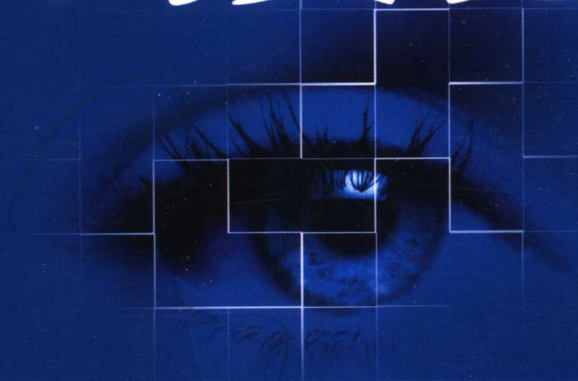


科学发现 的奥秘



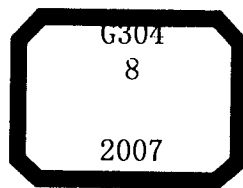
KEXUE FAXIAN
DE AOMI

顾越岭 编著



科学出版社

www.sciencep.com



科学发现的奥秘

顾越岭 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是关于科学方法论的研究论著,重在研究科学发现的规律、机制、方法及其在科学发现与理论创新中的应用.全书共11章,前5章阐述了科学发现的理论,后6章对这一理论进行了检验.书中列举了哲学、数学、自然科学与社会科学中的大量科学发现,验证了上述理论的正确性与普适性.

本书可供高中学生、大专院校学生、科学爱好者、科技工作者以及科学研究人员阅读、参考.

图书在版编目(CIP)数据

科学发现的奥秘/顾越岭编著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-018500-6

I. 科… II. 顾… III. 科学方法论 IV. N03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 014398 号

责任编辑:陈玉琢 莫单玉/ 责任校对:刘小梅

责任印制:赵德静/ 封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 3 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2007 年 3 月第一次印刷 印张: 14 3/4

印数: 1—2 500 字数: 232 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(明辉))

目 录

绪论	1
第 1 章 论现象与问题	12
第 1 节 论现象	12
第 2 节 论问题	16
第 3 节 论问题与现象	19
第 2 章 论转换与建模	23
第 1 节 论转换	23
第 2 节 论建模	30
第 3 章 论思维规律	40
第 1 节 思维的形式规律	41
第 2 节 思维的本质规律	45
第 4 章 矛盾分析法	52
第 1 节 数学矛盾分析法	52
第 2 节 一般矛盾分析法	59
第 5 章 论发现机制	67
第 1 节 微观发现机制	67
第 2 节 宏观发现机制	73
第 3 节 发现机制原理	76
第 6 章 论数学发现	79
第 1 节 数学发现概述	79
第 2 节 非欧几何中的发现	86
第 3 节 方程论中的发现	94
第 4 节 费马猜想中的发现	101
第 7 章 论物理发现	108
第 1 节 物理发现概述	108
第 2 节 量子假说中的发现	113
第 3 节 原子论中的发现	117
第 4 节 量子力学中的发现	120
第 5 节 波动方程中的发现	123
第 8 章 论化学发现	128
第 1 节 化学发现概述	128

第2节 化学元素中的发现·····	134
第3节 价键理论中的发现·····	141
第9章 论生物发现·····	149
第1节 生物发现概述·····	149
第2节 细胞学中的发现·····	154
第3节 分子学中的发现·····	161
第10章 论天文发现·····	167
第1节 天文发现概述·····	167
第2节 宇宙学中的发现·····	173
第3节 其他的天文发现·····	176
第11章 论哲学与社会科学发现·····	184
第1节 哲学与社会科学发现概述·····	184
第2节 马克思、恩格斯的理论创新·····	196
第3节 列宁的理论创新·····	206
第4节 毛泽东的理论创新·····	215
参考书目·····	229
后记·····	231

绪 论

一、科学发现的历史回顾

纵观世界科学史,不难发现,西欧乃是科学发现的摇篮,而欧洲文艺复兴运动则开启了科学发现的闸门。自此之后,各种科学发现便像雨后春笋般地涌现出来,成为 15 世纪以后欧洲社会最亮丽的风景。

