

科学课程教师培训系列丛书

人类探索自然的方法

主 编 牟其善



首都师范大学出版社

CAPITAL NORMAL UNIVERSITY PRESS

高中课程必修课程 必修课程

人类探索自然的方法

（一） 必修课程



七 必修课程必修课程

科学课程教师培训系列丛书

人类探索自然的方法

主 编 牟其善

副主编 李慎英 傅善江

首都师范大学出版社

责任编辑：傅善江
 出版：首都师范大学出版社
 地址：北京光明桥
 电话：010-68180142
 电子邮箱：mail@capkxy.com
 发行部电话：010-21698271 21698272
 邮政编码：100037
 2006年3月第1版
 2006年3月第1次印刷
 本：787×1092 1/16
 页：14
 印：3000
 字：30000
 定：25.00元

图书在版编目(CIP)数据

人类探索自然的方法 / 牟其善主编. —北京: 首都师范大学出版社, 2005.12
ISBN 7-81064-490-4

(科学课程教师培训系列)

I. 人… II. 牟… III. 自然科学—理论研究—教师培训 IV. G346

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 102215 号

科学课程教师培训系列丛书

RENLEI TANSUO ZIRAN DE FANGFA

人类探索自然的方法

主 编: 牟其善 副主编: 李慎英、傅善江

责任编辑: 江 月

出 版: 首都师范大学出版社

地 址: 北京西三环北路 105 号

邮政编码: 100037

发行热线: 010-51668571 51668572

电子信箱: mail@toplsy.com

传 真: 010-66180145

印 刷: 北京东光印刷厂

版 次: 2006 年 3 月第 1 版

印 次: 2006 年 3 月第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 14

字 数: 290 千字

定 价: 22 元

前言

本教材为小学科学课教师提高科学素养的系列教科书之一，力图在补充自然科学知识的同时，引导科学教师了解科学探索的过程，领悟其中蕴涵的科学方法。

本教材用于《自然科学教育》专业主干课程“人类探索自然的方法”，与自然科学史有着密切的联系，但不同于一般的自然科学史和科学方法论教材。本书选用高中或专科的自然科学基础知识为载体，以一些典型的科学探索的方法为线索组织起来，目的是帮助科学教师对已经了解的知识进行更深层次的理解，挖掘其中能够提高认识水平的因素，帮助科学教师领悟其中的思想、方法。同时，针对我国绝大多数小学科学课教师没有系统学习过自然科学专科及本科课程的缺陷，在讲述方法的同时深入浅出地弥补其知识缺陷。

本教材适于小学科学教师和初中理科教师学历教育和继续教育使用。

本书作为一种探索与尝试，力图寻求提高小学科学教师科学素养的有效途径。由于编写者水平有限，难免有不妥之处，敬请读者指正。

编者

2005年10月

第一章 绪论	1
1-1 科学史与科学教育	1
1-2 科学史与科学教育的关系	2
1-3 科学史与科学教育的作用	3
1-4 科学史与科学教育的意义	4
第二章 科学史与科学教育	5
2-1 科学史与科学教育	5
2-2 科学史与科学教育	6
2-3 科学史与科学教育	7
2-4 科学史与科学教育	8
2-5 科学史与科学教育	9
2-6 科学史与科学教育	10
第三章 狭义相对论的建立	11
3-1 狭义相对论在科学研究中的应用	11
3-2 狭义相对论在科学研究中的应用	12
3-3 狭义相对论在科学研究中的应用	13
3-4 狭义相对论在科学研究中的应用	14
3-5 狭义相对论在科学研究中的应用	15
3-6 狭义相对论在科学研究中的应用	16
第四章 从理想气体到卡诺循环	17

