



高等学校新世纪系列教程
New Century Series Textbook of University

主编 王国栋

大学物理学

科学出版社

高等学校新世纪系列教程
New Century Series Textbook of University

大学物理学

王国栋 主编

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是根据高等农林院校大学物理教学基本要求,结合面向 21 世纪教学内容和课程体系的研究与实践成果编写而成.力求突出两个有机结合.即:近代物理与经典物理的有机结合;物理理论与生物实际的有机结合.

主要内容包括:物质的基本性质、流体力学、液体表面性质、电磁场及生物电磁学基础、热力学及多粒子体系动理论、振动与波动、波动光学及光与物质的相互作用、量子物理及核物理简介等,全书采用 SI 单位制,所用名词以全国自然科学名词审定委员会 1988 年公布的基础物理学名词为准.

本书可作为高等农林院校农科类、生物类、化学类各专业教材.也可作为综合大学生物类、化学类及医学类各专业的教材或教学参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/王国栋主编. - 北京:科学出版社,2001
高等学校新世纪系列教程

ISBN 7-03-009638-X

I. 大… II. 王… III. 物理学 - 高等学校 - 教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 049074 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003 年 6 月第二次印刷 印张:19 1/2

印数:5 101—8 100 字数:449 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

高等学校新世纪系列教程

农林类物理教材编写委员会

顾问 傅志东(西北农林科技大学)

编委主任 王国栋(西北农林科技大学)

编委副主任 (以姓氏笔画为序)

习 岗(华南农业大学)

孙 凡(西南农业大学)

刘亚龙(西北农林科技大学)

张社奇(西北农林科技大学)

武秀荣(山西农业大学)

戚大伟(东北林业大学)

曾庆军(湖北农学院)

潘建斌(河南农业大学)

《大学物理学》

主 编 王国栋

副 主 编 孙 凡 刘亚龙 张社奇

参 编 (以姓氏笔画为序)

王纪元 冯秀绒 刘云鹏 李 海

时新玲 武秀荣 党亚爱 曾庆军

主 审 张振瀛(西北农林科技大学)

前 言

物理学是自然科学中最具活力的带头学科,它是人类认识自然、创造物质财富与推动社会进步必不可少的重要理论和技术的源泉.刚刚过去的 20 世纪,物理学理论及其在各个学科中的应用,为人类社会文明与进步做出了巨大贡献.物理学不仅在人类科技创新过程中起着举足轻重的作用,同时它的基本理论、分析和解决问题的方法在强调素质教育的今天更有着极其重要的地位和作用,是培养学生科学精神、科学态度、科学思维方法的最好素材,也是大学生知识-能力-素质协调发展的催化剂.针对目前高等农林院校物理教学的现状,结合我们承担的教育部“面向 21 世纪农林院校基础物理教学内容和课程体系改革的探索与实践”课题,经过 4 年多的改革与研究,在西北农林科技大学、华南农业大学、西南农业大学、东北林业大学、山西农业大学、湖北农学院和河南农业大学等七所农林院校的物理同仁们的共同努力下,编写了这套适用于农林院校理科、农科各专业的《大学物理学》、工科各专业的《基础物理学》以及与之配套的《大学物理实验》和《大学物理学习指导》,共计四本教材或参考书.

在对大学物理的教学目的、任务和教材编写方案的研讨中,我们深切地感受到必须从人才的培养目标、培养规格、模式及方法等方面思考和定位.根据“厚基础、宽口径”的人才培养原则以及注重学生“综合素质”和“创造能力”培养的教学原则,在整套教材的编写过程中力图遵循以下基本原则:

1. 能够使学生对物理学的内容和方法、物理图像和概念、工作语言、历史、现状和前沿有一个比较全面的了解,力求将比较新的前沿学科和技术问题中的物理学原理反映在教学内容中.

2. 在对理、农科教材的处理上,注重物理内容的两个“有机结合”.一是注重现代物理与经典物理的有机结合;二是注重物理学理论与生物类专业实际问题的有机结合.考虑到农林院校物理学时的限制,对原有经典内容做了删减,淡化过渡内容,突出主线,对某些与专业结合的问题只讲原理,不涉及具体的应用细节.

3. 在对工科教材的处理上,除遵循以上原则外,加重了“物”的份额,调节“物”与“理”的平衡,以物质的结构、运动和能量为基础,构建物质世界新的理性框架,突出方法论.