而在此前的中世纪(公元 5 世纪~15 世纪),则是西欧科学最黑暗的时期。当时西欧的封建政权为了维护统治地位,不惜借助基督教会的神权实行愚民政策和强权统治。他们当时规定:“除圣经特别许可外,不得学习各种科学和文艺”,这就迫使一切学术思想屈从于宗教教义,从而扼杀了科学的生机,致使千年之中几乎没有出现什么有价值的科学成果。直到中世纪后期,随着资本主义工商业的发展,资本主义的竞争要求人们改进生产工艺、提高产品质量,出现了许多需要用科学方法才能解决的工程技术问题。直到这时,基督教会科学的敌视态度才有所缓和。特别在公元 999 年,当法国数学家热尔贝(Gerbert,约 945~1003)担任罗马教皇(史称西尔维斯特二世)之后,教会的态度才趋好转。热尔贝在任期间,大力提倡数学教育,扩建教会学校,为教会学者学术研究提供方便。自此之后,欧洲人开始从阿拉伯人那里接触到早已失传的古希腊的学术著作,并了解到他们的祖先曾经有过辉煌的历史与灿烂的文明,于是“思古之幽情”油然而生,终于爆发了欧洲历史上著名的文艺复兴运动。

文艺复兴运动主张恢复古希腊的思想和文化,即“让死去的东西复活”。这个运动始于 15 世纪初,意大利是发源地,后来扩展到德国、法国,直至整个欧洲,前后共持续了 200 多年,对欧洲中世纪的文化根基——基督教教义与经院哲学形成了强烈的冲击,并使遭受基督教会长期压制的“毕达哥拉斯-柏拉图”主义得以复活。“毕达哥拉斯-柏拉图”主义是以毕达哥拉斯的“万物皆数论”与柏拉图的“数学设计论”为代表的一种数学哲学观点,它将数和数量关系看成是现实世界的精华,认为自然界是按照数学规律设计的,数学是打开宇宙奥秘的钥匙。这种观点很快得到了当时希腊学术界的认同,并极大地促进了希腊科学的发展,数学更是取得了辉煌的成就。公元前 3 世纪前后,希腊数学发展到巅峰,出现了欧几里得、阿基米德与阿波罗尼斯三大几何学家。他们的成就不仅是空前的,而且在他们身后 1000 多年内也无人可及。柏拉图的学生,后来被教会尊为权威的唯心主义哲学家亚里士多德(Aristotle,公元前 384~前 322 年)却反对柏拉图的“数学设计论”,认为数量关系和几何形状只是实物的属性,因而数学应比物理处于较低的地位。亚里士多德

的这一观点后来成为基督教会打击数学学科的理由,极大地阻碍了数学的发展,并因此祸及科学与文化,使当时的学术研究停滞不前。

文艺复兴运动使毕达哥拉斯、柏拉图的著作得到了广泛的传播,并使他们的数学哲学观点得到了广泛的认同,压抑千年之久的“毕达哥拉斯-柏拉图”主义在新的时代背景下复活了。于是欧洲的人文主义者举起了“毕达哥拉斯-柏拉图”主义的大旗,以对抗亚里士多德的权威及哲学,使其成为批判旧权威,创立新思想的强大武器。欧洲人从此相信,自然界是和谐的,是按照数学方式设计的。于是学术界普遍将数和数量关系看成是现实世界的精华,而数学则成了惟一的真理体系。当时的科学工作者无一例外地认为,科学工作的最终目标是确立定量的数学化定律。正是这种科学理念武装了广大的科学工作者,使他们勇敢地向宗教神学与经院哲学发起进攻,其代表人物有意大利的艺术大师达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452~1519),波兰的天文学家哥白尼(N. Copernicus, 1473~1543),意大利的科学家伽利略(Galileo, 1564~1642),英国的哲学家培根(Francis Bacon, 1561~1626)等。其中达·芬奇曾公开宣称:真理在科学中,不在宗教中。他反对经院哲学的繁琐方法,主张科学家以经验为依据,采取实验的方法研究自然。他在研究中重视寻找数量关系,并肯定数学的重要作用。他说,只有紧紧地依靠数学,才能穿透那不可捉摸的思想迷雾。哥白尼则以“日心说”对抗基督教会的“地心说”,从而动摇了宗教神学的权威。他还坚持采用科学的研究方法,强调理性思维的重要性。他认为,在理性思维的过程中,数学计算和推理有着特别重要的意义,数学方法是从观测结果得到一般定律的必要手段。伽利略则利用望远镜进行天文观察,支持哥白尼的“日心说”,反对“亚里士多德-托勒密”的“地心说”。他还通过实验批判亚里士多德的其他一些错误观点,极大地动摇了基督教会的思想基础。如亚里士多德曾经错误地认为:物体运动的有无与快慢与它是否受到力的作用和力的大小有关,体积相等的物体下落的快慢则与它们的重量成正比,即较重的下落快,较轻的下落慢。而伽利略通过比萨斜塔的试验得出了自由落体做匀加速运动,其下落的速度与时间和物体的轻重无关的结论,从而推翻了亚里士多德的运动观。培根作为新兴资产阶级的代言人,则非常重视科学技术的作用,提出了“知识就是力量”的著名口号。培根还是近代实验方法的倡导者和科学归纳法的奠基人,他指出实验是认识的基础,感觉是一切知识的源泉。而经院哲学家的那些毫无实际效果的空洞争辩,是由于误用了亚里士多德的三段论而引起的。演绎法不能给人以新知识,只有实验归纳法才是科学发现的有效方法。这一切都极大地推动了当时科学的发展,并为后来的科学研究指明了方向。文艺复兴期间出版的达·芬奇的《绘画专论》、哥白尼的《论天地的旋转》、(比利时解剖学家)维萨里(A. Vesalius, 1514~1564)的《人体的构造》、(英国医生)哈维(W. Harvey, 1578~1657)的《心血运动论》等,相继揭开了科学领域的革命序幕,将科学从神学的束缚下解放出来,并进入了近代科