目 录

前 言

第一章 牛顿经典力学体系的建立	1
——利用科学实验方法和数学方法研究自然规律 (一)	1
1-1 近代科学方法的起源与发展	2
1-2 伽利略及实验——数学方法	4
1-3 牛顿与微积分	9
1-4 牛顿经典力学体系的建立	11
第二章 电磁理论的研究与进展	17
——利用科学实验方法和数学方法研究自然规律 (二)	17
2-1 奥斯特的发现——电产生磁	19
2-2 电磁感应定律的发现	21
2-3 麦克斯韦电磁场理论的建立	24
2-4 赫兹的电磁波实验	28
第三章 狭义相对论的建立	31
——逻辑推理法在科学研究中的应用	31
3-1 十九世纪经典物理学的发展	32
3-2 迈克尔孙-莫雷实验	33
3-3 狭义相对论的先驱思想	36
3-4 狭义相对论的创立	38
3-5 狭义相对论的一些基本结论	41
3-6 质能关系式	44
第四章 从理想气体到卡诺循环	47

——科学探索中的理想化方法	47
4-1 理想模型	48
4-2 理想实验	56
第五章 对原子结构的探索	65
——模型法在科学研究中的重要作用	65
5-1 原子	66
5-2 对物质微观结构的漫长探索	67
5-3 原子结构模型的提出与演进	71
5-4 原子结构的量子力学模型	77
第六章 孟德尔遗传定律的发现	81
——数理统计方法在科学研究中的作用	81
6-1 孟德尔及其豌豆杂交实验	82
6-2 孟德尔的研究和发现	86
第七章 探索生命活动	97
——比较与分类方法在科学研究中的应用	97
7-1 自然选择	98
7-2 植物的光合作用	103
7-3 植物向光性研究及生长素的发现	105
7-4 维生素的发现	106
第八章 人类对生命起源的探索	109
——科学研究中的模拟方法	109
8-1 生命起源于何时	110
8-2 生命是怎样起源的	113
8-3 生命起源的化学进化过程	117
第九章 免疫与人体健康	123
——观察法在科学研究中的应用	123
9-1 抗体的发现与免疫概念的延伸	124

9-2 器官移植免疫	129
9-3 免疫失调引起的疾病	133
第十章 天体运动研究	137
——美学原理在科学探索中的重要应用	137
10-1 古希腊天文学的发展与托勒密的“地心说”	138
10-2 哥白尼的《天体运行论》	139
10-3 开普勒的行星运动三定律	142
10-4 牛顿的万有引力定律	144
10-5 爱因斯坦的广义相对论	147
第十一章 探索大地构造	153
——科学假说及其检验	153
11-1 大陆漂移学说	154
11-2 从大陆漂移说到板块构造学说	160
第十二章 有机物化学结构的发现	167
——直觉与灵感在科学探索中的作用	167
12-1 有机化学的萌芽与发展	168
12-2 有机结构理论的历史发展	170
12-3 有机结构理论的建立	174
第十三章 基本粒子探索	181
——科学想象比知识更重要	181
13-1 X射线与天然放射性现象的发现	182
13-2 质子与中子的发现	186
13-3 中微子	188
13-4 反粒子	191
13-5 基本粒子分类	194
第十四章 对光的本性的探索	199
——失败反思法在科学研究中的作用	199

14-3	光速的测量	203
14-4	黑体辐射的“紫外灾难”	205
14-5	光的波粒二象性	207
参考文献		213
后 记		215

第一章 牛顿经典力学体系的建立

——利用科学实验方法和数学方法研究自然规律（一）

科学正是因为有了科学方法才成为科学，科学方法体现了科学的理性精神，构成了知识体系的基础和框架。

科学的发展与科学方法的关系，正如俄国第一位诺贝尔奖获得者，也是世界上第一位诺贝尔生理学奖获得者巴甫洛夫所说：“科学是随着研究方法所获得的成就前进的。”科学方法导引着、规范着科学研究的进展，其自身也是生产和科学实践的产物。

从伽利略牛顿时代开始，近代科学真正地建立起来。伽利略、牛顿用系统的实验与精密的数学推导论证相结合的方式，推翻了以亚里士多德为代表的、纯属思辨的传统的自然观，开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学。

