

全国高等学校医学规划教材

(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)

# 医用物理学

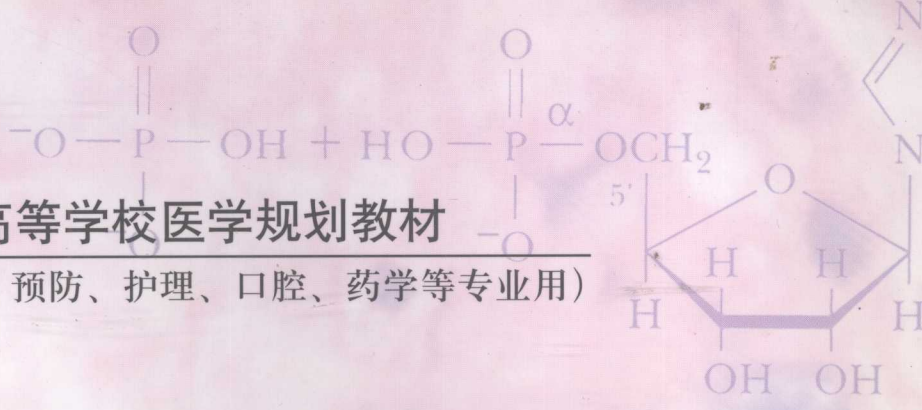
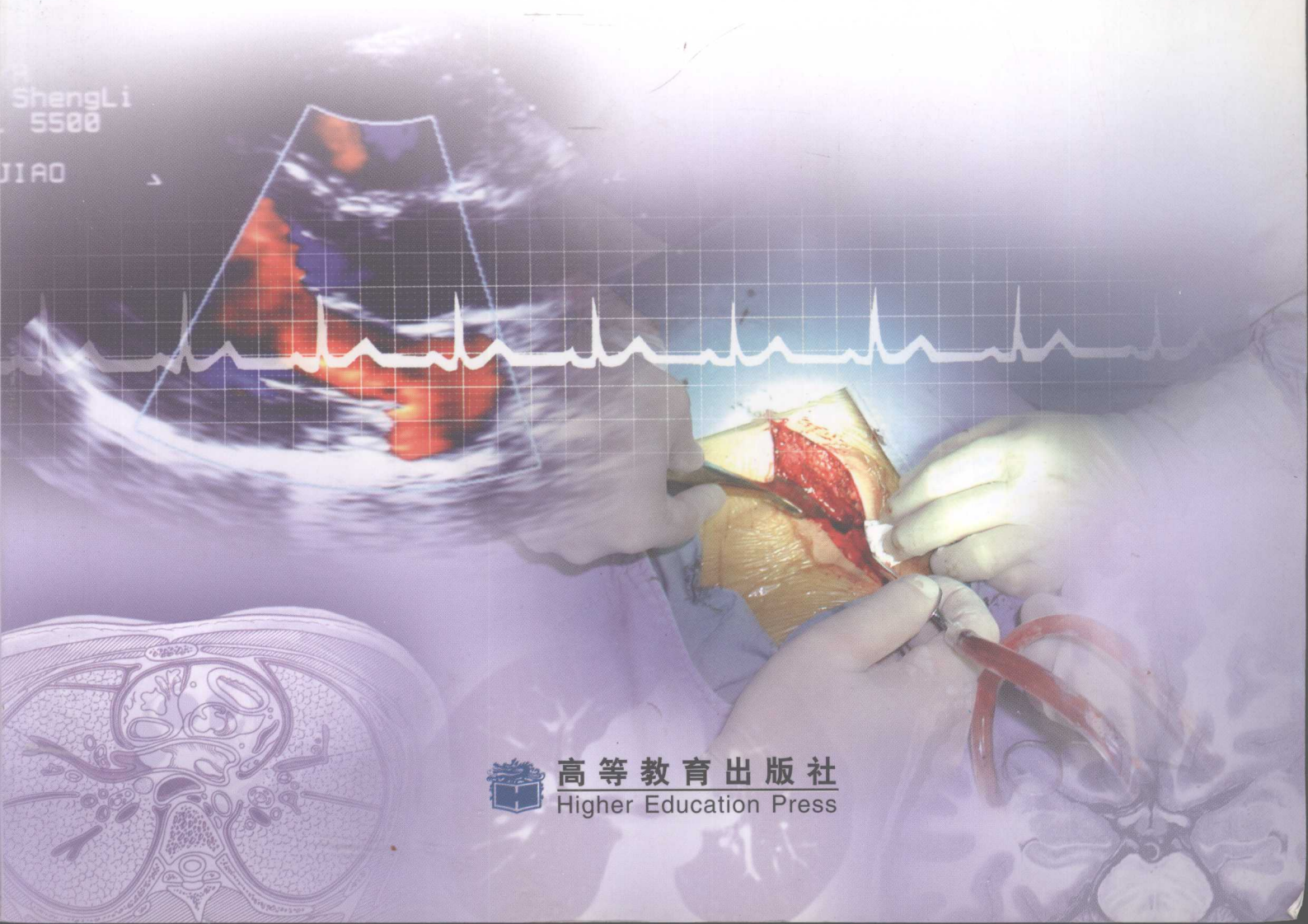
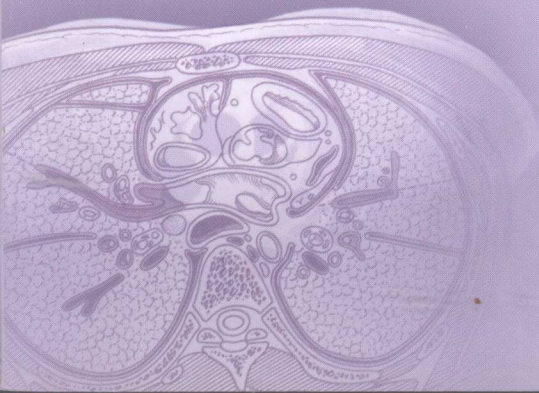
主编 洪 洋 鲍修增



