

物理学方法论

张 涛 光 著

学 技 术 出 版 社

物理学方法论

张涛光 著

521/194/20



内 容 提 要

本书从实验、理想化方法、比较和分类、类比、归纳和演绎、分析和综合、假说和数学方法等八个方面系统地阐述了物理学研究的科学方法及其运用。以物理学发展的实际为出发点，综合考察了各个历史时期物理学的重大成果。书中涉及到的近80位杰出的物理学家和10多位其他科学家的研究工作也从方法论的角度进行了分析。内容丰富、翔实，论述严谨，文字简练流畅，可供物理专业的学生、教师（包括中学物理教师）和研究工作者以及从事自然辩证法、哲学的教学和研究工作的同志阅读。

物 理 学 方 法 论

张涛光 著

山东科学技术出版社出版
山东省新华书店发行
山东新华印刷厂德州厂印刷

787×1092毫米32开本 4.375印张 82千字
1983年7月第1版 1983年7月第1次印刷
印数：1—7,000

书号 13195·102 定价 0.70 元

序 言

山东科学技术出版社出版的《物理学方法论》是张涛光同志编写的。这本书的出版，对自然科学工作者，特别是物理学的教学研究人员辩证地研究人类思想、科学和技术的历史，开展物理学研究方法的讨论将有一定的作用。

《物理学方法论》有一个显著的特点，就是作者不仅比较概括地反映了物理学的历史发展，而且自觉地努力运用马克思主义的认识论和辩证法来阐述物理学的方法。作者在物理科学领域内历史地说明物理学研究方法，那些是成功的，那些是不可取的，这种尊重唯物论，尊重辩证法的精神是十分可贵的。因此，这本书不仅具有比较丰富的材料有助于人们了解物理学发展的基本知识，而且从方法论上给予人们一种清新的思想。

书中提到的许多物理学家的研究成果和研究方法，都能够启迪人们对物理学方法论的深入探讨。卓有成就的物理学家，他们的智慧决不是象照镜子那样死板的动作，而是在复杂、曲折的劳动中以最精辟的科学作用体现出来的；他们都是从小事做起而逐步成就其科学事业；他们的聪明并不在于不犯错误，而在于能够在科学的实践中善于坚持真理和勇于纠正错误。所以，他们能够在崎岖的道路上，把“思想的闪电”注入物理科学研究的广阔天地，将抽象的思维和科学的

实验结合起来。自然科学家的自由在于对自然界的必然性的认识，并把这种认识运用于改造自然界的实践。

恩格斯有一句名言：“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。”（《马克思恩格斯全集》第20卷第384页）我国各族人民要站在科学的最高峰，同样不能没有理论思维，这就需要大力发展自然科学和社会科学的研究，并且把这种研究同我国社会主义现代化建设的实践很好的结合起来。这也是《物理学方法论》写作的良好意愿。

此外，本书对于研究自然辩证法的人们来说，也有一定的参考价值。当然，作者还是比较年青的教学研究工作者。对于从物理科学的严整体系来阐述它的研究方法，或者从自然辩证法的科学体系来阐明物理学方法论的发展，都还有待于进一步的研究和探讨；在对某些问题的论证上也还有待于进一步深化，使之更加严密和完备。对于这一点我们还需要继续深入研究。正如前面所说，出版本书的意义将在有助于物理学研究方法的讨论。如果一书本的出版，能够起到这样的一种作用，那么，对于繁荣我国的科学事业就不能不说是有益的贡献了。

艾恒武

一九八三年六月二十九日

编者的话

物理学家在创立和发展物理学的过程中，披荆斩棘，以艰苦的劳动，探索出物理学研究的科学方法。随着物理学的发展，这些研究方法正在不断地发展着，完善着。

系统地了解物理学研究方法，具体地认识物理学理论是怎样总结概括出来的，对物理学的教学和研究工作有一定的启发和帮助。因此，物理专业的一些老师和学生都迫切要求了解有关物理学的研究方法，而当前系统地阐述物理学研究方法的著作尚不多见。为满足广大师生的需要，特编写了《物理学方法论》一书，与物理学专业的师生和研究人员共同研究。

