

绪 论

人类对于物质世界的观察和探索，可追溯到久远的年代。在公元前的最后一个千年内，标志性的研究成果主要有：简单机械的研究，如滑轮、斜面、杠杆及滚动摩擦的应用；光学现象的研究，如光的直线传播、小孔、平面镜、凸面镜和凹面镜成像；电磁现象的研究，如摩擦起电现象和天然磁石磁性的发现；天文现象的研究，如古希腊毕达哥拉斯学派论证大地是球形的；流体静力学的研究，如阿基米德的浮力定律；声学方面的研究，如钟、鼓、磬的造型与音色、响度的关系；物质组成的研究，如德谟克里特的原子论思想等等。在公元第一个千年内，标志性的成果主要有：中国王充在《论衡》中记述了司南（指南勺）和球面镜取火；古希腊托勒密测量了光的全内反射临界角；中国张衡制成地动仪；孔颖解释虹的成因；中国宋代出现最早的火箭（一种节日烟火）；宋代曾公亮阐述虹吸现象；古希腊希隆记述了蒸汽转动涡轮；托勒密在《至大论》中系统阐述地球中心说等等。1001年到欧洲文艺复兴时代，标志性的研究成果主要有：1030年，阿拉伯的阿勒·哈增明确表述了光的反射定律；1040年，曾公亮记载磁倾角；1054年，中国宋史首次记载了超新星爆发；1086—1095年，沈括在《梦溪笔谈》中记录了磁偏角；13世纪，欧洲人开始使用眼镜；意大利的维特罗用空气的运动解释星光的闪烁；1543年，波兰的哥白尼出版《天体运动论》，正式提出日心说；1584—1596年，中国朱载堉阐明了声学中的十二平均律；1586年，荷兰的斯台文发现力的分解和合成的平行四边形法则；1583—1590年，伽利略发现摆的等时性，抛射体的轨迹是抛物

线；荷兰的詹森发明第一台显微镜；1593年，伽利略发明空气
验温器；1608—1619年，开普勒总结出行星运动三大定律；1610
年，伽利略发现月球的山谷、金星的盈亏、木星的卫星以及银河
系由无数颗星星组成；1637年，中国宋应星在《论气》中明确
提出声音源于空气振动；1638年，伽利略出版《两种新科学》
一书，阐明了落体定律。

伽利略是实验物理学的创始人，从他开始，物理学才成为真
正的科学。在此后的年月里，物理学取得了突飞猛进的发展，归
结起来共经历了五次大的综合，并引发了三次工业革命。17世
纪，英国物理学家牛顿集伽利略、开普勒、笛卡尔、胡克等人之
大成，把天体运动和地面上物体的运动统一起来，建立了以牛顿
运动三大定律和万有引力定律为基础的统一的动力学理论体系，
完成了物理学发展史上的第一次大综合。18世纪，随着瓦特发
明蒸汽机（1768年），人们对热现象的研究逐步深入，经迈尔、
焦耳、开尔文、克劳修斯、吉布斯、布朗、玻耳兹曼等人的工
作，逐渐摒弃了热质说，提出了能量转换和守恒定律，揭示了热
现象的微观本质，建立了热力学和经典的统计物理学，成就了物
理学发展史上的第二次大综合。经典力学和热学在工农业生产、
交通运输等领域的广泛应用，引发了以蒸汽机、内燃机的实用化
为主要标志的第一次工业革命，使生产力得以飞速发展。18—19
世纪，电磁学也有了前所未有的飞速发展，麦克斯韦在库仑、安
培和法拉第等人研究的基础上，完成了物理学的第三次大综合，
他建立的电磁场理论，不仅把电和磁统一起来，从理论上预言了
电磁波的存在，而且把光学也包括进来。这次大综合引发了以电
气化和电磁波通讯为主要标志的第二次工业革命。19世纪末20
世纪初，随着研究工作从宏观、低速向微观、高速领域深入，新
的物理现象相继被揭示出来，例如电子和X射线的发现、光速的
精确测量、天然放射性的发现、黑体辐射现象和光电效应的深

