

►► 教与学方法丛书 ◀◀

物理方法论

王瑞旦 宋善炎 编著



中南大学出版社

278

04
625

►► 教与学方法丛书 ◀◀

物理方法论

王瑞旦 宋善炎 编著



中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理方法论/王瑞旦、宋善言编著. —长沙:中南大学出版社,
2002. 6

ISBN 7-81061-550-5

I. 物... II. 王... III. 物理学—学习方法
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 041069 号

物理方法论

王瑞旦 宋善言 编著

☐ 责任编辑 刘石年

☐ 出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8710482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

☐ 经 销 湖南省新华书店

☐ 印 装 湖南东方速印科技股份有限公司

☐ 开 本 850×1168 1/32 ☐ 印张 10.125 ☐ 字数 261 千字

☐ 版 次 2002 年 7 月第 1 版 ☐ 2002 年 7 月第 1 次印刷

☐ 书 号 ISBN 7-81061-550-5/O · 021

☐ 定 价 18.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

前 言

回顾 20 世纪，物理学在自然科学中一直处于主导地位，是一门领头学科。

物理问题的解决凝聚着历代物理学者的智慧与心血，至今已从中诞生出一门物理方法论的新的学科。物理方法论是物理教育的一个分支，它研究的是物理问题解决的方法论问题。新时代的物理教学，不仅要传授物理知识与技能，而且要使学生了解与领会物理问题解决的方法，这样才能真正提高学生的科学素质，使之终生从中受益。

纵观以往的情况，有关研究自然科学方法论的书出了不少，但其侧重点放在科学哲学、逻辑学以及指导自然科学研究方面；有关物理解题方法研究的书也出了一些，但其侧重点在解题，仅仅标题性地涉及方法论问题。本书试图从物理教育的角度出发，将上述二者有机地结合起来，即从物理问题解决的一般方法论角度去探讨具体物理问题的求解。因此它既包含有物理方法论的理论，又将其应用于具体实际问题。

本书阐述上采用深入浅出手法，并不涉及高深数学知识，大专院校理工科低年级学生、中学物理教师及高三学生均可阅读。

本书的第 1, 4, 5, 9, 10 章由宋善炎撰写；第 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 章由王瑞旦撰写。

在本书撰写及出版过程中，曾得到中南大学出版社刘石年教

授的热情支持与精心指导，作者在此表示衷心感谢！

在本书撰写过程中，曾参阅了许多资料，在解题部分又曾参考了国家教育部考试中心编写的高考试题参考答案及全国中学生物理竞赛委员会办公室主编的历届《全国中学生物理竞赛参考资料》，在此我们对这些相关文献的作者或单位，一并致谢！

鉴于作者水平有限，本书难免存在许多不妥之处，恳请各位专家、读者批评指正。

作者于

2002 年 3 月



第1章 物理方法论与物理教育

——未来物理教育的结合主线 (1)

1.1 方法论是未来课堂教学的主线 (1)

1.2 物理学的特点和结构 (9)

1.3 物理教育的性质、对象和基本结构 (13)

1.4 问题解决概述 (17)

1.5 物理方法论教育 (24)

第2章 理想化方法

——科学抽象的一种重要形式 (28)

2.1 理想化方法概述 (28)

2.2 理想模型的特点与作用 (32)

2.3 理想实验的特点与作用 (55)

2.4 理想化方法的基本原则 (63)

第3章 和谐性原理与对称方法

——物理学基本规律的对称性美 (75)

3.1 和谐性原理概述 (75)

3.2 对称(性)方法 (79)

3.3 大统一与超对称、超统一理论的探索 (99)

第4章 观察方法

——科学始于观察 (102)

4.1 观察方法概述 (102)

4.2 观察方法所应遵循的基本原则 (108)

4.3 物理观察的实施 (112)



目录

第5章 实验方法

——物理学是一门以实验为基础的科学

..... (118)

5.1 实验方法概述 (118)

5.2 物理实验遵循的基本原则 (130)

5.3 物理实验的作用和意义 (131)

5.4 物理实验的实施 (134)

5.5 物理实验举例——电学实验问题选析 (140)

第6章 假说方法

——假说是物理学发展的形式 (145)

6.1 概述 (145)

6.2 假说在物理问题解决中的作用 (148)

6.3 假说的形成 (153)

6.4 假说向理论的过渡 (158)

第7章 数学方法

——物理学研究的重要工具，发展水平高

低的一个标志 (162)