高等教育出版社  
Higher Education Press

ShengLi  
5508

JIAO





## 内容简介

本书是由中国医科大学洪洋教授和哈尔滨医科大学鲍修增教授共同主编,全国 12 个省 13 所院校参加编写的面向 21 世纪课程教材。根据新世纪科学发展对医学人才宽口径、厚基础的要求,以及各医学院校教师长期从事物理基础教育的教学积累和改革经验,全书调整了近代物理与经典物理的比例,注重了普通物理与生命科学的结合,贯穿了基础知识与能力培养的统一,以更现代的理念、更合理的结构、更完整的体系面向读者。

本书共分 18 章,教学参考时数为 60~90 学时,可作为高等学校医学各专业物理学基础课程教材,也可供临床医务工作者和生命科学研究人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

医用物理学/洪洋,鲍修增主编. —北京:高等教育出版社,2004.5

ISBN 7-04-014571-5

I. 医… II. ①洪…②鲍… III. 医用物理学-高等学校-教材 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 036221 号

总策划 栾钢 张好 策划编辑 刘晋秦 责任编辑 王文颖 封面设计 张楠  
版式设计 马静如 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所  
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司

开 本 880×1230 1/16  
印 张 19.75  
字 数 590 000

版 次 2004 年 6 月第 1 版  
印 次 2004 年 6 月第 1 次印刷  
定 价 31.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**



# 序

记得在十多年前,我在原华西医科大学做呼吸专业教授,每每授课之余,我都在想这样的问题:教育究竟承载着怎样的重荷、责任?在我走上领导岗位后,从最初医科大学副校长、省卫生厅厅长、卫生部副部长,到现在的中国医师协会会长,虽从未主管过教学工作,但上述问题却时常萦绕着我,思考从未停止过,时至今日,答案越来越清晰、明确!那就是教育要发展,要进步,首先教育理念必须发生深刻的变革,教育的内涵必须大幅度外延,教学方式必须改革。具体到医学教育,我个人有几点看法:

在教学上:第一,医学是关系到生命、健康的科学,因此必须强调严谨性;第二,医学是一门边缘性科学,且发展很快,因此应强调教师知识不断更新,增强和接受新理论、新知识的能力,满足学生扩大知识面的需求;第三,医务工作除了治病救人外,还涉及伦理、道德、法律等一系列问题,因此,医学教育应增加大量社会科学知识,并加强培养医学生的人文关怀精神;第四,医学专业的形态学课程较多,学习时需要强记硬背,但实际运用时非常强调灵活性。因此,注意培养学生的形象思维与逻辑思维,即平时我们所说的临床思维能力,这一点尤为重要。

在教材上:第一,内容在强调“三基”的同时,应能及时反映疾病谱的变化及学科的发展;第二,内容在注重科学性的同时,应为所教所学者着想,即将复杂、高深的知识,用最简单易懂的文字或图表表述出来;第三,教材应充分反映医学这门学科的特点,即形态学、方法学的内容较多。因此,应做到图文并茂,有些内容甚至可用视频来表达。

虽然自己对教学工作和教材建设有一些想法,但高等教育出版社请我来为这套医学教材做序时,倒使我十分为难。一是我离开教育、临床工作多年;二是先前我对其他很多专家邀请做序或跋拒绝多多,此次执笔搞不好会有厚此薄彼之嫌。但我细读此套教材的策划及部分章节后,眼前一亮,不禁释怀。

这套教材在内容、形式上有许多新颖之处:1. 基础学科教材注意了理论与临床紧密结合,删减了为使学科系统化而舍简求繁的内容,突出了为临床服务,打基础的特点;2. 临床学科教材则根据近些年来疾病谱的变化,突出重点地介绍了临床常见病、多发病的诊疗知识、技术手段,而且增加了近年来被公认、成熟的新知识、新技术;3. 这是一套真正意义的立体化教材,不但图文并茂,且配有学生用光盘及教师授课多媒体光盘。光盘中内容丰富,有大量彩图、病案分析、进展讲座、习题。大大丰富了教材内容,达到了医学教育应以视觉教学为主的目的;4. 本套教材作者队伍年轻化,主编平均年龄50余岁,多为留学归国人员,且为活跃在教学、临床一线的骨干。

更为可贵的是,本套教材由于策划得当,在丰富了教材内容、提高印刷质量的同时,却未增加篇幅、提高书价,减轻了学生经济负担。以《病理学》为例,全书彩色印刷,有近500幅彩图,并附学生用光盘,有病理报告库(内有17个CPC)和图库(内有302幅较为罕见的彩图),而全书定价不过60元。作为教材,能有如此的印刷质量、定价,在我国也

是少见的,为此,我深感欣慰!

谨以此文,权当为序,有些提法不知当否,还请教育界、医学界有关同仁指正。

殷大奎

中国医师协会会长  
2003年6月12日于北京

（此部分为倒置的模糊文字，内容无法辨识）

# 出版说明

全国高等学校医学规划教材

(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)

为贯彻教育部关于“教材建设精品化,教材要适应多样化教学需要”(教高[2001]1号)的精神,在全国高等学校教学研究会、中国医师协会以及数十所高等医学院校大力支持下,经两千余名具有丰富教学经验的医学专家及学者的共同努力,高等教育出版社出版了全国高等学校医学规划教材。愿此凝聚着众多学者智慧与汗水的教科书,能给我国的医学教材建设注入活力,以推动医学教育改革加速发展。

