物理发现的艺术

——物理探索中的机智运筹

程九标　张宪魁　陈为友　编著

青岛海洋大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbo

图书在版编目(CIP)数据

物理发现的艺术:物理探索中的机智运筹/程九标,张宪魁,陈为友编著. —青岛:青岛海洋大学出版社,2002.9

ISBN 7-81067-372-6

Ⅰ.物… Ⅱ.①程… ②张… ③陈… Ⅲ.物理学—机智运筹 Ⅳ.04-3

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第070865号

青岛海洋大学出版社出版发行

(青岛市鱼山路5号 邮政编码:266003)

出版人:李学伦

日照日报社印刷厂印刷

新华书店经销

*

开本:850 mm×1 168 mm 1/32 印张:16.25 字数:360千字

2002年9月第1版 2002年9月第1次印刷

印数:1～3 000 定价:23.50元

目　录

前 言 …… (1)
第一章　观察——探索世界的窗户 …… (1)
§1　寻求·捕捉·验证——观察对物理学的作用 …… (3)
1. 系统观察促成了物理学的诞生 …… (4)
2. 物理学研究在观察中进行 …… (7)
3. 观察是导致物理重大发现的途径 …… (15)
§2　目的·方案·工具——物理观察的方法 …… (18)
1. 观察的前期准备阶段 …… (18)
2. 实际观察阶段 …… (25)
§3　真实·全面·典型——物理观察的原则 …… (31)
1. 真实性原则 …… (31)
2. 全面性原则 …… (33)
3. 典型性原则 …… (38)
§4　多思·善疑·细察——物理学家的观察艺术 … (41)
1. 处处留心——伽利略发现摆的等时性 …… (42)
2. 精细入微——瑞利发现氩元素 …… (43)

3. 抓住机遇——查德威克发现中子 …… (45)
4. 矢志不渝——约里奥—居里夫妇发现人工放射性 …… (48)
第二章 实验——发现奥秘的钥匙 …… (51)
§1 纯化·强化·重复——物理实验的特点 …… (52)
1. 什么是物理实验 …… (52)
2. 物理实验的特点 …… (53)
§2 发现·验证·完善——物理实验在物理学研究中的作用 …… (57)
1. 发现物理规律,建立物理理论 …… (58)
2. 验证物理假说,检验物理理论 …… (60)
3. 完善理论体系,发展物理理论 …… (61)
4. 测定常数 …… (62)
§3 定量·探索·对比——物理实验的基本类型 …… (64)
1. 定性实验、定量实验和结构分析实验 …… (64)
2. 探索性、验证性及判决性实验 …… (66)
3. 对比实验与模拟实验 …… (68)
§4 选题·设计·控制——物理实验的基本程序 …… (69)
1. 实验课题的选择 …… (69)
2. 实验的构思与设计 …… (70)
3. 实验的具体实施 …… (72)
4. 实验的观测与记录 …… (73)
5. 实验结果的数据处理与理论解释 …… (74)
§5 机智·巧妙·独特——物理实验的设计方法 …… (75)
1. 周密思考,分解课题,精心设计 …… (75)
2. 原理正确,实际可行 …… (77)

3. 明确物理实验的三个基本组成部分 …… (78)
4. 实验应尽可能在“纯化”的条件下进行 …… (80)
5. 善于改变实验的条件 …… (81)
6. 熟悉测量物理量常用的基本方法 …… (83)
7. 物理实验中消除误差的巧妙方法 …… (88)
§6 列表·图像·解析——物理实验的数据处理方法 …… (90)
1. 列表法是采集、记录数据的一种常用方法 …… (90)
2. 误差理论是进行实验数据处理的依据 …… (93)
3. 处理实验数据的几种方法 …… (95)
4. 对实验结果作出恰当的评价 …… (102)
第三章 假说——科学理论的先导 …… (104)
§1 概括·预见·待证——物理假说的特征 …… (106)
1. 概括性和抽象性 …… (106)
2. 预见性和待证性 …… (108)
3. 并存性和竞争性 …… (109)
4. 演变性和发展性 …… (112)
§2 归纳·总结·判断——物理假说的形成 …… (114)
1. 形成假说的客观要求 …… (114)
2. 形成假说的基本过程 …… (119)
3. 形成假说的具体方法 …… (122)
§3 论证·比较·结论——物理假说的验证 …… (130)
1. 验证假说的长期性和复杂性 …… (130)
2. 验证假说的直接方法和间接方法 …… (136)
§4 警觉·洞察·远见——物理学家建立假说的艺术 …… (144)

