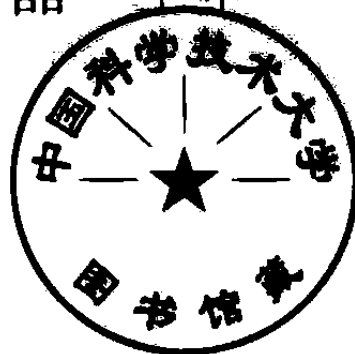


ND19/11
黑龙江省高等工科院校统编教材

物理学与现代工程技术

曹茂盛 徐国忠 编著
荆天辅 苑立波 马晶 主审



哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书是黑龙江省高等工科院校物理学系列教材中的配套阅读教材,书中精选了八个与物理学原理密切相关的技术专题,着重论述了物理学基本原理在现代工程技术中的应用。

本书可作为高等工科院校物理学教学参考书,也可供工科大学生及相关专业工程技术人员阅读。

物理学与现代工程技术

Wulixue yu Xiandaigongcheng Jishi

曹茂盛 徐国忠 编著

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨师范大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 6.25 字数 138 千字

1997年2月第2版 1997年2月第2次印刷

印数 7 001—10 000

ISBN 7-5603-1191-1/O·82 定价 5.00 元

前 言

《物理学与现代工程技术》是黑龙江省高等工科院校物理学系列教材中的配套阅读教材。编写本书的目的是为了贯彻落实“高等学校工程专科物理学课程教学基本要求”中所强调的“应用为主,够用为度”的基本精神,使学生更多地了解物理学原理在工程技术中的应用,从而拓展学生的知识面,培养学生自学能力和理论联系实际的能力。全书分 8 章 33 节,详细介绍了超声技术、光纤技术、激光技术、微波技术、电子束技术、等离子体技术、红外技术和超导电技术的原理、技术与应用。此外,还扼要地介绍了物理学与材料科学、非线性动力学与耗散结构、光计算技术等前沿科学的新进展。本书具有以下特色:

1. 选题新颖,针对性强,在物理学基本原理的基础上,强调了物理学原理与工程技术的结合,即物理学原理的应用性。
2. 理论联系实际,内容丰富,叙述深入浅出、通俗易懂。
3. 强调物理方法与工程技术方法相结合,有助于提高学生分析问题和解决问题的能力。
4. 适合于学生自学,特别适合于教师作为第二课堂教学的参考书和大学学生的课外读物。

本书由齐齐哈尔轻工学院曹茂盛和燕山大学徐国忠编著。此外,哈尔滨工业大学袁峰,哈尔滨理工大学殷景华,东北重型机械学院房晓勇、丁喜丰、孙兴明,齐齐哈尔轻工学院袁杰,黑龙江武警总医院曹茂荣等同志应“物理学系列教材编审委员会”的邀请也参加了部分章节的编写工作,在此特向上述几位同志表示衷心的感谢。

本书属于初步探索,由于缺乏经验,缺点和疏漏在所难免,敬请读者和同行专家批评指正。

作者

1996年10月

目 录

绪论	(1)
第一章 超声技术	(9)
§ 1-1 超声波及其特性	(9)
§ 1-2 超声检测技术	(11)
§ 1-3 超声处理技术	(16)
§ 1-4 超声生物和医学	(19)
第二章 光纤技术	(27)
§ 2-1 光纤的导光原理	(27)
§ 2-2 光纤通信技术	(30)
§ 2-3 光纤传感器技术	(34)
第三章 激光技术	(40)
§ 3-1 激光原理及其特性	(40)
§ 3-2 激光检测技术	(43)
§ 3-3 激光加工技术	(51)
§ 3-4 激光全息术	(57)
§ 3-5 激光医学简介	(64)
第四章 微波技术	(69)
§ 4-1 微波的产生及其特性	(69)
§ 4-2 微波检测技术	(73)
§ 4-3 微波加工技术	(80)
§ 4-4 微波通信技术	(84)

