

PHYSICS AND
MODERN
ENGINEERING TECHNOLOGY

物理学

与

胡其图 主编

现代工程技术

河南科学技术出版社

PDG

前 言

物理学是一门重要的基础科学,研究物质的结构及其运动的基本规律。物理学的发展不仅推动了整个自然科学的发展,而且在现代工程技术的发展中发挥着极其重要的作用,是现代工程技术发展的最主要的源泉。

在当代高新技术加速发展、科技信息量激增、知识更新速度加快的形势下,促使高等工程教育向更加重视素质教育的方向转变,新的教育模式无疑应把打好基础和培养获取知识的能力作为教育的重点,从而使学生走上工作岗位之后,能够不断地、有效地更新和掌握所需的科技知识,以便适应实际工作需要。物理学中每一项新的成就,从产生到它在工程技术中得到应用之间的时间间隔正在变得越来越短,谁都不会否认,未来工程技术的进步极大地依赖于物理学以及与物理学有关的边缘科学的进展。

大学物理课程是高等院校工科各专业学生的一门重要基础课,在面向 21 世纪教学内容和课程体系改革过程中,教学内容改革的重点之一是要实现大学物理课程内容的现代化。在大学物理课程的教学过程中,除了要加强近代物理学教学内容之外,还要注意充实经典物理学原理在现代工程技术中的应用,这也是大学物理课程内容现代化的一个重要方面。对于面向 21 世纪的高等院校工科各专业学生来说,通过大学物理课程的学习,不仅要掌握必要的物理学基础知识,了解物理学的整体概貌,具备较强的能力和较高的物理素质,而且应该为掌握、应用和发展新技术打好物理基

础。

为了使学生更好地理解和掌握物理学的基本概念和基本规律,培养学生能自觉地思索将物理学原理和方法运用于工程技术实际问题的途径,在大学物理课程的教学过程中,恰当地引入一些物理学在现代工程技术中的应用内容是非常必要的。这是为了使 学生懂得,物理学建立的概念和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大大深化了人们对自然界的认识,而且为现代工程技术的发展开辟了道路,物理学的研究成果源源不断地在现代工程技术中得到应用。物理学的每一项进步,哪怕是最初看起来与实际应用毫无关系的进步,最终都会给人类带来福利。这实际上有利于加强学生对物理学的基本概念和基本规律的深入理解和掌握,有利于提高学生分析问题和解决问题的能力。在教学中只要掌握得当,这样的作用总是能够获得的。

正是基于上述考虑,我们撰写了《物理学与现代工程技术》。其中,一部分内容涉及到经典物理学原理在现代工程技术中的应用,另一部分内容涉及到近代物理学原理在现代工程技术中的应用。本书选择了 18 个专题:制冷技术,静电技术,磁盘存储技术,超导技术,微波技术,红外技术,X 射线技术,激光技术,全息技术,光纤通信技术,CD 光盘存储技术,传感器及传感技术,薄膜及薄膜技术,液晶显示技术,核磁共振技术,穆斯堡尔谱学及其应用,STM 与纳米技术,CT 技术等。本书除了对上述各专题较系统地介绍之外,还着重阐述了这些专题所涉及的物理学原理。由于本书部分内容取材较深广,在教学中教师可根据实际情况取舍。本书每章内容都相对独立,读者也可根据个人的需要和兴趣,选读其中部分内容。

本书是国家教委“八五”期间高等教育教材研究课题“国内外工科物理教材比较研究”和国家教委高等学校工科物理课程教学指导委员会“八五”期间教材研究课题“工科大学物理教材与物理

学应用研究”的成果之一。

在上述课题的研究中,我们收集到了千余份有关物理学在现代工程技术中应用内容的文献和资料,不仅为上述课题的深入研究积累了大量素材,而且为本书的撰写创造了有利条件。

本书编写分工如下:第一章由张运强撰写;第二章由艾宝勤撰写;第三章由胡其图撰写;第四章由吴明阳撰写;第五章由张耀举、常同钦撰写;第六章由王吉有、孙长庚撰写;第七章由张波涛撰写;第八章由胡其图、沈辉奇撰写;第九章由王本生撰写;第十章由张耀举撰写;第十一章由胡其图撰写;第十二章由吴明阳撰写;第十三章由薛运才撰写;第十四章由张耀举、常同钦撰写;第十五章由邓明成撰写;第十六章由申作成撰写;第十七章由孙长庚撰写;第十八章由张运强撰写。全书由胡其图(吴明阳协助)统稿、定稿。