需要全本请访问 www.ertongbo

1. 敏于发现问题 …… (144)
2. 善于解决矛盾 …… (148)
3. 敢于突破旧理论 …… (150)
4. 勇于接受新观点 …… (152)
第四章 数学——描写规律的诗行 …… (156)
§1 计算·分析·推理——数学方法的作用 …… (158)
1. 发现物理定律的工具 …… (158)
2. 表达物理规律的语言 …… (162)
3. 预见物理事实的途径 …… (165)
4. 分析物理数据的手段 …… (168)
5. 建立物理体系的方法 …… (170)
§2 提炼·抽象·对应——数学模型的建立 …… (173)
1. 数学模型的基本特征 …… (174)
2. 建立数学模型的步骤 …… (180)
§3 必然·突变·模糊——数学模型的类别 …… (184)
1. 必然现象的数学模型 …… (185)
2. 随机现象的数学模型 …… (188)
3. 模糊现象的数学模型 …… (192)
4. 突变现象的数学模型 …… (195)
§4 准确·均衡·优美——物理学家应用
数学方法的艺术 …… (199)
1. 简化的几何图景与哥白尼的日心说 …… (200)
2. 伽利略与物理学的数学—实验方法 …… (202)
3. 哈密顿的四元数及其在物理学上的作用 …… (205)
第五章 理想化——突出本质的抽象 …… (208)
§1 忽略·简化·排扰——理想化的意义 …… (210)

1. 突出本质 …… (210)
2. 近似逼近 …… (213)
3. 超越现实 …… (215)
§2 实体·系统·过程——物理学的理想模型 …… (217)
1. 理想模型的概念 …… (217)
2. 理想模型的分类 …… (219)
3. 理想模型的作用 …… (224)
§3 思维·逻辑·客观——物理学的理想实验 …… (229)
1. 理想实验的概念 …… (229)
2. 理想实验与实际实验的关系 …… (231)
3. 理想实验的作用 …… (233)
§4 深刻·严密·合理——物理学家理想化的艺术 …… (238)
1. 麦克斯韦的神奇构想 …… (238)
2. 爱因斯坦的天才设计 …… (242)
3. 爱因斯坦的机智诘难与玻尔的有力反驳 …… (245)
第六章 类比——通向创新的桥梁 …… (248)
§1 相似·推移·或然——类比的概念 …… (250)
1. 类比的逻辑意义 …… (250)
2. 类比的两个基本特征 …… (254)
§2 解释·启发·模拟——类比在物理学中的应用 …… (260)
1. 类比的解释作用 …… (261)
2. 类比的启发作用 …… (262)
3. 类比的模拟作用 …… (265)

§3 并存·因果·对称——类比的基本类型 …… (268)
1. 并存类比 …… (269)
2. 因果类比 …… (271)
3. 对称类比 …… (273)
4. 协变类比 …… (275)
§4 参照·构造·过渡——物理学家的类比艺术 …… (278)
1. 敏锐发现相似性 …… (279)
2. 大胆预言可能性 …… (281)
3. 坚信结论正确性 …… (284)
第七章 综合——创建体系的总结 …… (288)
§1 归并·融汇·升华——物理规律大综合的意义 …… (290)
1. 构建完整体系 …… (291)
2. 确立重要概念 …… (293)
3. 变革中心思想 …… (300)
§2 萌芽·体系·顶峰——经典物理的三大综合 …… (306)
1. 物理学的第一次大综合 …… (307)
2. 物理学的第二次和第三次大综合 …… (315)
§3 危机·革命·新生——现代物理的两大综合 …… (324)
1. 物理学的第四次大综合 …… (325)
2. 物理学的第五次大综合 …… (329)
§4 广博·深邃·奇崛——物理学家的综合艺术 …… (332)

1. 把握全局,重点突破 …… (333)
2. 异曲同工,互相印证 …… (336)
3. 彼此启发,协同攻关 …… (339)
第八章　悖论——引起风暴的"乌云"…… (342)
§1　命题·推演·矛盾——悖论的概念 …… (343)
§2　前提·过程·范围——悖论的产生 …… (345)
1. "无限"是悖论产生的重要诱因之一 …… (345)
2. 逻辑错误导致悖论 …… (346)
3. 推理所依据的前提有问题而造成佯谬 …… (347)
4. 悖论与一定历史条件下人的认识水平密切相关 …… (348)
5. 由于语义学方面的原因造成悖论 …… (349)
§3　惊讶·思考·突破——悖论的作用及其方法论意义 …… (350)
1. 悖论在物理学研究中的作用 …… (350)
2. 悖论在物理学研究中的方法论意义 …… (354)
§4　谜妖·灾难·鬼魂——佯谬欣赏 …… (358)
1. 芝诺佯谬 …… (358)
2. 落体佯谬 …… (359)
3. 阿拉果之谜 …… (366)
4. 电子引出的佯谬 …… (371)
5. 负能态之谜 …… (375)
§5　导致悖论教学法 …… (377)
1. 佯谬对中学物理教学的作用 …… (378)
2. 什么是导致悖论教学法 …… (379)
3. 导致悖论的方法 …… (380)