7.1 数学方法概述 (162)

7.2 数学方法的特点 (163)

7.3 数学方法的作用与意义 (165)

7.4 公理化方法在物理研究中的作用 (182)

7.5 数学方法在物理学中应用的过程 (183)



第 8 章 归纳与演绎 分析与综合

——物理问题解决中的主要逻辑推理形式

- (193)
- 8.1 归纳法与演绎法概述 (193)
- 8.2 归纳法在物理问题解决中的作用及其局限性 (198)
- 8.3 演绎法在物理问题解决中的作用及其局限性 (214)
- 8.4 分析法与综合法概述 (221)

第 9 章 类比方法与模拟方法

——通向新概念与新理论之路 (255)

- 9.1 类比方法概述 (255)
- 9.2 类比方法的作用和意义 (258)
- 9.3 模拟方法 (261)
- 9.4 类比方法在物理问题解决中的应用 (266)

第 10 章 整体方法

——提高统筹能力的一个重要途径 (279)

- 10.1 整体方法概述 (279)
- 10.2 整体方法的作用 (280)
- 10.3 整体方法应用举例 (281)



目录

第 11 章 直觉、灵感与想象

——物理研究中的心理学方法 (294)

11.1 直觉思维 (294)

11.2 灵感 (301)

11.3 想象 (304)

第 12 章 物理研究中的机遇

——机遇青睐有准备的头脑 (307)

12.1 机遇概述 (307)

12.2 机遇在物理学发展及问题解决中的作用 (309)

12.3 重视、捕捉和利用机遇 (310)

参考文献 (315)

第1章 物理方法论与物理教育

——未来物理教育的结合主线

从解决问题的角度看,物理方法论是物理教育学的一个重要分支,毫无疑问,它对整个物理教学产生很大影响,故有必要对其与物理教育的关系进行研究。

本章先论述科学方法论是未来课堂教学的主线,再从物理学的特点与结构、物理教学的性质与对象以及物理问题的解决,讨论物理方法论教育的作用、意义及其实施途径。

1.1 方法论是未来课堂教学的主线

1.1.1 科学方法及其方法论是人类智慧的结晶

科学方法论是以科学方法本身作为研究对象的一门学科。

自然界本是和谐而统一的有机整体,决定了人们探索其规律的各门学科的认识过程是分析→综合→新的分析→新的综合。

然而,对科学发展影响最重大、最深刻的是科学方法论,可以说,没有一次科学上的变革不与科学方法论的变化联系着(不少科学家本身又是哲学家,如古希腊的亚里士多德、欧几里德,又如哥白尼、道尔顿、玻尔、达尔文和爱因斯坦等),历史上几度出现的悖论,如“光学悖论”、“引力悖论”、“多数悖论”、“罗素悖论”、“地心悖论”、“堆悖论”、“麦克斯韦妖”、“哥德尔不完备性定理”、“波普尔科学游戏”等,便说明了这一点。另一方面,每次科学的重大进展也都伴随着科学哲学上的论战,有的至今还未完成,如电子的发现与相对论的创立、控制论与人工智能的出现和机器思维问题

等。如果我们试图总结一下科学哲学最有效的结论,那就是以辩证唯物论为核心的科学方法论的胜利。无论是公理化方法、演绎法、归纳法及 20 世纪中叶相继诞生的系统论、控制论和信息论中的黑箱方法、系统整体优化方法、反馈法、信息方法、功能模拟法、结构分析法等等,无不闪烁着辩证唯物论方法的光辉。

可以推测,在改变世纪科学的图景上,科学方法和方法论的研究有可能上升为科学研究的一个主攻方向;方法和方法论将成为人类下一步探索自然、认识自然和适应自然的主要手段;方法和方法论将成为开发人类创造力宝库的新钥匙。

诺贝尔奖得主诺曼·F·拉姆,汉斯·德默尔特和沃尔夫·保罗等人,他们的功绩并不是在物理学原理上取得突破,而是创造性地应用已知理论,提出对时间具有极高准确性的测量手段,其中诺曼·F·拉姆设计了分离场方法,沃尔夫·保罗发明了捕捉原子的“保罗捕捉法”,汉斯·德默尔特也发明了一种与保罗略有不同的捕捉电子方法。撇开他们的物理学工作,他们的胜利是方法论的胜利。

