心理调节者成为其必要的部分。而内隐的心智技能也需要通过外显动作体现和交流,也离不开动作技能。

1-4 分层分析方法

技能是按复杂程度分层的。技能是可分析的,每种技能可分成更简单的成分。把技能分解为部分技能,可形成逐级简单的学习层次。技能学习是高度“个体化”的,每个部分技能必须单独习得。技能之间有“上位”、“下位”、“并列”之分。当把部分技能综合成总技能时,必须是“自下而上”的、“外延式”的。加涅假设,以上人类习得技能的程序,与人类心理结构中表征、建构和储存技能的方式相吻合,并作为一个教学原则,称为分层分析方法,为技能学习提供方法论框架:当学生学习新技能时,通过分析了解“为了学习这个技能,应具备哪些较简单的下位技能?”再了解学生的学习基础,“哪些下位技能已具备,不再需要练习?”由此决定学习新技能的起点技能和训练内容,画出教学流程图。就像建筑师的“施工蓝图”一样,按图组织学习。

为满足人类的生活需要,在人的一生中应用最多的知识就是技能,它对维持人的日常生活和工作非常有用。学习技能是与生俱来的,并贯穿于人的一生中。它是靠模仿习得的,在帮助完成人类有目的的活动时,走的是图式激活的捷径,无意识性有重大实践意义:一方面减轻了思维负担,你做什么事时,可以不必想着这件事;另一方面,减少了对同时完成的其他任务的干扰,骑车的同

时,可以同别人聊天.这种知识由于习以为常,几乎盲目地坚持着,非常稳定,很难发生改变,技能成了习惯.这是人类低层次的、稳定的,也是最重要的知识.

§ 2 陈述性知识

人类通过知觉与思维来获取陈述性知识.

人的感官淹没在外界信号中.例如人的视觉系统,输入端的信息流量达 10^8 bit/s,而大脑所能处理的仅为每秒几十比特.因此,人的认知并非从感觉开始,而是从注意开始,通过“注意”对输入的感觉信息进行选择和过滤,大脑仅用少量信息对客观世界进行主观重构.以视觉为例,是“注意”把视场分为图形区和背景区,对图形区中的关键图形(事物)比背景区给予更多的“注意”,实际上这个视而己见的事物和视而不见的背景是并存的.我们见到的事物,都是附着在某个背景上的一个前景,都是在外在世界整体上撕下的一些零星片断.

当人类能简单地接受眼前的种种现实时,也就没有求知的欲望了.求知的根源,就在于我们对观察到的事物有怀疑,还有所不知,不满足于它向我们呈现的面貌.对事物的存在,人与上帝、其他动物不同.上帝无所不知,其他动物一无所知,只有人能知道自己有所不知,由此激发了人的好奇心,对事物的存在进行思维,它“是什么”,又“为什么”存在?从而寻找现象背后的本质.有人讲,人是“理性的”动物,这是指人按普遍的理性规则思维的,有了理性规则,一个人对事物的思考,才能为其他人所理解.当你对事物的思考能为别人理解时,这种思考就具备了一定的真理性,理性规则就成了评价思维真理性的标准,而知识就是理性思维的结果.

人类利用知觉与思维两种认知方式,用少量的感觉信息对客观世界进行主观重构的能力,就是一种抽象的能力.这种能力,对个人是先天的,由遗传获得的;对人类,它是进化的产物.大家知道,仅当人的主观认知结构适合环境,与现实世界结构(至少部分)相一致时,人类才能生存,才能在地球上存活下来.人类还活着这个简单事实,就表明人类在生物进化过程中形成的主观认知能力,是能够(部分的)把握现实世界结构的,外在世界是(部分)可知的.认知是人类最基本的生存能力,若它与现实世界不适应,那种适合于生存的行为就不会发生,人种因此也会通过自然选择而很快淘汰.

2-1 知觉

实验心理学证明:人们普遍具有的把感觉信息整合成知觉的能力,是先天的.知觉具有整体性,不是感觉信息的机械集合,它的结构是不能进一步分析的;知觉的产生是无意识的,因此它的直觉形式几乎是不可更改的;对同一客体感知的知觉,并不因时、因地、因人而异,在任何时间、任何地点,由任何人得到的都是同一映像,能用同一映像表征同一客体.这种感性知识,具有主体间可验证性的客观性,为人与人之间进行社会交流提供了可能性,科学上“已确定的事实”都是由知觉给予的.

