

上册

向义和 编著

大学物理导论

物理学的理论与方法、历史与前沿



清华大学出版社



大学物理导论

——物理学的理论与方法、
历史与前沿

(上册)

向义和 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是部内容丰富、独具特色的导论性的大学物理教材。全书分上、下两册。上册包括力学与相对论,气体动理论与热力学。下册包括电磁学,光学,原子与原子核物理学。书中叙述了物理概念的形成、发展、演变过程,具体、深入地揭示了物理概念的内涵。在阐述物理学的基本原理和基本定律时,还介绍了这些理论建立的过程,在重大物理发现中物理学家探索的历程,分析了他们的研究思路、创造性工作特点以及所用的研究方法。本书在保持经典物理知识体系相对完整的同时,还介绍了物理学的新进展和前沿物理中的新知识,例如守恒定律与对称性,混沌与牛顿力学的内在随机性,广义相对论与近代宇宙论,熵与信息及遗传,耗散结构以及原子核和基本粒子等等。

本书可供经济管理、人文社科、师范、农医等有关学科的本科生作为物理教材,也可供物理教师、从事科学史和哲学研究的人员以及科技、教育等领域的干部参阅。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理导论:物理学的理论与方法、历史与前沿(上册)/向义和编著.

—北京:清华大学出版社,1999.1

ISBN 7-302-03224-6

I. 大… II. 向… III. 物理学 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 34932 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编:100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京市清华园胶印厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:850×1168 1/32 印张:17.125 字数:441 千字

版 次:1999 年 2 月第 1 版 1999 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-03224-6/O·204

印 数:0001~5000

定 价:19.80 元

前 言

物理学的发展促进了其它自然科学的发展,推动了高新技术的广泛应用,极大地改变了当代社会经济的面貌。为了适应新世纪对人才在科技知识、创新能力和全面素质方面的要求,1995年清华大学在非理工科专业开设了《大学物理导论》课程。经过四年来的教学实践,编者对教材进一步加以修改和充实,使其具有更广阔的适用范围。本书可以作为经济管理、人文社科、师范和农医等有关学科的物理教材使用。

非理工科物理教材应与理工科物理教材有不同的特点和侧重点,它应加强物理学的思想性,突出物理学的方法论,使读者从中不仅学到物理学知识,而且还学到物理学的思想方法。因此,本书在保持物理知识体系相对完整的前提下,删节了大量仅具有技术性意义的内容,增添了近代物理学和物理思想发展史内容。

本书分上、下两册。上册包括力学与相对论,气体动理论与热力学。下册包括电磁学,光学,原子与原子核物理学。在各部分中加强了对物理学基本概念、基本原理和基本定律的解释与阐述,介绍了物理理论的建立、物理概念的形成和重大物理发现的过程以及物理学的新进展和前沿物理中的新知识。在推导物理学的基本公式时力求简练,避免烦琐的数学运算。为了使学生加深对物理学基本概念的理解,熟悉物理学的工作语言和描述方法,提高他们分析问题和解决问题的能力,在各章后都有适当的思考题和习题。

具体讲来,本书的取材与编写具有以下几个特点:

1. 用历史的方法揭示物理概念的内涵

本书力求从物理实验事实和物理发展史实出发,具体地引入

物理概念,并深入地揭示物理概念的内涵。例如,时间与空间的概念,惯性与质量的概念,能量与熵的概念,场与真空的概念,感生电场与位移电流的概念,量子与波粒二象性的概念等等。使读者了解物理概念的形成、发展、演变过程,对物理概念的来龙去脉以及它们之间的相互联系,有较为深入和全面的理解。特别是通过介绍历史上一系列不同物理学说之争,例如,力学中两种量度之争,电学中超距作用和近距作用之争,热学中热的运动说和热质论之争,光学中波动说和粒子说之争,近代物理中在对波函数的物理解释上爱因斯坦与哥本哈根学派之争等等,可使读者有身临其境的参与感,而且从正反两方面的对比中更能加深对概念的理解,有利于从理性思维的高度把握本门学科的发展。