学的领域,不仅为科学进一步发展创造了条件,而且为后来发展为现代科学奠定了基础。

文艺复兴之后,欧洲科学走上了迅速发展的快车道。无数的科学工作者聚集在“毕达哥拉斯-柏拉图”主义的旗帜下,坚持不懈地做着揭示客观世界奥秘的工作。他们不怕困难,勇敢探索,在数学、天文、物理、化学、生物等学科中取得了突破性的进展,从而极大地推动了科学的发展和社会的进步,其中尤以数学与物理学科的成就最为突出。以数学学科为例,自从17世纪笛卡儿(Descartes, 1596~1650)与费马(Fermat, 1601~1665)各自独立地创了解析几何,牛顿(Newton, 1643~1727)与莱布尼茨(Leibniz, 1646~1716)各自独立地创建了微积分之后,数学学科就从初等数学发展为高等数学,并在随后的18~20世纪内得到了飞速的发展。如18世纪,在进一步发展与完善解析几何与微积分的基础上,数学家们又创建了微分方程、微分几何、概率论与变分法等新的数学分支;19世纪又创立了非欧几何、群论与集合论等数学分支,20世纪又进一步创立了拓扑学、泛函分析、抽象代数、计算机和计算机数学以及控制论、数理统计、实变函数、非标准分析、突变理论与模糊数学等数学分支。

再以物理学科为例,17世纪,牛顿在总结伽利略、开普勒等人关于运动与力学研究成果的基础上,发现了牛顿力学三定律与万有引力定律,于是创建了经典力学;18世纪,法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743~1794)用实验证明了质量守恒定律;19世纪,德国的物理学家迈尔(J. R. Mayer, 1814~1878)和亥姆霍兹(H. Helmholtz, 1821~1894)、英国科学家焦耳(J. P. Joule, 1818~1889)发现了热力学第一定律——能量守恒与转化定律;接着德国物理学家克劳修斯(R. J. E. Clausius, 1822~1888)对卡诺的理想热机理论进行了修正与发展,又发现了热力学第二定律——宇宙的熵趋向于一个最大值(即一个系统所含能量与其绝对温度之比在系统孤立时总会增大,而在理想状态下则将保持不变)。20世纪,以奥地利的薛定谔与德国的爱因斯坦为代表的物理学家则创建了量子力学与相对论,从而将理论物理学推进到量子物理学的阶段。以此为基础,原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学等又先后发展了起来,并最终形成了现代物理学空前发展的局面。

不仅数学与物理学科如此,其他学科也是如此,我们将在以后的章节中逐步介绍,这里从略。

二、科学发现的意义简析

科学发现是科学发展的前提,没有科学的发现,也就谈不上科学的发展。如以上所举数学与物理的进展,就是建立在大量的数学与物理发现的基础之上的,没有这些科学发现,也就谈不上数学与物理的发展。

所谓科学发现,是指用科学方法揭示客观世界未知事物(包括实际事物、思想

事物及其内在联系等)的一种认知活动. 它一般包括两个认识阶段,即感性认识与理性认识阶段,其中感性认识阶段主要通过观察、实验、比较等手段进行直观感知,理性认识阶段则主要通过分析、猜想、检验与论证等手段进行理性探索. 显然,直观感知仅能得到初步印象,因此只能属于初步发现,而理性探索才能发现事物的本质,从而作出深层次的科学发现.

科学发现主要包括定性发现与定量发现两大类.

所谓定性发现,是指对研究对象在“质”的方面的发现,如物理性质、化学性质、生物特性等;所谓定量发现,是指对研究对象在“量”的方面的发现.

一般来说,任何科学研究,都是从定性发现开始的,在此基础上的研究叫做定性研究. 当这种研究达到一定深度时,便需要做出相应的定量发现,并在此基础上进行定量研究. 定量研究一般都是通过数学抽象建立数学模型,再根据数学模型求得定量研究的结果. 显而易见,定性发现乃是定量发现的前提,而定量发现则是定性发现的深化.