入研究等等，经典物理学的局限性突现在人们面前。1905年，爱因斯坦在分析当时有关光速测量方面出现的种种矛盾的基础上，创立了狭义相对论，把物理学规律扩展到高速运动领域，建立了新的时空观。这是物理学发展史上的第四次大综合。与此同时，普朗克在解释黑体辐射的实验规律时提出了量子论假设，经爱因斯坦、玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔、狄拉克等人的努力，发展了量子力学，把物理规律扩展到微观领域，完成了物理学发展的第五次大综合。这两次综合又引发了以信息革命和原子能的和平利用为主要标志的、至今仍在持续着的第三次工业革命。

物理学研究物质的存在形式及其运动规律，其研究领域跨越了一个极其广阔的时间和空间范围。从时间上来说，向前一直可追溯到宇宙诞生的年代，向后一直延伸到宇宙的归宿。它不仅研究人类活动中遇到的一系列时间过程，也研究大大超越人类生命极限的超长时间过程，如恒星演化、质子寿命等，以及微观物质世界中发生的超短暂过程。从空间范围来说，它包括宇观、宏观、介观及微观世界，速度变化范围从静止不动一直到速度极限，即真空中的光速。物理学研究的内容也十分广泛，从物质的最简单运动形式，即机械运动，直到生命过程中的复杂运动。因此，把物理学（还有数学）称为一切自然科学的基础，是当之无愧的。

物理学的发展使它自身形成了一个庞大的理论体系，也极大地促进了相关学科的发展。如经典力学逐渐分化出理论力学、刚体动力学、流体力学、弹性和塑性力学、结构力学、材料力学等分支学科。热学和统计物理分化出量热学、热工学、非平衡统计物理等分支学科。电磁学分化出电工学、电力学、无线电学、电子线路等分支学科。光学分化出应用几何光学、光度和色度学、光谱学、晶体光学、非线性光学、傅里叶光学等。量子物理分化

出半导体物理学、凝聚态物理学、等离子体物理学、激光物理学、原子物理和核物理学、粒子物理学、量子场论、量子统计物理学等等。除此之外，物理学还向它的周边学科渗透，促进了相应学科的发展，如地球物理学、大气物理学、天体物理学、生物物理学，也带动了其他自然科学的发展，如数学、化学、医学、地质学、信息科学、生物学和生命科学等。随便举几个例子：元素周期表起初是化学研究的成果，俄国化学家门捷列夫发现，如将当时已知的元素按原子量的次序排列，它们的化学性质显现出明显的周期性变化。这是人类认识史的光辉篇章之一。但是，这种周期性也有个别例外，其一是周期表中有些地方要留出一些空位，其二是原子量大小的次序有几处需要颠倒排列。前者曾指导人们有意识地寻找新元素，并取得成功，后者是因为自然界中存在所谓的同位素。这个问题的解决主要是物理学的贡献。另一个原因也值得一提，这就是以往所作的原子量的测量存在一些错误，元素周期表的发现为纠正这些错误指明了方向。元素周期性正确地反映了自然界的客观规律，但它只是“形的逻辑”，没有揭示出事物的本质。周期性的物质基础是什么？每个周期中元素的个数，即周期长度 2, 8, 18, 32, ... 到底意味着什么？这些带根本性的问题都没有任何解释，后来通过物理学的研究发现，原子序数正是原子核内的核电荷数，也就是中性原子核外的电子数，同位素来源于核内质子数相同而中子数不同，周期长度 2, 8, 18, 32, ... 是微观粒子所遵循的动力学的必然结果。这样，周期表的“形的逻辑”才上升为“物的逻辑”。这种对现象的本质认识产生了丰硕的成果，例如人类可据此猜测构成天体的元素与地球上的元素相同，这一猜测又为光谱分析所证实，而天体的光谱与地球上同种元素光谱的差别又使我们对天体的物理、化学性质有了更清楚的认识。这个例子充分反映了物理学在一切自然科学中的基础地位。另一个例子是，近代生命科学的研究发现，