知觉存储在记忆中形成映像性心理表象.个人观察时,就用眼睛对周围环境扫描,被扫描部分成为外界刺激,当这种刺激激活了记忆中的知觉表象时,也就在扫描部分看到了由表象表征的事物.因此,一个人首先要存储这个知觉表象,才能看到这个事物,看到事物是靠激活知觉表象实

现的.一个先天失明的人,在他刚复明时,因为在他的记忆中没有储存任何物体的知觉表象,因而是看不见事物的.实验证明了这一点.

知觉与思维分属两个层次,在知觉结束之时才是思维发生之处.知觉只处理个别事物,思维才处理一般性概念.

个人通过“注意”产生的知觉,都是对事物特征的领悟,而所有特征都是一般的.人类通过“概括”,由个别进入一般,由知觉进入思维.知觉永远指向一般,为用符号对知觉映像编码创造了条件.概念是人类思维的基本构成,概念在记忆中形成符号性心理表象(语言、文字),语言由听觉(时间模式)组成,文字由视觉(空间模式)组成.语言、文字的编码对象仅是知觉,它们只是知觉的配音与配画而已.因此知觉是思维的基础,思维必须在知觉基础上解决问题,不存在一个纯思维发生作用的领域,否则只是一场符号游戏.

学习概念应由具体到抽象,要依靠具体实例了解新概念,要让具体经验发生在相关的概念结构的背景中,这种学习最有效.实例与经验的选择,要从学生熟悉的周围事物开始,从学生使用的技术产品开始.学生使用手机时,知道“做什么、怎样做”,但并不理解它“是什么,为什么”.因此,不要因为学生能记忆、背诵技术用语,熟练使用技术产品而过高地估计学生处理抽象概念的能力.学习要少而精,要把注意力集中在理解的质量上,而不是所学信息的数量上.

2-2 概念

一个概念的陈述性定义(是什么)包括五类信息:特征、定义、名称、正例和反例.通过类比概括事物的共同特征,从这些特征的综合中产生一个精确的定义,并给予一个恰当的名称;用正例证实定义的一般性,给出概念的内涵;用反例澄清概念的特殊性,界定概念的外延.在记忆中由概念名称创造的信息存储系统(符号性心理表象),通过语言渠道表述出来进行社会交流,并通过文字渠道很方便的传播开来和流传下去.在人类的内心世界,概念是能用语言表达的那部分内容,而不能用语言表达的就不能算作概念.

2-3 逐渐分化原则

通过理论思维活动,用结构化的方式,对现有知识进行逻辑重构,形成一个“假设——演绎”系统.这个高度结构化的知识系统,按其包容性也是分层组织的.概念之间有上位、下位(上位包容下位)及并列(互不包容)之分.首先是一般性、高层次、更具包容性的概念(上位),然后是具体的、低层次、较少包容性的概念(下位),最后是信息数据.这是一个“自上而下”、“内涵式”、从一般到具体的序列.它的顶层是公理集(假设、思想、原理、初始命题、前提),它是从外部引进的;它的下层是从公理集内部通过逻辑演绎途径推导出来的结论(定律、定理、推论).奥苏贝尔提出了一个教学原则,称为逐渐分化原则,为知识学习提供了方法论框架:在教学内容的组织上实行“先行组织者”策略,即学生学习新知识时,要以更一般、更具包容性的概念为先导,使它与待学的新知识处于“上位”关系,则这个“上位”概念就成为新知识的“先行组织者”,而下位概念又转变为其他更低位概念的“先行组织者”,按细节对它们逐渐分化,直到我们预期的细节水平,画出教学流程图,指导学生学新知识.

2-4 学习模式

理论是理解的基础,它对新知识的“自上而下”、“内涵式”的表述,往往给人以一种恍然大悟的感受.布鲁纳用了“知识结构”的概念,认为当储存在记忆中的各种知识联系起来,并结构化了,这些知识就成了人类易于“理解”的模式了,而理论就是这样的知识结构.知识结构是学习新知识的工具,当学生把新知识与记忆中已有的认知结构中有关观念建立起某种联系后,有意义的学习就开始了;当新知识能用已有的知识结构“自上而下”、“内涵式”表述出来后,学生也就理解了这些新知识,或获得了这些新知识.学习知识的目的主要是为了理解,而不是为了记忆.