定量发现即是数学发现,它是科学发现的较高层次,在牛顿经典力学的创立过程中,就充满着这样的定性发现与定量发现. 我们知道,在牛顿之前,力学就有了较大的发展,例如伽利略发现了自由落体运动、惯性原理、相对性原理、以及加速度概念与运动量的概念等;而开普勒则发现了行星运动三大定律,这些发现都属于定性发现;另外,荷兰物理学家惠更斯还发现了圆周运动的向心加速度公式 $a = \frac{V^2}{R}$

与离心力公式 $F \propto \frac{R}{T^2}$, 这种发现则不仅是定性的,而且还是定量的了. 1666 年,牛顿正是在此基础上,将惠更斯的加速度公式用于开普勒的第三定律,导出了著名的万有引力定律:

两个物体之间的引力与它们的质量之积成正比而与它们的距离平方成反比. 其数学表达为

$$F = G \frac{mM}{r^2},$$

其中, m 和 M 是两个物体的质量, r 是两个物体质心间的距离, G 为引力常数.

与此同时,牛顿还得出了如下 3 条基本的运动定律:

第一运动定律:惯性定律——每一个物体都始终维持在静止或匀速直线运动的状态,只有受到外加的力,才被迫改变其状态.

第二运动定律:加速度定律——运动的力和所加的力成正比,并且发生在所加的力的直线方向. 也就是说,在质量一定时,外加力与加速度成正比,即 $F = ma$; 如果外力一定,物体质量又与运动的加速度成反比,即 $m = \frac{F}{a}$, 于是质量乃是物体惯性的量度.

第三运动定律:作用力与反作用力定律——每一个作用总是有一个相等的反作用和它对抗。即两物体彼此之间的相互作用永远相等,并且各自指向对方。

显然,牛顿的上述发现已从定性发现提升为定量发现,并由此圆满地建立了经典力学的理论体系。

三、科学发现的规律探究

科学之所以能够得到持续的发展,是因为人类能够不断地发现问题、解决问题。而发现问题与解决问题的过程,同时也是科学发现的过程。于是寻求科学发现的规律,探讨科学发现的机制就成了重要的研究课题。由于量化乃是科学发展的必然趋势,而量化也就是数学化,因此,科学发现就与数学发现有着密切的关系。正因为如此,人们为了寻求科学发现的规律与机制,总是从寻求数学发现的规律与机制入手。较早这样做的科学家当推法国哲学家、数学家笛卡儿。17世纪30年代前后,他先后两次出版了关于科学方法论的研究论著。第一次是在1628年,出版了《指导思维的法则》一书;第二次是在1637年,出版了《更好地指导推理和寻求科学真理的方法论》一书。在这两本书中,他向人们介绍了他的科学方法论,其要点可以归结为四个“思维法则”和一个“万能方法”^[1]。其中四个“思维法则”是

- (1) 只有明显地被看出是真的东西,才能当作是真的;
- (2) 为了更好地解决研究中的每一个困难,需要把困难分成几个小的难点;
- (3) 研究通常应该从最简单和最容易认识的事物开始,依次进行,直到认识最复杂的事物为止;
- (4) 对事实、发现、假设、方法需要做出足够详尽的记载,并审查推理的步骤,使之确信无所遗漏。

而一个“万能方法”则是将非数学问题化为数学问题,将数学问题化为代数问题,将代数问题化为方程式的求解。

对于“万能方法”,笛卡儿也曾怀疑其可行性,但他始终坚信,数学方法是可以用来解决科学问题的,而代数方法又比几何方法优越。他还相信几何问题可用代数方法解决,这也正是他创立《解析几何》的思想基础。

继笛卡儿之后,莱布尼茨也曾致力于寻求科学发明的方法,他说:“没有什么比看到发明的源泉更重要的了,据我看来,它比发明本身更有趣。”^[2]为此,他曾打算写一本关于《发明的艺术》的书,以阐述发明的原理,可惜未能实现。后来,法国科学家庞加莱(Poincaré, 1854~1912)则致力于直觉与发现(创造)的研究,并写出了重要著作——《科学的价值》。而稍晚的美国数学教育家 G. 波利亚(Polya George, 1887~1985)则致力于数学方法论的研究,先后写出了《怎样解题》、《数学的发现》、《数学与猜想》等世界名著。

与笛卡儿的研究思路不同,庞加莱与波利亚没有从寻求思维法则着眼,而是从研究直觉发现与猜想发现入手. 庞加莱是研究直觉主义的先驱,对直觉有着深刻的见解. 如他认为,直觉不是直观,也不是想像,而是对于数学对象内在的和谐关系的直接洞察. 他还说,直觉有一种精神的威力,使人一眼就能觉察到逻辑的大厦,没有想像的帮助也能勇往直前. 他还正确地认识到直觉的不足,认为直觉不能给人以严格性与可靠性,因此需要与逻辑互补. 他指出:“逻辑与直觉各有其必要的作用,两者缺一不可. 唯有逻辑能给我们以可靠性,它是证明的工具,而直觉只是发现的工具.”^[3]