全国高等学校医学规划教材(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)以全球医学教育最低基本要求及教育部“新世纪高等教育教学改革工程”重点项目——临床医学专业本科教学基本要求为准则;突出对学生创新意识、创新能力和批判性思维方式的培养;强调与医疗卫生的联系,囊括了国家执业医师考试所需的知识。整套教材中各学科相关内容有机衔接、循序渐进,既防止各学科之间脱节,又避免了重复,更为有特色的是书后配有包含信息库、习题库、案例库、图像库等内容 的学生用光盘,部分学科还配有教师用光盘。全套教材论述严谨,语言流畅简洁,层次分明,编排格式新颖,图文并茂,并根据学科特点,采用了全彩色印刷或彩色插页,有些内容甚至用视频形式来表达。

全国高等学校医学规划教材(成人教育)针对成人医学教育特点而编写,主编及编写人员均是具有多年医学教育经验的专家和学者。与同类教材相比,此套教材在以下几方面进行了创新和探索:(1)在确定编写体系和选择教材内容时,注重对学生创新思维、分析解决问题能力以及综合素质的培养,尽量做到以问题为中心,与临床紧密结合,学以致用。(2)注重素质教育,加强对 学生伦理、道德素质和法制观念的培养。

建立面向现代化、面向世界、面向未来的立体化、系列化精品医学教材,是高等教育出版社追求的目标。尽管我们在出版教材的工作中力求尽善尽美,但仍避免不了存在这样或那样的不足和遗憾,恳请广大专家、教师及学生提出宝贵的意见和建议,为促进我国高等医学教育的进一步发展共同努力。

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

主编  
副主编  
参编  
审稿  
责任编辑  
封面设计  
版式设计  
校对  
印刷

# 全国高等学校医学规划教材

(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)

基础化学	主编	祁嘉义	内科学	主编	张运
医用有机化学	主编	唐玉海	外科学	主编	郑树森
生物化学	主编	赵宝昌	妇产科学	主编	孔北华
医用物理学	主编	洪洋	儿科学	主编	王卫平
临床医学导论(第2版)	主编	孙宝志	眼科学	主编	葛坚
医学伦理学	主编	孙慕义	耳鼻咽喉头颈科学	主编	韩德民
系统解剖学	主编	钟世镇	临床口腔医学导论	主编	樊明文
局部解剖学	主编	王怀经	神经病学	主编	张淑琴
断层解剖学	主编	刘树伟	精神病学	主编	李凌江
组织学与胚胎学	主编	高英茂	传染病学	主编	李兰娟
医学微生物学	主编	黄汉菊	法医学	主编	侯一平
医学寄生虫学	主编	汪世平	中医学	主编	陆付耳
生理学	主编	王庭槐	循证医学	主编	李幼平
病理学	主编	王恩华	全科医学	主编	梁万年
病理生理学	主编	肖献忠	康复医学	主编	纪树荣
药理学	主编	颜光美	预防医学	主编	施榕
诊断学	主编	张桂英	流行病学	主编	姜庆五
医学影像学	主编	孟俊非	医学统计学	主编	倪宗瓚
核医学	主编	黄钢	医学信息检索	主编	徐一新

# 全国高等学校医学规划教材

(成人教育)

内科学	主编	刘远厚	生理学	主编	徐斯凡
外科学	主编	高居忠	生物化学	主编	万福生
妇产科学	主编	林仲秋	人体解剖学	主编	席焕久
儿科学	主编	黎海芪	药理学	主编	凌保东
病理学	主编	章宗籍	医学伦理学	主编	卜平
免疫学	主编	张昌菊	预防医学	主编	钟才高
医用微生物学	主编	吴移谋			



# 前 言

本书是面向 21 世纪全国高等学校医学规划教材系列之一,由全国 12 个省的 13 所著名高等学府中长期从事医学物理教育的骨干教师共同编写。根据新世纪科学发展对医学人才宽口径、厚基础的要求,以及一线教师多年来的大量教学实践和教学改革经验的积累,我们调整了近代物理与经典物理的比例,贯穿了普通物理与生命科学的结合,注重了基础知识与能力培养的统一。全书囊括经典物理学的力学、热学、电磁学、光学四大分支和现代物理学的相对论、量子力学、混沌动力学三足之鼎,并从广角扫描物理学各个支路向医学与生命科学的延伸。

本书与以往同类教材相比有如下特点:

(1) 适应时代发展,提升物理学在医学教育中的位置。进入 21 世纪,医学与生命科学的迅速腾飞热切呼唤数理基础的交叉与融合。不论是基因组计划到蛋白质构架,还是干细胞学说到脑功能研究,都比任何时候还需要物理学理论与技术的支撑,尤其是近代物理的原子物理与量子力学、非线性混沌动力学理论与实践。因此,我们在绪论中就把物理学的全貌以更高的层次、更新的视角展示在学生面前。在全书的整体构架上也注意体现了先进性和时代感。

(2) 明确教育目标,在为后续医学课程奠定理论基础的同时,加强物理思想方法和创造能力的培养。全书紧扣这个主题,在绪论中先介绍出物理思想方法的类型,再用这些方法贯穿教材的经纬,并将生物医学应用有机地溶解到各个部位,以分析举例、习题思考、医学链接等形式体现。使全书形成前后呼应、流畅和谐的有机整体。

(3) 调整内容结构,注重物理学框架的完整。对物理学基础理论的介绍更贴近理工科教材,并注意在应用时与医学的衔接。各章节的分配更科学合理。以往教学因学时数的限制,侧重医学教育的表面需求,在物理学教学结构上常出现超重和失重的状态。本书注意调整了各章节的框架和层次。全书分 18 章,每章均为 4~6 节。比如一般医用物理教材常把声(机械波)与波动放在同一章,而将光的波动及 X 射线都单独作为一章出现。我们知道,声的物理学理论和应用在医学上的权重不亚于光,因此,本书将声学部分独立成一章。此外,本书对磁场与电磁现象、辐射与量子力学等章节也都作了类似的结构调整。