§ 4-5	雷达与雷达波隐身	(88)
第五章	电子束技术	(93)
§ 5-1	电子束的形成及其特征描述	(93)
§ 5-2	电子束成像技术	(98)
§ 5-3	电子束加工技术	(102)
第六章	等离子体技术	(110)
§ 6-1	等离子体的基本概念与性质	(110)
§ 6-2	等离子体的产生技术及其分类	(115)
§ 6-3	等离子体技术的应用	(119)
第七章	红外技术	(124)
§ 7-1	红外辐射及其规律	(124)
§ 7-2	红外检测技术	(125)
§ 7-3	红外热加工技术	(131)
§ 7-4	红外医学	(132)
§ 7-5	红外技术与现代化战争	(137)
第八章	超导电技术	(143)
§ 8-1	超导体的基本特性	(143)
§ 8-2	超导电技术应用	(144)
§ 8-3	超导电技术在电子对抗中的应用	(146)
§ 8-4	超导电技术在医学方面的应用	(152)
§ 8-5	高温氧化物超导体应用研究进展	(154)
附录 I	物理学在材料科学中的应用	(160)
附录 II	物理学原理与新材料的计算机辅助设计	(168)
附录 III	非线性动力学与耗散结构论简介	(176)
附录 IV	发展中的光计算技术	(184)

绪 论

物理学是研究物质的基本结构及其运动一般规律的一门学科。物理学研究的范围极其广泛,从基本粒子到整个宇宙,都是物理学研究的范畴。物理学建立的新概念和新方法,以及为物理学研究所发展起来的各种特殊条件和测量手段不仅极大地促进了人们对自然界的认识,而且对其它学科和工程技术的发展也指明了方向。

从历史上看,物理学对世界三次大的技术革命起到了非常关键的作用。第一次技术革命始于 18 世纪 60 年代,其主要标志是蒸汽机的广泛应用,这是牛顿力学和热力学发展的必然结果;第二次技术革命发生于 19 世纪 70 年代,主要标志是电力的广泛应用和无线电通讯技术的实现,这是电磁现象和电磁学理论重大突破导致的光辉成果;第三次技术革命发生于本世纪初,由于 X 射线、放射线、原子结构、电子的波粒二象性的发现,诞生了相对论和量子力学,奠定了近代物理学的基础。近代物理学所揭露的新概念和新现象,刷新了世界面貌,促进了原子能、电子计算机、激光等的广泛应用。80 年代以来,一场以高科技为核心的科技革命,又一次揭开了科技发展史上新的一页。

一、物理学与能源技术

随着社会的发展,全球对能源的需求量愈来愈大,为了适应今后的需要,除了大力开发石油、天然气、煤等传统能源外,对新能源开发利用,节约能源,成为引人注目的新技术。

原子能的利用 物理学中核物理和高能物理学关于原子核和基本粒子的组成、结构、运动及粒子之间基本相互作用的研究为新能源尤其是原子能的发现和利用提供了最直接的理论基础和方法。等离子体理论的日臻完善使受控核聚变有可能成为人类理想的能源,也使磁流体发电等工业应用达到了更高的水平。聚变等离子体温度、密度变化很大,物质状态比较复杂,涉及到大量的原子分子过程。因而又使原子分子物理学成为等离子体温度密度测量,等离子体诊断和分析的重要手段。在人类已经能够制造核武器、核动力舰船、建造一般核电站的今天,物理学家在未来核能发展战略中,又提出了以快中子增殖堆、高温气冷堆和聚变、裂变混合反应堆的计划,这对 21 世纪实现核能的持续稳定发展具有重要意义。

太阳能的利用 在太阳能的利用方面,凝聚态物理和光物理发挥着关键性的作用。预计 90 年代将会在光电、光热及光学转换的材料和器件方面实现重大突破,这将大大加快太阳能发热、太阳能发电、太阳能制氢的早日实现。

其它新能源技术 新能源技术还包括地热、风能、海洋能的利用,生物能的利用(即植物直接作为燃料、植物产生油料和液体燃料能源利用),以及高效、低污染、经济的储能的利用等方面。这些技术的研究与发展将在节省资源、缓解运输压力与减少环境污染等方面具有明显的经济效益和社会效益。