4. 导致悖论教学法的心理学基础 …… (385)
第九章 科学想像——飞向真理的翅膀 …… (386)
§1 储备·积累·猜测——科学想像 …… (387)
1. 想像的概念和意义 …… (387)
2. 产生科学想像的机理 …… (388)
3. 科学想像是形象思维与逻辑思维相结合的产物 …… (389)
§2 神奇·跳跃·超然——科学想像的特征 …… (390)
1. 科学性 …… (391)
2. 形象性 …… (391)
3. 神奇性 …… (392)
4. 逻辑过程中断的跳跃性 …… (392)
5. 理想化和超现实性 …… (392)
§3 无意·再造·幻想——想像的类别 …… (393)
1. 有意想像与无意想像 …… (394)
2. 再造想像与创造想像 …… (394)
3. 理想和幻想 …… (397)
§4 设计·诱导·预见——科学想像的作用 …… (399)
1. 科学想像是物理学理论的设计师,对物理学的发展表现出极大的创造功能 …… (400)
2. 科学想像能帮助人们建立新的物理学概念,对于逻辑思维有一种启动、诱导、促进作用 …… (403)
3. 科学想像能使物理学家把已有的科学观点、方法和工具运用到新领域,作出新发现 …… (405)
4. 科学想像在物理学理论的发展中起到巨大的激励作用 …… (406)

5. 科学想像在物理学理论发展中起到预见作用 …… (409)
6. 科学想像对物理学方法的建设作用 …… (411)
§5 广博·立体·发散——科学想像的艺术 …… (414)
1. 端正想像的方向是关键 …… (414)
2. 渊博的知识和丰富的记忆表象储备是进行科学想像的基础 …… (414)
3. 掌握思维的技巧方法是进行科学想像的重要途径 …… (416)
§6 解困·简化·提速——猜想方法的应用 …… (423)
1. 猜想方法概述 …… (423)
2. 猜想方法在物理解题中的作用 …… (424)
3. 运用猜想应注意的问题 …… (428)
附录1 姆潘巴的故事 …… (429)
2 反西格马负超子的发现 …… (432)
3 费米和“超铀元素”猜想 …… (435)
4 原子核结构的液滴模型、壳层模型和综合模型 …… (440)
5 电子自旋概念的建立 …… (442)
6 哈恩和铀裂变的发现 …… (445)
7 数学方法的开创者——笛卡儿 …… (449)
8 比值特性在建立物理概念中的应用 …… (452)
9 黎曼几何与广义相对论 …… (455)
10 完全弹性碰撞与完全非弹性碰撞模型 …… (458)
11 理想实验与测不准关系 …… (459)
12 台风旋转方向的奥秘 …… (463)

需要全本请访问 www.ertongbo

13 不等臂天平与光具测量…… (464)
14 电话机的发明 …… (466)
15 牛顿的一生…… (468)
16 麦克斯韦的一生…… (471)
17 爱因斯坦的一生…… (475)
18 玻尔的一生…… (480)
19 历年诺贝尔物理学奖…… (487)
主要参考书目…… (499)

前　言

一部物理学史，实际上就是一部物理学发现的历史。也就是说，是新现象的发现和解释，新矛盾的发现和解决，新规律的发现和应用，推进了物理学的不断发展。从科学发展的规律看，物理学的任何一个新发现，都是物理学发展到一定水平的必然结果。但是，我们又绝不能否认，物理学的每一个重大发现，都是物理学家采取科学的思想方法、进行机智运筹的结果。在物理学发展的历史中，一代代物理学家不屈不挠，前仆后继，探索出物理学研究的一些基本方法，而那些伟大的、天才的物理学家，则把这些基本方法创造性地应用于实践之中，使其充分展现了科学之美，闪耀出艺术的光辉。