(4) 本书突出了实用性和可读性。每章前有“教学要求”,分为掌握、理解和了解三个层次。书中内容尽量做到行文简洁、重点突出,将要求掌握和理解的内容准确地表述出来,简明地概述需要了解的内容。全书内容覆盖丰富,但字数并不算多,避免了书越出越厚,内容越写越杂,课却越讲越少的倾向。

本书作为面向 21 世纪医学院校物理教学改革的一种尝试,诚祈得到各位同仁的支持与肯定。由于编者水平有限,时间仓促,书中的缺点和错误在所难免,请读者惠予指正。

洪洋

2004 年元旦



## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581698/58581879/58581877

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn 或 chenrong@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社法律事务部

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

19 ..... 四

19 ..... 四

39 ..... 四

39 ..... 四

39 ..... 一

39 ..... 二

**绪论** ..... 1

**第一章 人体力学的基础知识** ..... 6

**第一节 牛顿运动定律** ..... 6

    一、位移 速度 加速度 ..... 6

    二、牛顿运动定律 ..... 7

**第二节 功和能** ..... 8

    一、功 ..... 8

    二、动能定理 ..... 9

    三、势能 ..... 9

    四、功能原理 ..... 10

    五、能量转化和守恒定律 ..... 10

**第三节 动量** ..... 11

**第四节 刚体绕固定轴的转动** ..... 12

    一、刚体转动的运动学 ..... 12

    二、刚体转动的动力学 ..... 13

    三、刚体的转动定理 ..... 14

    四、刚体转动的角动量守恒定律 ..... 15

    五、陀螺的旋进 ..... 16

**第五节 物体的弹性和形变** ..... 17

    一、应变和应力 ..... 17

    二、弹性模量 ..... 18

    三、弹性膜的拉普拉斯公式 ..... 19

    四、弹性和粘弹性 ..... 20

**第六节 骨力学和软组织力学概述** ..... 21

    一、骨组织和形变 ..... 21

    二、骨的粘弹性及骨的外力损伤 ..... 22

    三、应力作用与骨生长及创伤恢复 ..... 23

    四、血管和肌肉的力学性质 ..... 24

**习题** ..... 24

**第二章 流体的运动** ..... 26

**第一节 理想流体 连续性方程** ..... 26

    一、流体运动的研究方法 ..... 26

    二、定常流动 ..... 27

    三、连续性方程 ..... 27

**第二节 伯努利方程** ..... 28

28 ..... 二

28 ..... 三

28 ..... 六

28 ..... 一

28 ..... 二

30 ..... 三

30 一、伯努利方程 ..... 28

30 二、伯努利方程的应用 ..... 29

30 **第三节 粘性流体的运动** ..... 31

30 一、牛顿粘性定律 ..... 31

30 二、层流与湍流 雷诺数 ..... 32

30 三、粘性流体的伯努利方程 ..... 33

30 四、斯托克斯定律 ..... 34

30 **第四节 泊肃叶定律** ..... 34

30 一、泊肃叶定律 ..... 34

30 二、泊肃叶定律的推导 ..... 35

30 **第五节 血流动力学与流变学基础** ..... 36

30 一、心脏的功与功率 ..... 36

30 二、人体血液循环系统中的血流特点 ..... 37

30 三、血液的粘度及其影响因素 ..... 38

30 **习题** ..... 39

**第三章 振动和波** ..... 43

**第一节 简谐振动** ..... 43

    一、简谐振动方程 ..... 43

    二、简谐振动的矢量图表示法 ..... 45

    三、简谐振动的能量 ..... 45

**第二节 阻尼振动 受迫振动 共振** ..... 47

    一、阻尼振动 ..... 47

    二、受迫振动 ..... 48

    三、共振 ..... 48

**第三节 振动的合成与分解** ..... 49

    一、两个同方向同频率简谐振动的合成 ..... 49

    二、两个同方向频率相近的简谐振动的合成 ..... 50

    三、相互垂直的同频率的简谐振动的合成 ..... 51

    四、频谱分析原理 ..... 51

**第四节 波动的基本规律** ..... 53

    一、波的产生与描述 ..... 53

    二、波长 波的周期和频率 波速 ..... 54

    三、平面简谐波的波动方程 ..... 55

**第五节 波的能量与波的衰减** ..... 56

    一、波的能量 ..... 56

二、能流和能流密度 .....	56	四、表面活性物质和表面吸附 .....	91
三、波的衰减 .....	57	习题 .....	91
第六节 波的叠加和干涉 .....	58	<b>第六章 热力学基础</b> .....	93
一、惠更斯原理 .....	58	第一节 基本概念 .....	93
二、波的干涉 .....	58	一、热力学系统 .....	93
三、驻波 .....	60	二、准静态过程 .....	93
习题 .....	62	三、态函数 .....	94
<b>第四章 声波</b> .....	64	四、功 热量 内能 .....	94
第一节 声波的基本性质 .....	64	第二节 热力学第一定律 .....	95
一、声压 .....	64	一、热力学第一定律 .....	95
二、声特性阻抗 .....	65	二、热力学第一定律对理想气体的应用 .....	96
三、声强 .....	66	三、人体的能量交换 .....	98
第二节 声强级和响度级 .....	66	第三节 热力学第二定律 .....	99
一、声强级 .....	66	一、循环过程与热机效率 .....	100
二、响度级 .....	67	二、卡诺循环 .....	100
第三节 多普勒效应 .....	68	三、可逆过程与不可逆过程 .....	102
第四节 超声波及其医学上的应用 .....	70	四、热力学第二定律 .....	102
一、超声波的特性 .....	70	五、卡诺定理 .....	102
二、超声波的产生 .....	72	六、热力学第二定律的统计意义 .....	102
三、超声波成像的基本原理 .....	72	第四节 熵与熵增加原理 .....	103
习题 .....	76	一、克劳修斯等式 .....	104
<b>第五章 分子动理论</b> .....	78	二、熵 .....	104
第一节 物质的微观模型 .....	78	三、熵增加原理 .....	105
第二节 理想气体分子动理论 .....	79	四、熵的计算 .....	106
一、理想气体的物态方程 .....	79	第五节 热力学第二定律与生命系统 .....	106
二、理想气体的微观模型 .....	80	一、自组织现象 .....	106
三、理想气体的压强公式 .....	80	二、生命与熵 .....	107
四、理想气体的能量公式 .....	81	习题 .....	107
五、理想气体的分压定理 .....	82	<b>第七章 静电场</b> .....	109
第三节 气体分子速率分布和能量分布 .....	82	第一节 电场与电场强度 .....	109
一、麦克斯韦速率分布律 .....	82	一、电场 .....	109
二、分子的平均自由程和平均碰撞频率 .....	84	二、电场强度 .....	110
三、玻尔兹曼能量分布律 .....	84	三、电场的叠加原理 .....	110
第四节 输运过程 .....	84	四、场强的计算 .....	110
一、热传导过程 .....	85	第二节 高斯定理 .....	112
二、扩散过程 .....	85	一、电场线与电通量 .....	112
三、透膜输运 .....	86	二、高斯定理 .....	113
第五节 液体的表面性质 .....	86	三、高斯定理的应用 .....	114
一、表面张力和表面能 .....	86	第三节 电势 .....	114
二、弯曲液面的附加压强 .....	88	一、静电场力作功 .....	114
三、毛细现象和气体的栓塞 .....	89	二、电势与电势差 .....	115