诺贝尔医学与生理学奖得主丁·迈克尔·毕晓普和罗德·瓦尔姆斯两人,他们的贡献是在肿瘤成因方面提出了一种“原癌基因学说”,提出 RNA 肿瘤病毒致癌基因来自正常高等生物细胞诱变的重要理论,在方法上采用的是现有的分子及细胞生物学方法。

诺贝尔化学奖获得者尼奥尔特曼和托邓斯赫·切赫,他们分别独立地发现了 RNA 在生物体中的催化作用,他们的发现不仅对人类了解生命的起源有重大作用,而且预示着生物化学领域的一种全新的研究方法问世。

诺贝尔物理奖得主利昂·莱德曼,杰克·斯坦伯格和梅尔文·施瓦范三人,他们在中微子实验中,一改长期的“守株待兔”的等候宇宙线中的中微子方法,大胆依据中微子不带电、静止质量几乎为零、磁矩极小并以光速穿透地球的特点,用人工方法“主动”地获取了中微子。

诺贝尔化学奖得主约翰·戴森霍费夫,罗伯特·胡贝尔和哈物穆特·米歇尔3人在研究光合作用时,巧妙地运用了一种模拟方法,从容易观察的紫色光细菌的光合作用中心入手一举成功。

以上数例表明,他们的成功均包容着方法和方法论的成功。在我们看来,科学从诞生到迅猛发展,是靠两只翅膀支持着:一是科学知识,这是人类智慧的结晶;另一是科学方法和方法论,它同样是人类智慧的结晶。

关于科学知识中所含的智慧因素已被公众承认,但是,对于科学方法和方法论却不为众人所青睐。而事实是,几乎每一次科学理论与实践上的重大突破,都伴随着科学方法与方法论上的重大实践与创新,尤其是今天,由于通讯工具的发展与普及,科学家们及时地交流,彼此快速沟通信息,导致科学发展的重心越来越向科学方法和方法论方面倾斜。谁最聪明,就在于谁率先掌握或找到了新的方法和方法论,谁率先运用新方法,谁冒出了新的思想,设计了新的科学工具或新技术。

在这个意义上,我们通常议论的当代综合国力竞争与世界范围内的科技竞争,将可能转化为科学方法与方法论的竞争。

1.1.2 方法论是未来课堂教学的主线

科学方法及其方法论曾作为社会的变革主题,推动社会进步。科学方法及其方法论又作为一种育人工具并承担课堂主题,需要考虑哪些文化背景方面的因素呢?

(1)方法论是学生世界观中的一部分,也是德育教育中的重要组成部分,是学生发展的社会化中一个不可缺少的部分^[1],然而却是我们教育研究中长期被忽视的一部分。

回顾迄今为止的自然科学的教学内容,从方法论角度来说,主宰我们高校讲坛的基本上是形式逻辑方法;学生的认知形成基本上是由感性的具体上升到理性的抽象,这本来是一头完整的“大象”,结果学生学到的是一堆类似长梯的象鼻、类似于圆柱的象

脚、类似于蒲扇的象耳和类似于长矛的象牙。“大象”不见了,学生得到是一堆长梯、圆柱、蒲扇和长矛的物体;活的“大象”不见了,学生认识的是象鼻、象脚、象耳和象牙及其形式逻辑的组织。

其次,这种形式逻辑的组织又建立在理想化方法论上。理想化方法是一种有效的科研方法,牛顿科学体系正是借助于理想化——质点化方法建立万有引力定律的,但将这种绝对理想化方法大量而长期地灌输给学生不可取。

其三,这种形式逻辑方法导致“形而上”的观念。如 $1+1+1=3$,殊不知在广泛的社会中,这种 $1+1+1=3$ 实际上只是一个极少的特例,几乎难以见到,如:社会活动的三人系统就从不等于三个孤立的人,三个和尚没水吃,三个皮匠顶一个诸葛亮;齐王和田忌赛马,由于田忌调整赛马的结构,反败为胜。这些例子都证明了“形而上”的固有缺陷。