学习一般分为两类.一类新知识能为学生已有知识结构中有关观念理解,这类学习称为“同化”,同化学习采用“先行组织者”策略.另一类则不能,这类学习称为“顺应”.顺应学习就要建立新理论去顺应它,包括分析新的观察发现对流行理论的挑战;有勇气放弃长期坚持过的旧观念,鼓励发明新观念;以新观念为核心建构新理论,重组知识结构;通过逻辑论证,消除理论与观察之间的矛盾;对比新旧理论的知识结构,分析它们的差异和联系,完成观念更新和理论转换的工作.

每个学生都带着原有的心理结构学习,并以原有的心理结构来建构对新知识的理解,用原有的知识来获得新知识的意义.而每个学生原有的心理结构是历史形成的,因而也是各不相同的,学生对新知识的理解,有其个人的主观成分.它既有从学校教科书中获取的观念,也有学校前或学校外获取的日常经验和常识,以及通过不同渠道获取的与教科书上讲的完全不同的观念,这些东西在学生的大脑中是并存的.学生进入学校后遇到的每一个论题,已带有这些观念.在一般情况下,学生总是尽可能使用最初形成的或已经熟悉的观念同化新知识,人们倾向于回应或寻找那些支持已有观点的信息,而忽略或排斥与他们观点不一致的信息.那些错误的前科学,非科学的观念,那些神秘主义和非理性的东西,往往会顽强地起作用,同化出一个个“不良领域”,使人“走火入魔”,邪教的毒害就是一例.当然,仅仅否定这些观点是不充分的,还必须使学生看到正确的观念有助于更好地理解世界,创造更美好的新世界.

学习,并非把知识从外界搬到记忆中,学生只要死记硬背,教师只要灌输就行了,注入式的教学方法是没科学根据的.学生要靠自己来体会所学知识意义,不能由别人代劳.学生要以自学为主,由被动的知识接受者转变为学习的主体、主动参与者、主动建构者.在此基础上,参与合作学习,通过小组交流、讨论、补充、启发,超越自己的理解,了解那些与自己不同的见解,看到事物不同的侧面,消除对新知识理解中的主观成分;教师也要由知识的传授者、灌输者转变为学生知识意义建构的指导者和促进者,激发学生的兴趣和好奇心,提示新旧知识之间的联系,提出问题促进学生思考,组织合作学习,启发学生自己纠正错误或片面的认识,由原来的中心地位转变为导学地位,建立学生以自学为主,教师以导学为主,在学生自学基础上,进一步组织合作学习,促进学生理解客观化的教学新模式.

§3 科学

技术是过程性知识,它认为这个世界是可以改造的,解决“做什么、怎么做”的问题,它是当代推导社会经济发展和物质文明进步的主发动机;科学是陈述性知识,它认为这个世界是可以理解

的,解决“是什么、为什么”的问题,它是当代指导技术发明和引导人类文明的知识源泉。

3-1 逻辑

一个理论的真理是需要论证的,这种论证需要从外界引入理性标准.引入的第一个理性标准就是逻辑.

理论是一个“假设——演绎”系统,所有的知识都可以从它的公理集中按逻辑推理规则推导出来.因此,获取新知识的方法,首先是对现有的知识进行逻辑重构,建立它的公理集,从中推导出新知识.在公理化思维中,逻辑就是获得新知识的工具.

在逻辑重构的过程中,每一个结论都要对它进行“自上而下”的逻辑论证.在寻找论据时(问为什么),必须在逻辑之链上不断向上追溯.如果这种追溯是无限的,则论证是不可操作的.可操作的办法,就是在逻辑之链的某个点上中断论证程序.这个中断点就变为理论的公理集,基本假设和思想框架,它作为未加论证的前提从外部引进来的,它有约定或信仰的成分.任何由此通过逻辑演绎途径得到的结论,前提的假设性同样也传递给了它.因此任何结论的证实是相对的而非绝对的,从这个意义上讲,任何理论的公理集都包含了信仰的成分,全部的知识都是具有假设性的.

一般把理论的核心假设,称为基本观念.通常认为事实和知识都是纯客观的,那是一种误解.这些事实和知识,仅当把它们从理论中演绎出来后,才完成对它们的说明和解释.因此,每一个事实或每一种知识,都是为“理论所浸透的”.它们的意义是由一组基本观念注入的,它们生长在一组基本观念之中,是观念的创造物.即使像“今天是2000年1月1日”这个最简单的事实,在它背后也有一组关于时间的观念支撑着.例如,绝对时间观念、时间均匀性观念、时间的测量观念以及犹太-基督教关于世界在某一时刻创生的观念,只是大多数人并没有意识到而已.其实人类社会中关于自然、人性、价值的大多数观念,对大多数人已成为文化中约定俗成的东西,沉淀于人们的意识之外,正如一般人说话并不去思索语法一样,这些潜在的观念是人类文化遗产的重要组成部分.