《物理学方法论》分实验、理想化方法、比较和分类、类比、归纳和演绎、分析和综合、假说和数学方法等八部分。从物理学发展的实践来看，这些都是常用的、基本的研究方法，也是成功的科学方法。这些方法是从物理学发展的实际中抽象出来。因此，论述这些方法时，特别注意搜集和引证物理学发展的历史和现实中的丰富材料，力图使这本书扎根于物理学历史的沃土上。

古往今来，国内外的许多物理学家和物理学教育、研究工作者，为探索物理学研究方法的理论作出了宝贵的贡献。

本书搜集了他们的科学研究成果，并从方法论的角度去考察物理学各个发展时期的成功和失误的重大事件，根据物理学研究的科学成果，对杰出的物理学家的研究方法进行了综合的研究，力图准确地阐述物理学研究方法的基本原理和意义。书中所用的例证，翔实、具体，查有所据。

本书在写作过程中，得到中国自然辩证法研究会理事、广东自然辩证法研究会副会长、华南师范大学常务副校长曾近义教授和广东物理学会顾问、暨南大学物理系陈本文教授等同志的热情帮助和支持，在此特表示衷心的感谢。

一九八二年十二月

目 录

序 言

編者的话

一、实验	(1)
(一) 物理实验	(1)
(二) 天然物理现象的实验研究	(3)
(三) 模拟物理现象的实验研究	(8)
(四) 物理实验的类型	(10)
(五) 物理实验中的观察	(14)
(六) 实验中的机遇	(19)
(七) 物理实验的地位和作用	(23)
(八) 辩证思维对物理实验的指导	(26)
二、理想化方法	(31)
(一) 理想化方法和它的客观基础	(31)
(二) 理想化方法在物理学研究中的作用	(34)
(三) 理想实验	(39)
三、比较和分类	(45)
(一) 比较的客观基础	(45)
(二) 比较的重点和关键	(47)
(三) 比较的作用	(51)
(四) 分类	(54)

四、类比	(59)
(一) 类比的形式和基础	(59)
(二) 类比的作用	(63)
(三) 类比的局限性和类比研究的关键	(66)
五、归纳和演绎	(68)
(一) 归纳方法及其对物理学研究的意义	(68)
(二) 归纳方法的局限性	(73)
(三) 物理学研究中的演绎方法	(78)
(四) 物理学研究必须坚持归纳和演绎的辩证统一	(82)
六、分析和综合	(85)
(一) 分析方法及其应用	(85)
(二) 物理学研究的综合方法	(90)
(三) 分析和综合的辩证统一	(96)
七、假说	(99)
(一) 要完整地理解和表述假说	(99)
(二) 物理学假说的客观依据	(101)
(三) 物理学假说的形成	(104)
(四) 物理学假说的验证及其转化	(108)
(五) 假说的争论推动着物理学的发展	(112)
八、数学方法	(116)
(一) 数学的本质和特点	(116)
(二) 数学是物理学的表述形式	(117)
(三) 数学是创立和发展物理学理论的主要工具	(120)
(四) 物理学理论的应用要借助数学工具	(125)
(五) 物理学促进数学的发展	(128)