本书选取一些我们认为能够在一定程度上体现物理学发现艺术的事例，以物理学研究的基本方法为主线联缀成章。我们希望读者通过本书的阅读，能体会到物理学研究中方法的重要性，感受到那些天才物理学家的机智、巧妙、敏锐、坚韧、广博、深邃的研究风格，进而提高学习和研究物理的兴趣，增强学习和研究

物理的信心。

本书编写中参阅了许多专家、学者的研究成果，有一些内容则直接引用于与这些研究成果相关的资料，书末仅将主要参考书目列出。在此一并向有关的作者、编者、出版者致以深切的谢意。

编写这样一本书，我们自觉力不从心，书中的错谬之处一定不少，诚恳地希望读者批评指正。

程九标　张宪魁　陈为友

第一章　观察——探索世界的窗户

没有观察就没有科学，科学发现诞生于仔细观察之中。

——法拉第

理论所以能够成立，其根据就在于它同大量的单个观察关联着，而理论的“真理性”也正在此。

——爱因斯坦

培养那种以积极探究的态度注视事物的习惯，有助于观察力的发展。在研究工作中养成良好的观察习惯比拥有大量学术知识更为重要，这种说法并不过分。

——贝弗里奇

仰观于天,俯察于地,造物主为智慧的人类配备了一双智慧的眼睛。当人们睁开双眼面对缤纷多彩的大自然时,许许多多熟悉的和不熟悉的、理解的和不理解的、有趣味的和无趣味的现象与景观便纷至沓来,通过双眼而进入人们的大脑。当人的大脑不断接受这种直接信息的刺激而产生感性积累时,就对大自然有了一些表观的、外在的、粗浅的认知。这就是一般意义上的"观察"。当人们把这种观察进一步深化,专注于某一种或某一类现象并试图找出它更深层的规律时,当人们试图探求一类现象或几种现象之间的本质联系和共同法则时,就开始了以观察为基础的科学研究。

无论是科学研究的实际程序,还是科学发展的历史,都清楚地证明,科学研究是从观察开始的。观察为科学研究积累资料、捕捉信息,为理论的抽象和思考准备必不可少的事实基础。并且,以观察为始端的科学研究,其最终结果又必须回到观察中去,用观察的事实来验证研究所得到的结论。正如爱因斯坦所说:"即使是最明晰的逻辑数学理论,它本身也不能使真理得到保证,要不是用自然科学中的最准确的观察来检验,它也是毫无意义的。"

人们习惯于把人的眼睛比喻为"心灵的窗户",这种比喻实际上包含着两个方面的意义。其一是在由外向内地认识世界的过程中,眼睛是最重要的感觉器官。心理学的研究表明,进入人的心灵(大脑)的外部信息90%以上是通过眼睛获得的。可见,人们感知外部世界是从眼睛开始的。其二是在由内向外地表露情感的过程中,眼神可以表达人的欢愉、悲哀、愤怒、怨恨等相当复杂的心理状态。可见,人们表达内心感受,在很多情况下是通过眼睛来进行的。由这两个方面可以看出,眼睛在人的心灵(大

脑)与外界的交流中起着极其特殊和重要的作用。科学研究从观察开始,又以观察结束。观察对于科学研究的意义,颇似于眼睛对于大脑的意义,因此可以说,观察就是科学研究的眼睛。如果说眼睛是心灵的窗户,那么,观察就是探索世界的窗户。

科学家历来都十分重视观察的作用。且不说主要从事观察和实验的科学家,即使是从事纯理论研究的科学家,也非常关注科学观察与实验的最新成果与进展情况。著名物理学家法拉第曾深刻地指出:“没有观察就没有科学,科学发现诞生于仔细观察之中。”著名生物学家巴甫洛夫则谆谆告诫他的学生和助手们:“观察,观察,再观察。”

§1　寻求·捕捉·验证
——观察对物理学的作用

与其他学科相比,物理学与观察有着更为密切和直接的关系。从根本上讲,物理学是一门实验科学,离开了实验,物理学就失去了存在和发展的基础。所谓实验,就是通过实验工具人为地控制或干预研究对象,使其事件或现象在有利于观察的条件下发生或重现,从而获取科学事实的研究方法。由此不难看出,实验方法是在观察方法的基础上发展而来的,是观察方法的延伸和扩充。所以,从更基本的层次上讲,物理学是一门观察的科学。

从宏观上看,物理学从诞生到发展,靠的就是一代代科学家长期不断的观察和积累。从微观上看,物理学的每一次重大发现和突破,甚至每个课题的形成、确立、研究及成果检验,都与观察密不可分。观察对于物理学,其作用不仅是重要的,而且是多方面的。

需要全本请访问 www.ertongbo