4. 注重对学生的科学素质培养,将科学方法论有机地融入教学内容中.培养学生的科学思维能力,使学生掌握正确的科学研究方法,具备发现问题、分析问题与解决问题的能力,具备探索自然规律的能力,并初步具备创新能力.

5. 实验教材自成体系,使学生对物理实验的基本原理、仪器的使用、实验方法及数据处理有一个全面了解,实验技能得到系统性训练,为后续课程学习打下坚实的基础.

6. 学习指导书注重所学知识的归纳总结,特别注重对实际问题的分析思路、解决途径的引导与训练.给出的同步测试问题能够帮助学生及时检查和巩固所学内容.

7. 书中统一使用国际单位制,所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会 1988 年公布的基础物理学名词为准.

《大学物理学》一书由西北农林科技大学王国栋教授任主编,由西南农业大学孙凡和西北农林科技大学刘亚龙、张社奇任副主编,西北农林科技大学刘云鹏、时新玲、党亚爱、冯秀绒、西南农业大学王纪元、湖北农学院曾庆军、山西农业大学武秀荣、华南农业大学李海等参加了本书的编写工作。

全书由王国栋统稿,原中国物理学会教学委员会农林分委会副主任委员、西北农林科技大学张振瀛教授主审,感谢他对本书提出的宝贵意见。西北农林科技大学韩维生老师绘制了本书的全部插图,在此一并致谢。

由于我们的学识与教学经验所限,书中缺点和错误在所难免,恳请使用本书的师生批评指正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

前言

第 1 章 物质的基本性质	(1)
§ 1.1 物质的结构及形态	(1)
§ 1.2 实物的基本性质	(4)
§ 1.3 场与物质相互作用	(8)
§ 1.4 物质的能量	(10)
思考题	(15)
第 2 章 流体力学基础	(16)
§ 2.1 理想流体的定常流动	(16)
§ 2.2 伯努利方程及其应用	(18)
§ 2.3 黏滞流体的定常流动	(24)
§ 2.4 泊肃叶定律 斯托克斯定律	(28)
§ 2.5 生物流体力学简介	(31)
思考题	(34)
习题	(34)
第 3 章 液体的表面性质	(37)
§ 3.1 液体的表面张力	(37)
§ 3.2 弯曲液面的附加压强	(44)
§ 3.3 毛细现象	(48)
§ 3.4 蒸发与凝结	(54)
思考题	(57)
习题	(57)
第 4 章 电磁场	(60)
§ 4.1 电磁场的描述	(60)
§ 4.2 高斯定理	(66)
§ 4.3 稳定电磁场环路定理	(69)
§ 4.4 电介质和磁介质	(74)
§ 4.5 带电粒子在电磁场中的运动	(79)
§ 4.6 非电量电测基础	(83)
思考题	(89)
习题	(90)
第 5 章 生物电磁学基础	(93)
§ 5.1 生物电阻抗与电介质	(93)
§ 5.2 生物电势 能斯特方程	(98)
§ 5.3 细胞电泳	(101)
§ 5.4 生物组织的磁特性	(104)
§ 5.5 超导 生物磁场的测定	(107)

习题	(112)
第 6 章 热力学	(113)
§ 6.1 热力学的研究对象与研究方法	(113)
§ 6.2 热力学第一定律	(115)
§ 6.3 循环过程	(124)
§ 6.4 热力学第二定律	(129)
§ 6.5 熵	(131)
§ 6.6 耗散结构	(137)
思考题	(143)
习题	(144)
第 7 章 多粒子体系动理论	(147)
§ 7.1 多粒子体系的基本性质	(147)
§ 7.2 统计规律的特征	(150)
§ 7.3 理想气体的压强公式	(153)
§ 7.4 麦克斯韦速率分布律	(155)
§ 7.5 温度的微观本质	(161)
§ 7.6 能量按自由度均分原理	(164)
§ 7.7 玻尔兹曼分布律	(166)
§ 7.8 气体分子的平均自由程	(168)
§ 7.9 热力学定律的微观本质	(170)
思考题	(174)
习题	(176)
第 8 章 振动与波动	(178)
§ 8.1 简谐振动 振动的合成	(178)
§ 8.2 相平面 相空间	(188)
§ 8.3 非线性振动	(191)
§ 8.4 波动方程	(195)
§ 8.5 波的干涉	(200)
§ 8.6 声波 超声波	(203)
思考题	(206)
习题	(206)
第 9 章 波动光学	(210)
§ 9.1 光的基本性质	(210)
§ 9.2 光的干涉	(211)
§ 9.3 光的衍射 分光技术	(220)
§ 9.4 X 射线衍射与结构分析	(229)
§ 9.5 实物粒子的波动性 电子衍射	(232)
§ 9.6 光的偏振 圆二色性	(235)

