

# 现代物理学及其应用

李国栋

现代科学技术是生产力的一个重要因素,而现代物理学则是现代科学技术的基础。19世纪中期电磁感应现象的发现和电磁理论的发展,为电能的开发应用和电气化奠定了基础;19世纪末电磁波和电子的发现和研究,开创了无线电电子学的新时代;20世纪初期量子论、相对论量子力学和原子核物理的创立和发展,不但引起了物理学自身的革命,开始了微观、高速和高能领域的研究,而且也为半导体、激光和原子核能等新技术的开发应用提供了启迪的根据和明确的途径。物理学为什么具有这样的作用呢?物理学的现状和未来又是怎样和将会怎样发展呢?

物理学是研究物质世界中各种物质的结构、性质和运动的现象和规律的科学。从某种意义上说,物理学的应用一方面为发展社会生产和推动历史进步提供了必要的条件,另一方面又为探索多种物质形态的宇观世界和生命世界等准备了观测实验的手段。这样,从广义观点看,既有研究物质结构和性质及研究物质运动的传统意义上的物理学,又有研究其他物质形态(如天体和生命等)的基本物理规律的边缘物理学。下面试从这种观点简略地介绍广义的现代物理学的主要内容及若干典型应用。

## (一) 研究物质结构和性质的物理学

这是研究各种物质结构层次及其性质的物理学,可概括地简称结构物理学或物态物理学。

(1) 固体物理学和凝聚体物理学 固体和包括固体、液体及兼具固液性质的物体(如液晶)的凝聚体是形态繁多、性质多样和应用广泛的一大类物质,在体现当代科学技术特征的材料、能源和信息三大领域中,凝聚体都起着重要的作用。固体物理学和凝聚体物理学的主要任务是研究固体和凝聚体的宏观性质和微观结构以及宏、微观间的联系,为按指定性能创制新材料的“分子设计”或“分子工程”提供科学途径。如称为固体电子学心脏和各种集成电路用的半导体;可作无损耗输电、大型强磁体、高速计算机和高灵敏度、高精度测电压、磁场的超导体;广泛用于各种电机电磁器件、磁记录和磁技术的铁磁体(磁性材料);具有高介电常数和压电效应的铁电体压电体;激光的产生、控制和传输用的各种激光晶体和光导纤维;还有发光体、有机体、电介质(体)、非晶体、金属、陶瓷和玻璃等等都有其广泛应用领域,也都是固体和凝聚体物理学研究的重要

对象,由此形成半导体、超导、磁学、激光……等分支学科及高等学校物理系中的相应专业。

(2) 原子物理学和分子物理学 它们分别是研究原子和分子的结构、性质、运动和相互作用的物理学分支,是物质研究从宏观进入微观的开端层次。首先是微观量子效应表现出明显特征,如能级间的量子跃迁,原子间的键联等。其次,各种波谱学,如射频、微波、红外、可见光和紫外波(光)谱学成为研究原子和分子系统的有效手段。在这些研究的基础上,发明和发展了许多新技术,如高精度的频率、时间(原子钟、分子钟)和长度的计量标准,原子、分子和准分子的激光器,制造超薄膜和多层膜的分子束外延技术等。

(3) 原子核物理学和粒子物理学 前者简称核物理学,研究(原子)核的结构、变化和相互作用,射线束的获得、探测和分析,以及同核能、核技术有关的物理问题;后者又称基本粒子物理学或高能物理学,研究比原子核更深层次的各种粒子的结构、转化和相互作用。目前已发现上千种稳定的和放射性的核素及原子序数大于92的17种人工合成的超铀元素;由核裂变反应产生的核能,各种同位素示踪和射线辐照技术,以及核磁共振及其成象、穆斯堡尔效应、沟道效应和扰动角关联等技术已分别在能源、工农业生产、医学和科学研究中获得重要和广泛的应用。目前已发现上百种的“基本”粒子,利用上千亿电子伏的高能加速器研究了这些粒子的结构、转化和相互作用,从实验和理论上可以把这些粒子归结为三代六种夸克(构成强子的粒子)和轻子。正电子湮没效应和成象技术、高能电子束诱发核聚变和产生同步辐射、粒子束空间武器等都是由粒子物理发展起来的粒子技术的若干应用例子。

(4) 等离(子)体物理学 等离(子)体是指主要由等数目的带正电的离子和带负电的电子组成、宏观上呈电中性、其运动主要受电磁力支配的一种物质状态,常称为物质的第四态。等离体物理学便是研究等离体的形成、性质和运动规律的物理学分支学科。等离体在一般情况下虽少见,但却是宇宙中最多的物质状态,如地球高空的电离层、太阳表面以及恒星、星云和星系等都涉及等离体。等离体的运动极为复杂,在实验和理论上都难度较大,但却是目前研究实现高温核聚变以获得比核裂变更高产能率和更丰富原料的重要途径,因而受到特别重视。

