

Diagram illustrating the Earth-Moon transfer orbit (地月转移轨道段) and the phasing orbit segment (调相轨道段). The diagram shows the Earth (地球) at the center, with several elliptical orbits around it. The orbits are labeled with their respective periods: 16小时轨道 (16-hour orbit), 24小时轨道 (24-hour orbit), and 48小时轨道 (48-hour orbit). The phasing orbit segment (调相轨道段) is shown as a dashed line segment near the Earth. The Earth-Moon transfer orbit segment (地月转移轨道段) is shown as a dashed line segment extending from the Earth towards the Moon.

04-03/2

2007

科 学 方 法 论 丛 书

物理学方法论

WULIXUEFANGFALUN

张宪魁 李晓林 阴瑞华 主编

浙江教育出版社



图书在版编目(CIP)数据

物理学方法论 / 张宪魁主编. —杭州: 浙江教育出版社, 2007. 11

(科学方法论丛书)

ISBN 978-7-5338-7239-7

I. 物... II. 张... III. 物理学—方法论 IV. 04-03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 170439 号

物理学方法论

张宪魁 李晓林 阴瑞华 主编

- 出版发行 浙江教育出版社
(杭州市天目山路 40 号 邮编 310013)
- 责任编辑 周延春
- 封面设计 曾国兴
- 责任校对 郑德文
- 责任印务 温劲风
- 图文制作 杭州富春电子印务有限公司
- 印刷装订 杭州富春印务有限公司

-
- ▶ 开 本 710×1000 1/16
 - ▶ 印 张 19.5 插页 2
 - ▶ 字 数 382 000
 - ▶ 版 次 2007 年 11 月第 1 版
 - ▶ 印 次 2007 年 11 月第 1 次
 - ▶ 印 数 0 001—5 000
 - ▶ 标准书号 ISBN 978-7-5338-7239-7
 - ▶ 定 价 29.00 元
-

联系电话: 0571-85170300-80928

e-mail: zjjy@zjcb.com

网 址: www.zjeph.com

前 言

QIANYAN

“师者,所以传道授业解惑也。”然而对于广大教育工作者而言,知识的传授固然重要,教会学生掌握科学方法更可使其受益终身。在新的基础教育物理课程标准中,已经把科学方法的教育作为教育目标之一,其地位及重要性不言而喻。因此,如何进行物理科学方法教育,可以说是当前物理教育的一个热点问题。

“居高声自远,非是藉秋风”,教师只有掌握了科学方法论的知识,居高临下,才能深入浅出,使学生受益。也就是说,学习物理科学方法论是我们每一个物理教育工作者的根本任务之一。为此,作为抛砖引玉,我们研讨、编写了这本关于物理学方法论方面的拙著。

在本书中,我们提出了一个物理学方法论的结构体系,并在第1章中就物理学方法的分类及体系作了较为全面的介绍。我们把物理科学方法分为常规研究方法和非常规研究方法两大类。其中,常规方法有如观察实验、比较分类、分析综合、归纳演绎、理想化、类比、假说、数学方法等;非常规研究方法介绍了诸如科学想象、直觉、灵感、机遇等,并且提出了物理美学、物理悖论以及物理学家失误的方法论意义。在编写过程中,我们吸取了这些课题的相关科研成果,并结合我们的一些认识进行阐述,力求能有所新意。同时,我们还适当贯穿介绍了现代的科学研究方法。在材料的选取上,我们力求“以方法为纲,以方法带学史”,使内容尽可能丰富翔实,增加本书的趣味性与可读性。同时,我们尽可能地联系物理

教学,特别是中学物理教学的实际,以便于教师在教学过程中开展物理科学方法教育。

本书由张宪魁、李晓林、阴瑞华主编;张宪魁编写第1、15、16、17章,并负责全书的统稿;李晓林编写第10、11、13、14章,并负责本书第3~14章的统稿;阴瑞华编写第2、18、19、20章;杨明智编写第3、4、12章;任丽平编写第8、9章;李光蕊编写第5、10章;刘洋编写第6章;郑柯编写第7章。

由于物理学方法论是一个涉及领域较广,并且极富哲理的课题,而编者自身才疏识浅,水平有限,书中难免有疏漏错误之处,诚恳希望读者批评指正。

本书编写中参阅了许多专家、学者的研究成果和资料,有一些内容则直接引用于书中。本书的每章后均列出了主要参考书目,还有一些书目未能一一列出,在此一并向作者们致以深切的谢意。