思考题	(243)
习题	(244)
第 10 章 光与物质的相互作用	(247)
§ 10.1 光的波粒二象性	(247)
§ 10.2 光的吸收 散射 色散	(250)
§ 10.3 光物理与光化学过程	(255)
§ 10.4 光动力作用	(258)
§ 10.5 激光在农业科学中的应用	(259)
思考题	(262)
习题	(263)
第 11 章 量子物理基础	(264)
§ 11.1 不确定关系	(264)
§ 11.2 波函数 薛定谔方程	(266)
§ 11.3 势垒 隧道效应 扫描隧道显微镜	(268)
§ 11.4 氢原子的量子力学处理方法	(273)
§ 11.5 量子生物学基础	(277)
思考题	(278)
习题	(279)
第 12 章 原子核及基本粒子简介	(280)
§ 12.1 原子核的基本性质	(280)
§ 12.2 原子核的放射性衰变	(281)
§ 12.3 辐射生物物理基础	(285)
§ 12.4 基本粒子简介	(288)
§ 12.5 同步辐射及其应用	(292)
思考题	(294)
习题	(294)
附录	(295)
一、物理量的名称、单位和量纲	(295)
二、基本物理和化学常数平差值	(299)
参考文献	(301)

第 1 章 物质的基本性质

在自然科学中,宇宙万物被分成两类:物质和能量.按唯物论的观点,宇宙里除了物质和能量以外,也许还有某种东西存在,但到目前为止,人们还未发现第三种成分.物质和能量亦是物理学的主要研究对象和研究内容.物质是万物的存在形式,能量是物质相互作用与转化的量度.在此,我们以物质的基本性质作为学习大学物理学的开始,一则是为了较全面地反映和了解自然界物质存在形态及其与能量的关系,二则是为在以后的学习中始终以物质和能量的观点与方法作为我们分析和解决物理问题的出发点.

§ 1.1 物质的结构及形态

早在远古时期,我们的祖先就提出“金、木、水、火、土”五行说,认为世上万物皆由这五种要素组合而成.公元前 500 年,古希腊哲学家断言,我们周围这个错综复杂的世界是由土、水、空气和火这四种基本物质相互交叉渗透而构成的.对于物质结构及形态,早在我国战国时期就有“至大无外,至小无内”之说,随着现代科学的发展,人们对物质的结构层次及形态均有了较深入的认识.

1.1.1 物质世界的结构层次

物质世界的层次跨度是非常之大的,现代物理学把物质划分为不同层次,各个层次的物质有其特殊的组分、结构与性能.对每一个层次的探索与研究,形成了一个物质科学体系(见表 1.1).按物质大小的数量级顺序,现代科学涉及的空间尺度范围从小到 10^{-18}m ~ 10^{-17}m 的亚原子粒子到大至 10^{26}m 的宇宙半径,跨越了大约 43 个数量级.物理学依照物质的运动规律做了系统性划分,把原子尺度数量级的客体,称为微观系统,用量子力学处理;把接近人体尺度附近几个数量级的物体叫做宏观系统,用经典力学处理.近年来,随着纳米科学的发展,人们把由十几个到数百个原子组成的团簇及同量级的物体叫介观系统.虽然介观系统从空间范围上更接近宏观系统,但在低温条件下,会表现出电子的量子干涉效应,呈现微观系统的特征和效应.此外,还有人把比微观系统更小的物体叫做渺观系统,把比宏观系统更大的物体叫做宇观系统.但这两种提法还不属于规范化的名称.

应该指出,表 1.1 中动植物等的生命现象是宇宙中最为复杂的物质存在和运动形式,而人体更是复杂的生命现象之一.人体大约由 10^{16} 个细胞组成,细胞是一个基本的生理学单位,一个细胞大约含有 10^{12} ~ 10^{14} 个原子.由人体大小的实物起向非常大和非常小的两个方向去考察,物质世界的结构变得逐渐简单起来,至今还未发现比生物体中所见的那种复杂的组织更复杂的物质存在形式和结构层次.由此使人们认识到生命科学在 21 世纪将会成为热门学科.而从物理学的观点来看,虽然物质的结构层次和存在形式的复杂程度不同,但在微观世界和宇观世界所用的理论,有些是相通的.

