



医用 物理学基础

*Fundamental Physics
for Medical Science*

谢楠柱
张增麟 主编
侯孟庠

上 册

陕西中医学院图书馆

广东科技出版社

医用物理学基础

Fundamental Physics
for Medical Science

上册

谢楠柱 张增麟 侯孟庠 主编

张增麟 李元明 谢加平
吴紫彦 黄微波 谢楠柱 编写
蒋霖 周述志 侯孟庠

广东科技出版社

医用物理学基础
Fundamental Physics
for Medical Science

上 册

谢楠柱 张增麟 侯孟庠 主编

广东科技出版社出版
韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 14.125印张 300,000字

1982年8月第1版 1982年8月第1次印刷

印数1—4,950册

统一书号 14182·68 定价2.15元

内 容 简 介

本书是根据卫生部1981年修订的五年制医学院校教学计划要求而编写的高等医学院校物理学教材。

全书分上、下两册。上册包括力学、分子物理学和热力学、电磁学等内容。下册包括电子学基本知识、光学、原子物理学等内容。

本书既注意保持物理学的系统性，适当结合医学，也注意适应自学的需要。

本书可作为高等医学院校物理学教材，也可作为综合大学、师范院校生物系物理教学参考书，也可供一般医学工作者作自学用书。

前 言

本书是根据卫生部1981年修订的五年制医学院校教学计划的要求编写的。新修订的教学计划规定，高等医学院校应开设高等数学课程，增加医用物理学课程的学时。本书可供讲授84~90个学时的理论课之用，其中标有*号的内容供选讲或学生自学用。

本书编写时，力求运用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点阐述物理学的规律，力求具有较完整的科学系统性，做到基本概念阐述清楚，适当结合医学，使教师易教、学生易学。全书采用国际单位制，适当选用少数医学常用的单位。书中编有较多的典型例题，习题附有答案，便于自学。

在高等数学的应用上，本书采取逐步提高的方法，只应用微积分的基本知识，以阐明最基本、最重要的物理概念、定律和公式的物理意义和推导过程。在习题的解答上，大部分习题要求应用初等数学，少数要求运用微积分解题。

本书既可供高等医学院校的学生用作教材，也可供综合大学、师范学院生物系的学生作选用教材，还可供广大医学工作者用作参考书。

本书由广州医学院谢楠柱、天津医学院张增麟和衡阳医学院侯孟庠主编。参加编写工作的有天津医学院张增麟（绪论、力学基本定律、振动）、李元明（波与声波、液体的流动），湖南医学院谢加平（分子物理学和热力学），广州医学

院吴紫彦(电场)、黄微波(电流)、谢楠柱(电磁现象的基本规律),北京医学院蒋霖(电子学基本知识),北镇医学院周述志(物理光学、几何光学),衡阳医学院侯孟庠(原子物理学和原子核物理学基础、量子力学的基本概念)。谢楠柱负责总的定稿、审图和总校工作,张增麟、侯孟庠负责部分定稿工作。

广东省物理学会副会长、华南师范学院物理系主任廖华扬教授,华南工学院物理系赵世副教授,暨南大学医学院刘世表副教授,中山大学物理系罗蔚茵讲师,华南师范学院物理系刘孝琴讲师和第四军医大学、锦州医学院、唐山煤矿医学院、广东医药学院、四川南充医专、江苏扬州医专、山西晋东南医专、山东济宁医专等的代表参加本书的审稿会议,提出了许多宝贵意见。本书的抄稿、制图和校对工作,得到广州医学院物理教研室梅秉强、黄大同、张启芳、苏炽辉等同志和大同医专物理教研组刘茂莹同志的大力支持,做了大量的具体细致的工作,梅秉强同志绘制了全书的插图。本书的编写工作还得到广东省高教局和广州医学院领导的大力支持。特此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,本书的缺点在所难免,希望读者提出宝贵意见,以便改进。