伽利略、牛顿所开创的近代科学，鲜明地表现为科学的理性精神，即以客观、求实的态度，运用实验和逻辑（数学）的科学研究方法，深入研究自然界所遵循的基本的运动规律。

在方法论上，科学的理性注重科学实验方法和数学方法的应用。

一、科学实验

科学实验是人们为了实现预期目的，主动地通过控制实验条件而对客体加以测量和研究的方法，是人们获取信息和检验理论的基本手段，是近代科学的本质特征之一。

科学实验，是科学认识中主客双方通过实验仪器的中介而进行的对话，其主要特点为简化、纯化、强化和模拟自然过程，即：简化相关因素、探求因果关系；纯化实验条件、突出研究目标；强化超常条件，观察特异反应；模拟不可重复过程，探索相应规律等。

二、数学方法

数学方法是近代科学中数学理性的体现，是描述对象、建立模型、构造理论、进

行运算解释和推演预测的基本工具。

首先,数学方法立足于用客观事物普遍的量化特征来描述事物的性质和状态。

其次,数学方法通过实验和科学抽象,寻求物体的力学性质或其他物理量之间在运动变化中的规律性关系,建立起这些物理量之间的数学模型,用于运演计算。

数学模型对于物理学理论的构造是至关重要的。当科学家们把物理学定律纳入一个用形式化语言构造起来的公理化体系,并用以涵盖观测事实和预言现象时,一个理想化的科学理论就形成了。

科学的数学化,一方面使知识系统化、理论化,更合乎规范的科学概念,更具概括性和预测力,另一方面也使其运演和预测更为程序化,更具严格性和精确性。

1-1 近代科学方法的起源与发展

在古代,科学尚未从哲学中分离,只有一些关于自然现象的原始的肉眼观察和若干零星的实验,如《墨经》中的“小孔成像”和“杠杆平衡”,阿基米德的“浮体实验”等。

对于实验方法的自觉的和系统的认识始自达·芬奇。他唯一崇拜的希腊人就是阿基米德,而不是亚里士多德。他的一个突出特点就是敢于摆脱经院哲学的羁绊,以自然为师,进行终生不倦的探索和实践。他念书不多,较少受到烦琐哲学教条的束缚。他认为:知识不是靠背诵别人的书本而得来,知识只能来自观察和实验。



图1-1 列奥纳多·达·芬奇

(Leonardo da Vinci. 1452~1519)

达·芬奇明确提出:我们必须从实验出发,并通过实验去探索原因;实验决不会犯错误,错误的只是人们的判断。科学如果不是从实验中产生,并以一种清晰的实验结束,便是毫无用处的,充满谬误的,因为实验乃是确实性之母。

对文艺复兴时期科学史的研究表明, 尽管早在 16 世纪中叶就有不少学者对亚里士多德主义进行过各种抨击, 但是如果没有一整套面对自然的新方法, 自然科学仍然不能从经院哲学或古代思辨的自然哲学中独立出来。在这方面做出开拓性工作的是培根和笛卡儿。

弗兰西斯·培根 (Francis Bacon, 1561~1626) 强调科学实验对科学发现的巨大作用。他强调实验与单纯经验、观察的区别。他认为: 单纯的经验、观察是“自行出现的”, 是被动的“偶遇”, 是“漫无定向”的盲目搜索; 而实验则是“有意去寻求的”, 是主动的和有目的的探索。正如他所指出: “隐蔽在自然中的事情, 只是在技术的挑畔下, 而不是在任其自行游荡下, 才会暴露出来。”他把主动的实验 (而不是被动的观察) 看成是获取关于研究对象的系统经验材料的惟一可信的方法。



图 1-2 弗兰西斯·培根

可见, 弗·培根所倡导的“实验”, 其内涵已远远超出了在常识意义上的“经验”的范围, 而上升到自觉的、有计划、有组织的科学实验的层次。也正是在这个意义上, 马克思才赞誉弗·培根是“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”, 即“实验科学之父”。

科学实验不仅是获取科学事实的基本手段, 而且是一种有效的证实或证伪科学命题的根据。实验方法是获取经验事实的手段, 但经验事实本身不是科学, 只有经过理性的处理, 即作出假设, 进行求证, 利用数学进行逻辑的推理、推导, 才能进入科学的领地。