表 1.1 物质世界的层次

层次名称	空间尺度数量级(m)	质量数量级(kg)	相关的专业学科分支
宇宙半径	10^{26} (已知部分)	10^{56}	宇宙学
银河星团	10^{23}	10^{40}	
星系	10^{20}	10^{30} (太阳)	天文学
星球	$10^7 \sim 10^{12}$		天体物理学
地球	10^7	10^{24}	地质学
地上物体	$10^{-2} \sim 10^5$	10^2	地球物理学
(包括动植物)		10^{-12} (红血球细胞)	生物学
			生物物理学
凝聚态物质	$10^{-3} \sim 10^6$		凝聚态物理学
介观物质	$10^{-8} \sim 10^{-6}$		介观物理学
气体			空气动力学
液体			液体动力学
固体			固体物理学
等离子体			等离子体物理学
巨大分子	10^{-7}		生物化学
分子	10^{-9}	10^{-26} (氧分子)	高分子化学
原子	10^{-10}		分子物理学
原子核	10^{-14}		化学物理
			化学
基本粒子	10^{-15} 以下	10^{-30} (电子)	原子物理学
			原子核物理学
			粒子物理学

同时,从表 1.1 和图 1.1 中可以看出,物质世界中的许多层次研究,属于物理学的范畴,而另一些层次则属于物理学的分支,或是几个学科交叉的边缘学科.特别是与生物学科的交叉、渗透形成的生物物理学和分子生物学,在现代生物学研究中起到愈来愈重要的作用,物理学不仅为生命科学研究提供了新的理论,并且提供了许多必不可少的分析、测试手段.因此,物理学对其他学科影响之深远,由此可见一斑.

1.1.2 物质存在的时间标度

时空为世间万物的存在、演化提供舞台.对空间的探索也是人类从远古就不断追求的目标之一.中文里“宇宙”中的“宇”就是指上下四方的空间,“宙”的含意是古往今来的时间.对宇宙及世间万物的认识便构成了人们的世界观.

现代科学研究涉及的时间标度从寿命约为 10^{-25} s 的 Z 粒子到宇宙年龄(约 10^{18} s)也跨越了大约 43 个数量级(见表 1.2).对于宇宙的年龄,理论值和天文观测推算值还比较粗糙.按目前公认的比较合理的“大爆炸”理论,时间的起点应从爆炸开始算起,那时宇宙的温度极高,物质密度极大,大约在最初 3min 后,宇宙温度降至 10^9 K,开始合成轻核;随温度的逐渐降低,演化出天体星云,直至成为今天的宇宙,作为大爆炸的痕迹,至今在整个宇宙中还残存着温度约为 2.7K 的“微波背景辐射”,由此可以推出宇宙的年龄大约为 100 亿年.哈勃望远镜的最新观测数据也是这个数量级.