一、实 验

(一) 物 理 实 验

物理实验，是对物质物理运动的一种基本的认识途径，目的在于揭示物理运动的规律、特性、以及各种物理现象之间的联系。物理实验是物理学最基本的一种研究方法。

物理实验的对象是客观的物理运动，它包括天然的物理运动和模拟的物理运动。因此，物理实验研究包括天然物理运动和模拟物理运动的研究。

物理学方法论对实验这个概念的定义，有的认为物理实验就是对模拟的物理运动的实践研究，对天然物理运动的实践研究则不是实验，而是观察。采用这种观点来理解和区分实验和观察，其可取的一面，就是比较具体地将天然物理运动的实践研究同模拟物理运动的实践研究区别开来。但是，这样划分实验和观察也有欠妥的一面。首先，在物理学的实验研究中，不管是天然物理运动还是模拟物理运动，对研究者来说，都是研究的对象，同样有明确的研究目的，要制定整套的研究计划和程序，广泛运用各种专门的实验工具，形成一套系统的实验研究方法，以及一定的知识积累。因此，对研究工作本身来说，要区别天然物理运动还是模拟物理运

动，意义是不大的。更何况作为研究对象的某些物理运动本身就是人为作用和天然作用互相渗透的，在物理学方法论的研究中，很难把实验和观察截然分开。其次，从概念本身来看，把对天然物理运动的实践研究定义为物理观察也是不够完整的。所谓观察就是人用感觉器官对对象进行考察，无论是天然物理运动的研究，还是模拟物理运动的研究都需要观察。一方面用观察和实验将天然物理运动的实践研究同模拟物理运动的实践研究区别开来，另一方面实验本身又包含观察，这就很容易混淆了。如果讲观察一词在上述两种情况有不同的含义，这岂不是更烦琐？再其次，在一些有关物理学的文献中，使用“观察”和“实验”两词，都不是有关方法论书中的提法。基于上述情况，我们一般不采用天然物理现象的实践研究是观察，模拟物理现象的实践研究是实验的提法。

物理实验的本质是人们的实践活动。但是，它又有别于生产实践，它的直接成果不是为了生产物质产品，而是为了生产精神产品——对物理运动的规律和特性的认识。在物理实验中，人们通过自身的感觉器官以及作为感觉器官的延长和扩大的工具，才能不断地积累大量的感性材料，再经过思维的加工、抽象和概括，将感性认识上升为理性认识。物理实验也不是盲目的实践，而是有非常明确的主攻方向，或者是为了认识某一物理规律，或者是为了认识某一物理特性，或者是为了认识某一物理过程。它不仅是搜集和整理各种感性材料，而且同科学理论有密切的联系。物理理论是人们通

过实验进行具体研究，对客观物理运动规律和特性做出的正确反映和概括。物理理论是在物理实验中产生，并在此基础上发展起来的，离开物理实验也就没有物理理论。

在物理学研究中一定要重视和发展实验研究，只有大量的高水平的实验研究，才能有高水平的理论研究，根深叶才茂，没有扎实的实验研究作基础，理论就是空中楼阁。在物理学研究中，一定要警惕轻视实验的倾向。丁肇中（美籍华人1936~）在1976年领取诺贝尔物理奖金时指出：

“……自然科学理论不能离开实验的基础，特别是物理学，它是从实验中产生的。我希望由于我这次得奖，能够唤起在发展中国家的学生们的兴趣，而注意实验工作的重要性。”

（二）天然物理现象的实验研究

利用天然物理现象进行实验研究，是物理学实验中最基本的方法之一，也是最原始的，历史最悠久的方法。物质运动是在永恒的变化发展之中，从宏观看，天体的演化显示了无限的宇宙螺旋上升的循环发展，从微观看，大量的“基本粒子”显示了自己复杂的结构和特有的运动规律。从远处看，距地球一百亿光年的物质也处于激烈的、复杂的相互作用中，从近处看，人类赖以生存的地球物质运动的图景也变幻无穷。物质运动的这一切变化发展，为人类的认识提供了丰富的素材，人们就有可能通过对这些天然的物质运动的实践研究，逐步认识物理运动的规律和特性。正是从这个意义

