



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

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·药学等专业用)

医用物理学

第2版

主编 洪洋



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

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·药学等专业用)

医用物理学

第 2 版

主 编 洪 洋

副主编 鲍修增 潘志达

编 者 (以姓氏笔画为序)

- | | |
|---------------|-------------------|
| 王 岚 (哈尔滨医科大学) | 王章金 (华中科技大学同济医学院) |
| 文 峻 (第四军医大学) | 白翠珍 (山西医科大学) |
| 刘志翔 (首都医科大学) | 刘东华 (新乡医学院) |
| 江 键 (第二军医大学) | 冷 冰 (南京医科大学) |
| 张 燕 (广西医科大学) | 赵 静 (兰州大学) |
| 侯晓强 (郑州大学医学院) | 俞 航 (中国医科大学) |
| 洪 洋 (中国医科大学) | 盖立平 (大连医科大学) |
| 梁路光 (吉林大学) | 童家明 (青岛大学医学院) |
| 鲍修增 (哈尔滨医科大学) | 潘志达 (大连医科大学) |

2004年8月第1版
2008年1月第2版
2008年1月第1次印刷
32.00元

787×1092 1/16
25.5
250 000

高等教育出版社

北京人卫印务局
25989-00

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,由来自全国 15 所著名高等学府的长期从事医用物理教学的专家、教授共同倾心编著而成。本教材在第 1 版教材基础上进一步提升其实用性和可读性,更加注重物理学教育的本色以及与医学实践相结合,使其在培养学生科学思维方法和创造能力方面发挥更强大的功能。

本教材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.—2 版.—北京:高等教育出版社,2008.1

供临床、基础、检验、预防、护理、口腔、药学等专业用

ISBN 978-7-04-022689-8

I. 医… II. 洪… III. 医用物理学-医学院校-教材 IV. R312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 190102 号

策划编辑 秦致中 责任编辑 王文颖 封面设计 张楠 责任绘图 黄建英
版式设计 马敬茹 责任校对 杨雪莲 责任印制 宋克学

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 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司

印刷 北京人卫印刷厂

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landracom.com>

<http://www.landracom.com.cn>

畅想教育 <http://www.widedu.com>

开本 787×1092 1/16

印张 22.5

字数 550 000

版次 2004 年 6 月第 1 版

2008 年 1 月第 2 版

印次 2008 年 1 月第 1 次印刷

定价 32.60 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

物料号 22689-00

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 15 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

一、两个同方向同频率简谐运动的合成	57	习题	88
二、两个同方向频率相近的简谐运动的合成	58	第五章 分子动理论	91
三、相互垂直的同频率的简谐运动的合成	59	第一节 物质的微观模型	91
四、频谱分析原理	59	第二节 理想气体分子动理论	92
第四节 波动的基本规律	62	一、理想气体的物态方程	92
一、波的产生与描述	62	二、理想气体的微观模型	93
二、波的基本特征量	63	三、理想气体的压强公式	93
三、平面简谐波的波动方程	64	四、理想气体的能量公式	95
第五节 波的能量与波的衰减	65	五、理想气体的分压定理	96
一、波的能量	65	第三节 气体分子速率分布和能量分布	96
二、能流和能流密度	66	一、麦克斯韦速率分布律	96
三、波的衰减	66	二、分子的平均自由程和平均碰撞频率	98
第六节 波的叠加和干涉	68	三、玻尔兹曼能量分布律	98
一、惠更斯原理	68	第四节 输运过程	99
二、波的干涉	68	一、热传导过程	99
三、驻波	70	二、扩散过程	99
习题	73	三、跨膜输运过程	100
第四章 声波	75	第五节 液体的表面性质	101
第一节 声波的基本性质	75	一、表面张力和表面能	101
一、声压	75	二、弯曲液面的附加压强	104
二、声特性阻抗	76	三、毛细现象和气体的栓塞	104
三、声强	76	四、表面活性物质和表面吸附	107
第二节 声强级和响度级	77	习题	107
一、声强级	77	第六章 热力学基础	109
二、响度级	79	第一节 热力学基本概念	109
第三节 多普勒效应	79	一、热力学系统	109
第四节 超声波及其在医学上的应用	82	二、准静态过程	109
一、超声波的特性	82	三、态函数	110
二、超声波的产生	84	四、功、热量和内能	110
三、超声波成像的基本原理	84	第二节 热力学第一定律	111
第五节 次声波及其军事应用	87	一、热力学第一定律	111
一、次声波的特性	88	二、热力学第一定律对理想气体的应用	112
二、次声波的生物效应	88	三、人体的能量交换	115
三、次声武器	88	第三节 热力学第二定律	116
		一、循环过程与热机效率	117