在本书的编写过程中,北京大学赵凯华教授、北京科技大学朱荣华教授、西安交通大学吴百诗教授、清华大学张三慧教授、上海交通大学顾世洧教授等,曾给予了具体的支持和帮助,并提出过指导性意见和具体建议,我们在此表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中,曾得到苏玉玲、陈霭玲、韩立文、王如梅、施大英、吕文利等同志的热情帮助,我们在此表示真诚的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

胡其图

1996年9月

目 录

第一章 制冷技术	(1)
§ 1.1 引言.....	(1)
§ 1.2 制冷技术的物理原理.....	(3)
一、蒸气压缩式制冷的基本原理.....	(4)
二、热电制冷的基本原理.....	(6)
三、磁制冷的基本原理.....	(14)
§ 1.3 制冷技术的应用.....	(17)
一、蒸气压缩式电冰箱.....	(17)
二、小型空调器.....	(18)
三、制冷技术的其他应用.....	(22)
第二章 静电技术	(25)
§ 2.1 引言.....	(25)
§ 2.2 静电除尘技术.....	(26)
一、物理原理.....	(27)
二、静电除尘器的结构和工作原理.....	(30)
§ 2.3 静电植绒技术.....	(32)
一、物理原理.....	(33)
二、植绒机的结构和工作原理.....	(35)
§ 2.4 静电复印技术.....	(37)
一、物理原理.....	(38)
二、静电复印机的结构和工作原理.....	(39)
§ 2.5 静电技术的其他应用.....	(42)
一、静电防除水垢.....	(42)
二、静电喷涂.....	(44)

三、范德格拉夫静电加速器·····	(45)
§ 2.6 防止静电的危害·····	(47)
一、现代防雷科技·····	(47)
二、防静电噪声危害·····	(49)
三、防静电放电危害·····	(50)
四、避免高压电漏电·····	(51)
第三章 磁盘存储技术 ·····	(53)
§ 3.1 引言·····	(53)
§ 3.2 磁盘存储技术的物理原理·····	(56)
一、写入过程·····	(57)
二、读出过程·····	(65)
§ 3.3 软磁盘与软磁盘驱动器·····	(67)
一、软磁盘·····	(67)
二、软磁盘驱动器·····	(71)
§ 3.4 硬盘驱动器·····	(73)
一、温彻斯特硬盘驱动器·····	(75)
二、MR 磁头技术·····	(79)
三、PRML 技术·····	(81)
四、大容量小型硬盘驱动器展望·····	(83)
第四章 超导技术 ·····	(87)
§ 4.1 引言·····	(87)
§ 4.2 超导电的基本现象和基本规律·····	(88)
一、超导电的基本现象·····	(88)
二、超导体的类型·····	(93)
三、超导电性的微观机理·····	(96)
四、隧道贯穿现象和约瑟夫森效应·····	(100)
§ 4.3 超导技术及其应用·····	(107)
一、超导强电强磁技术及其应用·····	(107)

二、超导弱电弱磁技术及其应用	(114)
三、超导技术展望	(117)
第五章 微波技术	(120)
§ 5.1 引言	(120)
一、微波的特性	(121)
二、微波技术的发展与应用	(123)
§ 5.2 微波无损检测	(125)
一、物理原理	(125)
二、工作原理	(129)
三、应用	(131)
§ 5.3 微波炉	(132)
一、微波加热的物理原理	(133)
二、微波炉的结构和工作原理	(135)
三、微波加热的应用及前景	(137)
第六章 红外技术	(139)
§ 6.1 引言	(139)
§ 6.2 红外技术的物理原理	(140)
一、概述	(140)
二、红外辐射的基本规律	(142)
三、红外辐射的发射与吸收	(146)
四、红外探测器	(148)
§ 6.3 典型红外仪器	(151)
一、概述	(151)
二、红外辐射计	(151)
三、光学高温计	(153)
四、热像仪	(155)
五、红外光谱仪	(159)
六、远红外电暖器	(161)