2. 坚持课程内容现代化的方向

加强近代物理是本书的又一特点,书中将相对论、量子论的基本原理和基本概念以及近代物理在高新技术和交叉学科中的应用纳入普通物理教学,同时用现代物理观念来审视经典物理内容。本书对物理学的前沿进展做了适当的介绍,例如,牛顿力学的内在随机性与混沌概念,守恒定律与对称性,广义相对论与近代宇宙论,熵与信息,耗散结构,以及原子核和基本粒子等等。使读者了解相对论的时空观,近代的宇宙观,大自然的复杂性,以及人们对物质结构深入认识的情况,有助于培养辩证唯物主义的哲学思想,树立科学的世界观。

3. 突出物理思想和物理方法论的教育

本书注意分析物理学中基本学术思想发展的历史脉络,尽可能切实地反映物理思想发展中的各个里程碑阶段,揭示科学发展的历史规律。在科学方法的训练上,除了通常的逻辑方法以及来源于原理概念的基本方法外,还特别注意介绍科学家独特的、创造性的思维方法。本书将物理学史上一系列重大发现作为“案例”进行了剖析,例如,伽利略对落体运动的研究,开普勒定律的发现,牛顿

万有引力定律的建立,爱因斯坦狭义相对论的建立,法拉第电磁感应定律的发现,麦克斯韦电磁场理论的建立,普朗克常量的发现,玻尔原子的起源,德布罗意波的发现,中子和其它基本粒子的发现,以及核裂变和弱相互作用中宇称不守恒的发现等等。通过介绍物理学家探索的历程,分析他们的研究思路,创造性工作特点以及所用的研究方法,使读者清楚地看到,科学发现的历程并不是一帆风顺的,它所经历的是一条非常曲折、非常艰难的道路,并从中吸取科学家们成功的经验和失败的教训,获得科学方法论的教益与启迪,进而培养探索精神、创新意识和创造性的思维能力。

4. 把物理学作为人类文化的一部分来介绍

物理学是人类文化的一个重要组成部分。书中特别介绍了中国古代在物理学上的成就,对世界经济和文化曾经产生过的深远影响。还介绍了近代物理学革命发生的社会历史条件和思想文化背景,以及物理学革命对观念变革、科技革新和社会进步带来的影响,从而正确认识科学与生产技术的关系,深刻理解“科学技术是第一生产力”。

本书融会了本人多年来从事物理教学与物理学史研究的成果,又同时借鉴了国内外物理教材,吸取了国内学者研究中国物理学史的成果以及我的师长和同事们丰富的教学经验,编者在此对他们表示衷心的感谢。

向义和
1998年10月

绪论 物理学的作用与意义

物理学是一门基础科学,它研究的是物质运动的基本规律。不同的运动形式具有不同的运动规律,因而要用不同的研究方法处理,基于此,物理学又分为力学、热学、电磁学、光学和原子物理学等各个部分。按照物理学的历史发展又可以分为经典物理与近代物理两部分。近代物理是相对于经典物理而言的,泛指以相对论和量子论为基础的 20 世纪物理学。由于物理学研究的规律具有很大的基本性与普遍性,所以它的基本概念和基本定律是自然科学的很多领域和工程技术的基础。由于物理学知识构成了物质世界的完整图象,所以它也是科学的世界观和方法论赖以建立的基础。

0.1 物理学是自然科学的带头学科

物理学作为严格的、定量的自然科学的带头学科,一直在科学技术的发展中发挥着极其重要的作用。它与数学、天文学、化学和生物学之间有密切的联系,它们之间相互作用,促进了物理学及其它学科的发展。