一切生物体的遗传信息密码，都编制在一种叫作脱氧核糖核酸(DNA)的氨基酸分子中，这种分子由几百万甚至上亿个原子组成，它们排列成具有双螺旋结构的长链，双螺旋的旋转有确定的方向。它们虽然复杂，但仍受物理学的基本规律支配。这种情况说明了生命现象的基础是物质的，而且与其他自然现象一样，同样是可以被认识和改造的。至于DNA分子的旋转方向问题，人们发现，在实验室中合成的DNA，左旋和右旋(称为手性)是对称出现的，但自然界中的DNA分子却有确定的手性。目前有一种解释是，这一现象很可能与物理学中发现的 β 衰变中宇称不守恒现象有关。这说明自然科学研究中所提出的许多基本问题，最终要靠物理学来解决。仅以上两个例子，就可窥见物理学与其他自然科学密切关系之一斑。

物理学因其研究领域的广泛性和基础性，使它成为科技工作者创新思维的源泉。它使人们在搞创造发明时有宽阔的思路和正确的思维方式。例如机械传动，传统的方法只是如何改进齿轮和离合器的设计，使之更合理、更耐用。但如果利用物理学中发现的电流变、磁流变现象，就可使传统的传动方式发生革命性变革。又如制作大规模集成电路，需要精密的光刻技术。由于光的衍射现象，光刻精确度受到不可逾越的限制。但如果利用电子波的波长比光波波长短得多，又便于获得和控制，就能制成电子束刻蚀机，使芯片的集成度大大提高，目前已可在 1 mm^2 的芯片上制作上万个元件。这一技术的进一步发展又受到了介观物理领域内出现的一系列量子噪声的限制，物理学家已提出制作量子计算机的设想，并开始进行实验研究，这又是一种全新的思路。这些例子说明了一个事实，即一个高层次的科技工作者，除了要熟悉本专业的知识外，还必须有雄厚的物理学基础，才能成为创新型的人才。

以上我们简述了物理学和理工科人才培养的关系，至于物理

学和社会科学，如哲学、经济学乃至文学艺术的关系，往往被人们忽视，下面我们就来谈谈这方面的问题。

众所周知，物理研究需要有正确的哲学思想和辩证唯物主义的方法论作指导。但是，辩证唯物主义认为不能孤立地、片面地、绝对地看待事物之间的关系，在承认哲学的指导作用的同时，也必须承认后者对前者的反作用。爱因斯坦和英费尔德曾说：“科学研究的结果，往往使离开科学很远的问题的哲学观点发生变化。”这就是说，科学思想的进一步发展，往往成为新的哲学观点的源泉。实际上，物理学发展的每一次重大突破，都伴随着哲学思想的大讨论。例如 1543 年，哥白尼提出日心说，引起了人类宇宙观的巨大变革，极大地冲击了欧洲几千年来的宗教统治，因此长期受到教会的压制。伽利略和牛顿创立经典力学，对维系宗教统治的唯心主义世界观冲击更大。1633 年，伽利略受到宗教审判，这一方面是由于他坚持宣传日心说，另一方面是由于他对亚里士多德的运动学所作的批判。亚里士多德的理论大多来自主观臆测，其思想体系是唯心论的，而伽利略和牛顿的理论是以观测和实验为依据的，其思想体系属于唯物论，因此牛顿力学的成就，正是唯物论的胜利。然而，牛顿的学说以及他的绝对时空观是机械唯物论的，他本人把整个宇宙看成是一台巨大的机器。为了寻找推动这台机器的“第一推动力”，又不得不借助于上帝，从而重新陷入唯心主义。

热力学第一和第二定律，特别是普遍的能量转换和守恒定律的建立，是人类认识史上的又一次伟大革命。能量不可灭的实质是物质运动的永恒性，不同能量形式的存在反映了物质运动形式的多样性，永动机不可能制成反映了能量不可创造，它体现了运动是一切物质的固有属性，而绝不是任何超自然的力量所赋予