二、物理学与材料技术

材料是发展工业、农业、国防、科学技术和提高人民生活水平的重要物质基础。一个国家材料的品种、质量和产量是直接衡量其科学技术和经济发展水平的重要标志。

物理学基础研究的新理论、新发现、新效应和新实验技术是材料科学技术发展的主要动力之一。其中,凝聚态物理是物理学中内容最丰富、应用最广泛、最活跃的领域,也是材料技术的基础。凝聚态物理目前正迅速发展的重要前沿有:高温超导性、半导体超晶格物理、新型晶体和晶体学、新型磁性材料物理、超微粒子物理。

超导电性 凝聚态物理中关于超导体方面的研究非常活跃。Bardeen, Cooper, Schriber 创立的超导电性理论及高温超导的最新进展已促使人们议论一场可能的工业革命。高温超导研究之所以引起世界各国普遍关注,是因为高温超导的广泛应用,将会给人类社会带来巨大利益。利用超导体的零电阻和抗磁性特点,可以研制出时速 500 公里的会“飞”的磁悬浮列车和体积小、效率高、功率极大的超导电机。还可以实现无损耗的输电、储电、储能,实现可控热核反应等。超导超级对撞机正开始建造,超导核磁共振成像仪已在医学上应用。利用超导的隧道效应可以制作出对磁场或电磁辐射有极高灵敏度的探测器件(SQUID),发展运算速度极高的电子计算机。

半导体超晶格物理 半导体超晶格物理是当代凝聚态物理学的新生长点和重要前沿领域。它是以具有各种人工剪裁能带结构的半导体低维电子系统(二维、一维、零维)为主要研究对象的半导体物理学。

理论和实践表明,在能带结构经过人工剪裁的半导体低

维系统中固体的许多基本属性,如电子态、元激发过程和各種相互作用过程均表现出与三维固体完全不同的特性。在原子尺寸上对半导体的组分、掺杂、层次结构的人工构造工程给以人们最大的自由度来“设计”半导体。因此人们有可能来研究在天然半导体中根本不存在的新物理现象,从而开拓半导体物理的最新研究领域。另一方面,半导体超微结构中呈现出的新物理现象和效应不断开辟了新器件的应用领域,把固体电子器件、光电子器件推向一个全新的发展阶段。因此,半导体超晶格物理的历史地位将与40年代P-N结、晶体管的发明齐名。

新型晶体和晶体学 晶体品种很多,功能各异,而且新的晶体和晶体的新物理效应层出不穷,在半导体、计算机、自动化、激光、光电子和遥感等新技术领域有广泛应用。晶体学这一学科是以晶体为主要对象,研究其原子排列的对称规律、结构特征、相变、缺陷以及它们与物理性质的关系。同时研究其生长机理和规律,发展新型晶体材料。晶体学无论是对传统的原子周期性排列的研究和新晶体的出现,还是发展到对准周期、非周期以及高维、低维结构特征的特质的研究都是十分重要的。

新磁性材料与物理 磁性材料在工业自动化、电气化、计算技术、信息雷达、导弹制导、电子对抗等国民经济和国防建设的各个领域占据着重要地位,每一种新的磁性材料的诞生和应用都往往会引起新技术的巨大进步。磁学和磁性材料的主要研究方向是:从探索物质磁性起源及材料磁性的基本规律入手,重点研究开发新型稀土永磁材料、磁记录材料、磁敏感材料、软磁材料、微波磁性材料、快速冷凝材料和人工超晶格磁性材料等,促进新型磁性材料的应用。

超微粒子(纳米)固体物理 当粒度尺寸达到 $1\sim 100\text{ nm}$ 数量级的小颗粒在保持新鲜表面的情况下压制成块状固体或沉积成膜时,会产生许多异常的物理现象。首先,由于颗粒为纳米数量级而具有量子尺寸效应。此外,颗粒之间的界面所占体积比较高,几乎达到 50% 。再加上界面呈无规律分布,纳米固体中的原子排列既不同于具有长程序的传统晶体,也不同于具有短程序的非晶态材料,是一种具有新的物质状态的凝聚态固体。由于超微粒子具有不寻常的物理和力学性质,因此被美、日、英、德、法等国誉为“21 世纪最有前途的材料”。超微粒子体系基本问题的研究为微电子技术、集成光学、光计算、光存储、分子电子学的进一步发展提供了重要的理论基础和工艺基础,是一项急需大力加强的基础研究。