编 者

1982年6月

目 录

绪论	1
§ 0-1 物质与运动	1
§ 0-2 物理学的研究对象和研究方法	2
§ 0-3 物理学与医学的关系	4
第一章 力学的基本定律	7
§ 1-1 参照系 质点	7
参照系(7) 质点(8)	
§ 1-2 牛顿运动定律	9
牛顿运动定律(9) 力学单位制和量纲(12) 惯性系(16) *非惯性系中的力学定律 *惯性力(18) 经典力学的适用范围(20)	
§ 1-3 动量	23
动量 冲量 动量原理(23) 动量守恒定律(28)	
§ 1-4 功与能	32
功 变力的功(32) 保守力和非保守力(36) 势能(38) 功能原理(40) 机械能守恒定律(43)	
§ 1-5 刚体的转动	46
角量与线量的关系(47) 转动动能 转动惯量(49) 力矩 转动定律(51) 动量矩和冲量矩(56) *进动(59) *离心分离器原理(60)	
第二章 振动与波 声波	68
§ 2-1 物体的弹性	69
应力和应变(69) 弹性模量(72) 骨骼和肌肉的力学	

性质(75)

§ 2-2 振动.....79

谐振动 谐振动方程(80) 振幅 周期 频率 位
相(82) 谐振动的能量(86) 同方向的两谐振动的合成
拍(88) 相互垂直、频率相同的两谐振动的合成(94)

§ 2-3 波动.....7

波(97) 波动方程(99) 波的能量(101) 惠更斯原
理(105) 波的迭加原理 波的干涉(106) 驻波(108)

§ 2-4 声波.....111

描述声波的几个物理量(111) 声音的主观特性和客观特
性(122) 声波的反射(124) 多普勒效应(125) 超
声波(127)

第三章 液体的流动.....138

§ 3-1 理想液体的流动.....138

理想液体 稳定流动(138) 液流的连续原理(140)

§ 3-2 柏努利方程及其应用.....141

柏努利方程(141) 柏努利方程的应用(144)

§ 3-3 实际液体的流动.....148

液体的内摩擦现象(148) 片流 湍流 雷诺数(150)

实际液体的柏努利方程(153) 泊肃叶公式(155) 泊
肃叶方程的推导(156) 斯托克斯定律(159)

§ 3-4 血液在循环系统中的流动.....161

血流的速度和压强(162) 心脏做功、功率(164)

第四章 分子物理学基础.....170

§ 4-1 气体分子运动论.....170

分子运动论的实验基础(170) 理想气体的压强公式(172)
理想气体的能量公式(176)

§ 4-2 混合气体内的分压强 能量按自由度均分原

理	179
混合气体内的分压强(179) 能量按自由度均分原理(182)	
§ 4-3 麦克斯韦速率分布律 分子速率的三个统计值	188
麦克斯韦速率分布律(188) 分子速率的三个统计值(192)	
• § 4-4 玻耳兹曼分布律 重力场中粒子按高度的分布	195
玻耳兹曼分布律(195) 重力场中粒子按高度的分布(195)	
§ 4-5 气体中的迁移现象	198
气体的扩散(199) 气体的内摩擦(200) 气体的热传导(202)	
§ 4-6 液体的表面现象	205
表面张力和表面能(205) 表面吸附和表面活性物质(208)	
曲面下的附加压强 拉普拉斯公式(210) 气体栓塞(213)	
第五章 热力学基础	217
§ 5-1 热力学第一定律	217
系统的内能, 功和热量(217) 热力学第一定律(218)	
普遍的能量守恒定律(219) 准平衡过程(220)	
§ 5-2 热力学第一定律在理想气体的四种过程中的应用	222
等容过程 气体的定容摩尔热容量(222) 等压过程	
气体的定压摩尔热容量(225) 等温过程(227)	
绝热过程(228)	
• § 5-3 动物代谢	234
§ 5-4 热力学第二定律	237
循环过程(237) 卡诺循环(238) 热力学第二定律(243)	
可逆过程和不可逆过程(244) 卡诺定理(246)	
• § 5-5 熵和热力学第二定律的统计意义	247