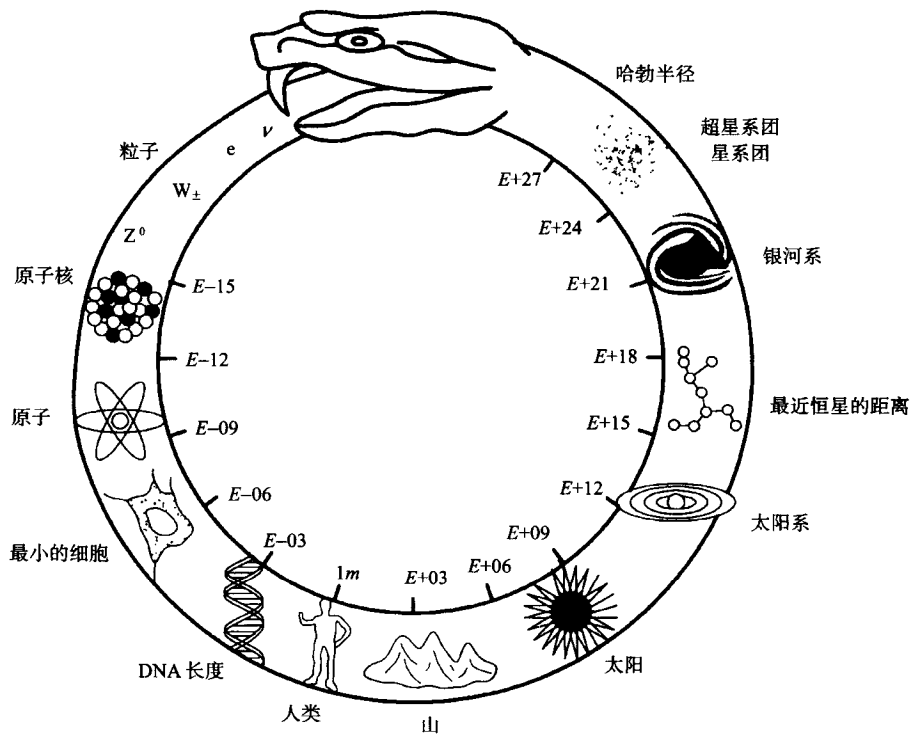


图 1.1 蛇吞尾图,形象地表示了物质空间尺度的层次和宏观系统、微观系统的联系

表 1.2 物质世界的时间标度 (单位:s)

宇宙年龄	10^{18}
地球年龄	10^{17}
恐龙灭绝	10^{16}
古人类出现	10^{14}
人类文明史	10^{11}
地球公转周期	10^7
地球自转周期	10^5
中子寿命	10^3
百米赛跑	10^1
钟摆周期	10^0
市电周期	10^{-2}
高速摄影曝光时间	10^{-4}
μ 子寿命	10^{-5}
π^+ 介子寿命	10^{-8}
τ 子寿命	10^{-13}
z^0 粒子寿命	10^{-25}

1.1.3 物质存在基本形式

到目前为止,实物和场是物质存在的两种基本形式.实物是指由大量原子、分子所组成的宏观实体,也包括原子、分子、离子和静止质量不为零的基本粒子,如电子、质子、中子等.场是物质存在的另一种形式,是传递物体间相互作用的媒质.我们熟知的场,有电场、磁场、电磁场和引力场.传递引力的媒质叫做引力场,传递电磁相互作用的媒质叫做电磁场,微波背景辐射也是一种电磁场.在随后两节内容中将对实物和场的基本性质分别进行讨论.

运动是物质的固有属性.在自然界里,没有不运动的物质,也不存在脱离物质的运动.运动的形式是多种多样的:简单的、复杂的;低级的、高级的.物理学研究的物质运动形式是最基本和最普遍的,它渗透在自然界的一切领域,应用于生产技术的各个方面,这是研究宏观系统和微观系统等不同层次物质的各种复杂和高级运动形式的基础.因此,无论是实物还是场,在对其研究、分析过程中,都是在运动属性的基础上进行的.

§ 1.2 实物的基本性质

1.2.1 分子间的作用力

要把固体拉断需要相当大的力,由此可见,固体的分子之间的力必然是很大的.液体可以分裂成小滴,这表明液体分子间的实际吸引力不像固体那么大.虽然物质分子的大小并不随着它的相而显著变化,然而,大多数液体要比同质量的固体占据更大的体积.因而,液体的分子之间要比固体的分子之间分开得远些.气体所占的体积要达到同质量液体体积的约 10^3 倍,在气体中分子自然地相互远离,就可表明气体分子之间的力是微不足道的.这样我们可以得出结论:分子间的力是随着它们间的距离的增加而趋于减小的.

固体和液体是不容易被压缩的.显然,当固体和液体的分子间的间隔比它们的正常间隔更近的时候,它们就互相排斥.分子被挤得愈靠近,排斥力就愈大.

分子间的力主要是电力和磁力.如果把分子间的分子力与分子间的万有引力相比较,可以发现分子间的力比后者大 10^{29} 倍,因而分子之间的万有引力和分子间的分子力相比是可以忽略的.从一般标准来看,分子间的力是很小的,但是,它所作用的质量,即分子质量,也很小;这些力能够引起比重力加速度大 10^{14} 倍的瞬时加速度,但这种加速度仅能持续极短的时间,因为一个加速到这样的分子将迅速跑出另一分子的作用范围.

虽然所有分子都包含运动着的电荷,但它们一般是电中性的.电荷的运动性使分子能产生电磁相互作用.当两个分子相互接近时,每个分子的表面电荷密度重新分布,其表面的电子稍微偏离正常状态.使得在分子的某一部分上,电荷的平均距离变小,而在另一部分上则变大.这样一来,在两个分子上就形成了带相反电荷的区域,从而产生分子间的吸引力.这样的力是短程作用力.如果分子靠得更近,以致原子的外层电子壳层开始叠合,分子就相互排斥了.这种排斥力来自带同种电荷的电子壳层的排斥,这就是弹性碰撞的原因.

