

物理学方法论

WULIXUEFANGFALUN

张宪魁 王 欣 主编

陕西人民教育出版社

物理学方法论

主 编	张宪魁	王 欣
编 委	李晓林	刘甲珉
	刘富义	李尔智
	孔凡芝	姚国辉
主 审	阎金铎	乔际平

陕西人民教育出版社

(陕)新登字 004 号

物 理 学 方 法 论

张宪魁 王 欣主编

陕西人民教育出版社出版发行

(西安长安路南段 376 号)

陕西省新华书店经销 国营五二三厂印刷

850×1168 毫米 32 开本 12.75 印张 4 插页 324 千字

1992 年 3 月第 1 版 1992 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—3,750

ISBN 7—5419—3055—5/G·2653

定 价: 平装: 5.90 元

目 录

前 言.....	(1)
第一章 物理学方法论概述.....	(4)
§ 1 物理学方法论的基本概念	(4)
§ 2 物理学方法论研究的对象和内容	(8)
§ 3 物理学方法论的产生和发展	(11)
§ 4 研究物理学方法论的意义	(20)
§ 5 物理学方法的分类与结构体系	(24)
第二章 物理系统.....	(27)
§ 1 物理系统的层次结构	(27)
§ 2 物理系统的结构特征	(32)
§ 3 物理系统的运动	(39)
§ 4 物理系统的运动特征	(41)
第三章 物理学研究课题的确定方法.....	(47)
§ 1 确定研究课题的意义和一般程序	(47)
§ 2 确定研究课题的基本原则	(49)
§ 3 物理学研究课题的形成模式	(52)
§ 4 物理学研究课题的转换	(57)
第四章 观察方法.....	(61)
§ 1 科学观察及其特点	(61)
§ 2 观察方法在物理学研究中的作用	(64)
§ 3 科学观察的基本原则	(66)
§ 4 科学观察的方法	(69)
§ 5 克服观察的局限性	(71)

第五章 实验方法.....	(74)
§ 1 什么是物理实验	(74)
§ 2 物理实验在物理学研究中的作用	(75)
§ 3 物理实验的特点	(79)
§ 4 物理实验的基本类型	(82)
§ 5 物理实验的基本程序	(85)
§ 6 物理实验的设计方法	(89)
§ 7 物理实验的数据处理方法	(91)
第六章 数学方法.....	(95)
§ 1 数学方法及其特点	(95)
§ 2 数学方法在物理学研究中的作用	(98)
§ 3 数学模型方法	(103)
第七章 比较与分类.....	(116)
§ 1 比较方法	(116)
§ 2 分类方法	(128)
第八章 分析与综合.....	(134)
§ 1 分析方法	(134)
§ 2 综合方法	(143)
§ 3 分析与综合的关系	(148)
第九章 归纳与演绎.....	(151)
§ 1 归纳法	(151)
§ 2 演绎法	(161)
§ 3 归纳与演绎的关系	(167)
第十章 理想化方法.....	(173)
§ 1 理想化方法的合理化基础	(173)
§ 2 物理条件的理想化	(175)
§ 3 理想模型	(177)
§ 4 理想实验	(183)
第十一章 类比方法.....	(190)

§ 1	什么是类比	(190)
§ 2	类比的类型	(192)
§ 3	类比在物理学研究中的作用	(198)
§ 4	类比的局限性	(199)
§ 5	类比方法的正确运用	(200)
第十二章	物理假说及其检验	(204)
§ 1	假说及其一般特征	(204)
§ 2	假说在物理学研究中的作用	(207)
§ 3	假说的来源和建立假说的方法	(209)
§ 4	假说的检验和发展	(214)
第十三章	科学想象	(220)
§ 1	科学想象的特征及分类	(220)
§ 2	科学想象的物理学方法论作用	(227)
§ 3	科学想象能力的培养	(237)
第十四章	直觉、灵感和机遇	(244)
§ 1	直觉	(244)
§ 2	灵感	(250)
§ 3	机遇	(258)
第十五章	物理美学思想	(264)
§ 1	物理学家对美的追求与物理学之美	(264)
§ 2	物理美的物点	(269)
§ 3	物理美学思想在物理学研究中的方法论意义	(271)
§ 4	物理美学思想在教学中的作用	(275)
§ 5	物理美感教学的途径	(277)
第十六章	失败反思法	(282)
§ 1	研究的失败——失败的研究	(282)
§ 2	真理与错误 成功与失败	(284)
§ 3	物理学家失败的原因及其方法论意义	(291)
第十七章	物理学悖论	(302)