§ 6.4 红外技术的应用及展望	(162)
一、在军事领域的应用	(162)
二、在无损检测中的应用	(164)
三、在定性分析中的应用	(166)
四、红外加热技术的应用	(167)
五、在其他方面的应用	(167)
第七章 X射线技术	(169)
§ 7.1 引言	(169)
§ 7.2 X射线的产生机制及特性	(170)
一、X射线的产生机制	(170)
二、X射线的特性及其与物质的相互作用	(174)
§ 7.3 X射线光谱分析	(179)
一、X射线光谱的激发	(180)
二、X射线光谱仪	(181)
三、X射线光谱分析方法概述	(184)
§ 7.4 X射线检测技术	(185)
一、X射线透视(照相)	(186)
二、X射线衍射形貌术	(187)
§ 7.5 同步辐射X射线及其应用	(190)
一、同步辐射的产生及特性	(190)
二、我国同步辐射光源的现状及应用前景	(191)
第八章 激光技术	(196)
§ 8.1 概述	(197)
一、自发辐射、受激辐射和受激吸收	(197)
二、产生激光的基本条件	(201)
三、几种典型的激光器	(208)
四、激光的模式	(214)
五、倍频、激光频率的变换	(218)

六、调 Q	(221)
七、锁模振荡	(223)
八、激光的特性	(225)
§ 8.2 激光加工技术	(226)
一、激光与材料相互作用的一般规律	(228)
二、激光表面强化技术	(235)
三、激光焊接	(241)
四、激光切割	(247)
五、激光打标记	(252)
六、激光微加工技术	(254)
§ 8.3 激光在军事上的应用	(260)
一、激光测距	(261)
二、激光雷达	(266)
三、激光制导	(268)
四、激光陀螺	(273)
五、激光通信	(277)
六、激光武器	(282)
第九章 全息技术	(291)
§ 9.1 引言	(291)
一、全息技术的诞生和发展	(291)
二、全息图的类型	(299)
§ 9.2 全息技术的物理原理	(301)
一、全息照相记录过程	(302)
二、全息照相再现过程	(305)
三、白光全息及其波长选择原理	(308)
§ 9.3 全息技术的应用及展望	(310)
一、模压全息显示技术	(310)
二、全息干涉计量无损检测技术	(317)

第十章 光纤通信技术	(332)
§ 10.1 光纤通信的物理原理	(333)
一、光的全反射原理和光导纤维	(333)
二、阶梯折射率光纤中子午光线的分析	(334)
三、光在渐变折射率光纤中的传播	(336)
四、传播模式	(338)
五、光导纤维的传输特性	(339)
§ 10.2 光纤通信的工作原理	(343)
一、光发射机	(344)
二、已调光波的传输	(346)
三、光接收机	(347)
§ 10.3 光纤通信的应用及展望	(349)
一、公用光纤通信系统	(349)
二、专用光纤通信系统	(351)
三、光导纤维的其他应用	(352)
四、光纤通信技术的发展	(358)
第十一章 CD 光盘存储技术	(361)
§ 11.1 引言	(362)
§ 11.2 CD-ROM	(367)
一、CD-ROM 光盘	(367)
二、CD-ROM 驱动器	(371)
§ 11.3 CD-R	(378)
一、CD-R 光盘	(378)
二、CD-R 驱动器	(380)
§ 11.4 其他光盘存储器	(381)
一、磁光盘	(381)
二、相变光盘	(383)
第十二章 传感器及传感技术	(385)

§ 12.1 引言	(385)
一、概述	(385)
二、传感器的组成及特性	(387)
三、传感器的分类	(389)
§ 12.2 传感器的物理原理	(391)
一、守恒定律	(392)
二、有关物质运动的基本定律	(392)
三、有关物质特性的规律	(394)
§ 12.3 几种典型的传感器	(407)
一、光电传感器	(407)
二、温度传感器	(411)
三、光纤传感器	(415)
§ 12.4 传感器的应用及展望	(421)
一、传感器的应用	(421)
二、传感器的发展方向	(424)
第十三章 薄膜及薄膜技术	(427)
§ 13.1 引言	(427)
一、薄膜研究史	(427)
二、薄膜制备技术	(429)
三、薄膜的应用	(430)
§ 13.2 沉积薄膜的物理原理	(431)
一、微滴理论	(432)
二、原子理论	(436)
三、薄膜形成的过程	(438)
四、薄膜的结构	(441)
五、薄膜的缺陷	(443)
六、影响成核和生长的各种因素	(444)
§ 13.3 两种重要薄膜的沉积方法	(446)