如果假设分子是球状的,那么我们就能用曲线图来描述分子间的力.图 1.2 表示了两

个分子间的相互作用力随着分子间的距离而变化的规律. 如果我们设想有一个分子被固定在坐标轴的交点上, 那么其他分子就被推斥, 直到分子间距离发生在间隔距离 r_0 上, 在这个位置上两个分子间实际上没有作用力; 这个距离 r_0 常被认为是碰撞中分子靠得最近的近似距离. 因而, 这个距离 (约 $2.5 \times 10^{-10} \text{ m}$) 就是两个“相接触”的分子的中心之间的距离, 也就是单个分子的直径. 当分子间的间隔增加时, 分子的异种电荷间的吸引力先是增大, 然后减小, 并且在一个大约是分子直径四倍的距离上趋近于零. 在这个距离上, 第二个分子的内部电荷的位置不再受固定分子的影响. 不同的分子有不同的尺寸和电荷分布, 但它们总是显示出图 1.2 所表示的定性的性质.

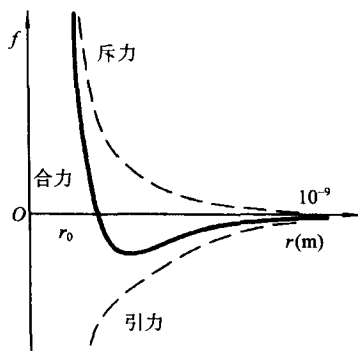


图 1.2 分子间的力与分子间距的关系

在固相状态中, 分子在平衡位置 r_0 附近振动, 它们没有足够的能量来克服分子吸引力, 这个振动中心基本上是固定的. 在液体里, 尽管分子间隔的平均距离大体上是相同的, 但分子却有着较大的振动能量, 它的振动中心是能够自由移动的.

在气相状态中分子有着最大的动能, 气体分子间的平均距离要比分子力作用范围大很多, 并且在接连两次碰撞之间, 分子是沿着直线运动的.

1.2.2 固体

固体有一定的形状和体积, 常将它分为晶体、非晶体和准晶体三类. 晶体内的粒子是规则排列的, 非晶体内的粒子排列却完全是不规则的, 如玻璃、沥青及多种塑料等. 因此, 也称其为玻璃体. 准晶体(态)是 1984 年由美国人薛切特曼等发现的, 它既不像晶体那样粒子非常规则的周期排列, 也不像非晶体那样粒子完全无规则排序, 而具有粒子长程准周期排列的特点, 如急骤冷却形成的微米量级铝锰合金.

结晶固体包括原子态的、分子态的、离子态的、或宏观分子态的晶体, 根据它由哪种粒子构成来决定. 原子态晶体具有有规则排列的原子, 金属就是原子态晶体的例子. 在一种原子态晶体中, 把原子结合在一起的力是一种所谓的电子交换力, 外壳层的疏松原子在相邻原子间的运动, 把各个原子结合在一起. 非金属元素以及许多种化合物形成分子态晶体, 它们的分子排列成有规则的形式. 硫磺结晶、砂糖结晶便是这一类的例子.

在晶体之中将各分子结合在一起的力称为范德瓦尔斯力. 这种力之所以存在, 是因为一个分子中原子的变化电场, 会导致另一个分子中原子电场的相似变化, 因而产生了分子间的吸引力. 离子态晶体是由离子构成的, 氯化钠就是这类固体的一个例子. 一般来说, 在离子晶体中, 每个离子被尽可能多的能密切配合的异号离子所包围, 从而使其结构具有最大的稳定性. 静电力使离子保持有规则的排列形式. 宏观分子态晶体不包含小的子单位; 整个晶体可被看成是一个分子. 金刚石是宏观分子的一个例子, 在金刚石中, 将碳原子结合在一起的力起源于相邻原子所共有的成对电子.

在非晶体中, 粒子通常是一些大的长链形分子, 这些分子是缠结在一起的. 这种固体

的结合是由范德瓦尔斯力和分子的物理性缠结的联合作用所形成的.事实上,非晶体本质上是液体,它们没有明确的熔点,而晶体却只在确定的温度下熔化.

除了这些将固体的粒子结合起来的力以外,还必需考虑固体中粒子的运动.固体的粒子由它们的结合力保持在相对固定的位置.然而,它们还是有围绕着这些固定位置的往复振动.它们的振幅,代表了它们的振动能量,与固体的温度有关.温度越低动能越小,温度越高动能越大.