三、电势梯度 .....	117	第三节 磁场对运动电荷的作用 .....	145
第四节 电偶极子与生物膜电位 .....	117	一、洛伦兹力 .....	145
一、电偶极子的电势 .....	117	二、带电粒子在磁场中的运动 .....	146
二、电偶层 .....	119	三、霍尔效应 .....	147
三、能斯特方程 .....	120	四、质谱仪和回旋加速器 .....	148
四、神经细胞的静息电位 .....	121	第四节 磁场对载流导线的作用 .....	149
第五节 静电场中的电介质 .....	122	一、安培定律 .....	149
一、电介质的极化 .....	122	二、磁场对载流平面线圈的作用 .....	150
二、电极化强度 .....	123	三、磁矩 .....	150
三、电介质内部的电场强度 .....	124	第五节 磁介质 .....	151
四、介质中的高斯定理 .....	125	一、介质中的磁场 .....	151
第六节 静电场的能量 .....	125	二、磁介质的分类 .....	152
一、电容 电容器 .....	125	三、超导体及其磁学特性 .....	153
二、电容器中的能量 .....	127	习题 .....	154
三、静电场的能量 .....	127	<b>第十章 电磁感应与电磁场</b> .....	156
习题 .....	128	第一节 电磁感应的基本定律 .....	156
<b>第八章 直流电</b> .....	131	一、电磁感应现象 .....	156
第一节 稳恒电流的性质 .....	131	二、法拉第电磁感应定律 .....	157
一、电流与电流密度 .....	131	三、楞次定律 .....	157
二、欧姆定律的微分形式 .....	132	第二节 感应电动势 .....	158
第二节 基尔霍夫定律 .....	133	一、动生电动势 .....	158
一、电源电动势 .....	133	二、感生电动势 .....	159
二、含源电路的欧姆定律 .....	133	第三节 磁场的能量 .....	159
三、基尔霍夫定律及其应用 .....	134	一、互感与自感 .....	159
第三节 $RC$ 电路的暂态过程 .....	135	二、自感线圈的能量 .....	161
一、电容器的充电过程 .....	135	三、磁场的能量 .....	161
二、电容器的放电过程 .....	136	第四节 电磁场与电磁波 .....	161
第四节 直流电的医学应用 .....	137	一、麦克斯韦方程组 .....	161
一、直流电对机体的作用 .....	137	二、电磁场与电磁波 .....	163
二、直流电在医学中的应用 .....	137	习题 .....	164
习题 .....	138	<b>第十一章 几何光学</b> .....	167
<b>第九章 电流的磁场</b> .....	140	第一节 球面成像 .....	167
第一节 磁场和磁感应强度 .....	140	一、单球面折射 .....	167
一、磁场 .....	140	二、共轴球面系统 .....	169
二、磁感应强度 .....	140	第二节 透镜 .....	170
三、磁通量 .....	141	一、薄透镜成像公式 .....	170
第二节 描述磁场的基本定理 .....	141	二、薄透镜的组合 .....	171
一、磁场的高斯定理 .....	141	三、共轴光具组 .....	172
二、毕奥-萨伐尔定律 .....	141	四、柱面透镜 .....	173
三、毕奥-萨伐尔定律的应用 .....	142	五、透镜的像差 .....	174
四、安培环路定理 .....	144	第三节 眼 .....	175

