

全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·检验·预防·护理·口腔·药学·影像等专业用)

医用物理学

第3版

主编 洪 洋

全国高等学校医学规划教材

(供临床·基础·检验·预防·护理·口腔·药学·影像等专业用)

医用物理学

Y i y o n g W u l i x u e

第3版

主 编 洪 洋

副主编 王 岚 冷 冰

编者(以姓氏笔画为序)

王 岚(哈尔滨医科大学)

支壮志(沈阳药科大学)

卢 雁(哈尔滨医科大学)

刘东华(新乡医学院)

李玉生(沈阳医学院)

张 燕(广西医科大学)

赵 静(兰州大学)

侯晓强(郑州大学)

盖立平(大连医科大学)

童家明(青岛大学)

王章金(华中科技大学)

文 峻(第四军医大学)

白翠珍(山西医科大学)

江 键(第二军医大学)

冷 冰(南京医科大学)

单晶心(辽宁何氏医学院)

相荣才(中国医科大学)

洪 洋(中国医科大学)

梁路光(吉林大学)



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是全国高等学校医学规划教材之一,由 17 所高等医学院校的专家、教授共同编写,体现了新的教育理念和教学模式。为适应现代化数字课程的发展趋势和优势,以及全国医学院校物理教学课时数一再压缩的现实,本书在前两版的基础上,进行新的尝试,以纸质教材结合数字课程的模式出版。纸质教材在保证完整的物理学框架前提下,作了进一步的精简和调整。数字课程共设置了五个模块,包括学习指导、示范课程、课件宝盒、模拟试题和附录考证。纸质教材与数字课程相结合,有利于教学资源更有效、更科学地应用,在内容上注重物理学与医学实践相结合,以使其在培养学生科学思维方法和创造能力方面发挥更大的作用。

本书可作为高等学校医学各专业本科生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 / 洪洋主编. — 3 版. — 北京: 高等教育出版社, 2014.2
全国高等学校医学规划教材
ISBN 978-7-04-039249-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 005192 号

策划编辑 瞿德竑 责任编辑 瞿德竑 封面设计 张楠 责任印制 刘思涵

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	唐山市润丰印务有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	2004 年 6 月第 1 版
印 张	21		2014 年 2 月第 3 版
字 数	500 千字	印 次	2014 年 2 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	34.60 元
咨询电话	400-810-0598		

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
物 料 号 39249-00

数字课程

医用物理学

(第3版)

登录以获取更多学习资源!

登录方法:

1. 访问<http://res.hep.com.cn/39249>
2. 输入数字课程账号(见封底明码)、密码
3. 点击“LOGIN”、“进入4A”
4. 进入学习中心,选择课程

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。
使用本账号如有任何问题,
请发邮件至: medicine@pub.hep.cn

医用物理学(第3版)

洪祥 主编

内容介绍 | 纸质教材 | 教学资源 | 版权信息 | 联系方式

4A

学习中心

欢迎登录

账号

密码

LOGIN

内容介绍

《医用物理学(第3版)》资源网站是一个开放式的网络教学平台,为学生的学习和拓展知识提供必要的参考资料。本课程资源丰富,包括以下内容:①学习指导,按纸质教材各章顺序编排,包括本章小结、学习园地、典型例题、习题解答、扩展练习及答案等;②示范课程,提供了中国医科大学11部课堂教学录像;③课件宝盒,收纳了南京医科大学、广西医科大学、哈尔滨医科大学和中国医科大学的4套中文医用物理教材的PPT课件,以及1套本教材的英文版PHYSICS FOR MEDICINE课件;④模拟试题,集中了中国医科大学、华中科技大学同济医学院、哈尔滨医科大学、南京医科大学和山西医科大学5所医学院校的10套模拟试题和答案。⑤附录考证,提供基本物理常数、单位制和量纲,以及矢量运算基础知识。

高等教育出版社版权所有 2013

<http://res.hep.com.cn/39249>

读者可凭纸质版教材封底所附明码和密码登录,访问本书的数字课程网站 <http://res.hep.com.cn/39249>, 获取相应数字资源。

请在具有 IE 内核的浏览器下访问数字课程。其他浏览器访问,可能造成课程资源无法正常显示。

第3版前言

全国高等学校医学规划教材《医用物理学(第3版)》是在生命科学与医学迈入国家第十二个五年计划发展进程中,由全国17所高等医学院校的专家、教授共同编写,体现了新的教育理念和教学模式。