1.2.3 液体和气体

大多数在室温(20℃)状态下为液体的物质,它们的构成粒子是分子.尽管液体内的分子力较固体有所减弱,但还是大到足以使液体有一个自由表面而且有一定的容积.本课程中我们不仔细追究液体内部分子的详细情况,而对液体的流动性性质和表面性质予以重点讨论,这将分别在第二、三章中进行.

液体和气体一样,均具有流动性,故可将其称为流体,流体是一种连续介质,在其运动过程中将会表现特定的规律和性质,这将在第二章中讨论.气体与液体相比,分子间作用力更小(有时可忽略不计),分子间隔距离更大,作为一种多粒子体系,将在第八章运用统计的方法作进一步的研究,这里不再讨论.

1.2.4 等离子体

从 19 世纪初期起,许多物理学家为了寻找物质的第四态,付出了艰辛的劳动.法拉第在 19 世纪 30 年代就观察过气体的辉光放电现象,英国物理学克鲁克斯在 1879 年研究了真空放电管的放电过程后,第一次指出了物质第四态的存在.他写道:“这些真空管中的现象在物理学中呈现了一个新的领域,在该领域中物质能以第四态的形式存在.”1928 年,朗缪尔在他的一篇题为“电离气体中的振荡”论文中,给这种处于电离态的物质取了个名字,叫 plasma,中文译作等离子体,有趣的是他对于为什么要从医学词汇中借用 plasma(原意为血浆)这个词未作任何解释.

所谓等离子体就是电离了的气体,它由电子、离子和中性粒子三种成分组成.然而,并不是任何电离了的气体都可以称做等离子体,只有满足如下两个条件的电离气体才能称为等离子体:①整体呈现准电中性;②集体效应起主要作用.准电中性是指等离子体中电子和离子的电荷总数基本相等.如果用 n_1 表示带一个正电荷的离子浓度, n_2 为带二个电荷的离子浓度, n_3 为带三个电荷离子浓度……那么,电子浓度 n_e 与离子浓度的关系可表示为:

$$n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \cdots = n_e \quad (1.1)$$

当然,带电子粒子的热运动会给电中性带来某些轻微的影响,只要由此引起的电荷过剩产生的电场非常微弱,对等离子体中绝大部分粒子不发生影响即可.

等离子体之所以与前三聚集态性状不同,主要表现在等离子体间粒子的运动状态非常复杂,这是由于等离子体中带电粒子的运动会引起局部的电荷集中,由此产生电场.电荷的运动也产生电流,因而产生磁场,这些场就会影响较远处的其他带电粒子的运动,这

就是说在集体效应起主要作用的等离子体中,粒子的运动状态不仅取决于该粒子附近的局部条件,而且也取决于远离该粒子区域内的等离子体状态.因此,对等离子体理论和实验研究已形成了一个新的科学——等离子体物理学.

事实上,茫茫宇宙中竟然有 99% 以上的物质都是等离子体!质量巨大的太阳,温度极高,那里的物质无疑都已电离,只能以等离子体状态存在;还有白矮星、中子星以及大量的气态星云和大量的星际物质都是等离子体.日地空间也几乎到处都充满了等离子体,包括太阳风、磁层和电离层;只是在人类现在生存的近地空间内存在较少.随着当代科学的飞速发展,等离子体研究与其他学科之间出现了更多更紧密的交叉渗透,除了天体物理、空间物理外,还与高能物理、流体物理、固体物理及化学等学科相互交叉,在现代科技领域和工业界也出现了广阔的应用前景.因此,等离子体的研究是物理学中的一个重要课题.

1.2.5 暗物质

按照现代物理学的观点,光子和所有以光速运动的粒子具有的静止质量为零,这无疑是质量范围的下限.质量的上限应是宇宙的总质量.目前根据星体发光的光度学理论得到的宇宙的总质量比动力学理论的结果要小 1~2 个数量级,由此人们推测宇宙中还存在所谓的“暗物质”.它的存在及其形态目前还不清楚,但根据现有的理论分析,暗物质的存在与否决定了宇宙是封闭、有限、可能塌缩的;还是开放、无限膨胀的.因此,寻找暗物质的工作是目前物理学和天文学都极为关心的事情.非常有意思的是,粒子物理学中有一种称为中微子的粒子,它们的质量如此之小,一直难于确定它们是否精确为零.然而,最新的研究迹象表明,它们确实有很小但不为零的静止质量,由此就可以用中微子解释暗物质的存在.换句话说,对尺度极小的微观粒子的研究令人惊异的决定了大尺度宇宙的演化图像,而且是关于宇宙有限还是无限的关键性问题.由此也可以说明,整个物质世界既分层次,又属于一个统一和谐的整体.