看，整个宇宙，整个大自然，都是人们进行物理实验研究的“天然实验室”。这就决定了天然物理现象的实验研究是物理实验的重要方面，是物理理论发展的源泉。

古代的光学理论基本上来源于天然光现象的实验。据《墨子》所载，在战国时光学实验研究已有一定的水平，如成影实验、平面镜、凹面镜、凸面镜等实验。后来光学的产生和发展也与天然光学现象的实验研究息息相关。牛顿（英国，1643~1727）、惠更斯（荷兰，1629~1695）等人的一些光学实验都主要是依赖于天然光学现象的。

经典力学的产生和发展更是与天然力学现象的实验研究密切相关。刻卜勒（德国，1571~1630）在第谷（丹麦，1560~1601）的研究基础上，对行星运动进行了深入细致的实验观察，总结出行星绕日运动的三大规律。牛顿在伽利略（意大利，1564~1642）、刻卜勒等人理论研究和对行星运动实验观察的基础上，以天然的力学现象——行星运动作模型，总结出物体（质点）运动的三定律和万有引力定律。

人们早期对电和磁的认识，也是来源于对天然电现象和天然磁现象的实验研究。当时所谓动物电、树脂电、天电等概念，正是对天然电现象的直观的实验研究的反映。富兰克林（美国，1706~1790）等人通过对一系列天然电现象的实验研究，终于弄清楚了各种各样的电都具有相同的本质，并用正、负电加以概括，把对电的认识建立在可靠的基础上。

在经典物理学初期的研究工作中，天然物理现象的实验研究之所以占那么大的比重，其原因有三个，第一，当时人

们接触到的、未知的物理现象大都是天然的，自然就要把它作为实验研究的对象。第二，生产水平比较低，不容易人为地产生所要研究的物理现象。第三，某些天然现象的物理过程表现得比较纯粹，以它作为实验研究的对象易于作出正确的总结和概括。物体运动定律为什么不是从常见的马拉车的现象总结出来，而是从观察遥远的行星绕日运动中总结出来的呢？这是因为在马拉车的运动中，力作用的因素相当复杂，如马的拉力、车的重力、地面的反作用力、各种摩擦力等，使人容易产生“有力才能维持物体速度”的错觉。而在行星运动中，行星与太阳之间的吸引力十分突出，虽然行星之间也有相互作用力，但由于行星的质量远比太阳小，行星之间的距离又都很大，这种相互作用力（如地球与水、金、火、木、土等行星的作用力）与行星同太阳的相互作用力相比，就小得可以略去了。因此，行星绕日运动的物理规律就表现得比较纯粹，对它也就比较容易作出正确的总结和概括。

由于有些实验无法依赖模拟的物理现象进行，所以即使在生产水平比较高的现代，天然物理现象的实验研究仍有不可忽视的作用，有时甚至是十分必要的。爱因斯坦（德国，1879~1955）所预言的引力波的实验研究，就目前看只有依赖于天然物理现象。引力波存在与否是对广义相对论的一个关键性的检验。理论计算表明，引力波的效应实在太微弱，如用一根长20米，粗1.6米，重500吨的圆棒以每秒钟28转的转速绕中心运动所产生的引力波只有 2.2×10^{-29} 瓦特。一次1万7千吨级的核爆炸，在距中心10米处的引力波通量也只

有每平方厘米 10^{-16} 瓦特。因此，要在地球上产生引力波，并进行实验，在目前情况下是无法做到的。有关引力波实验必须着眼于宇宙空间这个庞大的“实验室”。宇宙间存在着一些急速旋转的中子星（内部停止了核燃烧，而压缩得极端紧密的恒星体），如果这样的中子星互相旋转，或者一个中子星同一个“黑洞”互相旋转，这样就组成一个双星体系，就应该发射出引力波。因此，国际自然科学界公认，引力波源只有从天空去找，尤其是以两颗转动着的致密星体所构成的双星体系作为实验研究的对象。如果不依赖天然的物理现象，就很难进行引力波实验研究。