哲学是文化的灵魂.科学中许多基本观念都来源于哲学思辨,例如守恒观念,它的源头是古希腊文化,认为在可见的和不断变化的世界背后有一个统一的、永恒的东西存在,这个存在既不能创生,也不能消灭.这个带有哲学思辨性质的守恒观念,作为一种信仰,成为人类知识的源泉之一,原子论的思想、运动守恒的思想,都是从它那里生长出来的.人们通过科学实验,从自然界中寻找这样的守恒量,看一个孤立系统在其变化的过程中,有哪些物理量不发生改变.人们陆续发现了许多守恒量:质量、动量、角动量、能量、电荷等等,一系列的科学概念从守恒观念中生长出来,它们像有生命的东西,活在科学史与文化史之中.

观念创造事实,但事实本身并不能创造观念.由观察发现的事实只能提供种种线索,激发科学家通过丰富的想像力对蕴藏在现象背后的实在图像进行猜测,提出各不相同的新观念,再用事实来检验这些猜测.形成观念和验证观念的过程是理论创新的核心活动之一.综上所述,大脑创造观念,观念创造事实,这是一条认知规律.

观念是文化的基础.文化的多元性,是指一个社会存在建立在不同观念基础上的多元文化.各种文化的忠实信徒,都用各自不同的观念去选择、过滤、同化和组织手头掌握的材料.文化的多元性引起社会争论,充实和活跃了人们的文化生活.在各种观念的摩擦、碰撞中也包括了它们之

间的相互吸收、交融、补充,造就了人类社会的精神文明.在许多伟大的留给后世的文化遗产中,它们所提供的事实已是昨日黄花,但它们的观念,包括在著作中所寄托的理想,透射出的深厚阅历、犀利的思想和丰富的灵感,以及特有的说服力和启示的力量,仍作为人类思想宝库中的瑰宝流传了下来.

人类的求知欲告诉我们,探索对事物意义的理解,是人类永恒的命运.在人们生活中,那些根植于生活的特定观念,才是生活的土壤,是它引导着生活的展开;而生活之树是常青的,生活在变化,新事物层出不穷,新观念也在大众心中有了潜存的影响.当少数学者提出来时,就能打动大众的心,并通过同化这些新事物形成新思潮.文化上的重大转折都发生在出现了与旧观念相对立的新观念,并必须对它们做出判断的时刻.当人们在今天看到了有异于昨天的另一些真理时,就发生了导向上的转变.新观念正在崛起,旧观念正在陈腐,思潮在发生转变,历史的进程就是如此.

3-2 直觉与理智

人类有两类思维方式:直觉与理智.

同化学习(或科学论证),更多地依赖于理智思维,它与大脑左半球有关;顺应学习(或科学猜想)更多地依赖于直觉思维,与大脑右半球有关.

直觉思维是对知觉进行的思维,又称形象思维.这种思维是无意识进行的,表象的组合是不可控制的,存在摆脱既定结构的自由,呈现明显的流动性.它把存储在记忆中的“潜知”激发起来,通过联想把握个别的最重要的线索,获得最终结构.这是一种创造性的心理建构活动.这种心理建构是非理性活动,它不通过逻辑推理,而是通过联想、类比、模式的运用,以及丰富的想像力,使许多新的思想和新的组合,在直觉的闪烁中出人意料地产生出来,通常把这类心理现象称为“感悟”、“灵感”、“顿悟”.它从整体上把握事物,表现了强烈的首创性和创造性,这是人类固有的为感性活动所专有的认知能力.这类心理现象的产生有其客观条件.例如,有一个需要解决的问题,而问题解决已具备了条件;已经历了紧张的思考来探索问题的答案;有某种机遇起触发作用,产生新的联想,打开新的思路.此时,那些积淀在记忆中各种“潜知”易于被激发起来,易于重新组合.直觉思维有其主观性,各人对知觉思维的角度不同,每个人都把注意力集中在自己感兴趣的某一特定的结构特征上,只注意知觉的某一个方面,而对其他方面未有说明.

人类的理智思维是对符号进行思维,是由逻辑推理之链构成的.今天许多高度复杂的逻辑思维,可以由计算机完成.计算机技术可以作为逻辑思维的工具,取代人脑完成科学论证.对于一般问题的解决,也可做程式化努力.