笛卡儿是近代科学的始祖。他强调理性思维, 也就强调了数学。他不仅把数学视为一门特殊知识, 而且把它当作一种科学规范和普遍方法。他创立了笛卡儿坐标系, 将代数引入几何, 创立了解析几何, 开拓了变量数学的广阔领域, 为微积分的建立奠定了基础, 从而打开了近代数学的大门。

笛卡儿靠着天才的直觉和严密的数学推理, 在物理学等方面提出了值得称道的创见, 做出了有益的贡献。在《方法谈》的附录《折光学》中, 笛卡儿用数学演绎法证明了光线折射的正弦定律。



图 1-3 笛卡儿

(Descartes, Rene 1596~1660)

笛卡儿为后来牛顿、莱布尼兹发现微积分，为一大批数学家的新发现开辟了道路，也为自然科学特别是力学研究提供了迫切需要的数学工具，从此数学真正地成为了科学皇后。

1-2 伽利略及实验——数学方法

伽利略被誉为近代物理学之父，是近代科学理论体系的奠基者。

一、伽利略

1564年2月15日，伽利略出生在比萨的一个没落的名门贵族家庭里，从小受到了良好的家庭教育。十七岁时，他进入比萨大学学医，同时潜心钻研物理学和数学。

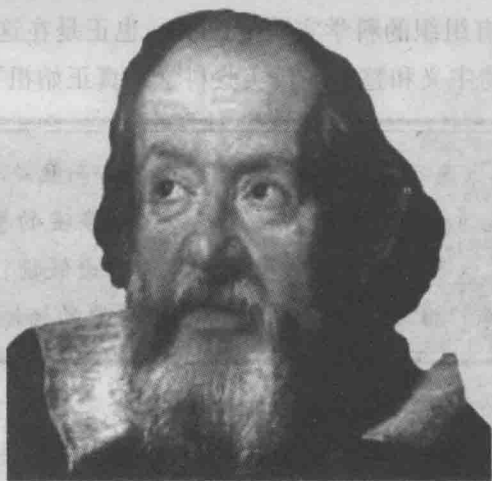


图 1-4 伽利略 (Galileo Galilei, 1564~1642)

1583年，在比萨教堂里伽利略注意到一盏悬灯的摆动，随后他用线系铜球作模拟（单摆）实验，确证了微小摆动的等时性以及摆长对周期的影响，由此创制出脉搏计用来测量短时间间隔。

1589年，他受聘为比萨大学数学教授，讲授几何学与天文学，年仅25岁。1592年，他来到远离罗马的学术空气自由的帕多瓦大学任教，在那里伽利略度过了18年，这是他从科学研究的黄金时期。在此期间，他做了一系列的比较重要的实验，深入而系统地研究了落体运动、抛射体运动、静力学、水力学以及一些土木建筑和军事建筑等；研制了温

度计和望远镜，发现了惯性原理，证明亚里士多德的理论是错误的。

1609年，他用风琴管和凸凹透镜各一片制成一具望远镜，倍率为3。后来，他将望远镜放大率提高到33。从此，他开辟了天文学的新天地。参议院决定聘他为帕多瓦大学的终身教授。



图1-5 伽利略制造的望远镜

1642年，他出版了《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》。1638年，伽利略私下托人在阿姆斯特丹出版了《关于力学和位置运动的两种新科学的对话和数学证明》。在书中，他大胆叙述了物体的各种运动和动力学有关的一些问题，为近代实验科学的发展，开辟了广阔的道路。

1642年1月8日凌晨4时，伟大的伽利略——为科学真理奋斗一生的科学巨人离开了人世，享年78岁。

二、伽利略的实验方法

从本质上来说，伽利略的实验是人为地创造一个环境，人为地控制物体运动变化的过程，排除干扰，突出主要因素，在一个理想的环境下进行的操作。可以说，实验的精髓不在于观察，不在于动手做，而在于“控制”。伽利略做斜面实验来研究小球的运动。在实验中他把一个铜球从蒙着羊皮纸的斜面上滚下来。他控制小球的初始状态（从静止释放），还控制斜面的倾角、控制小球起始点的高度进行研究，这是伽利略实验的与众不同之处。