在此基础上,庞加莱还从心理学的角度对数学发现(创造)的过程进行了分析,并将其划分为4个阶段——准备、酝酿、顿悟、检验. 其中准备、检验属于有意识的思维,而酝酿、顿悟则主要属于无意识的思维. 由于无意识思维能对有意识思维起整理与修补的作用,因此当人们因有意识思维受阻而暂停思维时,无意识思维便会乘机活跃起来,一旦时机成熟,便有可能突发灵感,这就是所谓的“顿悟”,它是有意识思维与无意识思维共同作用的结果.

庞加莱还提出“创造就是选择”的著名论断. 这个论断是说,数学创造的本质就是在已知的数学事实所造成的新组合之中做出正确的选择. 因为从已有的概念、图像、变换、结构等出发可以构造出不知其数的新组合,而其中的大多数则是无用的,而且人们也不可能实际地去构造每一个可能的组合,并逐一检查它们是否有价值,因此数学发现的本质就在于做出正确的选择.

那么怎样才能做出正确的选择呢? 庞加莱认为,我们面前有无数多条可供选择的道路,“逻辑可以告诉我们走这条路或那条路保证不遇到任何障碍,但是它不能告诉我们哪一条道路能引导我们达到目的地. 为此,必须从远处了望目标,而教导我们了望的本领则是直觉. 没有直觉,数学家便会像这样的一个作家:他只是按语法写诗,但却毫无思想”.^[3]

为了使直觉发挥选择作用,尚需发挥审美情感的功能,对此庞加莱强调指出:“没有一个高度发展的美的直觉,就不可能成为伟大的数学发明家”.^[3]

庞加莱以自己发现富克斯函数的经历为例来说明上述观点. 他说,对于富克斯函数,一开始他是持否定态度的. 为此,他曾花了两周时间试图证明这类函数不存在. 其实当时他对这类函数也知之甚少,每天独自一人坐在桌前呆一两个小时,尝试了大量的组合,结果毫无所获. 一天晚上,他喝了黑咖啡,久久不能入睡,各种想法纷至沓来,经过彼此冲突、融合,最后成对地结合了起来,从而形成了稳定的组合. 第二天早上,他便确立了一类来自于超几何级数的富克斯函数,由此便打消了否定的念头.

接着,庞加莱将富克斯函数与椭圆函数类比,尝试用两个级数之商表示这些函数. 这个想法获得了成功,从而形成了所谓的Q富克斯级数.

恰恰就在这时,他参加了由矿业学校组织的地质考察旅行,沿途的景致使其忘记了教学工作。有一次,当他刚踏上车厢踏板的一刹那,一个想法突然涌上心头,即定义富克斯函数的变换等价于非欧变换。回到驻地,他抽空证实了这一想法。

后来,庞加莱又把注意力转向一些算术问题,但没有什么进展。为此他感到扫兴,于是前往海边游玩,顺便再想一些其他的事情。一天早晨,当他散步在悬崖边时,一个想法突然冒了出来,即不定三元二次型的算术变换等价于非欧几何的变换。回到卡昂后,他经过思考,推导出一些结论,并从中发现了一类不同于超几何级数的富克斯函数,于是他试图构造出这类函数。经过努力,几乎扫清了所有障碍,可就是有一处障碍岿然不动,于是只好暂时作罢。后来,庞加莱去服兵役,从事截然不同的工作。有一天,他走在大街上,突然灵感降临,于是最后一处障碍也被扫除。服役期满后,他便完成了最后的论文。

与庞加莱相比,波利亚的论述却没有那么复杂,在他的论著中,通篇只有4个字,那就是“猜想发现”,即通过猜想作出数学发现。为此,他提倡合情推理,即运用联想、类比、归纳、猜测以及想像、尝试等非演绎手段进行数学探究。

波利亚在《怎样解题》一书中指出:“数学被人看作是一门论证科学,但这仅仅是它的一个方面。以最后确定的形式出现的数学,好像是仅含证明的纯论证性的材料,然而,在证明一个数学定理之前,你先得猜测这个定理的内容,在你完全做出详细证明之前,你先得推测证明的思路,你先得把观察到的结果加以归纳与类比,你得一次又一次地进行尝试。数学家的创造性成果是论证推理,即证明,而这个证明却是通过合情推理,通过猜想发现的”。不过他又说,“我不相信有十拿九稳的方法,用它可以学会猜测。有效地应用合情推理是一种实际技能,就像其他实际技能一样,要通过模仿和练习来学会它”。^[2]