702	二、热力学第二定律	118	711	习题	148
703	三、卡诺定理	119	第八章 直流电		150
704	四、热力学第二定律的统计意义	119	811	第一节 恒定电流的性质	150
802	第四节 熵与熵增加原理	120	812	一、电流与电流密度	150
812	一、克劳修斯等式	120	813	二、欧姆定律的微分形式	151
813	二、熵	122	814	第二节 基尔霍夫定律	152
814	三、熵增加原理	123	815	一、电源电动势	152
815	四、生命与熵	124	816	二、一段含源电路的欧姆定律	152
816	第五节 生命系统的热力学结构	124	817	三、基尔霍夫定律及其应用	153
817	一、耗散结构	124	818	第三节 RC 电路的暂态过程	155
818	二、自组织现象	125	819	一、电容器的充电过程	155
819	习题	125	820	二、电容器的放电过程	156
第七章 静电场		127	821	第四节 直流电的医学应用	157
912	第一节 电场与电场强度	127	822	一、直流电对机体的作用	157
913	一、电场	127	823	二、直流电在医学中的应用	157
914	二、电场强度	128	824	习题	158
915	三、电场的叠加原理	128	第九章 电流的磁场		160
916	第二节 高斯定理	130	921	第一节 磁场和磁感应强度	160
917	一、电场线和电场强度通量	130	922	一、磁场	160
918	二、高斯定理	131	923	二、磁感应强度	160
919	三、高斯定理的应用	132	924	三、磁通量	161
920	第三节 电势	133	925	第二节 描述磁场的基本定理	161
921	一、静电场力做功	133	926	一、磁场的高斯定理	161
922	二、电势与电势差	134	927	二、毕奥-萨伐尔定律	161
923	三、电势梯度	137	928	三、毕奥-萨伐尔定律的应用	162
924	第四节 静电场中的电介质	137	929	四、安培环路定理	164
925	一、电介质的极化	137	930	第三节 磁场对运动电荷的作用	165
926	二、电极化强度	138	931	一、洛伦兹力	165
927	三、电介质内部的电场强度	139	932	二、带电粒子在磁场中的运动	165
928	四、介质中的高斯定理	140	933	三、霍尔效应	166
929	第五节 静电场的能量	140	934	四、质谱仪和回旋加速器	167
930	一、电容 电容器	140	935	第四节 磁场对载流导线的作用	169
931	二、电容器中的能量	142	936	一、安培定律	169
932	三、静电场的能量	142	937	二、磁场对载流平面线圈的作用	170
933	第六节 电偶层与生物膜电位	144	938	三、磁矩	171
934	一、电偶层的电势	144	939	第五节 磁介质	171
935	二、能斯特方程	146	940	一、介质中的磁场	171
936	三、细胞静息状态的能斯特电位	147	941	二、磁介质的分类	172