本书的出版得到浙江教育出版社的大力支持,我们表示衷心的感谢。

编 者

2007年11月



作者简介

张宪魁，原济宁学院教授。1941年生，1962年毕业于山东师范学院物理系。现任山东省教育厅高等学校教学指导委员会委员，中国教育学会物理教学专业委员会常务副秘书长。从事中等及高等教育四十年，长期致力于物理教学及“物理教学论”和“物理科学方法论”的研究。主编出版了《物理学方法论》、《物理科学方法教育》、《物理教育的量化方法》等专著，并主编了《中学物理教学法》等20余部教材、教参和2套视频教材；撰写了《流体静力学佯谬》、《模糊数学与物理学》等80多篇论文；主持过4项省部级教学科研项目，并获2项教育部颁发的优秀教育科研成果奖；连续3次获省级高等学校优秀教学成果一、二等奖及科研成果奖；连续3次评为市科技拔尖人才。1996年被国务院批准享受政府特殊津贴。

目 录 MULU

前言

第一编 绪 论

第 1 章 物理学方法论概述 3

- § 1 物理学方法论的基本概念——方法·内涵·分类 / 3
- § 2 物理学方法论研究的对象和内容——探讨·总结·移植 / 7
- § 3 方法存在的基本形式和判定原理——因素·存在·判定 / 11
- § 4 物理科学方法教育——弘扬·掌握·倡导 / 13

第 2 章 研究始于问题——课题的确定方法 20

- § 1 确定研究课题的意义和程序——调研·确定·论证 / 20
- § 2 确定研究课题的基本原则——需要·可行·创新 / 22
- § 3 物理学研究课题的形成模式——假设·互补·交叉 / 25