* 爱因斯坦，英费尔德。物理学的进化，上海：上海科技出版社，1962.3

的。不同能量形式可以相互转换，它是可以被认识的，人类一旦掌握了它们的转换规律，就可以利用它、驾驭它。这些都是辩证唯物主义最基本的观点，是对形而上学的有力批判，与唯心主义及上帝创造世界的宗教教义更是格格不入。然而，热力学第二定律一度曾被唯心主义者歪曲，他们提出了所谓的热寂说，为唯心论的宿命论招魂。唯物主义者虽然进行了驳斥，但很长时间内显得勉强和无力。直到 20 世纪发现宇宙膨胀现象，才使这个问题有了圆满结果。

电学、磁学和光学的大综合，对哲学的最大贡献也许应首推否定了瞬时超距作用，揭示了场是物质存在的一种形式，使人类认识了物质存在形式的多样性。这些新概念引起的人类认识论的革命是如此深刻，以至于当时的许多物理学家，包括电磁场理论的创始人麦克斯韦本人，都难以摆脱旧观念的束缚，长期致力于“电磁以太”或“光以太”的搜寻工作，并陷入困境。

20 世纪物理学的两项最伟大发现是相对论和量子论。牛顿的绝对时空观，早在 18 世纪就受到物理学家马赫的批判，当时，由于牛顿在 18、19 世纪的绝对权威，人们的思想始终没有摆脱这种时空观的束缚。直到 19 世纪末 20 世纪初，随着光速的精确测量，机械论的绝对时空观的固有缺陷才显示出来。最后，光速不变这一实验事实与基于这种时空观的伽利略速度变换公式的尖锐矛盾突现在人们面前。1905 年，爱因斯坦建立了狭义相对论，揭示了时间、空间和物质运动的紧密联系，这是辩证唯物主义战胜机械唯物论和形而上学的一次伟大革命。而爱因斯坦揭示的质量和能量之间的联系，为原子能时代的到来奠定了基础。但是，质能关系的建立又使西方一些唯心主义者提出了所谓的唯能论，声称“物质消灭了”、“物质转化为能量了”、“存在没有物质的运动”等等。在与这些反动思潮的斗争中，唯物论和辩证法自身也得到了发展。人们逐渐认识到，原先我们关于物质、质量等

概念的界限应该加以扩充。而量子力学的创立引发的哲学上的大论战，更是深刻和旷日持久，唯物辩证法受到了空前未有的巨大冲击，迄今还有很多根本性的问题没有解决。近代关于真空的物理本质，也涉及深刻的哲学问题，迫切需要哲学家和社会科学家介入和关注。

在科学技术高度发达的今天，唯心主义仍不断变换手法，打着“科学”的旗号，采用各种高科技手段，兜售伪科学的货色。他们袭击的对象主要是缺乏最起码的科学知识的人群。出现在世界范围内的邪教宣传，已成为文明社会的一大公害，而伪科学的宣传、报导，充斥着书籍、报刊、广播、电视、网络以及音像出版物，毒害着广大青少年。而我们的一些记者、编辑、传媒工作者，往往不自觉地帮了他们的忙。这种现象的出现，反映了提高一个民族的科学素质是多么重要。而掌握物理学的必要的基础知识，是提高科学素质的必不可少的前提。

以上我们从培养科学的世界观、提高科学素质、抵御伪科学侵袭的角度，阐述了物理学的地位和作用。除此之外，物理学所建立的一系列概念、定律、公式，以及它所创造的科学研究方法和思维方式，正在向它的周边学科甚至人文社会科学渗透，形成交叉、融合的态势。例如，物理学引进的熵的概念，经改造，已成为信息论的基本概念；而物理学中的涨落理论和耗散结构理论，不仅成为研究生命现象的基础，而且也被应用于社会科学，成为实现社会宏观调控的理论基础之一。现代的理论经济学，正越来越多地使用数学和物理模型，使世界最著名的数学家和物理学家都叹为观止。再往大处说，高科技还改变着战争的概念，冲击着国际关系，在一定程度上影响着世界政治形势，往小处说，高科技成果在日常生活中得到广泛应用，如汽车、电脑、移动电话、家电产品、电子防盗和报警系统、摄像机、数码相机、电子医疗器械等，正在进入家庭，不仅与科技工作者，也与文学家、