熵的概念(247) 熵增加原理(249) 热力学第二定律的统计意义(251) 无序向有序的转变(254)

第六章 电场与电流258

引言 电磁学发展史258

§ 6-1 电荷的量子化 电荷守恒定律260

电荷是量子化的(260) 电荷守恒定律(261)

§ 6-2 电场的力的性质262

电场(262) 电场强度(263) 电力线(264) 电通量(266)

高斯定理及其应用(268)

§ 6-3 电场的能的性质272

电场力所作的功(272) 电势能(274) 电势(275)

电势差(276) 电偶极子电场的电势(277) 等势面(279)

场强与电势的关系(280)

§ 6-4 电场中的电介质282

电介质及其极化(282) 电极化强度(285) 电介质对电容器电容的影响(286) 电介质对电场的影响(288)

§ 6-5 电场的能量291

§ 6-6 稳恒电流的基本定律293

电流强度与电流密度(293) 欧姆定律的微分形式(299)

一段非均匀电路的欧姆定律(301) 基尔霍夫定律(304)

§ 6-7 带电粒子输运过程中的电动势307

接触电势差(308) 温差电动势(310) 生物电动势(312) 心脏的电讯号——心电图(318)

§ 6-8 直流电在医学上的应用322

直流电对肌体的作用(323) 离子透入疗法(325)

第七章 电磁现象的基本规律335

§ 7-1 电流的磁场335

基本磁现象(335) 磁感应强度(336) 磁通量(340)

毕奥—沙伐—拉普拉斯定律(342)	三种电流的磁
场(343)	*三种电流磁场的磁感应强度公式的数学推
导(346)	
§ 7-2	安培力和洛伦兹力.....351
磁场对载流导体的作用力——安培力(351)	载流矩形线
圈在均匀磁场中所受的力矩(352)	磁场对运动电荷的作
用力——洛伦兹力(355)	
§ 7-3	磁介质.....363
磁导率、顺磁质和抗磁质(364)	磁化强度(366)
铁磁	质(367)
§ 7-4	电磁感应.....371
电磁感应定律(371)	电磁流量计(374)
自感与互	感(376)
磁场的能量(379)	高频电对机体的作用(382)
§ 7-5	电磁振荡与电磁波.....385
电磁振荡(385)	电磁场与电磁波(390)
电磁波谱(395)	
附录 1	国际制单位405
附录 2	物理量的符号和国际制单位407
附录 3	微积分初步知识411

绪 论

人们为了要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然、克服自然和改造自然。物理学(physics)是一门自然科学，它既是一切科学技术的基础学科，同时，它对现代科学技术的发展，也起着极其重要的领头作用。

学习物理课程，掌握物理学的基本理论知识，有助于树立辩证唯物主义观点，培养分析问题和解决问题的能力，为学习后继课程准备条件；了解物理学在生产实践和医学科学中的应用和发展情况，以适应将来工作和继续提高的需要。

§ 0-1 物质与运动

辩证唯物主义认为，世界是物质的，物质处在永恒不停的运动和发展之中。

什么是物质？大至天体、日月星辰，小到微粒、原子、电子，都是物质。固体、液体、气体和等离子体，这些实物是物质；电场、磁场、重力场和引力场，这些场也是物质。列宁对物质所下的定义是：“物质是作用于我们的感官而引起感觉的东西；物质是我们感觉到的客观实在。”^①各种物质的具体形态尽管非常不同，但它们都是不依赖人的意识而独立