自然科学的抽象化与理想化以形式逻辑表达,能使人聪明,也同样能使人愚蠢。因为其全部形式推理均以逻辑的完备为前提,以不矛盾、肢解对象和把对象从环境中孤立出来为前提,否认事物间的相互联系、相互作用,截断事物的过程与运动,忽视事物的变异与演化,以均匀的、对称的、平衡的、线性的观点考查事物及其过程,如平行四边形法则,波的叠加,作用力等于反作用力(在一条直线上)等等。在这里,所谓使人聪明与使人愚蠢的界限,是以实践和方法论来划分,形式逻辑方法确实给人以智慧,而不加区别地运用于一切方面则使人愚蠢不堪。而这种形式逻辑的教育几乎占据了我們全部的学生时代,从小学、中学到大学三年级,只有到上大学专业课时才有所改观,但它早已凝固在学生的思维之中,形成一种思维定势,也就是说,它作为世界观的方法论深深地潜入了学生头脑。

大学生的毕业实习或毕业设计给大学生提供了一种学习辩证逻辑的方法论的机会,只有接触了专业实际,尤其是接触了生活实际,接触了直接创造社会财富的劳动者才开始懂得什么叫社会责

任,什么是劳动的意义和劳动的苦乐,什么是人际关系,如何与人交往,如何对待上司和朋友,如何合作共事。在哲学层次上,这是一种含有辩证因素的具体思维,是一种从历史与现实,局部与整体,分析与综合,当前与未来,瞬间与过程,功能与结构,系统与环境,稳定与发展,可能与选择,现象与本质等诸方面考察事物而产生的思维,我们知道形式逻辑只是必要的通往理性的中间环节,只有形式逻辑与辩证逻辑结合才形成一种必要与充分的互补关系。从目前我们的教学计划上看,学习辩证逻辑思维的时间太短了,而辩证逻辑对于学生走向社会,无论是从事科研或技术、管理或生产都是切实可用的一种思想方法论,大到对世界对社会的观念,小到为人处世、群众关系都有用,社会与自然本来都是统一的辩证的整体。

由上可见,世界观作为一种文化背景,只有科学的方法论参与,才可能获得完善的培养。

(2)方法论作为课堂主线的第二种文化背景是“科学文化中的人”。人既是科学成果的劳动者和受益者,又是科学的创造者和继承者。学生也是人,因此,科学中的人与课堂中的人理应沟通。由于科学活动是社会活动的一部分,科学中的人在课堂中出现,使科学不再是高悬的具体的抽象,而变为抽象的具体,使课堂贴近科学,贴近生活,贴近社会。

从系统的观点看来,科学结构应至少包含三个部分:一是科学知识,即符号体系;二是科学方法论;三是“科学中的人”,即科学工作者或科学家。现今的课本与课堂大多是让第一部分占据,在此,我们呼吁应在课堂上增加第二部分内容,并从文化背景角度建议增加第三部分内容,让完整的科学出现在课堂上,使“无人的”科学变成“有人的”科学。

科学作为一种文化背景进入课堂并非为了点缀一下课堂的高雅气氛,而是把他们的事迹,把他们辉煌之前与之后的社会性作为一个崇高的楷模呈现于课堂,把他们的爱国心、民族感,所经历的

磨难和意志、道德形象呈现于课堂,激励我们这些后来者信仰和仿效。居里夫人、爱因斯坦,中国的李四光、华罗庚等著名的科学英杰们,应是学生们学习的楷模。

科学的殿堂里留下了许多科学家们的艰辛与汗水,只是由于形式逻辑的表述,现在的课本上只留下一排排刻有他们名字的“墓碑”,科学的殿堂成了黑色的“教堂”,他们作为人类的精英所演出的那一幕幕苦苦求索和忘我奋斗的悲剧与喜剧统统消失,留给我们一堆干瘪的符号:课本上写符号,课堂上讲符号,作业中做符号,考试中答符号。在那个堆积的符号世界里,我们的学生度过了十几个春秋。请问,这些对于初学者,怎能培养兴趣、意志、情感?幸好有一大批堪称艺术家的教师们,他们的艺术天才给这些符号赋予魅力,使学生们得到了活泼有趣而生动的社会性知识。即便如此,不如公开宣传“让科学家进入课堂”,使课堂成为展示科学家及其方法论,展示他们发现或发明时精彩剧幕的舞台,让科学美、社会美和生命之美重放光华。

(3)方法论作为课堂主线的第三个文化背景是民族的传统思维。例如中国人的系统思维和辩证思维可以追溯到远古时期大禹治水的辩证思想;追溯到 2000 多年前的战国时代,秦国李冰父子修建的都江堰水利工程,经过 2000 多年的风风雨雨至今还在哺育着四川盆地的生灵。又如中医的辨证施治,在周秦至西汉初年形成的《黄帝内经》中,强调了人体各器官之间的有机联系,生理与心理的有机联系,健康与环境的有机联系。中医的辩证思想也给我们留下了丰富的思想宝库。都江堰和中医理论像两块光彩夺目的丰碑,在世界耸立了 2000 多年,展现了古代中华民族的系统智慧。