物理学与数学之间有深刻的内在联系。物理学不满足于定性地说明现象,或者简单地用文字记载事实,为了尽可能准确地从数量关系上去掌握物理规律,数学就成为物理学不可缺少的工具,而丰富多彩的物理世界又为数学研究开辟了广阔的天地。物理学与数学的关系密切,渊源流长。历史上有许多著名科学家,如牛顿、欧拉、高斯等,对于这两门科学都做出了重要贡献。19 世纪末、20 世纪初的一些大数学家如彭加勒、克莱因、希尔伯特等,尽管学术倾

向不同,但都精通理论物理。近代物理学中关于混沌现象的研究也是物理学与数学相结合的结果。

物理学与天文学的关系更是密不可分,它可以追溯到早期开普勒与牛顿对行星运动的研究。现在提供天文学信息的波段已经从可见光频段扩展到从无线电波到 X 射线宽广的电磁波频段,已采用了现代物理所提供的各种探测手段。另一方面,天文学提供了地球上实验室所不具备的极端条件,如高温、高压、高能粒子、强引力等,构成了检验物理学理论的理想的实验室。因此,几乎所有的广义相对论的证据都来自天文观测。正电子和 μ 子都是首先在宇宙线研究中观测到的,为粒子物理学的创建做出了贡献。热核反应理论是首先为解释太阳能源问题而提出的,中子星理论则因脉冲星的发现得到证实,而现代宇宙论的标准模型——大爆炸理论,是完全建立在粒子物理理论基础上的。

物理学与化学本是唇齿相依、息息相关的。化学中的原子论、分子论的发展为物理学中气体动理论的建立奠定了基础,从而能够对物质的热学、力学、电学性质做出满意的解释;而物理学中量子理论的发展,原子的电子壳层结构的建立又从本质上说明了各种元素性质周期性变化的规律。量子力学的诞生以及随后固体物理学的发展,使物理学与化学研究的对象日益深入到更加复杂的物质结构的层次,对半导体、超导体的研究,愈来愈需要化学家的配合与协助,在液晶科学、高分子科学和分子膜科学取得的进展是化学家、物理学家共同努力的结果。另一方面近代物理的理论和实验技术又推动了化学的发展。

物理学在生物学发展中的贡献体现在两个方面:一是为生命科学提供现代化的实验手段,如电子显微镜、X 射线衍射、核磁共振、扫描隧道显微镜等;二是为生命科学提供理论概念和方法。从 19 世纪起,生物学家在生物遗传方面进行了大量的研究工作,提出了基因假设。但是,基因的物质基础问题,仍然是一个疑问。在

本世纪 40 年代,物理学家薛定谔对生命的基本问题感兴趣,提出了遗传密码存储于非周期晶体的观点,由于在他的小册子《生命是什么?》中对此进行了阐述而广为人知。40 年代,英国剑桥大学的卡文迪什实验室开展了对肌红蛋白的 X 射线结构分析,经过长期的努力终于确定了 DNA(脱氧核糖核酸)的晶体结构,揭示了遗传密码的本质,这是 20 世纪生物科学的最重大突破。分子生物学已经构成了生命科学的前沿领域,生物物理学显然也是大有可为的。

0.2 物理学是现代技术革命的先导

一般说来,物理学与技术的关系存在两种基本模式:其一是由于生产实践的需要而创建了技术,例如 18 世纪至 19 世纪蒸汽机等热机技术,然后提高到理论上来,建立了热力学,再反馈到技术中去,促进技术的进一步发展;其二是先在实验室中揭示了基本规律,建立比较完整的理论,然后再在生产中发展成为一种全新的技术。19 世纪电磁学的发展,提供了第二种模式的范例。在法拉第发现电磁感应和麦克斯韦确立了电磁场方程组的基础上,产生了今日的发电机、电动机、电报、电视、雷达,创建了现代的电力工程与无线电技术。正如美籍华裔物理学家李政道所说:“没有昨日的基础科学就没有今日的技术革命”。