本教材包括纸质教材和数字课程两部分。

纸质教材保持了第2版教材的整体框架。为适应新时期医学生的物理基础教育新需求,主要考虑到全国医学院校物理教学课时数的一再压缩,以及现代化数字课程的发展趋势和优势,我们在保证完整的物理学体系的前提下,对书中文字内容作了进一步精简和调整,并从减负和实用的角度出发在每章后只留下重点内容的习题,其余部分习题和书后附录均移至教材的数字课程中。

下面着重介绍数字课程的内容,医用物理学数字课程共设置了五个模块。

1. 学习指导:按纸质教材各章顺序编排,包括本章小结、学习园地、典型例题、习题解答、扩展练习及答案等。①本章小结中总结基本内容、重点提示和难点提示,概括了各章知识点,指出了物理学的基本概念、规律和方法,以便学生在学习中捋顺思路、分清主次,抓住要点。②学习园地部分通过科学家简介、历史趣闻、前沿链接、数学推理以及医学应用等栏目使学生完善认知过程,扩展知识结构,激发学习热情,培养科学研究兴趣,加强医学应用能力。③典型例题中编辑了教材各章例题和书后习题之外的经典类型解析题,通过精讲精解引导学生对物理基本概念和原理的正确运用,培养学生分析问题和解决问题的能力。④习题解答是对纸质教材章后习题逐一分析解答。⑤扩展练习包括根据书中内容提供的思考题和更多类型的习题及题解。通过这三个层次的习题演练,使学生根据自己的基础和需求,灵活、有效地梳理各章知识要点,剖析难点症结,及时清理认识上的误区,掌握正确的解题方法。

2. 示范课程:这里提供的是中国医科大学医用物理学教学的课堂录像,包括流体力学、表面物理、电磁学、波动光学、原子物理、X 射线等内容。

3. 课件宝盒:在这个模块中提供了四所重点医科大学的医用物理学本科理论课件,用于教师交流和学生学习。它们各具特色,一定程度上概括了医用物理学的教学状态和各学校侧重的内容;另外,还提供了本教材的英文版 PHYSICS FOR MEDICINE 课件,为双语教学提供参考。

4. 模拟试题:共编辑了五所重点医学院校的模拟医用物理学试题和答案,以备学生总结复习之用。

5. 附录考证:主要是为学生提供基本物理常数、单位制和量纲,以及矢量运算基础知识,以方便学生查阅和完善知识结构。

在长期教学实践中我们体会到,对于大学一年级的医学生而言,要在较短时间学完物理学全部内容面临许多困难。一是数学基础较薄弱,限制了对物理规律的掌握和物理思想的理解;二是医学院校课程密度大,几乎每天都要上满 8 学时甚至更多,用于数理类课程的自习时间相对就更少。因此在对医学生的数理基础教育和教材建设上,充分利用网络平台,开展数字课程教学是必然的趋势和最优化的选择。

本教材作为全新的医学院校物理教学改革的一种尝试,得到高等教育出版社的长期鼎力支持,以及各参编学校的大力协助,在此一并致以衷心的感谢。限于编者的学术水平,书中难免存在不妥之处,诚祈读者惠予指正。

洪 洋
2013 年仲秋

第2版前言

本书是全国高等学校医学规划教材,并被遴选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。这本教材由全国13个省的17所著名高等学府长期从事医学物理教育的专家、教授共同编写。它属于大学阶段一门重要的基础课程用书,是为提高学生现代科学素质和创新思维能力服务的。

教材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,并从广角扫描了科学发展进程中物理学思想理论和技术应用的重要贡献。全书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。

本书在第1版基础上经过修订,注意突出了如下特点:

(1) 注重物理学教育本色,提升物理学在医学教育中的位置。物理教育的本色是基础——知识基础、素质基础、能力基础——渗透在物理学完整的体系和贯穿时空的发展中。本书避免打造成应用工具模式的“物理说明书”(针对医学现象说物理,似盲人摸象,面目全非)。全书注意保持物理学内容的系统和严谨,并在绪论中将物理学全貌以更高的层次、更新的视角展示,在整体架构上注意由经典到现代的延伸。