在人类的理论活动中,两种思维方式并不各自独立起作用,必须把两者结合起来.理智用于分析,从物质系统中把事物的特性一个个抽象出来,并对之定义;而直觉用于综合,把握物质系统的总体结构.理智提供敏锐的洞察力,直觉提供丰富的想像力,两者相互配合,重构外在世界.

科学工作从猜想开始,然后才是科学论证,它源于直觉思维,终于逻辑思维.在科学论证中,逻辑思维是一种聚合式的思维,只产生一个答案,这里不存在创造性;当论证失败时,已有的知识系统,不能理解新发现的自然现象或实验数据,这时就要进入科学猜想,通过直觉思维,为重建知识系统提出新假设,发明新观念.直觉思维是一种发散式的思维,能产生多种答案,创造性与直觉思维有关.

我们要改变传统教育中忽视直觉思维的状况,应鼓励学生多使用计算机软件,减轻学生在逻

辑推理和数学运算方面的学习负担,把培养学生的直觉思维能力作为教学的新目标,使学生在理智与直觉之间取得平衡,培养学生的创新能力。

3-3 数学理性

科学理论与其他理论相区别的一个显著特征,是把它所研究的对象限于事物的可观测属性。它描述的关于世界的可观测的一切,它的基本概念都要通过测量加以定义,并通过测量使它数字化,由此建构的数学系统精确地描述了事物的可观测性质,数学化是科学知识的公认原则。

数学作为科学语言,它为世界描绘的图景都是数学图景,科学理论既需要逻辑理性,又需要数学理性,即在它的数学系统内部不存在数学矛盾。

这里有两个问题:

其一是,科学理论对逻辑理性与数学理性的要求,是否是两个独立的要求?

罗素曾认为数学不过是逻辑的延伸,并企图从逻辑公理出发演绎出全部数学真理。但这种努力没有成功,证明了这是两个独立的要求。

另一个问题是证明数学系统公理集内部的相容性。如果论证成功,就可以确保通过演算、证明获得的数学结论之间的无矛盾性。但哥德尔的不完备性定理指出公理集内部的相容性,是无法证明的。因此,通过数学演算获得的推论之间能否摆脱矛盾并不能给予明确的回答。公理集的真理性,不是通过证明,而是从它的推论的真理性获得的。如果这些推论验证是真的,则猜测公理集有可能是真的;如果真的推论越多,则公理集为真的概率越大。拉卡托斯提出了“数学是拟经验”的观点,即公理集本身并没有提供真理性的基础,它与逻辑公理集一样,只是提供一种解释。它的真理性最终要建筑在经验的基础上,并通过归纳法才能考察其成功的程度。因此,科学理论的数学系统也是一个“假设——演绎”系统。

3-4 科学

在历史上,技术与人类同样古老。在科学出现之前,技术已出现很久了。石器制造是已知最早的技术,在矿物学和地质学出现之前就已繁荣兴盛了200多万年了。最早的金属(铜与青铜)制造证据可追溯到约公元前6000年,直到18世纪后期才有可能用化学术语来解释简单的冶金过程。技术在没有科学帮助的情况下,创造了巨大的古建筑(宫殿、陵寝、教堂、寺庙)和机械(风车、水轮、时钟)以及中国的四大发明:造纸、印刷、火药和指南针。那时,技术上的成功,更多地归功于实用知识和工匠手艺的积累,以及师傅与徒弟的世代传承。

对自然现象的思索也早已有之。各个古文明国家,例如巴比伦、埃及、中国、印度和希腊,在数学、天文、物理方面,都出现过不少名著。这些著作都由学者们写给学者们看,几乎从未想到过它会有什么实用价值,也从未对社会经济产生过什么实际影响。

那时,人们认为这些著作所提出的学说都是“不证自明”的真理。例如,自盖伦(Galen, 130~200)写出解剖学著作以后的1400年间,每一代医学都学习它。教授向学生宣读盖伦的著作,由助教进行解剖。凡解剖结果与盖伦著作中的说明不符,教授都把它解释为助教的错误,而不是盖伦的错误。因此,在长达一千多年的时间里,都没有发现人体血液循环,探求知识的进程非常缓慢。

一直到17世纪,技术知识从工厂扩散到了学术界。在技术的帮助下,一种新的“实验性”求知方法出现了。认为对自然界的观察同对自然界的思索同样重要,并找到了思索与观察之间的正确