艺术家、记者、法律工作者、外语翻译、政府官员、公司职员等发生直接关系，这些产品的性能指标、使用说明、零配件名称、维修知识等，都不可避免地涉及科学名词、概念、计量单位等等，如果对它们一无所知，难免要闹笑话。

以上我们简要地说明了物理学发展史，以及物理学的地位和作用，使我们对大学物理课的内容、目的和任务有了一个总体了解，希望对提高学生学习物理的兴趣，树立学好的信心有所裨益。

第一章 物理学研究方法简介

了解物理学研究方法，对于学好物理课有十分重要的意义。本章我们作一简单介绍，以便于学生掌握重点，提高学习效率。

§ 1.1 实验在物理学进展中的地位

1.1.1 物理学是实验科学

物理学研究方法中，首先应当谈到的是物理实验，它的创始人是伽利略。什么叫实验？实验是根据预定的目标，精心选择实验仪器，控制实验条件，尽量减少干扰，以求对现象的发生、变化规律得出科学结论的一种实践活动。只有在正确设计、精心操作的基础上进行的实验，才具有认识论的意义。实验和一般的观测是有区别的。观测只是被动地等待自然现象发生和发展，人们仅仅对现象进行记录和研究，而实验却要求人们发挥主观能动性，控制条件，使现象可重复出现，以便对自然现象得出规律性的认识，或者从中发现新现象，或验证理论预言。举例来说，丹麦天文学家第谷对于星空，特别是行星的运动进行了长达 20 年的精心观测和记录，开普勒对这些观测数据进行了长达 8 年的潜心研究，总结出行星运动三大定律，这是通过观测和研究得出重要科学结论的范例。但是，由此得出的引力定律的适用范围只能认为限于行星运动，如何证明它也适用于地球上和宇宙中的一切物体呢？还得借助于实验。1798 年卡文迪许进行的扭秤实验，被公认为是万有引力定律直接的实验证据，由此测定的引力常

数，消除了由天文观测推出的数值中的不确定因素。然而，观测和实验这两者的界限有时并不那么严格，那些有明确目标，有意识地选择适当的时间、地点、观测设备，而且对观测结果有一定估计的观测，也具备物理实验的某些特征，例如，验证广义相对论预言的那些观测。从这个意义上讲，整个宇宙实际上是一个超大规模的实验室，它提供了大尺度、大质量、高能量、超越生命极限的超长时间等地球上难以实现的实验条件。近代关于宇宙大爆炸和恒星演化、超强引力场中的物态及时空结构、引力波探测等重大课题，目前仍难以在地球上的实验室中进行研究。

地面实验室和太空实验室中的实验，以及近年来发展起来的计算机模拟实验，始终是物理实验的主体。伽利略的斜面实验和自由落体实验，为牛顿运动定律的建立奠基；库仑扭秤实验和由此总结出的库仑定律，是静电学的基础之一，它标志着静电学开始成为真正的科学。奥斯特发现电流的磁效应，后来安培进行的电流产生磁场的实验研究，以及法拉第对电磁感应现象的研究，成为磁学的基础；托马斯·杨和菲涅耳进行的光的干涉和衍射实验，是波动光学的基础；卢瑟福的 α 粒子散射实验，彻底否定了原子结构的汤姆逊模型，成为原子核式结构模型的基础性实验等等。这些例子无不体现了实验在物理学发展中所起的基础性作用。可以说，物理学的一切基本定律，都是实验规律，而不是思辨的产物，它们或者是实验的直接结果，或者是对大量实验现象进行抽象、提炼后总结出来，再由大量实验证实后才确定下来的。