§ 1	什么是悖论	(302)
§ 2	悖论是怎样产生的	(304)
§ 3	悖论的作用及其方法论意义	(308)
§ 4	导致悖论教学法	(315)
第十八章	系统科学方法	(320)
§ 1	系统科学产生的时代背景	(320)
§ 2	控制论及控制论方法	(324)
§ 3	信息论及信息方法	(333)
§ 4	系统论及系统方法	(338)
§ 5	系统科学方法的最新发展	(350)
第十九章	物理学理论体系的形成与发展模式	(361)
§ 1	物理学理论体系的结构和特征	(361)
§ 2	物理学理论体系的功能	(367)
§ 3	物理学理论体系的表述方法	(370)
§ 4	物理学理论体系的形成与发展模式	(372)
第二十章	中学物理教学中的物理学方法教育	(378)
§ 1	物理学方法教育在中学物理教学中的 地位和作用	(378)
§ 2	中学物理学方法教育的要求	(385)
§ 3	物理教材的方法论分析	(387)
§ 4	物理学方法教育的实施	(394)

前 言

物理学研究是一种高度复杂的实践与思维过程。随着研究的深入和广泛的应用，物理学已形成了众多的分支，并随之产生了许多具有普遍意义的研究方法。系统地总结物理学家的研究方法是一项艰巨困难而又极富魅力的系统工程。

众所周知，从事任何一项工作，都要讲究方法。有了正确的方法做指导，可以增加自觉性，克服盲目性，促使早出成果，多出成果。因此研究“方法”已成为越来越多的人所关心的“热点”问题。

多年的教学实践使我们认识到，传授知识固然重要，而掌握方法更可受益终身。因此，我们认为应该让青年学生较早地了解方法论领域中的知识，以便缩短他们将来从事工作后重新摸索的时间，使他们尽快成才。正是在这一思想指导下，多年来，我们对物理学方法论进行了较为深入地探讨和研究，并为物理专业的学生撰写讲义，开设了《物理学方法论》选修课，本书就是在此基础上进一步讨论编著而成的。

本书由张宪魁、王欣主编并统稿。编委分工执笔：张宪魁（第1、16、17章），王欣（第2、3、19章），刘甲珉（第4、5、11章），刘富义（第6、8、12章），李尔智（第7、15章），李晓林（第9、13、18章），孔凡芝（第10、14章），姚国辉（第20章）。李晓林同志阅读了大部分章节，并提出了许多修改意见。

在编写中我们力求作到以下几点。

1. 要有较为合理的物理学方法论的结构体系。为此我们在第一章的第5节专门就物理学方法的分类及体系作了全面介绍，

是否恰当，有待专家同行们评价。考虑到物理学方法之间总是相互联系，交叉渗透，难以截然分开，因此我们在具体编写时仍按章并列展开，未再归类分篇（编）。

2. 除常规的研究方法外，我们还介绍了诸如直觉、灵感、猜想等一些非常规的研究方法。并且阐述了物理美学、物理悖论以及物理学家失误的方法论意义。我们吸取了有关这些课题的科研成果，并结合我们的一些认识，力求能有新意。

3. 适当介绍了现代系统科学方法。尽管这些方法在物理学研究中的作用还不成熟，但是了解这些方法对未来的物理学工作者也许是很有意义的。

4. 材料的取舍上，我们力求“以方法为纲，以方法带学史”，使内容更加丰富翔实，增加该书的趣味性与可读性。

5. 尽可能联系物理教学，特别是中学物理教学的实际，以有利于较早地在中学开展物理学方法教育。

当然，以上只是我们的良好愿望。由于我们才疏学浅，又不是专业的哲学工作者，因此要写好这样一个内容广泛、极富哲理的课题，是很困难的。而且不论是结构体系，观点的推敲，还是内容的取舍，文字的修饰等方面都还有许多工作要做。我们仓促奉献这一尚不成熟之果，衷心希望物理学界和哲学界的前辈、同行，及所有关心这一课题的读者批评、指正，以便今后修改，使之日臻完善。

如果该书能对读者有点启发，并引起大家的关注，我们就不胜欣慰了。

本书在编写中，参阅了大量书刊资料，并直接引用了许多作者的理论观点、材料，这就为完成本书奠定了有力的基础。在此向有关作者致以衷心的感谢。除每章之后所列的参考文献外，尚有未及细列之处，望请谅解。