## (二) 研究物质运动的物理学

这是研究物质各种层次中的运动形式和规律的物理学。

(1) 力学和声学 力学是研究宏观物质(普朗克常数不起作用)在受力状态下的形变和速度远低于光速的运动过程及其规律的科学;声学则是研究物质中机械波的产生、传播、接收和效应的科学。它们都是研究物质的机械运动。力学亦称经典力学或牛顿力学,它既是研究宏观物质机械运动、天体运行和工程的力学设计等的基础,又是各种机械、建筑、车船、飞机和航天器等力学结构设计和运动或轨道计算的根据。按研究对象的力学特性又可分为刚体力学、变形体物理学和流体力学。当运动速度接近真空中光速(高速)时,运动就不再服从牛顿力学而必须采用相对论力学。现代声学的分支众多,应用广泛,如有电声学、水声学、超声学、次声学、建筑声学、语言声学、生物声学等的许多分支;有电声换能器、声呐(声雷达)、超声加工、次声侦察(核爆炸和火箭发射)、次声预测自然灾害(如火山爆发、龙卷风和雷暴)、建筑声学设计、语言合成、噪声控制等多方面应用。

(2) 电动力学和相对论电动力学 电动力学的研究对象是电磁场的基本性质、运动规律、带电粒子在电磁场中的运动以及电磁场与物质的相互作用。它是当代电子技术、电子技术、无线电技术以至广义电磁波技术(包括光学和激光技术)的物理基础。当带电粒子速度接近真空中光速时,便需要采用相对论电动力学来处理,例如在高能加速器产生大功率微波(特别是毫米波和亚毫米波)的回旋共振谱更宽的自由电子激光器和同步辐射加速器以及高能天体物理现象中,都会遇到高速相对论性带电粒子的相对论电动力学问题。这两种电动力学既是高等学校物理系的基础理论课,又是广义电和电子技术的物理基础。

(3) 热力学和统计力学 热力学是从能量转换观点来研究物质的热性质和从宏观现象总结出的唯象热学理论;统计力学则是从物质微观结构和相互作用的观点来研究大量粒子组成的宏观物质的热性质和其他物理性质。这两种力学有着密切的联系,宏观过程和微观运动的时间尺度虽相差悬殊,但表征宏观状态的物理量却是瞬息万变的大数微观运动状态的统计平均结果。这两种力学都既研究平衡状态、也研究非平衡状态的物理过程。对于大量服从量子力学规律、处于平衡状态的全同粒子或粒子系统,则应采用量子统计力学(包括对玻色粒子的玻色-爱因斯坦统计和对费米粒子的费米-狄拉克统计)。热力学不但是研究宏观物质性质的重要唯象理论,也是设计各种热机的物理基础,统计力学则是深入研究物质宏观性质的基本理论,因而它们都是高等学校物理系的基础理论课和考研

究生的专业方向。

(4) 量子力学和量子电动力学 量子力学和相对论是现代物理学的两大重要基础。量子力学是研究微观粒子运动规律的科学,因而是研究原子、分子和由它们构成的凝聚体以及原子核和(基本)粒子的结构和性质的基本理论。量子力学中物理量遵从不确定性关系。当研究电磁相互作用的量子性质(光子)及带电粒子的产生和湮没过程等时,则需要应用量子电动力学,它是根据量子力学原理建立的场理论中最成熟的分支。当研究强相互作用性质及组成强子的夸克与色量子规范场的相互作用时,则需要应用色动力学。目前正在发展研究引力相互作用的量子引力理论,它有可能将量子力学和广义相对论结合起来。广义的量子力学不但是研究微观物质世界的有力理论工具,而且也是一些新兴技术和学科,如量子电子学、高能电子学、量子化学、量子声学和量子生物学的物理基础。它们既是高等学校物理系和相关系的重要基础理论课程,又是理工科研究生的专业方向。

## (三) 边缘物理学

这是研究物理学与其他学科相互联系和渗透而形成的边缘或交叉学科,属于广义物理学的范畴,常有新现象、新理论和新应用的发现或发明。

(1) 生物物理学和分子生物学 前者包括生物和生命现象中的各种物理过程和机制,各种物理因素对生物的影响,以及应用物理手段和方法来研究生物和生命现象;后者是指应用物理方法研究生物物质中的微观结构及其与生物功能的关系,例如光合作用、生物导航、视觉听觉和大脑活动的机制,辐射育种和放射治疗, $\alpha$ 射线、超声、正电子和核磁共振层析成像(CT)诊断及仿生学的应用,都是一些明显的生物物理学事例;遗传物质脱氧核糖核酸(DNA)和多种蛋白质的多级复杂结构的研究,遗传疾病与基因异常关系的研究,以及分子生物进化学和人体全基因组的研究,则是分子生物学的重大贡献。DNA模型已作为北京新技术开发区的区标便说明分子生物学在新、高技术中的重要意义。

(2) 地球物理学和空间物理学 前者是应用各种物理方法研究地球外部岩石层、海洋和大气层以及地球内部的构造、物理现象和过程,后者是利用空间飞行器研究太阳、行星际空间、地球和行星的大气层、电离层和磁层的物理现象,以及它们之间的相互作用和因果关系。地球物理学在了解和预报地震和气象,物理勘探地矿、地热资源等方面有重要的应用。空间物理学在认识空间环境及其变化规律,利用卫星从事通信、导航、遥感、测量和气象观测,利用微重力、高真空和弱磁场等特殊空间环境开发空间材料,建立空间实验室和空间太阳能电站等,都具有重要的应用和发展前景。