1.1.2 实验的一般程序

实验首先要确定目标，并进行正确的设计，设计要确保原理的正确性和技术上的可行性，并对可能遇到的困难作出评估。例如密立根的著名的油滴实验，目的是测量电子电量。在汤姆逊发现电子时，已用电磁联合偏转的办法测量了电子的荷质比，如果

能单独测出电量，质量也可随之确定。其基本原理是，将油滴置于平行板电容器的两极板之间，极板两端加上高电压以产生一个匀强电场，使油滴带电，调节电压，可使油滴所受的电场力与其重力平衡，由此可确定油滴所带电量的绝对值。反复使油滴放电和重新带电，记录下每次所带电量的绝对值，可以发现，它们总是以一个最小电量的整数倍增加或减少的，这个电量的最小单位就是电子电量的绝对值（为了简单起见，我们略去了该实验的一些重要的细节）。我们大致地看一下，为了保证实验成功，密立根在实验设计方面所作的考虑：(a) 油滴不能太小，否则会产生严重的布朗运动，又不能太大，以至于当油滴只带少数几个电子的电量时，电场力就足以与重力平衡。如果需要带的电量太大，则增减一两个电子时将不会明显地破坏平衡，测量也就无法进行。(b) 油滴必须是圆的、均匀的、亮的、不蒸发的。前两个要求保证油滴重量可准确计算，亮是为了便于观察，不蒸发是为了测量过程中油滴的质量不会改变。(c) 电容器极板间距不能太小，否则尚未调到平衡时油滴就会碰上极板；又不能太大，否则，为了使电场足够强，需要的电压就太高，在当时的技术条件下有困难，而电场需要很强也是为了保证油滴只带少数几个电子电量时，电场力就足以与重力平衡。(d) 不能有空气扰动，因此装置必须密闭，并保持恒温。(e) 油积电量的改变必须方便，而且可以方便地调节电场的强弱和改变方向（油滴有时带负电，有时带正电），所用电源的电压必须稳定等等，综合以上这些要求，在当时的技术条件下，实验确实是很困难的。由这个例子可以看到，实验原理总是比较理想化的，但要完成实验，就必须考虑许多复杂的实际问题。

下一个程序就是实验操作。做实验必须要有清晰的物理思想作指导，即必须熟悉实验目的，设计思想和原理，了解仪器设备的性能、量程和精确度，需要控制和改变哪些条件等，对实验结果要有粗略的估计。对于那些调节参数比较多的实验，要用正交

法等数学方法安排实验方案，布置好测试点，并画出表格准备记录，这样才不至于漏测数据。要记住实验注意事项以确保仪器不被损坏，熟悉误差和有效数字以确保实验数据的精确度。要有严谨的科学态度，耐心细致和忠实地记录实验条件和实验数据。只有这样精心操作和记录的数据，才有较高的可信度。测试完成后，要对原始数据进行分析和处理，通常需要作一些数学计算，用作图法、逐差法、平均法、回归法等寻求物理量之间的相互关系，最好是用数学公式逼近这种关系，以便对实验现象得出规律性的认识，后面这些工作通常也可用计算机来完成。最后要提出一定的简化模型，用已知的物理原理对实验结果作出理论解释或作必要的讨论。

以上我们对实验程序进行了一般性的叙述，对于那些重要的实验，例如作出重大的新发现，验证理论预言，精确测定物理常数等实验，还有许多特殊的要求。例如为了有新发现，就必须创造前人从未达到过的实验条件，即向极限挑战，比方说超低温、超高温、超高压强、高能量、超强电场或磁场，或者设计出前人从未使用过的新方法或新仪器，而这些工作本身就属于开拓性的工作，因而具有重大意义，它对实验者的素质和水平有很高的要求，有的甚至要花费他们毕生的精力。目前世界上从事物理学研究的学者，大约有 90% 从事实验研究，仅有 10% 左右从事纯理论研究，而且总的趋势是，从事实验研究的人往往将实验结果和理论分析同时发表，不作实验的人很少有机会对新现象作理论探讨。