在当今世界中,第二种模式的重要性更为显著,物理学已成为现代高技术发展的先导与基础学科。反过来,高技术发展对物理学提出了新的要求,同时也提供了先进的研究条件与手段。所谓高技术指的是那些对社会经济发展起极大推动作用的当代尖端技术。下面就物理学的基础研究在当前最引人注目的高技术,即核能技术、超导技术、信息技术、激光技术、电子技术中所起的突出作用,作一概略的介绍。

能源的获取和利用是工业生产的头等大事,20 世纪物理学的

一项重大贡献就在于核能的利用,这可以说是由基础研究生长出来的一项全新的技术。1905年爱因斯坦质能关系式的提出,确立了核能利用的理论基础。物理学家1932年发现中子,1939年发现在中子引起铀核裂变时可释放能量,同时有更多的中子发射,于是提出利用“链式反应”来获得原子能的概念。40年代,根据重核裂变能量释放的原理,建立了原子反应堆,使核裂变能的利用成为现实。50年代,根据轻核在聚变时能量释放的原理,设计了受控聚变反应堆。聚变能不仅丰富,而且安全清洁。可控热核聚变能的研究将为解决21世纪的能源问题开辟道路。

在能源和动力方面,可以无损耗地传输电流的超导体的广泛应用,也可能导致一场革命。1911年荷兰物理学家昂尼斯(Onners)发现纯的水银样品在4.2K附近电阻突然消失,接着又发现其它一些金属也有这样的现象,这一发现开辟了一个崭新的超导物理领域。1957年BCS理论进一步揭示超导电性的微观机理,1962年约瑟夫森效应的发现又将超导的应用扩展到量子电子学领域。在液氮温区(1K~5.2K)工作的常规超导体所绕成的线圈已在加速器、磁流体发电装置及大型实验设备中用来产生强磁场,可以节约大量电能;在发电机和电动机上应用超导体,已经制成接近实用规模的试验性样机。由于这些成功的应用,再加上超导储能、超导输电和悬浮列车等的应用,可以看到高温超导体具有广阔的应用前景。自从1987年美籍华裔物理学家朱经武和中国科学院赵忠贤等人发现液氮温区(63K~80K)的高温超导体问世以来,超导材料的实用化已取得较大进展,它在大电流技术中的应用前景是最激动人心的。

信息技术在现代工业中的地位日趋重要,计算技术、通信技术和控制技术已经从根本上改变了当代社会的面貌。如果说第一次工业革命是动力或能量的革命,那么第二次工业革命就是信息或负荷的革命。人类迈向信息时代,面对着内容繁杂、数量庞大、形式

多样的日趋增值的信息,迫切要求信息的处理、存储、传输等技术从原来依赖于“电”的行为,转向于“光”的行为,从而促进了“光子学”和“光电子学”的兴起。光电子技术最杰出的成果是在光通信、光全息、光计算等方面。光通信于 60 年代开始提出,70 年代得到迅速发展,它具有容量大、抗干扰强、保密性高、传输距离长的特点。光通信以激光为光源,以光导纤维为传输介质,比电通信容量大 10 亿倍。一根头发丝细的光纤可传输几万路电话和几千路电视,20 根光纤组成的光缆每天通话可达 7.6 万人次,光通信开辟了高效、廉价、轻便的通信新途径。以光盘为代表的信息存储技术具有存储量大、时间长、易操作、保密性好、低成本的优点,光盘存储量是一般磁存储量的 1000 倍。新一代的光计算机的研究与开发已成为国际高科技竞争的又一热点。21 世纪,人类将从工业时代进入信息时代。