# 物质表面的微观世界

## ——封一、封四的说明

在表面物理、表面化学和材料科学的某些领域中，表面的重要性自不待言。但在原子、分子尺度上，物质表面的微观世界究竟如何，在扫描隧道显微镜（STM）和原子力显微镜（AFM）发明之前，人们并没有任何一种实验手段可在实空间内直接观察物质表面一个或几个原子层的微观结构。因此，世界上第一台 STM 的发明者，IBM 公司苏黎世实验室的葛·宾尼（Gerd Binnig）博士和海·罗雷尔（Heinrich Rohrer）博士荣获了 1986 年度诺贝尔物理学奖。STM 的问世，使人类第一次能够实时观察到原子在物质表面的排列状态和与表面电子行为有关的物理化学性质，被科学界誉为是对表面科学和表面现象分析技术的革命。

封面图是用中国科学院化学所研制的 STM 拍摄到的石墨晶体的表面三维立体图象。经过计算机处理后的图象通过用颜色和光线的亮暗组合，形象地表现出石墨晶体表面原子的排列状态。经测定，这台仪器的横向分辨率达 0.1 纳米，垂直于表面方向的分辨率达 0.01 纳米。

封底上排左图是一种有机导体（BEDT-TTF）· $A_gx(SCN)_x$  ( $x \approx 1.6$ ) 晶体的表面微观结构。颜色的深浅（灰度的变化）表示表面态密度的高低。从图中可以看出两种不同态密度的交替排列，它们与电子给体和受体的晶格排列有关。封底上中图是  $HgCl_2$  分子吸附在石墨表面的 STM 象。STM 可观察到原子在表面的位置和聚集方式，而不是其他表面分析技术所得到的

的表面的平均性质。

STM 不仅可以观察具有周期性结构的物质表面，亦可观察不具备周期性的表面。封底上右图是高温超导  $BiSrCaCuO$  陶瓷材料的表面，从中可以看出表面的不平整性和在几埃数量级内的表面起伏。封底下左图是用 STM 观察到的蛋白质——胰岛素的分子结构。将含有胰岛素的稀溶液滴在导电基底上，溶剂自然蒸发以后，胰岛素分子大多由二聚体和单体的形态沉积在基底表面，而不是在晶体中存在的六聚体。封底下排中图是卵磷脂生物膜的表面结构，从中可以看出双层膜在基底上的收缩和卵磷脂头的分布及聚集情况。由于 STM 能在大气和水存在的条件下直接观察生物样品，并且对样品表面无损伤，这为直接观察接近活体状态下生物样品的结构提供了诱人的前景。

AFM 是在 1986 年首次报导的新技术，它是靠探测原子间微弱的原子间相互作用力来观察表面形貌的，它弥补了 STM 只能观察导体和半导体之不足。第一台 AFM 的横向分辨率只有  $30 \text{ \AA}$ ，1987 年达到原子级。由于技术上的难度，目前世界上只有少数实验室研制出 AFM（无商品出售）。1989 年初，中科院化学所研制出 AFM，分辨率达到原子级。封底下右图是用这台 AFM 观察到的石墨表面的 AFM 象。用这台仪器，还观察了非导体金红石的表面结构，观察到表面上的原子级台阶。

（白春礼）

（3）天体物理学和宇宙物理学 前者是应用物理学的技术、方法和理论，研究各类天体（太阳系、恒星、星系等）的形态、结构、化学组成、物理状态和演化规律的学科。宇宙物理学常称宇宙学，它是从宇宙整体角度研究宇宙的结构和演化，根据目前对星系红移、微波背景辐射和元素丰度（主要是氦-氢丰度比）的研究以及高能（粒子）物理和广义相对论的研究（如引力波的探测和引力透镜效应的验证），以热大爆炸宇宙模型能说明的观测事实最多，而将微观粒子物理学与宇宙物理学结合起来（如中微子和磁单极子的探测）也是具有深刻意义的。天体和宇宙物理研究不但丰富和加深了人类的认识，而且这个“天然实验室”也赋予人类重要的启迪（如太阳和恒星的热核聚变反应，白矮星、中子星的超密物态、超高压力和超强磁场）。

（4）其他边缘物理学 由于物理学是研究物质的结构、形态、性质和运动的最一般的现象和规律，因而它既是现代新、高技术的基础，又与其他学科存在多方面的联系，如与化学结合形成化学物理学；在农业、医学、环境保护应用中形成农业物理学、医学物理学、环境物理学；由研究物理问题的数学理论、探讨物理现象的数学模型及其求解而产生数学物理学；利用电子计算机对物理问题作数值求解而产生计算物理学；等等。

从以上的简略介绍可以看出，现代物理学的领域是非常广阔的，它既是新技术和高技术赖以产生和发展的基础，又与许多学科有着广泛而密切的联系，因此，学习和研究现代物理学是十分重要和富有广阔发展前景的。