一、眼的光学结构与调节	175	一、激光的产生机制	212
二、视力 屈光不正及其矫正	176	二、激光的特性	213
第四节 放大镜和显微镜	178	三、激光的生物效应	213
一、放大镜	178	四、激光的医学应用	214
二、显微镜的成像原理	179	习题	215
三、分辨本领	180	<b>第十四章 X 射线</b>	218
第五节 特种显微镜与纤镜	182	第一节 X 射线的产生	218
一、特种显微镜	182	一、X 射线的发生装置	218
二、纤镜	184	二、X 射线的强度和硬度	219
习题	184	三、X 射线谱	220
<b>第十二章 光的波动性</b>	187	第二节 X 射线的基本特征	222
第一节 光的干涉	187	一、X 射线的性质	222
一、相干光源	187	二、X 射线衍射	223
二、杨氏双缝实验	188	第三节 X 射线的衰减规律	224
三、光程	189	一、单能窄束 X 射线的吸收衰减规律	224
四、薄膜干涉	191	二、质量衰减系数	225
第二节 光的衍射	192	三、质量衰减系数与波长及原子序数的关系	225
一、单缝衍射	193	第四节 X 射线的医学应用	226
二、衍射光栅	194	一、诊断	226
三、圆孔衍射	195	二、治疗	227
第三节 光的偏振	196	习题	227
一、自然光和偏振光	196	<b>第十五章 原子核和放射性</b>	229
二、偏振光的产生和检验	196	第一节 原子核的基本性质	229
第四节 偏振光的应用	199	一、原子核的组成	229
一、偏振光的干涉	199	二、原子核的角动量和磁矩	231
二、旋光性	201	三、原子核的稳定性	231
习题	201	第二节 放射性核素的衰变种类	232
<b>第十三章 光的粒子性</b>	204	一、 $\alpha$ 衰变	232
第一节 黑体辐射	204	二、 $\beta$ 衰变	233
一、热辐射现象	204	三、 $\gamma$ 衰变和内转换	234
二、基尔霍夫辐射定律	204	第三节 放射性核素的衰变规律	234
三、黑体辐射的实验定律	206	一、衰变规律	234
四、普朗克量子假说	207	二、半衰期和平均寿命	235
第二节 光电效应	208	三、放射性活度	235
一、光电效应	208	四、放射性平衡	236
二、爱因斯坦的光子假说	209	第四节 射线与物质的相互作用	237
三、光子的质量与动量	209	一、带电粒子与物质的相互作用	237
第三节 光的波粒二象性	210	二、 $\gamma$ 射线与物质的相互作用	237
一、康普顿效应	210	三、中子与物质的相互作用	238
二、光的波粒二象性	211	第五节 电离辐射防护	239
第四节 激光	211	一、电离辐射的生物效应	239

二、电离辐射剂量单位 .....	239	二、物质波的统计解释 .....	262
三、电离辐射的防护 .....	240	三、不确定关系 .....	262
第六节 放射性核素在医学上的应用 .....	240	第三节 薛定谔方程 .....	264
一、放射治疗 .....	240	一、波函数 .....	264
二、示踪诊断 .....	241	二、薛定谔方程 .....	265
三、磁共振成像 .....	242	三、一维无限深势阱中运动的粒子 .....	265
习题 .....	243	四、势垒与隧道效应 .....	267
第十六章 相对论基础 .....	245	第四节 量子力学的原子结构理论 .....	268
第一节 狭义相对论的基本假设 .....	245	一、四个量子数 .....	268
一、迈克尔孙-莫雷实验 .....	245	二、原子的壳层结构 .....	269
二、爱因斯坦的狭义相对论假说 .....	246	三、分子结构简介 .....	270
三、洛伦兹变换 .....	246	习题 .....	271
第二节 狭义相对论时空观 .....	247	第十八章 混沌动力学基础 .....	273
一、同时性的相对性 .....	247	第一节 混沌运动 .....	273
二、时间延缓 .....	248	一、Logistic 方程 .....	273
三、长度缩短 .....	249	二、从周期倍化到混沌 .....	274
第三节 相对论力学基础 .....	250	三、混沌区的秩序 .....	276
一、质量的相对性 .....	250	第二节 混沌与奇怪吸引子 .....	277
二、相对论动能 .....	251	一、相空间与吸引子 .....	277
三、相对论质能关系 .....	252	二、混沌运动和奇怪吸引子 .....	278
第四节 广义相对论简介 .....	253	第三节 分形与分维 .....	280
一、惯性质量与引力质量 .....	253	一、分形 .....	280
二、等效原理 .....	254	二、分维 .....	282
三、广义相对性原理 .....	255	第四节 生物混沌 .....	282
四、广义相对论的三个验证 .....	255	一、生物分形 .....	282
习题 .....	256	二、生物混沌 .....	283
第十七章 量子力学基础 .....	258	习题 .....	285
第一节 玻尔的氢原子理论 .....	258	附录一 矢量运算简介 .....	286
一、氢原子光谱的实验规律 .....	258	附录二 基本物理常数 .....	289
二、玻尔的氢原子理论假说 .....	260	附录三 单位制和量纲 国际单位制 .....	290
第二节 实物粒子的波动性 .....	261	名词索引 .....	292
一、德布罗意假设 .....	261	参考文献 .....	298



# 绪 论

物理学是研究物质世界最普遍、最基本规律的学科,是探讨物质结构、物质间相互作用及其运动规律的科学.物理学借助数学模型建立统一的理论体系,尽可能广泛深刻地揭示自然界的各种规律,从而成为自然科学的理论基础.目前物理学基础理论的重大突破迅速带动了高新技术领域的飞速发展;逐步形成了科学的物质观、自然观、时空观、宇宙观,每一个进程都对整个人类文明产生深刻的影响.生命科学也是如此.生命现象是更加复杂、更加高级的物质运动形态,这种运动形态是以普遍的物理和化学运动形态为基础的.在人类对生命现象的认识逐步深化的过程中,物理学与生命科学的关系也越来越密切.

医学是以人为研究对象的生命科学.对于医学生应该搭起怎样的物理学基础框架?生命过程中有何物理规律?物理学与医学的关系又如何呢?我们将在绪论中予以说明.

## 物理学与物质世界

物理学的研究对象是整个物质世界.它为人们深刻地认识世界提供了理论和实验依据.

物质世界的时空跨度所涉及最大的空间尺度是宇宙,在这个认识范围内的最大值是 $10^{26}$  m(约150亿光年);最小可观测的空间尺度是普朗克长度,大约是 $10^{-35}$  m,相当于质子线度的 $10^{-20}$ 倍,称作“长度的量子”.时空跨度所涉及最大的时间尺度是宇宙年龄,约为 $10^{18}$  s(约150亿年);最小可观测的时间尺度是普朗克时间,约为 $10^{-43}$  s,称为“时间的量子”,又是宇宙形成之初的创生时间.物理学按照时空尺度把物质世界分成宇观体系、宏观体系、介观体系和微观体系,构成物质世界的总图像.