第二编 常规的物理科学方法

第 3 章 探索世界的窗口——观察方法 33

- § 1 科学观察概论——概念·特点·作用 / 33

§ 2 科学观察法及其原则——观察·方法·原则 / 35

§ 3 观察对物理学研究的作用——认识·发现·能力 / 38

第 4 章 “撬开”奥秘的杠杆——实验方法 44

§ 1 物理实验概论——概念·特征·类型 / 44

§ 2 物理实验的基本过程——选题·设计·实施 / 49

§ 3 物理实验的设计与数据处理——设计·数据·处理 / 52

§ 4 实验对物理学研究的作用——创建·验证·完善 / 57

第 5 章 科学思维的第一步——比较与分类 61

§ 1 比较方法——对象·异同·确定 / 61

§ 2 分类方法——异同·区分·类别 / 68

第 6 章 无限而复杂的对策——分析与综合 72

§ 1 分析法——整体·部分·分解 / 72

§ 2 第一种综合法——部分·整体·联合 / 77

§ 3 第二种综合法——归并·融会·升华 / 81

第 7 章 个别与一般的互推——归纳与演绎 87

§ 1 归纳法——个别·一般·概括 / 87

§ 2 演绎法——一般·个别·推理 / 93

§ 3 归纳与演绎的关系——基础·指导·渗透 / 98

第 8 章 突出本质的抽象——理想化方法 101

§ 1 理想化方法概论——概念·特征·作用 / 101

§ 2 理想化模型——特征·分类·作用 / 104

§ 3 理想化实验——特征·对比·作用 / 107

第 9 章 通向创新的桥梁——类比方法 112

§ 1 类比方法概论——概念·特征·类型 / 112

§ 2 类比对物理学研究的作用
——解释事物·启发思维·模拟实验 / 116

§ 3 类比方法的运用——科研·教学·解疑 / 120

第 10 章 科学理论的先导——物理假说 125

§ 1 物理假说概论——概念·形成·特征 / 125

§ 2 假说在物理学研究中的作用——桥梁·先导·巨变 / 131

§ 3 物理假说的验证与发展——实践·理论·转化 / 133

第 11 章 物理研究的定量比——数学方法 136

§ 1 数学方法概论——概念·特征·分类 / 136

§ 2 数学模型方法——综述·建立·应用 / 138

§ 3 数学方法对物理学研究的作用——计算·分析·推理 / 146

第 12 章 现代物理科学方法——创造思维与系统科学 154

§ 1 现代科学中的创造思维方法——逻辑·思维·模型 / 154

§ 2 系统科学方法——系统·控制·信息 / 169

第三编 非常规的物理科学方法

第 13 章 物理理论的设计师——科学想象 179

§ 1 科学想象——储备·形象·创造 / 179

§ 2 科学想象对物理学研究的作用——创造·迁移·激励 / 184

§ 3 科学想象的运用——基础·技巧·批判 / 191

第 14 章 奇特而罕见的方法——灵感、直觉和机遇

196

§ 1 灵感——突发·顿悟·创造 / 196

§ 2 直觉——直接·跳跃·感悟 / 201

§ 3 机遇——偶然·机会·收获 / 205

§ 4 三种方法的对比研究——比较·求异·认识 / 208

第 15 章 简洁、和谐、对称——物理美学思想

210

§ 1 物理科学之美——领悟公式·欣赏乐曲 / 210

§ 2 物理科学美的特点——真理·奇异·深刻 / 213

§ 3 美学思想在物理学研究中的方法论意义
——美感·直觉·指向 / 216

§ 4 物理美学与物理教学——兴趣·创新·高效 / 218

第 16 章 失败、启发、成功——失败反思法

222

§ 1 研究的失败 失败的研究——失败·成功·相伴 / 222

§ 2 真理与错误 成功与失败——真误·成败·转化 / 223

§ 3 物理学家失败的原因及其方法论意义
——必然·偶然·人为 / 227

第 17 章 引起风暴的乌云——物理学悖论

234

§ 1 悖论的产生——命题·反常·矛盾 / 234

§ 2 悖论的作用及其方法论意义——惊讶·思考·突破 / 239

§ 3 导致悖论教学法——前提·推演·范围 / 243

第四编 物理科学理论体系的形成

第 18 章 概念、同化、顺应——物理概念的建立 251

- § 1 物理概念——内涵·外延·结构 / 251
- § 2 物理概念的形成与分类——逻辑·描述·体系 / 253
- § 3 物理概念的建立与定义——简单·可测·合理 / 257

第 19 章 归纳、推理、假设——物理规律的总结 264

- § 1 物理规律——类型·表达·范围 / 264
- § 2 总结物理规律常用的基本方法——归纳·推理·假说 / 266

第 20 章 研究的集成——物理学理论体系的形成与发展模式 277

- § 1 哥尼斯堡七桥问题——假设·命题·论证 / 277
- § 2 物理学理论体系的结构特征和功能——纵横·指导·预见 / 279
- § 3 物理学理论体系的表述方法——逻辑·认识·历史 / 285
- § 4 物理学理论体系的形成与发展模式——积累·证伪·纲领 / 286

附录 291

- 诺贝尔物理学奖获奖年表 / 291
- 主要参考文献 / 299

第一编

绪 论

第 1 章

物理学方法论概述

我荣获 1954 年的诺贝尔奖,与其说是因为我所发表的工作里包括了一个自然现象的发现,倒不如说是因为那里面包括一个关于自然现象的新思想方法基础的发现。

——玻 恩

§ 1 物理学方法论的基本概念——方法·内涵·分类

一部物理学的发展史也就是一部物理科学方法的演化史。知识是在一定的方法上形成的,而一定的方法又是知识发展的产物,因此知识和方法始终紧密地结合在一起。有鉴于此,对于广大物理工作者而言,不仅要用物理知识武装自己,而且要学习一些物理科学方法。掌握科学的方法并以此作指导,可以增加学习的主动性,克服盲目性,促使自己早一点成为祖国需要的创造性人才。

一、方法概述

1. 科学、方法、物理科学方法

《苏联大百科全书》指出,“科学是人类活动的一个范畴,它的职能是总结关于客观世界的知识并使之系统化;科学是一种社会意识形态。在历史发展中,科学可转化为社会生产力和最重要的社会建制。……从广义上说,科学的直接目的是对客观世界作理论表达。”

“方法”一词源于希腊词“μετα”(“沿着”、“顺着”)和“οδος”(“道路”),它的字面意义是沿着(正确的)道路运动。而在不同的情景下,对于方法这一概念有一些不完全相同的定义和理解。

我们认为,所谓方法,就是为了解决某一具体问题,在实践或理论上所采用的一般思维手段和操作步骤的总和。

例如,“计算 1、2、3……97、98、99、100 等 100 个自然数之和”,可以有以下几种形式,也就是几种计算方法。



按一般习惯计算: $1+2+3+\cdots+98+99+100=5\ 050$;

