

卫生部规划教材

全国高等医药院校教材

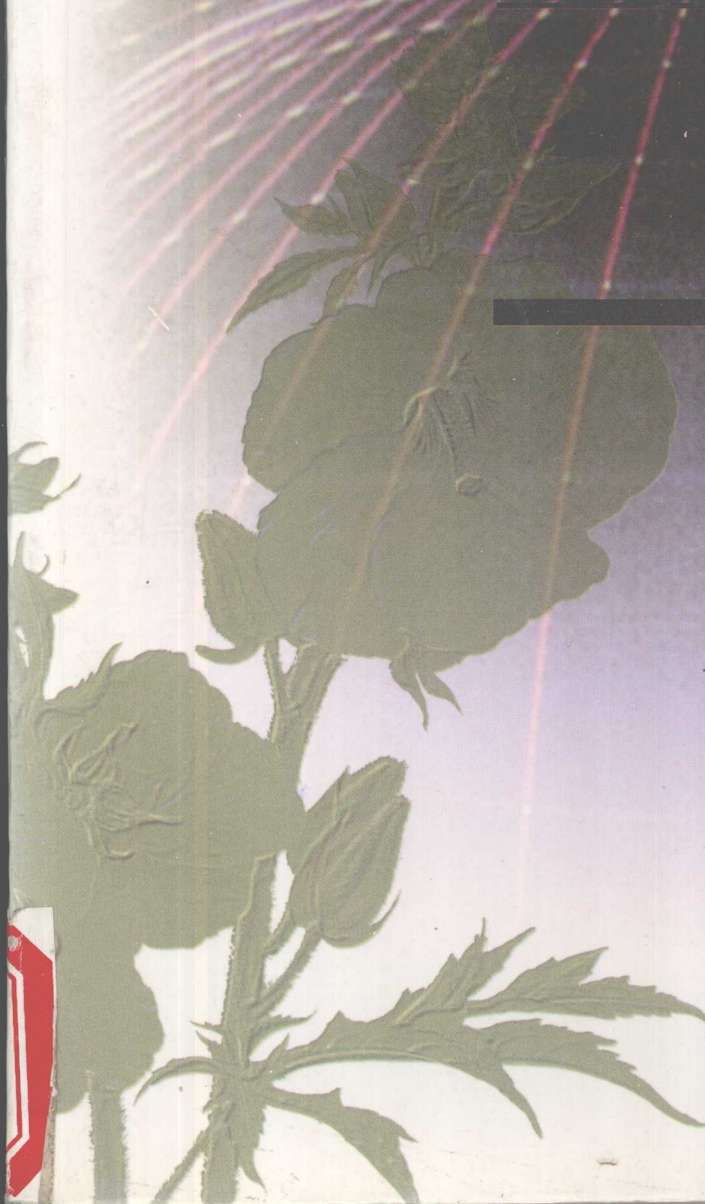
供药类专业用

物理学

第三版

王鸿儒 主编

人民卫生出版社



高等医药院校教材

供药学类专业用

物 理 学

第三版

主编 王鸿儒（北京医科大学）

编者（以姓氏笔画为序）

阮晓声（浙江医科大学）

沈明元（华西医科大学）

张学贤（中国药科大学）

赵清诚（沈阳药科大学）

奚才清（上海医科大学）

贾象珂（山东医科大学）

舒辰慧（北京医科大学）

傅尧礼（贵阳医学院）

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

物理学/王鸿儒主编. —3 版. —北京: 人民卫生出版社, 1999

ISBN 7-117-03280-4

I. 物… II. 王… 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 (1999) 第 10296 号

物 理 学

第三版

王鸿儒 主编

人民卫生出版社出版发行

(100078 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼)

北京市安泰印刷厂印刷

新华书店经销

787×1092 16 开本 22.75 印张 523 千字

1985 年 9 月第 1 版 1999 年 8 月第 3 版第 15 次印刷

印数: 38 131—46 130

ISBN 7-117-03280-4/R·3281 定价: 19.90 元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究。

全国高等医药院校药学专业 第四轮规划教材修订说明

为适应我国高等药学教育的改革和发展,在总结前三轮药学专业教材编写经验的基础上,卫生部教材办公室于1996年9月决定进行第四轮教材修订,根据药学专业的培养目标,确定了第四轮教材品种和修订的指导思想,药学本科教育的培养对象是从事一般药物制剂、鉴定及临床合理用药等工作的药师,教材修订应紧紧围绕培养目标,突出各学科的基本理论、基本知识,同时又反映学科的新进展。该套教材可供药学及相关专业选用。全套教材共22种,均经卫生部聘任的全国药学专业教材评审委员会审定。教材目录如下:

- | | | | |
|------------------|--------|-----------------|--------|
| 1. 高等数学(第三版) | 毛宗秀 主编 | 11. 药理学(第四版) | 李 端 主编 |
| 2. 医药数理统计方法(第三版) | 刘定远 主编 | 12. 药物分析(第四版) | 刘文英 主编 |
| 3. 物理学(第三版) | 王鸿儒 主编 | 13. 药用植物学(第三版) | 郑汉臣 主编 |
| 4. 物理化学(第四版) | 侯新朴 主编 | 14. 生药学(第三版) | 郑俊华 主编 |
| 5. 无机化学(第三版) | 许善锦 主编 | 15. 药物化学(第四版) | 郑 虎 主编 |
| 6. 分析化学(第四版) | 孙毓庆 主编 | 16. 药剂学(第四版) | 毕殿洲 主编 |
| 7. 有机化学(第四版) | 倪沛洲 主编 | 17. 天然药物化学(第三版) | 姚新生 主编 |
| 8. 人体解剖生理学(第四版) | 龚茜玲 主编 | 18. 中医学基础(第四版) | 李向中 主编 |
| 9. 微生物学与免疫学(第四版) | 李明远 主编 | 19. 药事管理学(第二版) | 吴 蓬 主编 |
| 10. 生物化学(第四版) | 吴梧桐 主编 | 20. 生物药剂学与药代动力学 | 梁文权 主编 |
| | | 21. 分子生物学基础 | 史济平 主编 |
| | | 22. 药学英语(第二版) | 胡廷熹 主编 |
- 以上教材均由人民卫生出版社出版。