本书的编写一直得到北京师大阎金铎教授、北京师院乔际平副教授的真诚关怀、支持，并在百忙之中主审了本书，提出了许

多宝贵意见。陕西人民教育出版社责任编辑杨益同志对书稿进行了全面地加工，在此一并致谢。

编 者

1992年4月

第一章 物理学方法论概述

§ 1 物理学方法论的基本概念

本节首先简述物理学方法论的几个基本概念。

一、方法

1. 什么是方法

对方法这一概念有不完全相同的定义和理解。“方法”一词起源于希腊词 “μετα”（“沿着”、“顺着”的意思）和 “οδος”（“道路”的意思），它的字面意义是沿着（正确的）道路运动。

所谓方法，就是为了解决某一具体问题从实践或理论上所采取的手段或方式的总和。方法起源于人类的实践活动。人类通过方法这种工具与客观发生关系，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而言的，但是，我们要认识它们就要涉及方法。而且，不同的人去解决同一问题往往会有不同的方法。例如，测一圆周的长，可以用绳子沿圆周绕一圈然后测绳长；也可用小滚轮沿圆周滚一周，用滚动的圈数乘以小滚轮的周长；还可以测出它的直径用计算的方法求出周长等。

又如美国试爆第一颗原子弹时，费密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，迅速推算出原子弹爆炸的威力，计算结果竟然和仪器测量结果相差无几。当然，要是他缺乏有关的专业知识，就难以进行这样的计算。这也

说明，目标相同，方法可以不同。只要潜心研究，就能找到简单而合理的新方法。

列宁在《黑格尔〈逻辑学〉一书摘要》中有一段摘要：“方法就是对于自己内容的内部自己运动的形式觉识”^①。这可理解为方法就是对形式的认识。

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。

$$1 + 2 + 3 + \cdots + 98 + 99 + 100 = 5050$$

$$50 \times (1 + 100) = 5050$$

$$100 + 50 + 49 \times (1 + 99) = 5050$$

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，分上、中、下三等——对应比赛，由于田忌的马力不如齐威王的，因而连负三局。此时孙膑向田忌献策：以下等对其上等，宁负一局，然后以上对其中，以中对其下，连胜两局、终以二比一获胜。此法可谓妙哉！

被实践检验过的科学理论知识，当用来在其知识领域内或其他知识领域内建立其他理论时，就实质来说，也起方法的作用。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。而方法一旦在往日的研究结果中形成，就会成为日后研究的出发点。

2. 方法存在的形式：

(1) 对于同一事物来说，沿纵向或横向发展过程中的转折过渡处必然存在有方法。例如，从部分电路欧姆定律出发研究全电路欧姆定律时，必然要用到实验归纳与理论演绎相结合的方法。

^①转引自《科学方法论研究》，科学普及出版社，1983年版，第127页。

(2) 不同事物之间（包括人与事物之间）建立联系或者发生关系时，必然存在方法。例如，使闭合回路的一部分导体在磁场中作切割磁力线运动，或者使闭合回路的磁通量发生变化，运用上述方法都可以使磁与电两种事物建立起联系。

(3) 理论用于实践以解决问题时，理论本身就具有了方法的意义。例如，研究一个物体从光滑斜面顶端下滑到底部所具有的速度，我们可以用机械能守恒定律，或者牛顿第二定律与运动学公式相结合来求解。此时，上述理论实际上就成为解题方法了。

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。

二、方法论

1. 什么是方法论

方法论是与希腊词 $\lambda\omicron\gamma\omicron\sigma$ 有关的一个概念。它是关于认识和改造现实方法的学说和理论。就词的本义而言，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，对后来方法论的发展都起了重大的作用。同时使方法论问题成为哲学的中心问题之一。

方法论知识既可以是某些规定和标准的形式，用以确定某些特定活动类型的内容和顺序，（标准方法论），也可以是实际已经完成的某一活动的描述形式（描述方法论）。

方法论与认识论不同，认识论研究的是整个认识活动的过程，首先是研究这一过程的内涵依据。而方法论则是倾向于知识的内部结构、运动和组织的逻辑。认识过程中所总结出的较高层次的理论对于较具体的知识又具有方法论的功能。当然方法也不能脱离知识而存在，因为方法脱离了具体的科学知识，也就不