861	三、超导体及其磁学特性	173	411	三、显微镜的分辨本领	205
081	第六节 磁生物效应	174	211	第五节 特种显微镜与纤镜	207
081	一、生物磁场	174	211	一、特种显微镜	207
081	二、磁场的生物效应	174	211	二、纤镜	209
181	三、磁效应的医学应用	175	011	习题	210
381	习题	175	第十二章 光的波动性		212
第十章 电磁感应与电磁场		177	211	第一节 光的干涉	212
231	第一节 电磁感应	177	121	一、相干光源	212
231	一、电磁感应基本定律	177	121	二、杨氏双缝实验	213
221	二、电磁感应的应用	178	121	三、光程	215
221	第二节 感应电动势	179	221	四、薄膜干涉	217
021	一、动生电动势	179	221	第二节 光的衍射	219
721	二、感生电动势	180	721	一、单缝衍射	219
721	第三节 磁场的能量	181	721	二、衍射光栅	221
721	一、互感与自感	181	721	三、圆孔衍射	222
821	二、自感线圈的能量	182	821	第三节 光的偏振	223
081	三、磁场的能量	183	821	一、自然光和偏振光	223
081	第四节 电磁场与电磁波	183	021	二、偏振光的产生和检验	223
081	一、位移电流	183	081	第四节 偏振光的应用	227
081	二、麦克斯韦方程组与电磁场	185	121	一、偏振光的干涉	227
131	三、电磁波	185	221	二、旋光性	229
131	习题	186	221	习题	229
第十一章 几何光学		189	第十三章 光的粒子性		232
181	第一节 球面成像	189	121	第一节 黑体辐射	232
221	一、单球面折射	189	721	一、热辐射现象	232
181	二、共轴球面系统	192	721	二、基尔霍夫辐射定律	233
221	第二节 透镜	193	721	三、黑体辐射的实验规律	233
221	一、薄透镜成像公式	193	821	四、普朗克量子假说	235
221	二、薄透镜的组合	194	021	第二节 光电效应	236
021	三、共轴光具组	196	011	一、光电效应实验	236
721	四、柱面透镜	197	011	二、爱因斯坦的光子假说	237
021	五、透镜的像差	198	011	三、光子的质量与动量	237
021	第三节 眼	199	211	第三节 光的波粒二象性	238
071	一、眼的调节 视力	199	211	一、康普顿效应	238
171	二、屈光不正及其矫正	201	111	二、光的波粒二象性	240
171	第四节 放大镜和显微镜	203	111	第四节 生物光子学	240
171	一、放大镜	203	111	一、光生物技术基础	240
271	二、显微镜成像	204	711	二、激光生物效应和医学应用	242

212	三、生物光学成像	243	202	第五节 电离辐射防护	271
211	四、光学生物传感器	244	201	一、电离辐射的生物效应	271
209	习题	245	202	二、电离辐射剂量单位	272
第十四章 X射线		247	203	三、电离辐射的防护	273
232	第一节 X射线的产生	247	204	第六节 放射性核素在医学上的应用	273
232	一、X射线的发生装置	247	202	一、放射治疗	273
232	二、X射线的强度和硬度	248	202	二、示踪诊断	274
232	三、X射线谱	249	202	三、磁共振成像	276
232	第二节 X射线的基本特征	251	202	习题	276
232	一、X射线的性质	251	第十六章 相对论基础		278
232	二、X射线衍射	252	012	第一节 狭义相对论的基本假设	278
232	第三节 X射线的衰减规律	254	212	一、迈克尔孙-莫雷实验	278
232	一、单能窄束X射线的吸收衰减规律	254	212	二、经典物理的绝对时空观	279
232	二、质量衰减系数	255	212	三、伽利略变换	279
232	三、质量衰减系数与波长及原子序数的关系	255	212	四、爱因斯坦的狭义相对论假说	280
232	第四节 X射线的医学应用	256	212	五、洛伦兹变换	280
	一、诊断	256	212	第二节 狭义相对论时空观	282
	二、治疗	257		一、同时性的相对性	282
	习题	258		二、时间延缓	283
第十五章 原子核和放射性		260		三、长度缩短	285
	第一节 原子核的基本性质	260		第三节 相对论力学基础	286
	一、原子核的组成	260		一、质量的相对性	286
	二、原子核的角动量和磁矩	262		二、相对论动能	287
	三、原子核的稳定性	263		三、相对论质能关系	288
	第二节 放射性核素的衰变种类	264		第四节 广义相对论简介	289
	一、 α 衰变	264		一、惯性质量与引力质量	289
	二、 β 衰变	264		二、等效原理	290
	三、 γ 衰变和内转换	266		三、广义相对性原理	291
	第三节 放射性核素的衰变规律	266		四、广义相对论的三个验证	291
	一、放射性衰变规律	266		习题	293
	二、半衰期和平均寿命	267	第十七章 量子力学基础		295
	三、放射性活度	268		第一节 玻尔的氢原子理论	295
	四、放射性平衡	269		一、氢原子光谱的实验规律	295
	第四节 射线与物质的相互作用	269		二、玻尔的氢原子理论假说	297
	一、带电粒子与物质的相互作用	269		第二节 实物粒子的波动性	298
	二、 γ (X)射线与物质的相互作用	270		一、德布罗意假设	299
	三、中子与物质的相互作用	271		二、物质波的统计解释	299