人们从自己所处的空间向小尺度探索物质的组成,相应的研究领域是粒子物理学;同时,又向大尺度探索宇宙的结构、起源与演化,相应的研究领域是天体物理学.这两个领域是目前物理学的前沿.

粒子物理学揭示出物质组成的信息是:组成物质的最小粒子是夸克、轻子和传递基本相互作用的场粒子(规范玻色子);物质世界基本的相互作用是:强相互作用、弱相互作用、电磁相互作用和引力相互作用.

天体物理学对宇宙奥秘揭示到的程度是:(1)给出了宇宙起源的标准模型.即宇宙起源于约150亿年以前,当时物质处于极端密集、极端高温和极小尺度的状态,由于目前尚不清楚的原因引起了一次大爆炸,然后通过绝热膨胀使宇宙半径不断增大,宇宙密度和温度不断降低,直到今天的“宇宙背景温度”27 K.在此过程中,粒子、原子、分子、星球、星系逐渐依次产生和形成.(2)确定了宇宙膨胀现状.近代由哈勃红移现象得知,所有的星系都在彼此相互远离,宇宙正在不断膨胀.那么宇宙有多大?给出的答案简洁而明确:宇宙有限而无边.各星球好像附在一个逐渐膨胀的气球表面,相互远离.我们通过宇宙年龄可推算宇宙的大小,设光在150亿年中走过的距离为 $R = 1.5 \times 10^{10}$  l. y. (150亿光年),即为今天可观察的宇宙半径,这一范围之外的星球发出的光至今还未到达地球.因此,我们还无法通过直接观测得知宇宙的大小.

在物质世界中,物质存在的基本形式有两种,即场和粒子.物理学的最新理论表明,量子场是物质存在的基本形式,每一种粒子都对应一种场,比如,与光子相对应的是电磁场;与电子相对应的是电子场,它们同时存在于全空间.场有不同的能量状态,最低态称为基态.当某种场处于基态时,不会有直接的物理效应,也就看不到粒子;当场处于激发态时,表现为显现粒子,因此,物质存在的两种形式中,场更为基本,粒子只是场在激发态的表现.例如光子就是交换电磁相互作用的媒介,也是电磁场的激发态.按照这个观点,当所有的场都处于基态的时候,任何场都不可能给出信号显现粒子,这就是物理上的真空.

物质的聚集状态目前共分为五种:固态、液态、气态、等离子态以及天体和宇宙学研究中发现的第五种状态——致密态.致密态到底有多致密呢?在地球表面,物质的密度大约是 $10^{-3}$  kg/cm<sup>3</sup>,而在宇宙中,当恒星

进入晚年时会演化为白矮星、中子星及黑洞,白矮星的密度为  $10^2 \text{ kg/cm}^3$ . 中子星(脉冲星)的密度约为  $10^8 \sim 10^{12} \text{ kg/cm}^3$ . 有些天体还可塌缩到比中子星更高的密度,称为黑洞,其总体密度可达  $10^{13} \text{ kg/cm}^3$  以上. 这种高密度状态称为致密态.

物质运动的形态是多种多样的,它们既服从共同的普遍法则,又遵守各自独特的规律. 物理学研究的运动,普遍存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中,比如在化学反应中都包含有分子运动、热和电的现象;人体内的神经电活动包含着复杂的电学过程;一切自然现象都毫无例外地受到能量守恒定律、万有引力定律以及其他物理定律的约束. 正是由于物理学所研究的规律在自然界中具有极大的普遍性,使得物理学成为研究其他自然科学不可缺少的理论基础.

## 物理学与应用技术

物理学与技术的关系可以分为两种基本模式:一是由于生产实践需要而创建了技术,比如 18 世纪至 19 世纪先是蒸汽机等热机技术,然后提高到理论上,建立了热力学,再反馈到技术中去;二是先在实验室里揭示基本规律,建立起比较完整的理论,再在实际生产中发展成为一种全新的技术,比如 19 世纪电磁学的发展,在法拉第发现电磁感应以及麦克斯韦建立电磁场方程组的基础上产生了今天的发电机、电报、电视、雷达等,创建了现代电力工程与无线电技术.

在今日世界,第二种模式更为重要、更为显著,因为物理学已经成为现代高科技发展的先导和基础,转而高科技发展对物理学也提出了新的要求,并提供了先进的研究条件与手段. 比如 20 世纪物理学的一个重大贡献就是核能的利用,可以说是由基础研究生长出来的一项全新技术. 从 1905 年爱因斯坦质能关系式的提出,使人类找到了利用核能的理论基础,到 1932 年中子的发现,利用链式反应获取原子能概念的形成,直至 40 年代用重核裂变获取能量的成功,又根据氢核聚变释放能量的原理,设计受控热核聚变反应堆,获取了更丰富、更清洁的能量. 这些都体现出物理学与技术的相长关系.

在信息技术方面,即计算技术、通信技术和控制技术,已经从根本上改变了当今世界的面貌. 如果说第一次工业革命是动力和能量的革命,那么第二次工业革命则是信息和负熵的革命. 进入信息时代,迫切需要信息的处理、存储、传输等技术,从过去依赖于“电”,到现在转向依赖于“光”的行为,促进了“光子学”与“光电子学”的兴起. 在光通讯、光全息和光计算等领域,人们利用光电子技术取得了丰硕的成果. 例如光通讯以激光为光源,用光导纤维作传输介质,比电通讯容量要大 10 亿倍. 一根头发丝粗细的光纤可以传输几万路电话和几千路电视,开辟了高效、轻便、廉价的通讯新途径. 再有以光盘为代表的信息存储技术具有容量大、时间长、易操作、成本低等特点,是磁存储量的 1 000 倍. 新一代光计算机的研制与开发成为全球高科技竞争的又一热点. 人类已从工业时代迈入信息时代.