能产生任何有益的结果了。运用方法在获取新的科学知识的同时往往就伴随产生新的方法。而新方法又成为获取新知识的工具，方法与知识就是这样在认识过程中不断的产生和发展的。

2. 方法论的分类

由于标准不同，方法论可以有許多不同的分类名称。

为了叙述简便，我们按照方法论分析的不同层次或普遍性程度的高低来划分，它包括既相互联系又相互区分的三个层次。一是哲学方法论，也就是辩证法、认识论和辩证逻辑，它普遍适用于自然科学、社会科学和思维科学。比如一切从实际出发的方法，矛盾分析方法等。二是自然科学方法论，它是从自然科学的各门学科中概括出来的，诸如观察和实验的方法，抽象思维和形象思维的方法，数学方法等。三是各门学科中的一些具体方法，如初等数学中的数学归纳法，高等数学中的微分法、积分法，物理学中的光谱分析法，化学中的催化方法等。

本书研究自然科学方法论的一个分支——物理学方法论。

三、物理学方法论

物理学研究是一种高度复杂的实践与思维过程。随着研究的深入和广泛的应用，物理学已经形成了许多新的分支，并随之产生了许多特殊的研究方法。因此，系统全面地总结物理学家的研究方法，乃是一项十分艰巨困难的系统工程。但是与人们的认识论相一致，并为经典物理奠定基础的一般物理研究方法，仍具有普遍的方法论意义。而且构成了如图 1-1 所示的物理学研究方法的“工字型”结构。

物理学是一门以实验为基础的定量科学。因此，观察与实验是物理学研究的基础，运用数学工具进行定量探讨，建立物理学的理论体系是物理学研究的核心与归宿。而进行科学的理论思维，则贯串于物理学研究的始终。当然科学思维的具体方法则随着物理学的发展而日趋完善。

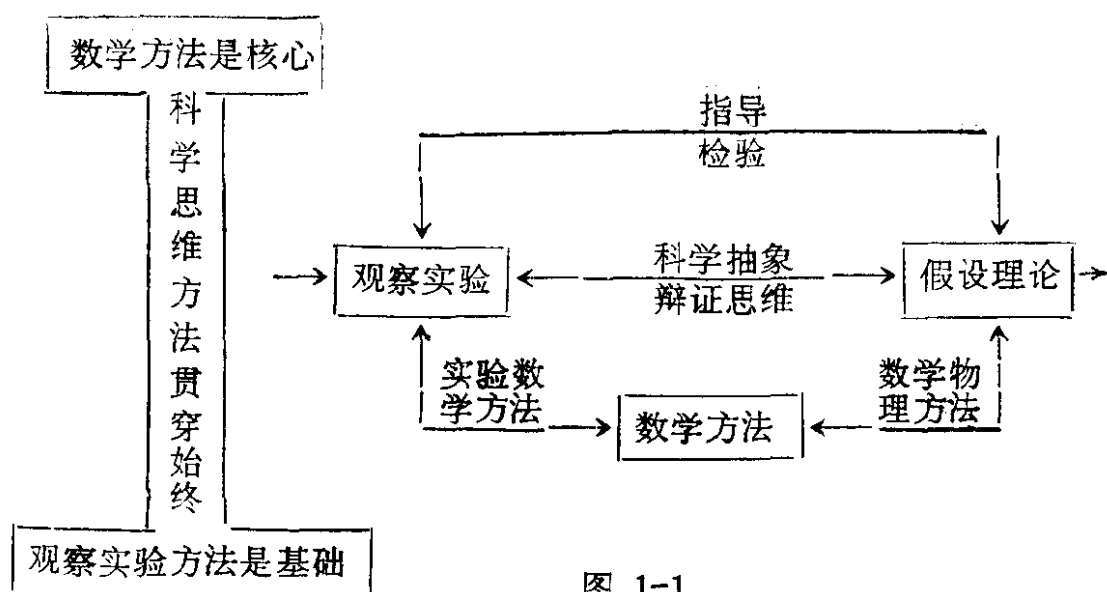


图 1-1

关于什么是物理学方法论以及它所研究的对象和内容等有关问题，我们将在下一节作较详细的阐述。

§ 2 物理学方法论研究的对象和内容

物理学方法论是以唯物辩证法为指导探讨物理科学一般研究方法的理论。它主要探讨用什么方法研究物理现象，怎样描述物理现象，怎样探索并总结物理规律，如何检验物理规律等。它既具有自然科学方法论的一般特征，又反映物理科学研究方法的特殊规律。一方面它把哲学方法、自然科学的一般方法与物理学科的特点相结合，具体运用于物理运动规律性的研究中，另一方面又把物理学科中某些共有的、通用的方法，通过抽象、概括加以提炼，使之上升为自然科学研究的一般方法。