激光是 20 世纪 60 年代初出现的一门新兴科学技术。1917 年爱因斯坦提出了受激辐射概念,指出受激辐射产生的光子具有频率、相、偏振态以及传播方向都相同的特点,而且受激辐射的光获得了光的放大。他又指出实现光放大的主要条件是使高能态的原子数大于低能态的原子数,形成粒子数的反转分布,从而为激光的诞生奠定了理论基础。50 年代在电气工程师和物理学家研究无线电微波波段问题时产生了量子电子学。1958 年汤斯等人提出把量子放大技术用于毫米波、红外以及可见光波段的可能性,从而建立起激光的概念。1960 年美国梅曼研制成世界上第一台激光器。经过 30 年的努力,激光器件已发展到相当高的水平:激光输出波长几乎覆盖了从 X 射线到毫米波段,脉冲输出功率达 $10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$,最短光脉冲达 $6 \times 10^{-15}\text{s}$ 等。激光成功地渗透到近代科学技术的各个领域。利用激光高亮度、单色性好、方向性好、相干性好的特点,在材料加工、精密测量、通信、医疗、全息照相、产品检测、同位素分离、激光武器、受控热核聚变等方面都获得了广泛的应用。

电子技术是在电子学的基础上发展起来的。1906年,第一支三极电子管的出现,是电子技术的开端。1948年物理学家发明了半导体晶体管,这是物理学家认识和掌握了半导体中电子运动规律并成功地加以利用的结果,这一发明开拓了电子技术的新时代。50年代末发明了集成电路,而后集成电路向微型化方向发展。1967年产生了大规模集成电路,1977年超大规模集成电路诞生。从1950年至1980年的30年中,依靠物理知识的深化和工艺技术的进步,使晶体管的图形尺寸(线宽)缩小了1 000倍。今天的超大规模集成电路芯片上,在一根头发丝粗细的横截面积上,可以制备40个左右的晶体管。微电子技术的迅速发展使得信息处理能力和电子计算机容量不断增长。40年代建成的第一台大型电子计算机,自重达30t,耗电200kW,占地面积150m²,运算速度为每秒几千次,而在今天一台笔记本电脑的性能完全可以超过它。面对超大规模电路中图形尺寸不断缩小的事实,人们已看到,半导体器件基础上的微电子技术已接近它的物理上和技术上的极限。要求物理学家从微结构物理的研究中,制造出新的能满足更高信息处理能力要求的器件,使微电子技术得到进一步发展。

0.3 物理学是科学的世界观和方法论的基础

物理学描绘了物质世界的一幅完整的图象,它揭示出各种运动形态的相互联系与相互转化,充分体现了世界的物质性与物质世界的统一性,19世纪中期发现的能量守恒定律,被恩格斯称为伟大的运动基本定律,它是19世纪自然科学的三大发现之一及唯物辩证法的自然科学基础。著名的物理学家法拉第、爱因斯坦对自然力的统一性怀有坚强的信念,他们一生始终不渝地为证实各种现象之间的普遍联系而努力。

物理学史告诉我们,新的物理概念和物理观念的确立是人类

认识史上的一个飞跃,只有冲破旧的传统观念的束缚才能得以问世。例如普朗克的能量子假设,由于突破了“能量连续变化”的传统观念,而遭到当时物理学界的反对。普朗克本人由于受到传统观念的束缚,在他提出能量子假设后多年,长期惴惴不安,一直徘徊不前,总想回到经典物理的立场。同样,狭义相对论也是爱因斯坦在突破了牛顿的绝对时空观的束缚,形成了相对论时空观的基础上建立的。而洛伦兹由于受到绝对时空观的束缚,他提出了正确的坐标变换式,但不承认变换式中的时间是真实时间,一直提不出狭义相对论。这说明正确的科学观与世界观的确立,对科学的发展具有重要的作用。

物理学是理论和实验紧密结合的科学。物理学中很多重大的发现,重要原理的提出和发展都体现了实验与理论的辩证关系:实验是理论的基础,理论的正确与否要接受实验的检验,而理论对实验又有重要的指导作用,二者的结合推动物理学向前发展。一般物理学家在认识论上都坚持科学理论是对客观实在的描述,著名理论物理学家薛定谔声称物理学是“绝对客观真理的载体”。