三、物理学与信息技术

信息技术是有关信息产生、获取、识别、转换、组织、存储、处理、显示、控制和利用的技术。信息技术的内容在现代已重新定义,它包括传感技术、通讯技术、计算机技术和自动化技术。历史上,无线电通讯技术的实现是物理学中电磁现象和电磁学理论的重大突破带来的光辉成果。而在现代,物理学对信息技术有重大影响的学科首推原子分子物理、光物理和声学。

原子分子物理是研究原子与分子结构、运动规律以及相互作用的学科。光物理是研究光的基本性质,光的产生、传输、接收、显示及其与物质相互作用的学科。原子分子物理和光物理对信息技术最深刻最重要的推动无疑是激光的发现,它使通讯的面貌从此焕然一新。激光出现后蓬勃发展起来的非线性光学在激光技术、信息处理和存储、计算技术等方面有重要的应用前景。原子分子物理、光物理和凝聚态物理相结合产生

了新的激光器、新的激光波段、新的相干光源和各种各样非线性光学器件。集成光学的研究为光通讯、光计算等信息领域将带来革命性的变化。

声学是物理学的一个重要分支,它是研究物质中机械波的产生、传播和接收及其与物质的相互作用的学科。声波在介质中的传播是声学基础研究中最重要的内容。声波具有频率范围宽,传播介质广,穿透能力强等特点。低频声波可以穿透几十公里的大气、海洋与地层,特超声的分辨力可达到分子尺度。超声波在固体中传播的研究促进了超声医学诊断与治疗,推动了无损检测技术的发展,以及在固体材料研究中的应用。声波不仅是传输信息的工具,还可以用来探测物质的内部结构。高频声学的研究已深入到物质的微观结构,并可能为凝聚态物理提供一种新的研究方法——声学方法。

目前只有声波能够在海水中远距离传播,水声是水下探测、目标识别、通讯导航的主要手段,广泛应用于海洋开发与水下反潜作战中。此外,声学的研究还将促进语言声学及保密通信,这对于军事指挥系统、经济信息和商业部门具有现实意义。

四、物理学与生物技术

生物技术也称生物工程,它是生物科学与技术科学相结合的产物。传统的生物技术包括酿造、酶的使用、抗菌素发酵、味精生产和氨基酸工业等。传统生物技术和新生物技术有本质区别。现代生物技术主要起源于近年来对遗传信息的破译。今天的科学家可以通过基因的剪裁重组、细胞融合等方法在分子水平上改进生物性状。

物理学对生物技术的贡献之一是对生物大分子和 DNA

结构的测定。尤其是在物理学中隧道效应研究基础上建立起来的扫描隧道显微镜成功地观察到 DNA 双螺旋结构和三瓣变异结构是对生物物理学理论的有力验证。

光谱分析方法也是生物样品基本测量方法。现已发现癌细胞的光谱异常,从而使光谱成为检测癌病变的手段。应物理学研究需要发展起来的超快过程技术已成为研究光合作用中物质、能量、信息转移过程不可缺少的重要手段。

由于高能物理和物理研究的需要发展起来的加速器技术已经取得了广泛的应用。加速器可用于同位素生产、放射性治疗、医疗器械消毒、食品保鲜、物品养护、环境净化和辐射育种。离子束育种就是用物理方法改变基因的性状的一个突出例证。利用扫描隧道显微镜可以搬运原子,实现材料的原子级组装、加工。这一切将对未来的生物技术带来重大的影响。

五、物理学与空间技术

空间技术包括应用卫星技术、载人航天技术、从空间研究地球及宇宙整体行为的技术和微重力科学技术。众所周知,物理学是卫星和火箭发射、运行、控制的直接理论基础。今天,天体物理、大气物理和地球物理仍然是空间技术的重要理论背景和设计基础。其中等离子体物理和原子分子物理,以及光物理也起着十分关键的作用。研究日地空间等离子体行为具有重要意义,飞行目标红外探测的光辐射传输过程和强光传输中所遇到的原子分子问题直接影响空间军事应用的精确性。此外,军事上也需要研制能机动发射的战术应用卫星,凝聚态物理研究的许多新材料和精密加工技术使卫星部件的小型化成为可能。