^①《列宁全集》第十四卷第146页。

存在的、并且能为人所认识的客观实在。

一切物质都在不断地运动着、变化着，绝对不动的物质是不存在的。这里所指的运动是广义的。天体的运行、江河的奔流、化学变化、动植物的生长发育以及人类的生理和病理的过程等，都是不同形态的物质运动的表现。物质和运动是不可分割的。运动是物质的存在形式，是物质的固有属性。世界上，没有不运动的物质，也没有非物质的运动。日常生活中以及科学研究上的所谓“静止”，都是相对于一定的参照系来说的。运动是绝对的，静止则是相对的。

物质存在的两种基本形态是实物和场。实物是世界上各种物体的组成者，场是实物之间相互作用的传递者，实物和场都是客观存在的运动着的物质，它们是不可分割地联系在一起。例如，两个物体之间存在万有引力场；两个带电粒子之间存在电场等。物体之间的万有引力和带电粒子之间的电场力都是通过各自联系的场来传递的。没有一种实物其周围不存在场，也没有一种场不与实物相联系，而且实物和场可以在一定条件下互相转化，电子偶和光子之间在一定条件下的相互转化便是一例。

§ 0-2 物理学的研究对象和研究方法

物质的运动形式是多种多样、丰富多采的。人类认识物质，就是认识物质的运动形式。各门科学就是以各种不同的物质运动形式作为自己的研究对象的。

物理学所研究的是物质运动最基本最普遍的形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动

等等。

物理学所研究的运动，普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中，因此，物理学所研究的许多物质运动规律，具有极大的普遍性。例如，地球上或天空中的一切物体，不论它们的化学性质如何，有无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；一切变化和过程，不论它们是否具有化学的、生物的或其他特殊性质，都遵从能的转换与能量守恒定律。但应当指出，生命现象在自然现象中属于较高级、较复杂的物质运动形态，它除了必须服从有关的物理学、化学等定律外，还有它自己独特的规律（生物学规律）。物理和化学的知识是理解生命现象的基础，但不是生命科学的全部内容。认为人就是一部复杂的机器，大脑是一部计算机，心脏是一个唧筒等等的看法，显然是很不全面的。

学习物理学，除了要学习物理学中所讲的各种规律外，还必须学习物理学的研究方法。

物理学的研究方法是观察、实验、假说和理论。观察和实验是研究物理学的基础。观察是对于自然界中所发生的某种现象，按照它原来的样子加以观测研究。一般对天体运动等现象的研究，都是采用观察的方法。至于其他的物理现象，观察仅仅是一种初步的研究。实验是使所研究的现象在人为的情况下反复产生。由于自然界所发生的过程往往很复杂，在实验时必须尽可能地把影响现象的主要因素和次要因素分开，使问题简化，这样才能找到最本质的东西。

在观察和实验所获得的大量资料的基础上，第二步工作就是经过分析、概括、判断和推理等一系列过程，把事物的本质和内在联系抽象到更一般的形式，再经过反复考验，被证明可以足够正确地反映某些客观规律时，于是导致定律和

理论的建立。可见，物理定律和理论不是人们硬套在自然现象上的主观思想，而是自然现象本身所具有的客观规律性在人们头脑中的反映。

在定律和理论的建立过程，有时需要提出假说，假说常常起着很重要的作用，假说是在观察、实验的基础上概括和抽象出来的。在一定范围内经过不断的考验而被证实为正确的假说，最终也可导致定律和理论的建立。例如，1900年普朗克提出的量子假说，大胆地突破经典理论的约束，能量的量子化，最终导致了量子力学的建立。在物理学的研究中，大量假说的出现并导致定律和理论的建立，其重要性已为世所公认。

理论建立以后还须回到实践中去。一方面，正确的理论对实践具有高度的和广泛的指导作用；另一方面，理论通过实践而得到检验。如果在实践中发现的事实与理论有矛盾时，就能使理论得到修正和发展，有时甚至放弃原有的理论而建立新的更能反映客观实在的理论。例如在物理学中，人们对光的本性的认识，从微粒说而波动说而量子说，这一曲折的发展过程雄辩地说明了理论必须在实践中不断的检验，才能得到发展，从而逐步地达到日益完善的程度。