§ 1.2 物理学中常用的思想方法

历史表明，科学的发展离不开理性思维的指导和正确的研究方法的运用。它使我们透过现象看清本质，从而深化我们对周围世界的认识。从被动地适应自然到主动地改造自然。本节我们简

单介绍物理学中常用的思维方法，使学生尽快地掌握开启科学大门的钥匙。

1.2.1 科学抽象

前面说过，物理学研究物质的存在形式及其运动规律，世界上不存在抽象的物质，有的只是一个个实际的物体或者一种种实际的场，也不存在单一的物理过程，实际的物理现象和过程都是众多因素共同作用的结果。但是，为了表述物理定律或建立物理理论，需要排除次要的、非本质、非决定性因素的干扰和影响，简化和纯化物理过程，才能突出重点，抓住本质。

1. 理想化模型的建立

物理学中有很多理想化模型，如质点，点电荷，刚体，理想气体，不可压缩流体，理想热机，无穷大带电平面，无限长载流直导线，光滑斜面，准静态过程等等。它们都是在一定条件下对实际物体或实际物理过程的抽象。例如，在研究地球公转时，可以把它看成质点；在研究地球自转时，可以把它看成刚体；在研究地震波的传播时，可以把它看成弹性体。抽象的物理概念或物理模型有些是表述物理定律的需要，有些是为了在物理学中运用数学工具的需要，有些是纯化物理过程的需要。例如表述库仑定律需要引进点电荷的概念，一方面，如果两个带电体的距离比它们的尺寸大得多时，把带电体当成点电荷，库仑定律就能相当精确地给出它们之间的静电力。另一方面，若带电体相距不很远，总可以把它们分割成无数小块，把每一小块都看成点电荷，再把一对一对点电荷之间的作用力进行叠加，就可以求出总的作用力。这样，只要表述一对点电荷之间静电力的规律，再加上电力叠加的法则，整个静电作用的规律就完全清楚了。如果不是这样，而是按照实验的原型分别给出具体的带电体之间力的公式，不仅没有必要，实际上也不可能。很显然，象无穷大带电平面、无限长载流直导线等概念的引进，主要是数学上的需要，它们的

电场或磁场的数学公式特别简单，同时又是实际的带电大平面或载流直导线的很好的近似。实际物体与斜面之间总有一定的摩擦力，对它的运动总有一定的影响。但是，摩擦力是可以设法减小的，减小的程度原则上没有什么限制，在极限情况下，摩擦力趋于零，这就是光滑斜面。采用了这个模型，就把重力的影响突出出来了。理想气体的概念也是如此，它是对一定压强和温度范围内真实气体的很好的近似，由此推导出来的理想气体的压强公式，也排除了许多实际因素的影响，突出了主要矛盾。这样的例子是举不胜举的。在学习时，学生应当了解这类概念的使用条件，决不能绝对化。

2. 数学抽象的应用

在物理学研究中经常遇到这样的情况，即虽然物理过程完全不同，但在数学上完全是同一个问题，可以用同一个数学模型来概括。最典型的例子是简谐振动。这是自然界中一类十分普遍的运动形式，例如弹簧振子及小摆幅的单摆和复摆的运动，固体中晶格的振动，电磁波传播中电场和磁场的振动等等。在这些例子中，所涉及的物理对象满足相同的微分方程，解的形式也完全相同。简谐波的情况也与此类似。另外，如气体分子的扩散、热传导、内摩擦现象这些看来是不相关的物理过程，在数学上也有共同之处，可以归为一类。在物理实验中也会遇到类似的情况，例如伽利略在做斜面实验时发现，在斜面倾角一定的条件下，斜面上的物体在相等时间内通过的距离之比为 $1:3:5\cdots$ ，两相邻的时间间隔内通过的距离之差是一个常量。由此可推断，物体运动的距离正比于时间的平方，这其实就是 § 1.1 中提到的逐差法。这个规律不限于斜面实验，也不限于机械运动，而是普遍成立的，因此在数学上可以统一起来。物理学家和数学家们共同发展了一个专门的数学分支，叫做数学物理方程，把不同物理过程中遇到的共同的数学问题集中起来研究，反过来作为物理研究的工具。