伽利略不仅进行了控制变量的实验研究，而且对实验过程进行定量的数学描述，对实验数据进行处理。伽利略认为“自然科学书籍要用数学来写”，这是伽利略与亚里士多德的又一个重大的区别。那时候还没有计时的钟，伽利略是用大的容器通过底部漏水的办法来计时的。通过对实验数据的分析，伽利略发现，一切金属小球，不论轻重，其滑动速度与时间成正比例，即物体滑动所经过的距离与时间的平方成正比，这就是匀

加速运动的规律。伽利略还得到了在相同倾角的斜面上小球的加速度相同的结论。

伽利略不仅进行观察和实验，还采用了思想实验的方法进行论证，这是伽利略又一个开创性的研究方法。思想实验不是真实实验，但它确实是建立在现实的实验基础上的。

伽利略的实验才能是毋庸置疑的，但他并没有记录具体的实验，而帕斯卡的大气压实验和牛顿的分光实验则是当时非常出色的实验。

三、数学方法的发展

早在古希腊时期，毕达哥拉斯就提出过“万物皆数”的思想，柏拉图也认为数学是通向完善实在的理念世界的工具。14世纪的牛津学派和巴黎学派以及15、16世纪的意大利学术界，在这方面都有一定成就，但他们并未将实验方法放在首位，因而在思想上没能有大的突破。

科学知识真正的数学化还是从近代科学开始的。笛卡儿提出了数学演绎法，并认为科学的根本目的是要建立数学形式的定律。伽利略则把这一思想具体化，他揭示了自然界万事万物普遍的量化特征，开创了用数学表述实验定律的先河。而牛顿则继承了这一方法论思想，创造了微积分这一数学形式来表述力学规律，并把自己的伟大著作命名为《自然哲学的数学原理》。

伽利略发现数学具有预测作用：通过实验得出的数学规律可以指导人们得出一种未经体验过的结论。伽利略用抛射物体的研究说明了这个原则：一旦知道它们的路径是抛物线，那么不需要实验，通过纯数学就能证明它们最大射程的抛射角是 45° 。

不过，由于东方代数在伽利略时代尚未得到普及，因此当时天文学所取得的最大进展主要求助于几何学。伽利略本人的落体与抛射理论以及单摆理论等大部分也是用几何术语表达或借助几何方法得到的。

正如伽利略在《实验者》一书中所精确阐述的数学在自然科学中的作用：

“哲学被写在那本永远在我们眼前打开着的伟大之书——我指的是宇宙，但是，如果我们不首先学会语言和把握符号，我们就无法理解它。这本书是以数学语言来写的。符号就是三角形、圆和其他几何图形。没有这些符号的帮助，就不可能理解它的片言只语。没有这些符号，人们就只能在黑夜的迷宫中徒劳地摸索。”

“上帝用数、重量和尺度创造出万物。”

18世纪初,人们对机械运动迫切而深刻的研究,促使牛顿等人创立了宏伟的数学分析体系——近200年来自然科学和工程科学取得惊人进步的基础。20世纪初,当研究热、磁和电现象的转换日益深入,建立波动光学时机已经成熟时,旧的数学工具已不能完善描述这种传递、转换关系,于是新的数学语言——数学物理方程应运而生。今天,人类已进入自然科学的迅猛发展的新阶段。研究和实践活动的各种新领域,提出了大量急待解决的数学课题,导致一批新兴的数学工具如雨后春笋般成长起来,例如当控制论和最优化思想进入数学后,促使常规数学向“异常数学”方向发展,以及近30年来出现的非标准分析、突变理论和模糊数学等,都属于这个范畴。

凡此等等,可以看出实践促进了数学的发展,数学又指导着实践活动的完善。伴随着科学知识和实践活动的数学化,必然引起思维的数学化:使人们的思维准确,使意见和结论具有更严格的逻辑性。