§ 0-3 物理学与医学的关系

一直到本世纪的初期，生物科学(包括医学)基本上是一门形态的科学。它的方法主要是收集和整理材料，进行观察和归纳。光学显微镜的发明和改进使观察达到细胞水平，促进了医学科学的发展和提高。近几十年物理学和工程技术的

飞跃发展，又使得基础医学和临床医学从细胞水平进展到超显微层次的分子水平和电子水平。也就是生物学已逐渐由宏观形态的研究进入微观机制的探讨。这样，就必将更深入地触及到生命现象的微观本质，如疾病发生的微观机理、有机体内的控制和调节、新陈代谢的微观过程，以及遗传与变异等的微观基础，从而在寻找防病治病的根本途径中起到应有的作用。目前，各门医学科学都愈来愈多地把它们的理论建立在精确的物理科学基础之上。物理学和医学这两门学科的不断发展，互相渗透，互相促进，形成了“医学物理学”(Medical Physics)这门边缘学科；物理学和生物学、医学以及其他自然科学、工程学的互相渗透，又形成了生物物理学(Biophysics)和生物医学工程学(Biomedical Engineering)等边缘学科，它们对阐明生命现象的本质和对生物体(主要是人体)进行探索和改造，已经作出了许多新的贡献，并且指出了许多值得注意的发展方向。物理学在医学方面的应用已越来越广泛和深入，两者的关系也越来越密切。现在简单叙述一下它们之间存在关系的两个主要方面。

(1) 物理学是学习医学和了解生命现象所不可缺少的基础。物理学是除数学外，一切其他自然科学和工程技术的基础，对于医学来说，也不例外。例如，要了解血液在心血管系统中运动的情况，就必须知道流体动力学的基本定律；要了解眼的的作用，不仅必须了解几何光学，而且还要了解物理光学；要了解声的感觉过程以及超声的医学应用，就必须知道声波的物理性质和传播规律。人体内的电是神经与肌肉组织中一种基本活动，要了解它(例如肌电、脑电、心电、眼电等)必须具备有关电学的知识，人体磁(例如心磁、脑磁)又给医生和患者提供了新的信息。对于人体生理和病理过程

中的控制和调节过程，不懂得负反馈的概念，那将是难以理解的。在健康防护方面，也必须考虑所处环境的物理因素以及其他等等。因此，没有一定的物理学基础，是不可能通晓许多医学课题的。

(2) 物理学所提供的方法和技术，为基础医学和临床医学的研究、医疗实践开辟了许多新的途径。按照物理学基本原理设计制造的各种医用器械和光学、电子学仪器不断发展，不断更新，为医学实践和科学研究，提供了有效的工具。光学显微镜、X射线照相、各种电图机、超声诊断仪等对基础和临床医学的贡献是人所共知的。目前各种医学信息的收集还可通过近代发展起来的如电子显微镜、热象图、红外技术、光纤内窥镜、遥测技术（如用丸状超小型医用换能器和发射机来检测胃肠的温度、pH值、压力等数值）、电子计算机X射线断层扫描术(CT)、同位素、顺磁共振和核磁共振等等手段而获得。可以预料，这些新方法、新技术的逐步推广，必将使医学科学不断发展和提高，以更大的步伐前进。还可指出，在物理治疗的手段方面，现在除了光疗、热疗、电疗、声疗以及放射线疗之外，比较新的还有利用低温（冰冻疗法）、快中子、激光、高速电子流（电子加速器）等。由上面所述的这些情况可知，我们学习医用物理学课程，既是为本专业后继课程打基础，更是将来从事走向现代化的医疗卫生和科学研究工作的需要。

正确地认识物理学与医学的关系，是学好这门课程的关键。