(2) 通过学物理加强科学思维方法和创造能力的培养。全书紧扣这个主题,在绪论中概括出物理思想方法,并将其贯穿于教材的始终。比如,在流体力学中对拉格朗日法和欧拉法的比较;在热力学中统计理论和非线性理论的操控;用对称性给电磁场以清晰的类比;用叠加和模拟让光学理论充满色彩。本书还将生物医学应用有机地融入各个部位,以分析举例、习题思考、医学链接等形式体现。

(3) 全书对第1版教材的整体内容在未增加字数的前提下,引进了模拟法分析流体力学规律;增加了次声波及其应用、非平衡态的跨膜输运过程、耗散结构的热力学特征、电磁感应的应用和能量

转换;补充了生物光子学基础、相对论思想剖析和生物混沌控制等。全书结构更趋于完善合理,并体现了先进性和时代感。

(4) 本书突出了实用性和可读性。每章前有“教学要求”,分出掌握、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,并配有习题指导。每章包括:① 本章提要:帮助学生梳理所学知识;② 前沿链接:对有余力、感兴趣的学生进行物理知识扩展;③ 历史趣闻:介绍前沿科学知识或相应的科学发展史;④ 典型例题:介绍解题方法,捋顺解题思路;⑤ 习题解答:使学生能及时验收自己的成果;⑥ 医学应用。

本书作为面向 21 世纪高等学校医学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,恳请读者惠予指正。

洪 洋
2007 年仲秋

目 录

001	绪论	029	第二章 流体的运动
001	一、物理学与物质世界	029	第一节 流体的基本模型
002	二、物理学与应用技术	029	一、流体运动的研究方法
003	三、物理学与科学思维	030	二、定常流动
005	四、物理学与生命科学	030	三、连续性方程
007	第一章 人体力学的基础知识	031	第二节 伯努利方程
007	第一节 牛顿运动定律	031	一、伯努利方程的建立
007	一、位移、速度、加速度	032	二、伯努利方程的应用
009	二、牛顿运动定律	035	第三节 黏性流体的运动
010	三、动量	036	一、牛顿黏性定律
011	第二节 功和能	037	二、层流与湍流 雷诺数
011	一、功	038	三、黏性流体的伯努利方程
011	二、动能定理	038	四、斯托克斯定律
012	三、势能	039	第四节 泊肃叶定律
013	四、功能原理	039	一、泊肃叶定律
013	五、能量守恒定律	040	二、泊肃叶定律的推导
014	第三节 刚体绕固定轴的转动	041	第五节 血液的流动
014	一、刚体转动的运动学	041	一、人体血液循环系统中的血流特点
015	二、刚体转动的动力学	043	二、血液的黏度及其影响因素
016	三、刚体的转动定理	043	习题
017	四、刚体转动的角动量守恒定律	046	第三章 振动和波
019	五、旋进	046	第一节 简谐运动
020	第四节 物体的弹性和形变	046	一、简谐运动方程
020	一、应变和应力	048	二、简谐运动的矢量图表示法
021	二、弹性模量	049	三、简谐运动的能量
022	三、弹性膜的拉普拉斯公式	050	第二节 阻尼振动、受迫振动和共振
023	四、黏弹性	050	一、阻尼振动
024	第五节 骨力学和软组织力学概述	051	二、受迫振动
024	一、骨组织和形变	052	三、共振
026	二、骨的黏弹性及骨的外力损伤	052	第三节 振动的合成与分解
027	三、血管和肌肉的力学性质	053	一、两个同方向同频率简谐运动的合成
027	习题	054	二、两个同方向频率相近的简谐运动的合成
		055	三、相互垂直的同频率的简谐运动的合成