数学方法不仅在自然科学中,而且在社会科学中,均被成功地运用着。一些物理学家声称:数学在知识和活动领域中不单是计算的工具,如果没有数学,就连认识生产过程也是不可能的。数学在当代已变成了社会的生产力。

马克思认为:一门科学只有当它能够成功地运用数学的时候,才算达到了完善的地步。

四、实验——数学方法

培根经验主义和笛卡尔唯理性主义都片面地强调了一方面。伽利略把握了新的原则:科学需要两方面的结合。他敢于向传统的权威思想挑战,不是先臆测事物发生的原因,而是先观察自然现象,由此发现自然规律。他认为世界是一个有秩序地服从简单规律的整体,要了解大自然,就必须进行系统的实验作定量观测,找出它的精确的数量关系。

基于上述新的科学思想,伽利略把实验——归纳法与数学——演绎法有机地结合起来,建立了实验——数学方法,开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学。

伽利略和牛顿是将实验方法与数学方法相结合的典范。

伽利略实验——数学方法的基本思想是:针对一个科学问题,以定量实验的观测结果作为出发点和判定理论真伪的标准,同时运用数学抽象来描述关于客体的各种基本概念和基本关系,即用数学模型来表征物理实在及其运动规律。他把数学描述所需要的测量纳入实验程序,还把理想化方法用于实验,丰富并完善了实验方法。只有这种理想化的实验才可能与数学处理相配套。

伽利略实验——数学方法的上述特征使之成为牛顿力学建立的直接的方法论基础。这一方法开辟了实验科学摆脱自然哲学而向精密科学发展的先河，为近代科学的产生和发展提供了必要的条件。

如何把实验与数学紧密结合起来呢？这可以体现在伽利略研究程序的三个阶段中：直观分解、数学演绎、实验证明。即先提取出从现象中获得的直观认识的主要部分，用最简单的数学形式表示出来，以建立量的概念；再用数学方法导出另一个易于实验证实的数量关系；然后通过实验证实这个数量关系。

在伽利略的科学方法论中，第一步即直观分解相当重要，它意味着将一个无比丰富复杂的感性自然界通过直观翻译成简单明了的数学世界，而这就是将自然数学化。全部近代物理科学都是建立在自然的数学化基础之上的，正是在这一点上伽利略当之无愧地成为近代物理学之父。

显然，伽利略倡导的实验——数学法是近代科学研究中的一般的程序。正是靠这样的严格程序，人们从实验中听懂了自然界的语言，获得了大量可靠的知识。

正如英国著名科学史家亚·沃尔夫指出：“伽利略对于落体定律、摆和抛射体运动的研究，提供了科学地把定量实验与数学论证相结合的典范，它至今仍是精密科学的理想方法”。

由于伽利略应用实验—数学方法来刻画物体的运动，这就开辟了将古代人定性地描述自然界的科学研究，转入到近代的定量地研究自然现象的新纪元。

伽利略为了揭示纷繁复杂的自然现象背后的本质，在实验的同时广泛采用了科学抽象和理想化方法。尽管他深知在空气中发生的实际的落体运动及其他加速运动同他的数学描述并不完全吻合，但他并不因此而迁就日常经验。实际上，他的落体定律和单摆定律所描述的仅仅是“真空中的自由落体”和“理想摆”的运动规律，而忽略了空气阻力、摩擦力以及后来人们所知道的转动惯量等因素。伽利略对于经验的这种超越并非是一种哲学上的自觉，而是由科学区别于常识的本质特征决定的一种科学家的自发意识。伽利略设计理想实验虽是想象中的，但却是建立在可靠的事实的基础上的。把研究的事物理想化，就可以更加突出事物的主要特征，化繁为简，易于认识其规律。伽利略的这一自然科学新方法，有力地促进物理学的发展。他在科学研究方法上的革命性贡献，为自然科学研究开辟了新途径。

爱因斯坦曾这样评价：“伽利略的发现，以及他所用的科学实验及推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正的开端！”。