综上所述,通过物理教学培养学生正确的世界观是物理学科本身的特点,是物理教学的一种优势。要充分发挥这一优势,提高自觉性,把世界观的培养融会到教学中去。

一个科学理论的形成过程离不开科学思想的指导和科学方法的应用。正确的科学思维和科学方法是在人的认识途径上实现从现象到本质,从偶然性到必然性,从未知到已知的桥梁。科学方法是学生在学习过程中打开学科大门的钥匙,在未来从事科技工作时进行科技创新的锐利武器,教师在向学生传授知识时,要启迪引导学生掌握本门课程的方法论,这是培养具有创造性人才所必须的。

本门课程的方法论包括以下三方面的内容。

1. 逻辑方法

逻辑思维是科学抽象的重要形式,它是自然科学长期发展中形成的较严密的逻辑推理。在物理学中通常使用的有两种思维方法:分析—综合法,归纳—演绎法。在热力学中常使用反证法。

(1) 分析—综合法 分析是把整体分解为部分;综合是把对象的各个部分结合起来,它是与分析相反的一种思维过程。例如抛射体运动就可以分解为竖直方向的匀加速运动和水平方向的匀速运动,二者的合成就是抛体运动。物理学中的元过程法是一种特殊的分析方法,如牛顿把一切物体间的吸引力归结为粒子间的引力,安培把电流之间的作用力归结为电流元之间的作用力等等。

(2) 归纳—演绎法 归纳法是从个别到一般的认识方法,演绎法则相反,它是从一般到个别的认识方法,即从已知的一般原理出发来考察某一特殊对象,从而推演出有关这个对象的结论的方法。归纳和演绎是科学认识过程中两个相互独立又相互依存的思维方法,都是科学认识过程中不可缺少的。

归纳法在科学发现和理论建立的过程中起着重要的作用。对于物理学家来说,真正使人兴奋的因素来自归纳过程。比如牛顿通过对运动的研究,探索自然界的力的定律,从而发现了万有引力定律。安培通过观测电流之间相互作用的实验建立了电流元相互作用的定律。运用演绎法,由已知力的规律做出明确的预见,海王星的发现就是一个突出例证,它对万有引力理论又起了巨大的支持作用。

2. 与物理学基本原理相联系的基本方法

通过本书的学习,我们可以掌握来源于原理概念的基本方法。例如来源于能量守恒原理的能量方法,正因为我们坚持在任何物理过程中能量守恒定律应当成立,乃至可预言一种新的能量形式。泡利在分析 β 射线能谱时,为了坚持能量守恒,预言了中微子的存在,就是一个突出的例子。在分子运动论中有来源于统计平均原理的统计平均方法,在电磁学中有来源于高斯定理和安培环路定律

的对称性分析方法,还有来源于叠加原理的分析方法,在力学中有来源于牛顿定律的隔离体受力分析法等等。

3. 科学发现中创造性的思维方法

在实际的科学发现中,不存在严格的逻辑通道,科学的创造常常是由于科学家们独特的创造性思维的结果。在以往的教学,大都是只讲授前人的研究成果,而对于前人如何得到这些成果的思路和研究方法却很少提到。这好像只给学生“点石成金”的金子,而没有使学生练出这种“手指”。学习在科学探索中的方法的重要性,正如法国物理学家拉普拉斯所说:“认识一位巨人的研究方法,对于科学的进步……并不比发现本身更少用处,科学研究的方法通常是极富兴趣的部分。”现把科学研究中常用的方法列举如下。

(1) 物理模型 物理模型是为了便于研究而建立的高度抽象的反映事物本质特征的理想物体。人们运用物理模型便于计算推理,探索物质运动的规律,建立物理方程。在构造物理模型时,要对复杂事物加以抽象简化,突出研究对象的主要特征。例如,牛顿在发现万有引力定律的过程中,就使用了抽象简化建立理想模型的方法:从圆运动到椭圆运动,从质点到球体,从单体问题到两体问题。他将理想模型与实际事物比较,再适当加以修正,最后使物理模型与物理世界基本符合。