056	四、频谱分析原理	093	第五节 液体的表面性质
057	第四节 波动的基本规律	093	一、表面张力和表面能
057	一、波的产生与描述	096	二、弯曲液面的附加压强
058	二、波的基本特征量	097	三、毛细现象和气体的栓塞
059	三、平面简谐波的波动方程	099	习题
060	第五节 波的能量与波的衰减		
060	一、波的能量	100	第六章 热力学基础
061	二、能流和能流密度	100	第一节 热力学基本概念
061	三、波的衰减	100	一、热力学系统
062	第六节 波的叠加和干涉	100	二、准静态过程
062	一、惠更斯原理	101	三、态函数
063	二、波的干涉	101	四、功、热量和内能
065	三、驻波	102	第二节 热力学第一定律
067	习题	102	一、热力学第一定律
		103	二、热力学第一定律对理想气体的应用
069	第四章 声波	106	三、人体的能量交换
069	第一节 声波的基本性质	107	第三节 热力学第二定律
069	一、声压	107	一、循环过程与热机效率
070	二、声特性阻抗	109	二、热力学第二定律
071	三、声强	110	三、卡诺定理
072	第二节 声强级和响度级	110	四、热力学第二定律的统计意义
072	一、声强级	111	第四节 熵与熵增加原理
073	二、响度级	111	一、克劳修斯等式
073	第三节 多普勒效应	112	二、熵
076	第四节 超声波及其在医学上的应用	113	三、熵增加原理
076	一、超声波的特性	114	四、生命与熵
078	二、超声波的产生	115	第五节 生命系统的热力学结构
078	三、超声波成像的基本原理	115	一、耗散结构
081	第五节 次声波及其军事应用	115	二、自组织现象
081	一、次声波的特性	116	习题
081	二、次声波的生物效应		
082	三、次声武器	117	第七章 静电场
082	习题	117	第一节 电场与电场强度
		117	一、电场
084	第五章 分子动理论	118	二、电场强度
084	第一节 物质的微观模型	118	三、电场的叠加原理
085	第二节 理想气体分子动理论	120	第二节 高斯定理
085	一、理想气体的物态方程	120	一、电场线和电场强度通量
086	二、理想气体的微观模型	121	二、高斯定理
086	三、理想气体的压强公式	122	三、高斯定理的应用
088	四、理想气体的能量公式	123	第三节 电势
089	五、理想气体的分压定理	123	一、静电场力作功
089	第三节 气体分子速率分布和能量分布	124	二、电势与电势差
089	一、麦克斯韦速率分布律	127	三、电势梯度
090	二、分子的平均自由程和平均碰撞频率	127	第四节 静电场中的电介质
091	三、玻尔兹曼能量分布律	127	一、电介质的极化
091	第四节 输运过程	128	二、电极化强度
091	一、热传导过程	129	三、电介质内部的电场强度
092	二、扩散过程	129	四、介质中的高斯定理
093	三、跨膜输运过程	130	第五节 静电场的能量

130	一、电容 电容器	161	二、磁场的生物效应
131	二、电容器中的能量	161	三、磁效应的医学应用
132	三、静电场的能量	162	习题
133	第六节 电偶层与生物膜电位		
133	一、电偶层的电势	164	第十章 电磁感应与电磁场
135	二、能斯特方程	164	第一节 电磁感应
136	三、细胞静息状态的能斯特电位	164	一、电磁感应基本定律
136	习题	165	二、电磁感应的应用
		166	第二节 感应电动势
138	第八章 直流电	166	一、动生电动势
138	第一节 恒定电流的性质	167	二、感生电动势
138	一、电流与电流密度	168	第三节 磁场的能量
139	二、欧姆定律的微分形式	168	一、互感与自感
140	第二节 基尔霍夫定律	169	二、自感线圈的能量
140	一、电源电动势	170	三、磁场的能量
140	二、一段含源电路的欧姆定律	170	第四节 电磁场与电磁波
141	三、基尔霍夫定律及其应用	170	一、位移电流
143	第三节 RC 电路的暂态过程	172	二、麦克斯韦方程组与电磁场
143	一、电容器的充电过程	172	三、电磁波
144	二、电容器的放电过程	173	习题
144	第四节 直流电的医学应用		
144	一、直流电对机体的作用	175	第十一章 几何光学
145	二、直流电在医学中的应用	175	第一节 球面成像
145	习题	175	一、单球面折射
		178	二、共轴球面系统
147	第九章 电流的磁场	179	第二节 透镜
147	第一节 磁场和磁感应强度	179	一、薄透镜成像公式
147	一、磁场	181	二、薄透镜的组合
147	二、磁感应强度	182	三、共轴光学组
148	三、磁通量	183	四、柱面透镜
148	第二节 描述磁场的基本定理	184	五、透镜的像差
148	一、磁场的高斯定理	185	第三节 眼
149	二、毕奥-萨伐尔定律	185	一、眼的调节 视力
149	三、毕奥-萨伐尔定律的应用	187	二、屈光不正及其矫正
151	四、安培环路定理	188	第四节 放大镜和显微镜
152	第三节 磁场对运动电荷的作用	188	一、放大镜
152	一、洛伦兹力	189	二、显微镜成像
153	二、带电粒子在磁场中的运动	190	三、显微镜的分辨本领
154	三、霍尔效应	192	第五节 特种显微镜与纤维
154	四、质谱仪和回旋加速器	192	一、特种显微镜
156	第四节 磁场对载流导线的作用	193	二、纤维
156	一、安培定律	194	习题
157	二、磁场对载流平面线圈的作用		
158	三、磁矩	196	第十二章 光的波动性
159	第五节 磁介质	196	第一节 光的干涉
159	一、介质中的磁场	196	一、相干光源
159	二、磁介质的分类	197	二、杨氏双缝实验
160	三、超导体及其磁学特性	199	三、光程
161	第六节 磁生物效应	201	四、薄膜干涉
161	一、生物磁场	203	第二节 光的衍射