一、用脉冲激光蒸发沉积(PLD)高温氧化物 超导薄膜 YBaCuO	(446)
二、用微波等离子体化学气相沉积(MWPCVD) 金刚石薄膜	(448)
§ 13.4 几种重要的薄膜及其应用	(451)
一、氮化钛薄膜	(451)
二、金刚石薄膜	(451)
三、立方氮化硼薄膜	(453)
四、类金刚石薄膜	(454)
五、磁性薄膜	(455)
六、铁电薄膜	(455)
七、各种光学功能薄膜	(456)
八、非晶半导体薄膜	(457)
九、超导薄膜	(458)
十、有机分子薄膜	(459)
第十四章 液晶显示技术	(464)
§ 14.1 液晶显示的物理原理	(465)
一、液晶的分类	(465)
二、液晶的特性	(467)
§ 14.2 液晶显示器及其工作原理	(472)
一、扭曲向列(TN)液晶显示器	(473)
二、电控双折射(ECB)效应显示器	(474)
三、超扭曲向列(STN)液晶显示器	(474)
四、矩阵型液晶显示器	(477)
§ 14.3 液晶显示技术的应用	(481)
第十五章 核磁共振技术	(486)
§ 15.1 引言	(486)
§ 15.2 核磁共振的基本原理	(491)

一、原子核的自旋磁矩及其能量	(491)
二、射频脉冲与原子核的弛豫	(494)
三、化学位移与磁核耦合	(497)
四、原子核的能级结构与穆斯堡尔效应	(500)
§ 15.3 核磁共振谱技术	(503)
一、傅里叶变换核磁共振谱仪	(503)
二、二维傅里叶变换核磁共振谱仪	(507)
三、核磁共振谱应用举例	(512)
§ 15.4 核磁共振成像技术	(518)
一、基本原理	(518)
二、基本方法	(519)
三、核磁共振成像技术简介	(524)
四、核磁共振成像技术应用举例	(526)
第十六章 穆斯堡尔谱学及其应用	(528)
§ 16.1 穆斯堡尔谱学的基本原理	(529)
一、穆斯堡尔效应	(529)
二、超精细相互作用	(533)
三、穆斯堡尔谱的超顺磁弛豫现象	(541)
§ 16.2 穆斯堡尔谱学的实验技术	(544)
一、穆斯堡尔谱仪	(544)
二、实验数据处理	(548)
三、穆斯堡尔成像技术	(550)
§ 16.3 穆斯堡尔谱学的应用及展望	(552)
一、穆斯堡尔谱学的应用	(552)
二、穆斯堡尔谱学展望	(559)
第十七章 扫描隧道显微镜与纳米技术	(561)
§ 17.1 引言	(562)
一、显微科技的历史	(562)

二、扫描隧道显微镜的问世	(564)
§ 17.2 扫描隧道显微镜的物理基础	(565)
§ 17.3 扫描隧道显微镜的结构和工作原理	(568)
一、扫描隧道显微镜的扫描模式	(568)
二、扫描隧道显微镜的结构	(570)
三、表面科学与扫描隧道显微镜的工作	(576)
§ 17.4 纳米技术与纳米材料	(578)
一、纳米材料简介	(578)
二、纳米技术浏览	(581)
§ 17.5 STM 与纳米技术的回顾与展望	(586)
第十八章 CT 技术	(589)
§ 18.1 CT 技术的物理原理	(590)
一、透射式 CT 的物理原理	(590)
二、康普顿散射 CT 的物理原理	(593)
三、CT 图像重建方法	(595)
§ 18.2 CT 装置的结构和工作原理	(597)

第一章 制冷技术

§ 1.1 引 言

制冷技术是一门研究低温的产生和应用,以及物质在低温条件下所发生的物理、化学和生物学等机理变化的科学技术。所谓制冷,就是把某一物体或空间(包括空间内的物体)的温度降低到低于环境介质的温度,并保持这一低温状态的过程。

制冷的的方法很多,大体可分为利用天然冷源制冷和人工制冷两大类。

利用天然冷源(如冬天储冰,深井水等)可达到获取低温的目的,但它受到季节、地区、储存条件等的限制,一般也只能制取 0°C 以上的低温,远不能满足生产和科研的需要。

人工制冷是借助于一种专门装置,消耗一定的外界能量,迫使热量从温度较低的被冷却物体,转移给温度较高的周围环境,得到人们所需要的低温。这种专门装置称为制冷装置或制冷机。

人工制冷的的方法主要有相变制冷、气体膨胀制冷、热电制冷和磁制冷等。相变制冷是利用物质由液相变为气相时的吸热效应来获取冷量的;气体膨胀制冷是让高压气体绝热膨胀,使它的压力和温度下降,利用降温后的气体来吸收被冷却物体的热量,从而达到制冷的目的;热电制冷又称为温差电制冷,是利用 Peltier 效应来获取低温的。由于半导体的 Peltier 效应较为显著,实际应用中多采用半导体材料,所以这种制冷方法又称为半导体制冷;磁制冷是利用顺磁介质在磁场中被磁化后,再绝热地使磁场减弱时,顺磁介质的温度将会降低这一原理实现的,利用这一方法,可以获得热力