观察数字特点,可以如下计算: $50\times(1+100)=5\ 050$;

或者: $100+50+49\times(1+99)=5\ 050$ 。

方法与人类的实践活动密切相关。人类通过方法这种工具与客观对象发生关系,所以,方法是属于主观范畴的。例如,日月运行,昼夜交替,这些客观存在本身是无方法可言的,但是,人类要认识它们就需要方法。而且,不同的人在解决同一问题时往往会采用不同的方法。

例如,要确定一段导线的电阻,我们可以直接用欧姆表测出;也可以把这段导线接到电路中,采用大家熟悉的“伏安法”求出它的电阻;我们还可以先测出导线的长度、横截面积,然后根据电阻定律的公式计算出它的电阻。这样就是三种方法。

再如,美国试爆第一颗原子弹时,费米想亲自测定原子弹爆炸的威力。于是,他将一把事先准备好的纸片抛向空中,然后根据自己的离开爆炸中心的距离和纸片被冲击波吹过的距离,迅速推算出了原子弹爆炸的威力,其计算结果竟然和仪器测量的结果相差无几!当然,要是他缺乏有关的专业知识,就难以进行这样的测算。这也说明,目标相同,方法可以不同。只要潜心研究,就一定能找到简单而合理的新方法。

将同一事物重组变序以获得不同的结果,也可称为方法。例如,战国时田忌和齐威王赛马,要求将马分上、中、下三等——对应比赛。由于田忌的马不如齐威王的,因而连负三局。此时孙膑向田忌献策:以下等马对其上等,宁负一局,然后以上对其中,以中对其下。照此田忌终以二比一获胜。此法可谓妙哉!

而所谓的物理学方法,就是研究与描述物理现象、实施物理实验、总结及检验物理规律时所应用的各种手段与操作,它是科学方法的一种。它要求在严格的科学条件限制下,通过严密的观察实验(观察与实验方法),严格的逻辑推理(科学的思维方法与数学方法等),去伪存真,去粗取精,由此及彼,由表及里,找到事物内各部分之间及事物与外部环境的相互关系和相互作用,确定由相互作用产生的结构、运动变化和因果关系,形成规律性知识。至于各种具体的物理学方法,我们将在后面作详细介绍。

2. 科学方法的认识论内涵

人类的科学认识活动包括十分丰富而广泛的内容,根据不同的标准可以将认识活动划分为不同的类型。例如,从认识活动的目的、认识主体及认识成果等方面进行考察,人类的科学认识活动可以分为探索性认识活动和继传性认识活动两大类型。前者以探索、发现、创立前人未有的认识成果为目的,也就是我们所说的科学研究活动;后者以学习、继承、传播前人的知识为目的,包括科学教育、科学普及、科技情报工作等。

探索性的科学认识面对的是未知的领域,这种活动的结果是提供关于自然界的具体确定的新知识。它包括三个要素:科学认识的主体、客体和主客体相互作用的

中介——科学认识工具。

这里,我们详细介绍一下科学认识工具。所谓的科学认识工具,就是科学工作者从客体中获取科学认识成果的手段。认识工具可分为两种类型:物质形态的认识工具——科学仪器,以及思想形态的认识工具——科学方法。前者可称为认识工具的“硬件”,后者可称为认识工具的“软件”。人类在认识客观自然规律的过程中,创造了帮助自己进行观察、测量、计算、存储信息的各种物质手段,如各门学科使用的实验仪器、计算机等。人类借助这些物质形态的认识工具,拓宽了研究对象的深度和广度,使先前人类认识范围之外的客观事物也进入了人类研究的视野,使人的认识能力得到很大提高。思想形态的认识工具指的就是科学认识的方法。科学方法是通过科学认识主体的活动而表现出来的,它是主体把握客体的主观手段。在科学认识的系统中,科学方法处于实现主体与客体相互作用的中介地位,从而在科学认识中起着重要作用。只有通过这个中介,主体才能完成对客体的科学认识活动,也正是在科学认识和科学实践的过程中,科学方法才不断地得到体现与发展完善。