从波利亚的后一段话中,我们似乎感到他有一丝无奈,因为他说不相信有办法学会猜测。事实上,不仅学会猜测不易,即使真的学会猜测,也不一定就能作出数学发现。这是因为,猜测只是一种主观判断,而主观与客观是有距离的。当猜测与实际情况相去甚远时,也就不能作出有效的数学发现了。与其相仿,庞加莱的直觉发现以及组合加选择等发现方法也是一种主观判断,也不一定就能符合实际,因此也就难以作出有效的数学发现。所以要解决数学发现的问题,关键不在于是直觉还是猜想,而在于寻求不以人的主观意志为转移的数学发现规律。

什么是数学发现的规律呢?为了回答这个问题,我们得从笛卡儿的思维法则谈起。所谓思维法则,是指用于指导思维活动的思维原则。我们认为,笛卡儿从制定思维法则入手来揭示发现规律是很有见地的,因为数学发现首先是一种思维活动,它必然遵循着一定的思维规律。如果笛卡儿所制定的思维法则能够反映这种思维规律,那么也就抓住了数学发现的根本。但是由于历史的局限,笛卡儿的思维法则尚不能完全反映思维的客观规律,因此也就难以指导人们作出有效的数学发

现了。正因为如此,笛卡儿的思维法则并未引起后人的高度重视。

我们知道,思维是比其他任何已知的运动形态都具有更高的质的运动形态,它的特殊形式与特殊规律也应该在特殊的辩证法科学中加以研究,这门特殊的辩证法科学就是辩证逻辑,亦即唯物辩证法。形式逻辑虽然具有规范思维活动的作用,但因它将形式与内容割裂,没有从思维的内容与形式的统一上去研究思维形式如何反映事物的运动、变化,如何反映事物的内部矛盾、有机联系和相互转化的问题。因此,就不能透过表面现象看到事物的本质,从而也就难以指导人们作出深层次的数学发现。正因为如此,我们有必要以辩证逻辑为基础来制定新的思维法则,以取代笛卡儿的思维法则,并由此建立新的数学方法论。

鉴于数学思维的出发点与归宿是提出问题与解决问题,因此要揭示数学思维的辩证规律就需要从数学问题入手,即从数学问题的内部矛盾、有机联系及其相互转化入手。由于数学问题来自于现实世界,是现实世界中物质运动形态在数量关系与空间形式上的反映,而现实世界是矛盾的世界,物质运动是矛盾的运动,因此,矛盾性就是数学问题的根本属性。这种矛盾性通常表现为题设与题设、题设与题断之间的各种差异,如“已知”与“未知”的差异、“一般”与“特殊”的差异、“整体”与“局部”的差异、“数”与“形”的差异、“动”与“静”的差异、“曲”与“直”的差异、“高”与“低”的差异、“多”与“少”的差异等。另一方面,由于矛盾的双方既对立又统一,既有斗争性又有同一性,其中斗争性表现为存在差异,而同一性则表现为存在联系。因此,数学问题中就不仅存在着差异,而且还存在着差异间的联系,从而数学问题就是差异与联系的统一体。

辩证唯物主义的对立统一法则告诉我们,事物发展过程中的矛盾双方,一方面以其对立面作为自己存在的前提,双方共处于一个统一体之中;另一方面,依据一定的条件,又各自向其对立面转化直到与对立面完全同一,这就是矛盾转化的规律。而解决数学问题的过程,则是消除题设与题设、题设与题断之间的各种差异,直至将题设转化为题断的过程,它与矛盾转化的过程是完全一致的。这就说明,解决数学问题的过程乃是一种矛盾转化的过程。由于这个过程同时也是数学思维的过程,因此,矛盾转化的规律也就是数学思维的规律。

剖析矛盾转化的规律不难发现,其精髓乃是“逆向转化”与“化异为同”,从而“逆向转化”与“化异为同”即可作为数学思维的两个根本指导原则。为简便计,不妨简称为“逆反原则”与“化同原则”。以“逆反原则”与“化同原则”为基础,又可以推出如下的一些派生原则:如“化简原则”——将复杂的问题化为简单的问题去处理;“化归原则”——将待解决的问题化为已经解决的问题去处理;“直观原则”——借助图形直观解决问题;“整体原则”——从整体着眼,不为局部细节所左右;“有序原则”——将无序的思维变为有序的思维等。

由于“化异为同”是以“逆向转化”为前提的,因此,“化同原则”又可看成“逆反

原则”的派生原则,从而“逆反原则”就是最根本的思维原则. 将其与笛卡儿的思维法则相比较,显然以“逆反原则”为代表的思维原则更为深刻而全面,因为它是对立统一法则的具体体现,是对矛盾转化规律的高度概括. 而对立统一法则与矛盾转化规律又是放之四海而皆准的普遍真理,因此,以“逆反原则”为指导就能进行有效的数学思维. 又由于“逆反原则”在思维上的体现乃是“逆向思维”,因此,逆向思维便是数学思维的主要形式.