三、不确定关系 300

第三节 薛定谔方程 302

一、波函数 302

二、薛定谔方程 303

三、一维无限深势阱中运动的粒子 304

四、势垒与隧道效应 305

第四节 量子力学的原子结构 307

理论 307

一、四个量子数 307

二、原子的壳层结构 308

三、分子结构简介 309

习题 310

第十八章 混沌动力学基础 312

第一节 混沌运动 312

一、Logistic 方程 313

二、从周期倍化到混沌 314

三、混沌区的秩序 315

第二节 混沌与奇怪吸引子 316

一、相空间与吸引子 317

二、混沌运动和奇怪吸引子 318

第三节 分形与分维 320

一、分形 320

二、分维 322

第四节 生物混沌 322

一、生物分形 322

二、生物混沌 324

第五节 混沌控制及其应用 325

一、混沌控制 325

二、脑混沌控制 326

三、心脏混沌控制 326

习题 328

附录 1 矢量运算简介 329

附录 2 单位制和量纲 国际单位制 333

附录 3 名词索引 335

参考文献 348

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

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

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. 致密态到底有多密呢? 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} 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.

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, 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的概念形成, 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. 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 1000 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。

从激光是 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} 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 0.10 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,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。

综上所述,物理学的思想方法是学生在学习过程中开启知识宝库的钥匙,是未来在研究领域从事科学创新的锐利武器.通过物理教学来培养学生正确的世界观是物理学科本身的特点,是物理学内涵的一种优势.

四、物理学与生命科学

整个 20 世纪自然科学发展的一个重要趋势就是以数学为工具,以物理学的巨大变革为基础带动其他领域的进步.物理学在克服了 19 世纪末自身的危机之后,迅速建立起相对论、量子力学、原子物理学、分子物理学、固体物理学、核物理与基本粒子物理学、凝聚态物理学、非平衡态热力学、等离子体物理学等基本理论,极大地影响了自然科学的方方面面.由于量子力学成功地揭示出化学键的本质,使得化学被顺利地纳入物理学的理论框架之中,从而实现了快速发展.但是生命科学与物理学的关系却显得比较生分,尤其是早期生物学家们曾坚决反对用物理学来研究生命科学.这也可以理解,因为生命现象最为复杂,而生物学家长期以来局限于学科本身,对物理学和数学的发展并不熟悉.另外从哲学思想上,“生机论”的观点一直统治着生物学界,认为生命是靠某种“活力”推动的,这种“活力”仅存在于生命本身之中,是物理学涉及不到的.由于这两种原因,当物理学试图用一种统一的理论框架走向生物学时,遭到了坚决的抵制.

人们逐渐认识到物理学对生命科学的作用,首先源于物理学所提供的技术和方法为生命科学的研究及临床实践开辟了许多新途径.借助于光学显微镜人们发现了生物细胞,电子显微镜的出现又使人们对生物医学的研究由细胞水平上升到分子水平,而激光扫描共聚焦显微镜可直接观察活细胞,获得动态变化的实时彩色图像,使得对细胞的超微结构和功能的研究达到更理想的境界.超声多普勒、X 射线计算机断层扫描、核素显像及磁共振成像,大大提高了医学诊断的准确度,并建立和发展了医学影像诊断学.借助于激光、微波、超声、放疗、光纤内镜、低温冷冻及电子技术和计算机设备大大提高了人类治愈疾病的能力,使临床治疗和护理技术产生质的飞跃.

随着自然科学的发展,人们对生命现象的认识达到一定深度的时候,自然与物理学的理论和思想结合起来,导致生命科学从描述宏观形态到探索微观机制,进入对生命现象本质性的研究阶段.生命是一种极其复杂的运动形式.即使像细菌这样最简单的生物,也具有复杂结构和高度有序.生命现象的复杂性,不仅要从微观角度看,即从分子水平上阐明机理,还需要从宏观角度上说明,特别要对控制、调节、自组织、分化、发育、生长、信息处理以及个体与环境间的热力学关系等问题进行研究.因此,生物信息论与控制论、非平衡态热力学、复杂系统的非线性理论等在生命科学中的应用都将发挥重要作用.尤其在神经科学中,人们对语言、感觉、记忆、学习、思维、创造等复杂问题的研究,目前已成为继分子生物学之后的生命科学研究新热点.