1.2.6 生物大分子

与前述各类物质存在形式的基本性质相比,生物大分子从一般物理意义上来看,并无特别之处.在此专门给出生物大分子的基本性状的原因有二:一是生物大分子由于结构及功能上的复杂性,已引起各个学科的高度重视,形成了许多交叉、边缘学科,已成为 21 世纪科学研究的热门,对此物理学已发挥着愈来愈重要的作用;二是对生物学科的学生而言不仅有必要学好生物科学,同时在学科交叉、渗透的今天,更应重视如何利用物理学的原理、分析和解决问题的方法,审视已知的生物学现象和规律.

生物大分子主要指蛋白质和核酸(DNA 和 RNA),所有的生命体都含有这两类生物大分子,它们是生命的标志,不论动物、植物还是微生物,高等生物还是低等生物,在化学组成上这两类大分子都很相似.所有的蛋白质由 20 种氨基酸组成;所有的核酸由 4 种核苷酸组成,蛋白质与核酸和生命的基本现象.如生长、繁殖、遗传、代谢等密切相关,DNA 是“立法机构”,具有构建生命体的全套信息,核酸是“执法机构”,是生命功能的执行者.

从组成蛋白质和核酸的原子和分子来看,它们和一般大分子没有不同之处,因此都遵循同样的物理规律.但从结构上看,蛋白质和核酸的复杂机构是一般大分子所没有的,它

们是自然界中最复杂的和最大的分子.用现代物理学的观点,可将其归属于软凝聚态物质.许多基本的生命现象都是生物大分子的复杂结构及其运动的体现.由于这种高度的复杂性,我们还没有完全了解生物大分子所表现出来的物理现象.然而,由于现代物理学在微观系统和复杂系统研究中取得了巨大的进展,越来越多的科学家们正在用物理学的原理和方法研究生物学大分子的基本物理问题.

从20世纪中叶起,许多物理学家与生物学家合作,力图用物理方法揭示生物大分子的结构,1953年,物理学家威尔金斯,得到了DNA的X射线衍射图,与此同时,剑桥大学的著名物理学家弗朗西斯·克里克以及当时和他一直从事研究的年轻的美国遗传学家詹姆斯·沃森从理论上提出了一个可能的DNA结构,这个结构跟威尔金斯发现的尺寸完全一致.1953年,沃森和克里克的DNA结构模型和威尔金斯的结晶学研究结果同时发表了,它震撼了全世界生物学界,这是物理学与生物学结合的优秀范例.

但是,到目前为止,人们对生物大分子的功能及精细结构还是知之甚少,还有许多问题等待我们去研究与探索,例如,目前蛋白质的空间结构主要是用X射线衍射技术和核磁共振技术确定的.但由于测量空间结构比测量序列要困难得多,现今已知空间结构的蛋白质的数目远远小于已知序列的蛋白质数目,从理论上研究蛋白质结构形成的机理,如最著名的所谓的“蛋白质折叠问题”,还未得到满意的答案,遗传信息的复制和转录等问题也没有完全解决,这些都有待于生物物理学家进一步的研究.

§ 1.3 场与物质相互作用

1.3.1 场的基本性质

场是自然界物质存在的基本形式之一.若将二者进行比较,实物是“实在”的,场是“无形”的,基本性质在有些方面并不相同.但二者之间也有其共性,如都具有能量和运动属性,可参与物质之间的相互作用,只是相互作用的途径和方式可能会不同,下面仅就场的基本性质作一介绍.

1. 场是传递物质间相互作用的媒质

场与物质的相互作用一般表现为不同形式的相互作用力,如引力场中的引力、电磁场中的电磁相互作用(力).正是由于场这一媒介作用,才使得我们认识到场是一种物质形式.

2. 场具有独立性和可叠加性

自然界中存在各种各样的场,空间某一点各种不同的场同时存在,且保持其各自独立存在的特征,这就是说场具有独立性;同时,相同性质的场在空间某一点又可相互叠加.这些性质可通过场与物质的相互作用来检验.

3. 描述场存在及其大小有不同的特征指标

在引力场中我们引入万有引力来描述,在电场、磁场中引入场强、磁感应强度等概念来描述,速度场可用速度梯度来表征等.一般而言,描述场的大小的物理量均为矢量.

4. 势是描述场与物质相互作用的重要物理量

根据自然界中的物质相互作用的能量特征,可将场分为保守场和非保守场两类.所谓