尽管有些物理现象可人为地产生出来供实验研究之用，但是，如果宇宙间亦存在这样一些物理现象可供人们进行实验研究的话，人们往往会利用这些天然的物理现象进行实验研究。这不仅是因为前者与后者相比往往费资巨大，而且还因为后者往往会出现一些前者目前无法产生的现象。高能物理的实验研究，可以借助于高能加速器进行，也可利用高山乳胶室对宇宙射线直接分析研究。但是，两者相比，后者不仅比前者节省资金和财力（一台大型的加速器耗资上百亿元，还要有极其强大的工业基础作后盾），而且可以弥补前者的某些不足。目前世界上最大的高能加速器为5千亿电子伏，它能产生的粒子就有一定的限制了，而宇宙射线却是来自宇宙空间的高能粒子流，天体演化过程中一些巨大规模的爆炸现象，往往是在极短的时间内基本粒子的激烈反应，这是一个无限丰富的高能粒子源。它可以产生高能加速器无法

产生的极高能量的粒子。我国西藏新建的高山乳胶室，观察到了能量超过400万亿电子伏特的粒子，这种粒子要相当于世界上最大的加速器千倍以上的能量才能产生。从高能物理发展的历史来看，很多基本粒子都是在宇宙射线的实验研究中发现的，如正电子， μ 子， π 介子、K介子、 Λ 超子、 Σ 超子等，并且能测出它们的质量、电荷的符号、寿命、衰变方式、相互作用的某些规律，加深了人们对物质结构的认识，为基本粒子物理学的形成和发展奠定了重要的基础。

物理学研究的历史和现状都说明，天然物理现象的实验研究是不可缺少的。从理论上来分析也是不可少的。物质运动不断地发展深化，人们的认识也随着实践的发展而深化。但是，人们不能穷尽物质运动，不能穷尽无限发展的宇宙和自然。因此，任何时候都存在着一些未被人们认识的天然物理现象供人们去探讨，所以天然物理现象的实验研究有无限的生命力，永远不会被人为物理现象的实验研究所取代。

天然物理现象的实验研究同一切事物一样都有其局限性。在这类实验研究中，人们虽然可以发挥自己的主观能动性，但总的来说，是处于一种被动的地位。这是因为天然物理现象受到各种各样天然因素的影响和制约。任何天然因素的偶然变化，都有使实验发生障碍、甚至使整个实验无法进行。因此，实验的计划和进程没有什么确实的保证，有些实验效率非常低，时间无法掌握。对于宇宙射线的研究，人们当然希望不断观察到新的粒子和新的现象，可是，这些不速之客何时到来，确实很难猜测。所以，人们在研究某一种物

理运动时，决不会仅仅依赖于天然现象的实验研究，只要有条件，都会进行人为物理现象的实验研究，以弥补天然现象的实验研究的不足。

(三) 模拟物理现象的实验研究

模拟物理现象的实验研究，比天然物理现象的实验研究有它的优越性。

首先，实验的对象是人为的或人工控制的，可以根据人们研究的需要，突出重点，抓住关键，排除干扰，使研究的问题更加集中，更加典型。这就更有利于人们准确认识和把握所研究的物理现象，进而作出正确的概括。例如，不同的物体同时并在同一高度落下，人们往往认为重的物体要先着地，伽利略在比萨斜塔用炮弹和子弹做实验时，炮弹确是比子弹早一点着地（炮弹着地时，子弹离地面2~3英寸）。如果把一条足够长的玻璃管抽成高真空做实验的话，在玻璃管里同一高度的鹅毛和铁块会同时着地。这是因为排除了空气的干扰，使自由落体的物理本质充分地表现出来。在通常的电磁实验中，还有所谓电屏蔽、磁屏蔽等，目的都在于排除干扰，使实验突出重点，抓住关键。

其次，模拟物理现象的实验研究能主动掌握实验的时间、地点、周期，这对研究工作本身是十分重要的，它直接关系到实验的成果和效率。比如测定光速实验。1672~1676年，勒麦（丹麦，1644~1710）在巴黎天文台利用木星的卫