学温度仅为 $1\mu\text{K}$ 的低温。

目前,在制冷技术中,相变制冷方法占绝对优势。根据补偿过程的不同,它又可分为蒸气压缩式、吸收式、蒸气喷射式、吸附式四种制冷方式,其中又以蒸气压缩式应用最为普遍。

人类最早的制冷是利用天然冷源——冰、深井水等来降温 and 储藏食品的。公元前 5 世纪,埃及人就在尼罗河谷地把盛水陶罐放在屋顶上,利用地面对空间的辐射使水结冰。三千多年前,埃及有一幅壁画上画了一个奴隶在盛水土罐前挥动扇子使多孔土罐中的水加速蒸发,以获得较低温度的水。我国劳动人民也早已掌握了采集天然冰冷藏食物的技术,如寒冬腊月采集冰块藏在冰窖中,供保存食物使用;《诗经》中就有“二之日凿冰冲冲,三之日纳于凌阴”的诗句。人工制冷出现得较晚,到现在才有约 200 年的历史。1749 年,苏格兰科学家 W. Callen 观察到乙醚的蒸发会引起温度下降;1755 年,他又在真空罩下制得了少量冰,同时发表了《液体蒸发制冷》的论文。因此,人们通常把 1755 年作为人工制冷史的起点。从此以后,经过许多科学家的努力,人工制冷技术逐步进入实用阶段。1834 年,美国人 J. Perkins 在封闭系统中利用易挥发的乙醚液体气化方法制冷,并在英国获得专利。同年, L. W. Wright 在英国研制成功用压缩空气膨胀制冷的机器。1844 年,美国医生 J. Gorrie 在世界上首先将他设计、研制的压缩空气制冷机用于商业制冷,并于 1851 年在美国取得第一个制冷机专利。1855 年,法国人 F. Carré 设计成功了二氧化硫吸收式和氨吸收式制冷机。1875 年,法国人 G. Linde 发明了氨压缩式制冷机。1890 年以后,又出现了蒸气喷射式制冷机。进入 20 世纪后,蒸气压缩式制冷机的发展很快。1930 年,美国人 T. Midgeley 发明了氟利昂,给制冷技术带来了新的变革,使氟利昂制冷机得到飞速发展。但近年来,人们发现,氟利昂工质对大气臭氧层有严重的破坏作用,因此,联合国环境计划会议签订了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔

议定书》，限制和禁用氟利昂。开发研制新的无污染工质来替代氟利昂，已成为国内外的前沿研究课题，可以预见，它将进一步促进制冷技术的发展。

制冷这门古老而又年轻的技术，现在已渗透到人们日常生活和生产活动的各个领域。从人们日常的衣、食、住、行到尖端的科学技术，都离不开制冷技术。

§ 1.2 制冷技术的物理原理

制冷技术的主要理论基础是热力学。热力学是研究与物质热现象有关规律的宏观理论，它的理论基础主要是热力学第一定律和热力学第二定律。

热力学第一定律就是包括热现象在内的能量转换与守恒定律，即一个热力学系统(工质)从外界吸收的热量，一部分使其热力学能(内能)增加，另一部分则用于对外界做功，其数学表达式为

$$Q = (E_2 - E_1) + A \quad (1-1)$$

在制冷技术中可运用该定律来确定制冷循环中各种能量在转换过程中的数值。例如，当工质经历的是热力学过程时， $Q = 0$ ，由(1-1)式可知： $E_2 - E_1 = -A$ ，即外界对工质所作的功全部转换成工质的热力学能，制冷压缩机的压缩过程就是把机械功转换成工质热力学能的过程。再比如，当外界不对工质做功时， $A = 0$ ， $Q = E_2 - E_1$ ，即工质吸收(或放出)的热量等工质热力学能的增加(或减少)，制冷机的蒸发器和冷凝器的热交换过程满足上式。

热力学第二定律指明了热力学过程进行的方向和条件。该定律的表述方式很多，常见的两种是开尔文表述和克劳修斯表述。克劳修斯表述指出，不可能使热量从低温物体传向高温物体而不引起其他变化，即热量不能自动地从低温物体传向高温物体。在人工制冷中，制冷压缩机不断对工质做功，就能完成将热量从低温