203	一、单缝衍射	242	一、原子核的组成
205	二、衍射光栅	243	二、原子核的角动量和磁矩
206	三、圆孔衍射	244	三、原子核的稳定性
207	第三节 光的偏振	244	第二节 放射性核素的衰变种类
207	一、自然光和偏振光	245	一、 α 衰变
208	二、偏振光的产生和检验	245	二、 β 衰变
211	第四节 偏振光的应用	247	三、 γ 衰变和内转换
211	一、偏振光的干涉	247	第三节 放射性核素的衰变规律
211	二、旋光性	247	一、放射性衰变规律
212	习题	248	二、半衰期和平均寿命
		249	三、放射性活度
214	第十三章 光的粒子性	250	四、放射性平衡
214	第一节 黑体辐射	250	第四节 射线与物质的相互作用
214	一、热辐射现象	250	一、带电粒子与物质的相互作用
215	二、基尔霍夫辐射定律	251	二、 $\gamma(X)$ 射线与物质的相互作用
215	三、黑体辐射的实验定律	252	三、中子与物质的相互作用
217	四、普朗克量子假说	252	第五节 电离辐射防护
218	第二节 光电效应	252	一、电离辐射的生物效应
218	一、光电效应实验	253	二、电离辐射剂量单位
219	二、爱因斯坦的光子假说	254	三、电离辐射的防护
220	三、光子的质量与动量	254	第六节 放射性核素在医学上的应用
220	第三节 光的波粒二象性	254	一、放射治疗
220	一、康普顿效应	255	二、示踪诊断
222	二、光的波粒二象性	257	三、磁共振成像
222	第四节 生物光子学	257	习题
222	一、光生物技术基础		
224	二、激光生物效应和医学应用	259	第十六章 相对论基础
225	三、生物光学成像	259	第一节 狭义相对论的基本假设
226	四、光学生物传感器	260	一、迈克耳孙-莫雷实验
227	习题	260	二、经典物理的绝对时空观
		260	三、伽利略变换
228	第十四章 X 射线	261	四、爱因斯坦的狭义相对论假说
228	第一节 X 射线的产生	261	五、洛伦兹变换
228	一、X 射线的发生装置	263	第二节 狭义相对论时空观
230	二、X 射线的强度和硬度	263	一、同时性的相对性
231	三、X 射线谱	264	二、时间延缓
233	第二节 X 射线的基本特征	266	三、长度缩短
233	一、X 射线的性质	267	第三节 相对论力学基础
234	二、X 射线衍射	267	一、质量的相对性
235	第三节 X 射线的衰减规律	268	二、相对论动能
235	一、单能窄束 X 射线的吸收衰减规律	269	三、相对论质能关系
236	二、质量衰减系数	270	第四节 广义相对论简介
237	三、质量衰减系数与波长及原子序数的关系	270	一、惯性质量与引力质量
238	第四节 X 射线的医学应用	271	二、等效原理
238	一、诊断	272	三、广义相对性原理
239	二、治疗	273	四、广义相对论的三个验证
240	习题	274	习题
241	第十五章 原子核和放射性	276	第十七章 量子力学基础
241	第一节 原子核的基本性质	276	第一节 玻尔的氢原子理论