黑格尔指出:“在探索的认识中,方法也就是工具,是主体方面的某个手段,主体方面通过这个手段和客体发生关系。”在科学认识活动中,科学方法正是这样一种精神手段。从整个科学认识过程看,不论是问题的提出、课题的确定与论证、实验的设计、新事实的发现与解释,还是假说的构想、理论的推演与证明、理论的检验与评价等,都是主体理论思维或者创造性想象的结果,都是主体运用各种程序化与非程序化的方法的结果,或者是将某些思维手段和操作步骤重新组合的结果。这些均属于一般的观念形态的认识手段。它们先于物质手段而产生,并且指导物质手段的创造与发明。只有将这些观念手段转化为物质手段(包括实验设备等),并且两者结合在一起而对客体进行变革,才能获得关于客体的新的信息,才能促使科学认识的深化与发展。因此,科学方法在人们的认识过程中是必不可少的。

3. 方法与理论的关系

我们所讲的方法和平常所讲的理论是什么关系?可以说,科学方法中的基本内容首先是经过检验的科学理论。

当然,这并不是说方法等于理论。两者的区别在于,科学理论是过去研究活动的最终成果,它是对已知事物的认识;而方法则是进行未来研究活动的手段,它所面对的是未知的事物和领域。但是,理论一经证明是正确的、有效的、科学的,那么它便可以在同一知识领域、甚至在不同领域里建立其他新理论的过程中,作为出发点和条件,在实质上起着方法的作用。而且往往是抽象程度较高的知识对较为具体的知识发挥着方法的功能。所以,从这个意义上来讲,一切知识都可以通过应用而转化为方法。例如,控制论在研究电子计算机技术时就起着方法的作用;极限是数学中的基础理论知识,当用它来建立瞬时速度或瞬时加速度等概念时,就成为极限方法了。



方法一旦在往日的研究成果中形成,就会成为日后研究的出发点。这一点在科学发展中已经不算什么新鲜事。例如,17~18世纪是力学大发展的时代。在当时,除了力学和为它服务的数学外,大多数学科还处于收集资料和初步整理资料的阶段,只有力学已经达到了某种程度的完善。这样,力学体系是当时科学发展的最高成就,这就决定了人的一切认识都自觉或不自觉地带有机械论的色彩。在当时人们的眼前,出现的是一幅机械的世界图景,这种世界图景很快就获得了包罗万象的世界观和方法论意义。也就是说,牛顿的力学体系成了认识论和当时迅速发展的科学方法论的基础。

再举个现代科学的例子。在物理学中,量子力学已成为一整套可以解释越来越多的微观现象的理论。尽管它还不算十分完备,或许永远也不会完备,但至今还没有能够替代它的新理论。而在化学和生物学中,量子力学则转化成了一种方法。正是运用这种方法,人们建立了量子化学和量子生物学的新理论。从广义上说,在人们把一种较成熟的理论移植到一个新领域,从而建立边缘学科或交叉学科的理论基础的过程中,被移植的理论都起着极为重要的方法作用。这里还应强调的是,当新的科学理论建立时,往往会引起科学思维的变革。例如,量子力学的建立,导致以统计因果观为核心的思维方式取代了以严格决定论为核心的经典思维方式。

近现代科学,特别是现代科学发展的基本特征,是强调科学方法对于科学理论的创立、发展、变革及其成果特定方式总结的决定性意义。科学发展史一再确证,如果没有某种科学方法,没有科学方法指导下的研究规则、实验程序,科学理论很难产生;即使产生了,也将难以有效地发挥其功能和作用。因此,科学方法得到科学家的普遍重视。

当然,我们也要注意绝不能无限地扩大方法论的功能作用。方法论的决定作用是相对的,而不是绝对的,方法论会伴随知识理论的发展、变化而相应地调整、变化;方法论又是灵活的、务实的,没有永恒不变的方法论。过分地夸大方法论的普遍意义与作用,认为知识理论的任何变化也动摇不了方法论的根基,从而颠倒方法论决定作用的相对界限,也是不具有客观必然性的。

二、方法论

1. 方法论的概念

方法论是与希腊词 $\lambda o\gamma o\varsigma$ 有关的一个概念,是关于认识和改造现实方法的学说和理论。就本义而言,方法论一词的创始人是英国哲学家培根。他首先提出以方法论体系武装科学的思想,并在《新工具》一书中付诸实现。他对科学认识的归纳法及经验法所做的论证,对之后方法论的发展起了重大的作用,同时使方法论问题成为哲学的中心问题之一。