激光是 20 世纪 60 年代出现的一门新兴科学技术. 1917 年,爱因斯坦提出了受激辐射的概念,并指出实现光放大的主要条件是让高能态的原子数目大于低能态的原子数目,从而为激光的诞生奠定了理论基础. 到了 50 年代,在量子电子学问世的基础上,物理学家们又把量子放大技术用于毫米波、红外及可见光波段,建立起激光的概念. 1960 年,第一台激光器在美国问世. 经过 40 余年的努力,激光器件已发展到相当高的水平:输出波长从 X 射线到毫米波段,脉冲输出功率已超过  $10^{19} \text{ W/cm}^2$ ,最短光脉冲达  $6 \times 10^{-15} \text{ s}$ . 激光已成功地用于现代科学技术的各个领域,在通讯、医疗、材料加工、精密测量、同位素分离、激光武器、受控热核聚变等方面都有广泛应用.

新式显微镜——扫描隧道显微镜的发明巧妙地应用了物理学中“隧道效应”的原理,改进了“场发射显微镜”,从而掀开了显微镜发展的新篇章. 扫描隧道显微镜的分辨率可达  $0.10 \text{ nm}$ ,使人类能够第一次立体显示单个原子在物质表面的排列状态. 不仅如此,人们还根据其物理原理研制了原子力显微镜,使人类真正实现了操纵原子的梦想.

当今时代,科学技术飞速发展的实践充分证明,科研成果转化为生产力的周期在迅速缩短,知识更新的节奏也在不断加快,而作为知识核心的物理基本理论是长久之不衰的. 物理知识、原理和方法将使人们受益



终身。

## 物理学与科学思维

物理学研究方法很多,如理论与实验、分析与综合、归纳与演绎、估算与概算、理想化与模拟化、类比联想与猜测试探等等。一般说,物理学家根据观测事实、实验或原理提出命题;再根据问题进行抽象和简化,建立相应的物理模型;然后用已知原理与推测做出定性解释,并用数学工具根据现有理论作定量计算和分析推理。当新事实与旧理论不相符时,会更让物理学家兴奋,因为这种不相符正蕴涵着重大的突破。他们可提出假说,提出理论预言,然后进行实验检验或对自然界有关现象进行观测,考察所预言的结果与事实是否符合。如果该假说与实验或观测事实有出入,就着手进行修正,再做出检验,经过反复多次的修正和补充,人的认识才能逐步地、最大限度地接近客观真理,使提出的假说上升到较为成熟的理论,并付诸应用。

物理学的方法论可分三类:

### 1. 物理学原理自身的蕴涵

物理学本身蕴涵了很多哲学思想。比如能量守恒原理,可以贯穿物理学的全部理论。科学家由坚持任何物理过程中能量守恒成立,导致预言一种新的能量形式的存在。其中一个典型例子是泡利在分析 $\beta$ 射线能谱时,为坚持能量守恒提出了中微子的假设。另外,广泛应用于自然科学的物理学统计平均方法也是来源于分子运动论中的统计平均原理。电磁学里还有源于高斯定理和安培环路定理的对称分析方法等等。

### 2. 逻辑分析方法

逻辑思维是科学抽象的重要形式,是自然科学长期发展形成的一种严密的推理。物理学中的逻辑分析方法常有两种形式:

(1) 分析—综合法 分析是把“整体”分解成“部分”;综合是把“部分”结合成“整体”。两者是一种可逆的思维过程,连接成综合分析法。比如,任何一种复杂的振动都可以分解成若干简谐振动,用傅里叶级数展开;或者说,任何一种复杂的振动都是由若干简谐振动叠加而成。

(2) 归纳—演绎法 归纳法是从“个别”到“一般”的认识方法,演绎法则是从“一般”到“个别”的认识方法,即从一个已知的一般原理出发,考察某一特殊对象,从而得出结论。归纳和演绎是科学认识过程中两个既互相独立又互相依存的思维方法。比如,牛顿通过对运动的研究去探索自然界中力的规律,从而发现了万有引力定律。运用演绎法,人们又由已知力的规律做出海王星的明确预见,之后不仅发现了海王星,也对万有引力理论给予了巨大支持。

### 3. 物理学创造性的思维方法

在科学的发现进程中,并不存在严格的逻辑通道,创造的一个个奇迹常常是科学家们独特的创造性思维的结果。法国物理学家拉普拉斯曾这样评价到:“认识一位巨人的研究方法,……并不比科学发现的本身用处要少,科学研究方法通常是极富兴趣的部分。”这里,我们仅简介三种物理思维方法。

(1) 物理模型 物理模型是为研究复杂的物理过程而建立的抽象反映事物特征和本质的理想系统。在构造模型时,要对复杂事物加以抽象简化,突出研究对象的主要特征。运用物理模型可以清晰地进行推理,建立物理方程。比如在研究复杂的流体运动规律时,就使用了抽象简化建立理想模型的方法:先是伯努利方程,再从理想流体到牛顿流体,进一步修正模型,使之接近实际,得出反映流量规律的泊肃叶定律,逐渐让物理模型与研究目标吻合。在物理学中还有许多通过物理模型建立物理方程的实例,诸如由理想气体模型推导出气体压强公式;理想热机模型和理想循环过程,导致卡诺定理的确立;安培的分子电流模型对物质磁性本质作出了解释等等。另外,物理学中的质点、刚体、点电荷、绝对黑体以及各种原子模型等也都是理想模型。

(2) 物理类比 物理类比方法是利用两种科学定律之间的相似性,用其中的一个去说明另一个。类比可以沟通不同领域的研究方法,可以提供解析的抽象形式和假设之间的媒介,也可以启发新的物理思想,开辟一些尚待研究的物理过程和规律。比如,德布罗意通过力学与光学的类比,提出了物质波的假说;薛定谔通过力学与光学的类比,创立了量子力学的波动方程;普利斯特利通过电力和引力的类比,根据金属内表面上无