276	一、氢原子光谱的实验规律	294	三、混沌区的秩序
278	二、玻尔的氢原子理论假说	295	第二节 混沌与奇怪吸引子
280	第二节 实物粒子的波动性	296	一、相空间与吸引子
280	一、德布罗意假设	297	二、混沌运动和奇怪吸引子
281	二、物质波的统计解释	299	第三节 分形与分维
281	三、不确定关系	299	一、分形
283	第三节 薛定谔方程	300	二、分维
283	一、波函数	301	第四节 生物混沌
284	二、薛定谔方程	301	一、生物分形
285	三、一维无限深势阱中运动的粒子	302	二、生物混沌
286	四、势垒与隧道效应	304	第五节 混沌控制及其应用
287	第四节 量子力学的原子结构理论	304	一、混沌控制
288	一、四个量子数	304	二、脑混沌控制
289	二、原子的壳层结构	305	三、心脏混沌控制
289	习题	306	习题
291	第十八章 混沌动力学基础		
291	第一节 混沌运动	307	名词索引
292	一、逻辑斯蒂方程	319	参考文献
293	二、从周期倍化到混沌		

绪 论

物理学是研究物质世界最普遍、最基本的规律的学科,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,并逐步形成了科学的物质观、自然观、时空观和宇宙观,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.对于医学类学生,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.

一、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的最大空间尺度是宇宙,在这个认识范围内的最大值是 10^{26} m(约150亿光年);可观测的最小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,称为“长度的量子”.时空跨度所涉及的最大时间尺度是宇宙年龄,约为 10^{18} s(约150亿年);可观测的最小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.这两个领域都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之下,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”2.7 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)^①,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发现共分为五种:固态、液态、气态、等离子态及天体和宇宙学研究中发现的第五种状态——致密态.致密态的密度到底有多大呢?在地球表面,物质的密度大约是 10^{-3} kg/cm^3 ,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 kg/cm^3 .中子星(脉冲星)的密度为 $10^8 \sim 10^{12} \text{ kg/cm}^3$.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} 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。

二、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。

今日世界,第二种模式更为重要和显著,物理学已经成为现代高科技发展的先导和基础,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.1905年爱因斯坦提出质能关系式,使人类找到了利用核能的理论基础,而1932年中子的发现,利用链式反应获取原子能的概念形成,到40年代用重核裂变获取能量的成功,又根据氢核聚变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。

^① 1 l. y. (light year, 光年) $\approx 9.46 \times 10^{15}$ m(米)。

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”,到现在依赖于“光”的行为,促进了“光子学”与“光电子学”的兴起。在光通信、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。例如光通信以激光为光源,用光导纤维作传输介质,比电通信容量要大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、廉价的通信新途径。如今,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 $10^{19}\text{W}/\text{cm}^2$,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,在通信、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 0.10nm ,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,从而使人类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不衰的。物理知识、原理和方法将使人们受益终生。

三、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。一般地说,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含着重大的突破。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

物理学本身蕴含了很多哲学思想。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 β 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动理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运动,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运动叠加而成.

(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相互独立又相互依存的思维方法.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,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:“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的规律时,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做出了解释等.另外,物理学中的质点、刚体、点电荷、绝对黑体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电荷、内部无电力以及更早的均匀球壳内万有引力为零的论证,先于库仑定律18年就提出:电的吸引力遵从与万有引力类似的定律,都与距离的平方成反比.通过类比方法,我们可以让物理规律的线条清晰化,像重力势能、电势能、液体表面能和分子原子能态,都有能量越低系统越稳定的趋势;电场线、磁感线和不可压缩流体流线都是描述场的状态的物理模型;还有利用电磁对称性可以把电场和磁场的规律作类比,等等.

(3) 物理假说.假说是依据一定的科学理论和事实对研究中的问题提出假定性看法和说明.恩格斯在《自然辩证法》中曾明确指出:“只要自然科学在思维着,它的发展形式就是假说.”物理假说的例子很多:普朗克为解释他与实验结果完全吻合的辐射公式,提出了能量量子化假说;爱因斯坦为解释光电效应实验提出了光量子假说;德布罗意在光的波粒二象性启示下,提出了物质波假说;麦克斯韦为了解决安培环路定理在传导电流不连续时所遇到的困难,提出了位移电流假说,等等.物理假说是科学认识发展的必要环节,也是科学研究的主要方法.