以“逆反原则”为代表的思维原则为指导,可以发明一种数学方法,叫做“数学矛盾分析法”,简称“矛盾分析法”^[4]. 它是以思维原则为指导,以矛盾分析为手段的数学方法. 其操作程序是:“揭露差异—逆向转化—寻求联系—化异为同”. 所谓“揭露差异”,就是将所给数学问题中的矛盾差异揭示出来;所谓“逆向转化”,就是让差异双方各自向其对立面转化;所谓寻求联系,即是寻求差异双方的内在联系;所谓“化异为同”,则是消除差异、解决问题. 这其中,“揭露差异—逆向转化”乃是“矛盾分析法”的核心,它的作用在于找出数学问题中的内在联系,并由此找到问题解决的途径,从而在问题解决的过程中,“揭露差异—逆向转化”就是一种数学发现的机制.

在这个发现机制中,“揭露差异”是前提,“逆向转化”是关键. 因为只有将差异揭露出来,并让差异双方逆向转化,才能使隐含的内在联系暴露出来,从而有助于作出有关的数学发现. 由于数学矛盾的性质不同,逆向转化的表现形式与所需时间就会有所不同,如对于问题解决来说,其数学发现的视角就相对较小,视野相对较窄,时间跨度也相对较小,少则几分钟,几小时,多则几天,几个月,故我们不妨称之为微观发现. 而理论创新中的数学发现则视角较大,视野较宽,时间跨度也相对较大,少则几年,几十年,多则几百年,故我们称之为宏观发现. 如莱布尼兹创立微积分,前后就有 3 年左右的时间. 尽管他从特征三角形入手,在微积分的发现中还是走了捷径的. 而牛顿创立微积分则花费了更长的时间,从 1666 年写作《流数简论》到 1704 年出版《曲线求积术》,前后共花了 38 年的时间. 其中还不包括前期酝酿、准备等环节所花费的时间. 如果再将微积分的发展与完善的过程包括在内,那么其时间跨度就有 2 个世纪.

上述微观与宏观的差异必将导致发现机制的差异. 如微观发现机制是“揭露差异—逆向转化”,而宏观发现机制则是“否定—否定之否定”. 所谓否定,就是否定旧观念、旧理论、旧方法,建立新观念、新理论、新方法. 如微积分的建立就是对初等方法的“否定”. 众所周知,初等方法乃是传统的数学方法,由于过于陈旧,已经不能满足实际需要了. 如初等方法就不能解决当时已经提出来的求曲线切线的斜率、曲边梯形的面积,以及求变速运动的瞬时速度等实际问题. 这是因为,初等方法只能解决均匀变化的问题,而不能解决非均匀变化的问题. 要解决上述非均匀变化的问题,必须寻求另外的高等方法. 为此,必须首先否定初等方法,并在此

基础上建立高等方法——微积分方法。

但是,微积分的建立仅是数学理论创新的开始而不是结束,因为初创的微积分还很粗糙,必须加以发展与完善。在这个过程中,虽然也需要有所否定,但却不需要从根本上加以否定,而仅是对初创过程中的某些错误或不足进行纠正与弥补,这种否定就是所谓的否定之否定。如早期的微积分由于没有连续函数的概念,又缺少严格的极限概念,致使微积分理论基础相当薄弱,经不住推敲。为此,捷克数学家波尔察诺(Bolzano, 1781~1848)建立了函数的连续性概念,法国数学家柯西(Cauchy, 1789~1857)则改进了极限的定义,并使之成为微积分的基础。但因柯西的极限定义中仍使用了不少描述性的语言,所以仍不准确。为了使极限定义严密化,德国数学家魏尔斯特拉斯建立了实数理论,并在此基础上创造了著名的“ ϵ - δ ”语言,从而使微积分最终实现了严密化。

尽管微观发现机制与宏观发现机制的表述有所不同,但两者的实质却是相同的。因为否定就是用新观念取代旧观念,用新理论取代旧理论,用新方法取代旧方法,这是一种由旧到新的逆向转化;而否定之否定则是对新观念、新理论、新方法的补充与完善,从而又是由不完善到完善的逆向转化。宏观发现机制与微观发现机制都以逆向转化为其发现手段,而与其相适应的思维方法也都是逆向思维。