物理学中有许多通过物理模型建立物理方程的实例,比如克劳修斯提出理想气体模型,推导出气体压强公式;范德瓦尔斯分子模型的提出,导致真实气体方程的建立;卡诺提出理想热机模型和理想循环过程,导致卡诺定理的确立;安培提出分子电流模型,对物质磁性的本质作了解释;麦克斯韦用分子涡旋的力学模型,导出了磁力公式、磁能公式,解释了电磁感应现象。物理学中还有质点、刚体、单摆、点电荷、绝对黑体以及各种原子模型都是物理模型。分析前人在研究过程中建立模型的根据和思路,有助于增进对科学思想的理解。

(2) 理想实验 理想实验是一种按照实验的模型展开的思想推理过程,是逻辑推理的一种方法和形式。它避免了现实实验中的许多困难,为揭露旧理论的缺陷、探索新的理论提供了简便的方法。例如伽利略为说明惯性原理提出的球沿光滑斜面下滑又上升的理论实验,牛顿为揭示天体运动与地上运动的统一性而构思的在山巅上作平抛运动的理想实验等等。物理学发展史上,在一些重大概念产生的过程中,或者新旧理论交替的重要时刻,理想实验都起着重要作用。例如,爱因斯坦为说明同时性相对性的“火车”,为说明等加速力场与引力场等价、惯性质量与引力质量等价的“升降机”,以及为说明热力学规律是统计性规律的“麦克斯韦妖”等等。这些理想实验都形象、生动、具体,使人们更便于接受新的物理思想,更容易理解新的物理概念。

(3) 物理类比 物理类比方法是利用一种科学定律和另一种科学定律之间的部分相似性,用它们中的一个去说明另一个。类比是建立在两类定律在数学形式上相似的基础上。类比可以沟通不同领域的研究方法,可以在解析的抽象形式和假设之间提供媒介,还可以启发新的物理思想,帮助人们去认识和发展一些尚待研究的物理过程和规律。例如,麦克斯韦通过把力线和不可压缩流体的流线加以类比,找到了法拉第力线的数学描述;德布罗意通过力学和光学类比,引进了波粒二象性概念,提出了“物质波”假设;薛定谔通过力学与光学类比,创立了波动力学;普利斯特利通过电力与引力的类比,根据金属容器内表面上没有任何电荷,在内部也没有任何电力和早已做出的均匀球壳内万有引力为零的论证,早在库仑定律提出 18 年前,就提出了一个机智的猜测:电的吸引力遵从万有引力相同的规律,即与距离的平方成反比。

(4) 物理假说 假说是根据一定的科学事实和科学理论对研究中的问题所提出的假定性的看法和说明。假说在科学发展过程中具有十分重要的作用。恩格斯在《自然辩证法》中明确指出:“只

要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说。”假说既是科学研究的主要方法，又是科学认识发展的必要环节。例如麦克斯韦为了解释在变化磁场中的导体回路上所产生的感应电流的现象，提出了感生电场的假说；为了解决安培环路定律在传导电流不连续时所遇到的困难，提出了位移电流的假说。这两个假说在电磁场理论的建立过程中起着极为重要的作用。又如 20 世纪初物理学上一系列重大发现：X 射线、放射性、电子的发现等，与原子不可分的学说发生冲突，于是产生了各种原子结构的假说。又如普朗克为了解释他导出的与实验结果完全一致的辐射公式提出了能量量子化的假说。又如爱因斯坦解释光电效应实验提出的光量子假说。德布罗意从 X 射线所表现出来的波和粒子的双重特性出发，在光的波粒二象性思想的启示下，提出了物质波的假说。

物理学研究方法还有佯谬法，如爱因斯坦的追光悖论，伽利略的落体佯谬，还有科学想象、试探猜测以及科学直觉等创造性的思维方法，它们在物理原理的建立中都起了重要作用。