具体来说，物理学方法论包括以下一些内容。

1. 探讨物理科学认识的逻辑结构和研究程序，揭示物理科学研究过程的各个阶段和每一环节的作用、特点及其所应遵循的一般原则。

首先通过对物理系统的分析，研究一般物理系统从确定课题

到总结规律要经过那些环节和步骤；这些活动有什么规律性，要运用哪些方法，这些方法有何作用和特点。其次在物理科学研究的基础上总结出物理学方法论，并从整体上来分析其逻辑结构体系。也就是说，分析物理学方法论应由哪些方法组成，这些方法之间的区别联系又是什么？

2. 总结物理科学研究中常用的一般方法，并将它们分类，揭示各种方法的含义、特点、适用范围，运用的原则和注意事项，以及物理学史上的例证。并尽可能地给出使用模式，以便使用、借鉴与移植。

例如，物理学方法大致可以分为两大类，一是具有一定程式和规律的常规方法，如观察、实验方法、数学方法、理论思维等方法。一类是非常规的方法，诸如直觉、灵感、机遇、猜测等方法。

3. 研究物理学史上的重大突破和有代表性的事例，揭示著名物理学家的研究方法。

因为物理学方法论的全部内容，包括总结科学方法、探讨科学方法的原理与结构，总结物理学研究的程序等等，都是从物理学发展史的反思中，以及人们对物理研究过程的再认识中总结出来的。我们不可能先验地去规定如何进行物理认识，也不能先验地提出任何方法论的原理及研究程序，可以说构成物理学方法论研究的全部经验材料就是物理学发展的史实。实践证明，重大科学理论的突破，往往伴随科学方法的诞生。以狭义相对论的建立为例。在爱因斯坦以前，洛伦兹与彭加勒在物理概念及数学形式上都十分接近了狭义相对论，但他们只是限于对牛顿理论修修补补，极力维护绝对时空观的旧有框架。为什么只有到爱因斯坦时才能最后提出新理论呢？这里面就有个方法论问题。爱因斯坦本人曾指出，休谟与马赫的怀疑方法对他影响极大，使他敢于对牛顿理论的庞大体系产生怀疑，并树立起推翻牛顿理论的信心。另外，斯宾诺莎的唯理论方法也给了爱因斯坦建立新理论的具体

方法手段，他采用斯宾诺莎的方法建立了公理化的相对论理论体系，而且爱因斯坦本人还在此基础上提出了具有方法论意义的逻辑简单性原理。

物理学史中还有大量具有方法论意义的思想有待我们去进一步发掘整理。例如，在量子理论的发展过程中，以玻尔为首的哥本哈根学派与爱因斯坦的争论极富方法论意义，特别是玻尔提出的对应原理与互补原理，都有待从科学方法论角度去进行总结提高。

从历史上看，自然科学家都十分重视方法论的研究，一部物理学发展史，也就是一部物理学方法论发展史，纵观物理学生机勃勃，曲折复杂的征途，许多有作为的物理学家如伽利略、牛顿、爱因斯坦等人，在科学研究的崎岖道路上，取得了一个又一个的新发现，同时也创造了引人注目的方法论，这是人类宝贵的精神财富，总结他们的治学思想和研究方法。无论是对传统的物理学方法的合理继承，还是对现代物理学方法的变革和创新都有重要的作用。

苏联著名哲学家 Б·М·凯德洛夫在他主编的专门论述物理学方法论原理的专著中提出了十条原理：解释原理、简单性原理、物理学世界图景的统一原理、数学化原理、守恒原理、对称原理、对应原理、互补原理、可观察原理和基元性原理，其中每一条原理都既是对物理学发展史和物理学研究方法的哲学概括，又是一般哲学原理在物理学领域中的具体应用，因而对物理学的研究具有指导意义。

另外，应该强调的是，我们不仅要重视物理学家成功的经验，还要注意他们失败的教训，揭示失误的方法论意义，把失误转化为成功，实践证明这也是物理学方法论中不可缺少的内容。

4. 研究新兴科学、新兴技术对物理学研究的重大影响、并探讨其方法论意义。

20 世纪以来崛起了一大批新兴学科、新兴技术，而且出现了