以上的发现机制是在数学问题的基础上做出的,故称之为数学发现机制。对于非数学问题是否也能给出相应的发现机制呢?答案是肯定的。因为非数学问题与数学问题类似,也是矛盾差异的统一体,主要体现为质与量的矛盾,已知与未知的矛盾,一般与特殊的矛盾,整体与局部的矛盾,随机与确定的矛盾等。于是,解决非数学问题也应遵循矛盾转化的规律,从而上述发现机制也可推广到非数学问题中来,从而就与数学问题类似,对于问题解决一类的问题,有所谓的微观发现机制:“揭露差异—逆向转化”;而对于理论创新一类的问题,有所谓的宏观发现机制:“否定—否定之否定”。

由于数学发现与非数学发现都是科学发现,因此,我们可给出统一的科学发现机制:

$$\text{科学发现机制} = \left\{ \begin{array}{l} \text{揭露差异—逆向转化(微观发现)} \\ \text{否定—否定之否定(宏观发现)} \end{array} \right\}.$$

不难看出,上述发现机制的哲学基础乃是辩证唯物主义的对立统一法则、否定之否定规律以及质量互变的规律,而这些法则与规律是放之四海而皆准的普遍真理,因此科学发现机制的科学性就是毫无疑问的了。尽管我们在前面并未提及质量互变的规律,但从量变到质变也是一种逆向转化,主要表现为由旧事物转化为新事物,从而也体现为对立统一与否定之否定。如生物的物种演化,从旧物种到新物种,是从量的积累再到质的飞跃,它既是一种对立统一,又是一种否定之否定;再如社会的发展,当生产力发展到一定程度时,生产力与生产关系便会发生冲突,从而

爆发革命推翻旧的生产关系,建立新的生产关系,这就是否定.而对新的生产关系的发展与完善则是否定之否定.

与科学发现机制相适应的思维方法乃是以逆向思维为特征的辩证思维方法.事实上,由于发现机制源于矛盾转化,而矛盾转化的主要形式是逆向转化,它在思维上的反映便是逆向思维,因此,逆向思维就是科学发现的主要思维手段,科学发现的历史事实也充分说明了这一点.如非欧几何、模糊集合、相对论、量子力学、以及氧化学说等的发现都是科学家对欧氏几何、经典集合、绝对论、经典力学以及燃素说等旧观念逆向思维的结果.

综上所述不难明白,逆向转化与逆向思维乃是科学发现机制的两个要点.前者属于哲学范畴,而后者属于思维范畴.由此又可明白,所谓科学发现,主要不是指发现一些未知的现象与问题,而是指由这现象与问题所引发的哲学思考与思维创新.这种思考与创新常以否定之否定的方式进行,并因此不断地推翻旧观念,创立新观念,提出新假说,建立新理论,由此推动科学技术的不断发展.

第1章 论现象与问题

科学发现一般总是从发现现象与问题开始的,因此,要研究科学发现的规律与机制,首先必须从现象与问题谈起.

第1节 论现象

现象是我们平时用得最多的一个词,它是一种元概念,不能给出准确的定义,只能进行如下的一种概略性描述:即现象是由人的感官得到的客观事物的状态与表象,包括自然现象与社会现象.其中自然现象又有天文、气象、物理、化学、地质、地理、生物等方面的现象,而社会现象则有政治、经济、文化、教育、卫生、军事、体育等方面的现象.

现象除可按内容区分外,还可按性质划分.根据现象的随机与否可将其分为随机现象和预期现象;根据现象有无周期性又可将其分为周期现象与非周期现象;根据现象的正常与否则可将其分为正常现象与非正常现象;而非正常现象中还有特别的奇异现象等.

一、随机现象与随机发现

所谓随机现象,是指这样的一种自然现象或社会现象,其出现一般带有偶然性,事先难以预料到.如在自然现象中,天上的云彩变化就是一种随机现象,每时每刻都不会相同,且无法预测.再如,在社会现象中,彩票中奖也是一种随机现象,不管买了哪一张彩票,都有中奖或不中奖的可能;既有中大奖的可能,也有中小奖的可能.再如掷骰子,单个骰子点数有6种,哪一种都可能出现,但谁也无法预测.正因为如此,随机现象一般不容易把握.不过,对于那些发生频率较高的随机现象,却有概率统计规律可循,并可据此进行相应的预测.例如,天气预报、地震预报就是如此,它们是根据大范围的天气变化与地质变化的统计规律做出来的,其目的主要在于让人们未雨绸缪,做好防范灾害的措施,以减少生命财产的损失.

所谓随机发现,则是指在随机观测中偶然得到的一种科学发现.如据新华社2005年10月24日电讯,不久前,美国范德比尔特大学一位名叫迈克尔·鲍尔斯的研究生在一次实验中偶然发现了一种混合涂料,将其涂在发光的二极管上后,会使原本发出蓝光的灯发出白光,就像白炽灯光一样.这就是一种随机发现.鲍尔斯和一名同学由此得到启发,他们将一种用半导体材料制成的纳米晶体(简称“量