系统思维在古希腊哲人中也有反映,如赫拉克利特的《论自然界》中说:“世界是包括一切的整体。”但自进入 15 世纪下半叶以来,力学、天文学、物理、化学和生物学逐步从哲学中分化出来,分析思维从自然科学走进哲学,产生了形而上学的方法论。而系

统论从理论物理学中得到启发,于20世纪40年代末50年代初提出,丰富和发展了辩证思维,已获得广泛认同。

方法论与民族思维交融的另一面是民族文化中的心理积淀,如中国传统思维中的儒学文化,其中所谓遵天命、复古的思想、中庸之道、听天由命、知足常乐、不患寡而患不均、每日三省吾身等等,作为一个重要理论思想维持着2000多年的封建专制统治,导致了中华民族科技长期停滞不前。

从方法论上看,所谓遵天命包含一种必然性,牛顿力学体系也是一种必然性方法,在我们现有的教材里,这种必然性内容很多。如你给我一个初始条件,我就可以回答在某段时间之后的运动状态。必然性的因果律最先受到达尔文的进化论的严重挑战。彭加勒的“三体问题”,尤其是信息论和控制论的研究,又再次给必然性以批判。信息论与控制论给我们展现了一个全新的非决定性的视角,即可能性空间及其选择策略,用这种方法论来看我们普遍关注的学生创造力的培养,可以说,现有教材中很难获得开发学生“创造力”的效果,因为创造本身就否定现有的必然。

把方法论列为课堂主线,则有可能给每个学生的思维空间提供多样性选择,并从以前科学家的选择中模仿其方法。从这个角度看,这种方法论的课堂主线才有利于智力开发和智育培养目标,并可能使实际上的课堂智育过渡到教人以聪明、教人会创造的课堂智育,使学生掌握知识还会运用知识,有才华还会施展才华,有能力还会表现能力。

(4)方法论作为课堂主线的第四个文化背景是教学实践、社会实践以及社会效果。任何科学方法和方法论都与实践相联,离开实践则无方法可言。方法和方法论总含有可操作性部分,或是思维操作或是具体操作。思维操作体现了它的抽象性,具体操作体现了它的实践性,而各种操作总是为具体的社会服务,为具体的人服务的,这也是科学哲学方法论中唯物论的鲜明特点之一。社会实践检验真理也检验方法与方法论,实际上,新方法和方法论的

创立常常是先来源于实践,然后上升到理论。提高学生在课堂上的参与度,这也是实践。显然,这种实践不是用一连串问题死死抓住学生来参加,而是用简化了的自然现象呈现于学生面前,由新奇的疑惑导向新知识的结论,由不断呈现的“奇妙的获释”导向稳定的兴趣倾向,由稳定的兴趣导向主动积极地追求与思考,由主动地对课程的思考导向热爱这个专业。当然,上述每一个环节中,都包含着大大小小的成功,各种大大小小的成功积累中又包含着学生的自信自尊自爱意识形成,并取得环境的认同。这一切意味着什么?意味着学生在实践中积累的一步步成功,又强化学生对实践的认识。

社会实践还有一个特点,就是扶植学生个性发展。扶植学生个性发展问题,除开一般意义的个性特征外,创造性是其最鲜明的特色。基于人皆有创造性的认识,教学课堂宜力求用实践考察培养学生的创造,尤其是对差生。所谓差生,除个别生理有缺陷外,实际上是未被发掘创造性、未被发现优势与特长的学生。他们的创造性和特长优势尚湮没于环境之中。教师属于环境的一部分,并且是差生环境中的重要部分,差生的社会印象虽然有来自班级同学方面的反映,而更主要的是来自教师的反映,因为班级同学的反映也常常为教师的态度所左右。差生转化为优生也是靠实践,靠总结他们成功的实践,从总结中获得自信。需要补充的一点是,无论差生、优生都不应以“完人”来要求。完美无缺的人,没有缺点的人世界上从来没有,以后也不会有。这个结论任何人都会赞同,但其中多数人是用在那些印象良好的优生身上,并用此来原谅他们的缺点,而对待差生,态度却恰恰相反。差生的优点常常淹没于缺点之中。