以生命过程中的自组织现象为例.任一系统内部由无序变为有序,使大量分子按一定规律运动的现象叫自组织现象.生命过程实际上被认为是生物体持续进行的自组织过程.生物系统的有序是很明显的,各种生物皆由各种细胞按精确的规则组成高度有序的机构.比如人的大脑就是由多达 150 亿个神经细胞组成一个极精密、极有序的装置.每个生物细胞中也有奇特的排序结构,一个生物体内的全部遗传信息都编码在 4 种不同的核苷酸碱基排序中,而这种结构竟来源于生物汲取的食物中那些混乱无序的原子!怎样用物理理论来解释自组织现象呢? 1967 年,普里高津提出了耗散结构理论,打开了物理学通向生命科学的窗口.耗散结构理论用热力学方法研究生命过程.它表明在远离平衡态的条件下,可能会自发地出现一些新型结构,产生一些新的力学态,这些新结构称为耗散结构.目前已知,生物是一种由化学反应导致的复杂的耗散结构.生物进化

是一种缓慢变化的非平衡连续过程. 在耗散结构内组成物质的微观粒子处于较大范围的活动中, 它们不断地流入和流出, 物质的能量不断地被消耗, 只有在与外界的交换中才能维持这种结构存在. 耗散结构理论解释了生命现象和生物进化, 在研究生命过程的自组织现象方面已经获得了许多有价值的成果.

物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.

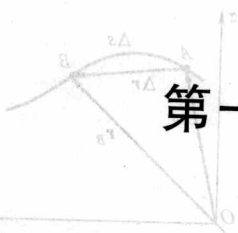
物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.

物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.

物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.

物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.

物理学与生命科学的关系, 在进入 21 世纪后可以说是最具生机和活力的结合之一. 从基因组计划的实施, 到蛋白质结构的揭秘, 从干细胞学说的兴起, 到脑功能研究的深入, 无不以物理学的前沿理论与先进技术为基础和工具, 同时也为物理学的发展提供了新的研究课题. 物理科学与生命科学交织的将是物质世界中最精彩、最具吸引力的图像, 而医用物理学将把医学学生带进这些五彩缤纷的物理世界中去并给出一定的理论解释, 激发其不断探索生命与自然奥秘的兴趣和热情.



第一章 人体力学的基础知识

教学要求：

1. 熟练掌握刚体转动定理、角动量守恒定律、应力和应变。
2. 理解牛顿运动定律、功能原理、机械能守恒定律及动量守恒定律。
3. 了解骨组织与形变，血管与肌肉的力学性质。

人体力学是生物力学的一个分支。它基于物理学最基本的力学知识，用力学的观点和方法定量地研究和描述人体组织及器官的力学特征。

本章首先对人体力学所需的物理概念和规律作重点讲述，然后对人体的骨骼、肌肉等组织的力学性质作一简单介绍。

第一节 牛顿运动定律

一、位移、速度、加速度

一个物体相对于另一物体的位置，或者一个物体的某些部分相对其他部分的位置随时间变化的过程，称为**机械运动**。要描述一个物体的机械运动，首先要选择另一物体或几个彼此之间相对静止的物体作为参考，研究运动物体相对于参考对象的运动特征。这些参考对象被称为**参考系**。参考系的选择可以是任意的。同一物体的运动，由于所选参考系不同，对它运动的描述也会不同。例如在作匀速直线运动的车厢中，有一个自由下落的物体，如果以车厢为参考系，则物体作直线运动；若以地面为参考系，则物体作抛物线运动。在不同参考系中，对同一物体的运动具有不同描述的事实，称为**运动描述的相对性**。要明确描述一个物体的运动，只有在选取某一确定的参考系后才有可能，而且由此做出的描述总是具有相对性的，正是这种描述的相对性反映了宇宙间万物运动的绝对性。

为了定量确定物体相对于参考系的位置，需要在参考系上选用一个固定的坐标系，并选定一点作为坐标系的原点。常用的坐标系是直角坐标系。根据需要，也可以选用其他坐标系，如极坐标系、球面坐标系或圆柱面坐标系等。

任何物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构。但若物体的大小和形状不起作用，或所起作用并不显著且可以忽略不计，可近似地把该物体看做一个只具有质量而没有大小和形状的理想物体，称为**质点**。研究质点的运动规律是研究物体运动的基础。整个物体可以看做由无数个质点组成，从分析这些质点的运动入手，就能了解整个物体的运动规律。