微重力科学在空间技术的发展中迅速发展起来,它包括

微重力材料科学、流体力学和生命科学。利用空间的有利条件,有可能发展成为受益巨大的产业,这已经引起各国科学家和企业家的注意。

六、物理学与海洋技术

海洋研究与开发包括海洋动力学、海洋物理特性和海底地质学。具体研究的是海洋水体的循环与交换、海洋的温度状况、海洋声学特性、海洋与大气层的相互作用、改进海洋环境与天气状况的长期预测方法、海底和大陆架构成的地质学理论。借助现代化的技术手段,人们可以直接地观察到海底成矿过程,海底蕴藏的钴、锌、铜等各种贵金属的硫化物和铁锰结核体。海洋技术还包括深海钻探技术和能够住人的水下工程,从海水中提取贵重元素的研究。

从以上六个方面的论述中可以看出,物理学在历史上对科学技术的发展,乃至人类社会生活起到重要的推动作用。今天,物理学的研究成果仍源源不断地在现代工程技术及高科技研究领域发挥着积极的推动作用。本书中列举了现代工程技术领域中与物理学相关的八个典型技术,简要介绍物理学在现代工程技术中的应用,希望对读者能有所启发。

第一章 超声技术

超声技术是关于超声波在生产技术中的应用,以及有关的量度技术和仪器设备的一门工程技术学科,其研究范围极为广泛。

§ 1-1 超声波及其特性

一、声波 超声波

在 20~20 000 Hz 频率范围内的振动称为声振动,由声振动所激起的机械波称为声波。频率高于 20 kHz 的机械波叫做超声波。机械波的一般规律在物理学通用教材中均有介绍,这里只介绍声学的某些特殊问题。

声压和声压级 介质中有声波传播时的压力与无声波传播时的静压力之间有一差值,称为声压。由于声波是疏密波,介质中各点声振动作周期性变化,所以声压也作周期性变化。对平面余弦波,可以证明声压振幅 p_m 为

$$p_m = \rho c A \omega \quad (1-1)$$

式中 ρ 是媒质密度, c 是声速, ω 是圆频率, A 是声振动的振幅。

介质中某点声压与基准声压之比值 Δ 的常用对数乘以

20, 定义为该点的声压级, 单位是 dB, 即

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad (1-2)$$

式中 p_0 是基准声压, 在空气中常取 2×10^{-5} Pa, 液体中取 10^{-6} Pa。

声强和声强级 声强就是声波的能流密度, 即单位时间内通过垂直于声波传播方向单位面积的声波能量, 单位是 W/m^2 , 其数学表达式为

$$I = \frac{1}{2} \rho c A^2 \omega^2 \quad (1-3)$$

由(1-1)与(1-3)式得

$$I = \frac{1}{2} \frac{p_m^2}{\rho c} \quad (1-4)$$

式(1-1)与(1-3)表明, 频率愈高就愈容易获得较大的声压和声强。这一方面是因为辐射同样声功率的高频发生器, 尺寸较小, 以致单位面积上所发射的功率可以较大; 另一方面高频声波易于聚焦, 可以在焦点上获得极大的声强。

介质中某点的声强与基准声强之比的常用对数乘以 10, 定义为该点的声强级, 单位 dB, 即

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1-5)$$

式中基准声强 $I_0 = 10^{-12} \text{W}/\text{m}^2$ 。

此外, 把加速度振幅 $a_m = A\omega^2$ 代入(1-3)和(1-4)式可得

$$I = \frac{1}{2} \rho c A^2 \omega^2 = \frac{1}{2} \rho c \frac{a_m^2}{\omega^2} \quad (1-6)$$

即在极大的高频声强时, 压力振幅可达千百个大气压, 获得的加速度振幅可达 g 的数百倍。对高频超声波, 相距约 1 mm 的半波长的两点将出现方向相反的加速度, 以及成千个大气压