1.2.2 分析与综合

分析与综合是物理学中常用的思维方法。所谓分析，就是把研究对象分解成各个组成部分，对各部分加以研究，而综合就是把研究对象的各部分联系起来，从整体上把握事物的本质和规律。最典型的例子是用牛顿定律解题时所采用的隔离体法，把本来是相互关联的一组物体隔离，分析每个物体的受力情况和运动情况，列出各自满足的牛顿方程，这就是分析。但是，实际上这些隔离体并不独立，为了还事物的本来面目，还应把它们综合起来一起考虑。隔离体之间的关联分为两个方面，其一是它们相互之间有作用力，其二是隔离体的运动状况受某些条件约束，前者体现为作用力和反作用力成对出现，后者体现为隔离体之间的运动学量要满足一定的方程。由这个例子可以清楚地看出分析和综合的三个环节：

(1) 把整体加以解析，把部分从整体中分割出来。

(2) 深入分析各部分的特点，研究它们各自应满足的规律。

(3) 找出各部分之间的联系和相互作用，综合得出对整体的认识。

分析与综合的这些环节，更大量地体现在所谓的元过程分析法或微元分析法中，这就是把研究对象按空间分割成无限多个无限小的部分，即微元，或者把整个物理过程按时间划分成无限多个无限短暂的过程（元过程），先抽取其中的一个典型元加以研究，然后再综合出整体的情况。数学中的微积分是该方法的有力工具。

综合还有一种重要情况，即被综合的各部分一开始并不是从一个复杂的现象中拆分出来的，它们原来被认为是孤立的、互不相关的不同问题，随着资料的积累和人们认识水平的提高，逐渐发现了它们之间有内在联系，可以综合在一起。这样的综合在实验和理论研究中都有很好的例子。例如，法拉第进行电磁感应现

象的实验时发现，磁铁和线圈的相对运动，线圈所处的磁场发生变化，线圈转动或变形，都会出现感应电流。把这些不同的实验综合起来考虑，发现有一个共同点，那就是通过线圈的磁通量发生变化。这个综合使法拉第抓住了问题的本质，总结出了电磁感应定律。在绪论中讲到的物理学发展的五次大综合，是理论研究中应用综合法的例子。这类科学综合对物理学的发展有更重要的意义，它往往使人类产生认识论上的飞跃。

1.2.3 归纳与演绎

1. 归纳法

归纳法就是从个别事例中概括出一般概念和普遍规律的思维方法。牛顿曾说：“一切定理均由现象推得，用归纳法推广。”归纳法的一般程式是：实例—假设—求证，与数学归纳法的程式相同，但其中的每一步都有物理学自己的特点。应用归纳法，首先要收集资料，取得事例。例子越多越好，最好是正反面的例子都有，而且要十分确切，对它的各个环节和细节要掌握得很详细，这样才能进行分类、排队、分析、整理，剔除非本质因素，找出它们的本质特征，然后提出带有普遍意义的假设。这一步要求研究者有深邃的洞察力，因为假设不是逻辑上的惟一可能，它多半带有猜测的成分，因而往往有错误。下一步就是求证，首先，你的假设必须与已掌握的全部例子没有矛盾，这还不够，你还必须从假设出发作逻辑推理或数学演算，力求导出一些新的结论或者说预言，只有理论的预言得到进一步的实验证明，你的假设才可能得到公认。有一种常用的逻辑推理方法值得提一下，那就是思想实验，其实它不是真正意义上的实验，而是一种思辨方式，其目的是考察一个新假设会不会导致逻辑上的矛盾。这种实验可能是根本无法实现的，或者至少现阶段无法进行。例如爱因斯坦的升降机实验，从加速系统与引力场的等价性假设出发，导出了光线在引力场中会发生弯曲的结论，后来为观测所证明，海森伯的