卫生部教材办公室

全国药学专业教材第二届评审委员会

主任委员:彭 司 勋

副主任委员:郑 虎

委员(以姓氏笔画为序)

王 夔 安登魁 李万亥 邹立家

郑俊华 胡昌奇 姚新生 梁文权

秘 书:翁玲玲 冉 兰

第三版前言

根据高等医药院校药学专业第四轮规划教材修订的指导思想，药学专业培养目标以及当前各校教学安排的实际情况，在本版教材中进行了以下几个方面的修订。

1. 目前各院校物理学课程的教学总时数平均为 130 学时，由于学时减少一般只讲授物理学基础理论部分，有的院校将电子学基础作为选修课另行开设，但也有些院校在物理课学时内稍加一些电子学基础方面的内容。有鉴于此，本版教材不再分上、下两册，书中 1~16 章均属物理学基础理论的内容，在书末编入了电子技术基础作为第 17 章。

2. 从整体优化药学专业教材的角度考虑，在物理学教材中删去“热力学基础”，将其归入物理化学教学内容之中。

3. 增加近代物理学的内容。新增了“狭义相对论”和“天体物理”两章，并将“激光”和“粒子物理”的内容扩大为两章。其他章节中也增加了一些新的内容。

4. 对例题和习题作了一些改动。“粒子物理”、“天体物理”和“电子技术基础”三个部分，由于属一般知识性介绍而未写入例题和习题。

5. 除以上修订外，在内容上还做了一定的删减，使全书的字数有所减少。书中插图全部由傅尧礼同志绘制，以求准确和风格上的统一。

马寿岩（延边大学医学院）、王国兴（第二军医大学）、潘正（广东药学院）、梁荣玲（河北医科大学）、冀文芝（佳木斯医学院）等同志对本书的编写提供了宝贵的意见。李竞（北京天文台）、王铭（北京医科大学）等同志协助审查了部分书稿。在此谨致以深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和缺点，我们诚恳地希望使用本书的老师和同学们批评指正。

编者

1998 年 6 月

目 录

绪论	(1)	三、经典力学的时空观	(35)
一、物理学研究对象	(1)	第二节 狭义相对论的基本假设	(35)
二、物理学与技术进步、生产实践的关系	(1)	一、迈克耳孙-莫雷实验	(35)
三、物理学学习方法	(2)	二、狭义相对论的基本假设	(36)
第一章 力学的基本定律		三、洛伦兹变换	(37)
第一节 牛顿运动定律	(3)	第三节 相对论运动学	(38)
一、牛顿运动定律	(3)	一、长度的相对性(长度收缩)	(38)
二、单位和量纲	(5)	二、时间的相对性(时间延缓)	(38)
第二节 功和能、能量守恒定律	(6)	三、同时性的相对性	(39)
一、功	(6)	第四节 相对论动力学	(40)
二、动能、势能	(7)	一、动量和质量	(40)
三、功能原理	(10)	二、力和动能	(40)
四、机械能守恒定律	(11)	三、能量、质能关系	(41)
五、能量守恒定律	(12)	四、能量和动量的关系	(42)
第三节 动量守恒定律	(12)	第五节 广义相对论简介	(43)
一、动量、冲量、动量定理	(12)	一、等效原理	(43)
二、动量守恒定律	(15)	二、广义协变性原理	(44)
第四节 转动和转动定律	(16)	三、广义相对论的检验	(44)
一、刚体的定轴转动	(16)	习题二	(45)
二、力矩、转动定律、转动惯量	(19)	第三章 流体的运动	(46)
三、转动动能、力矩的功	(23)	第一节 理想流体的定常流动	(46)
第五节 角动量守恒定律	(25)	一、理想流体	(46)
一、角动量、冲量矩、角动量定理	(25)	二、定常流动	(46)
二、角动量守恒定律	(27)	三、连续性方程	(47)
第六节 进动	(29)	第二节 伯努利方程及其应用	(48)
习题一	(31)	一、伯努利方程	(48)
第二章 狭义相对论	(34)	二、伯努利方程的应用	(49)
第一节 伽利略变换和经典力学时空观	(34)	第三节 粘性流体、层流、湍流	(52)
一、伽利略相对性原理	(34)	一、牛顿粘性定律	(52)
二、伽利略变换	(34)	二、层流、湍流、雷诺数	(54)
		第四节 泊肃叶定律	(55)
		一、泊肃叶定律	(55)
		二、粘性流体的运动规律	(56)

第五节 斯托克斯定律	(58)
习题三	(59)
第四章 振动和波	(61)
第一节 简谐振动	(61)
一、简谐振动的运动方程	(61)
二、简谐振动的合成	(63)
第二节 振动的分解、频谱	(66)
一、非简谐周期振动的傅里叶分解、 不连续谱	(67)
二、一段有限波列的分解、连续 谱	(67)
第三节 简谐波	(68)
一、机械波的产生和传播	(68)
二、波动方程	(69)
三、波的能量	(71)
第四节 波的叠加原理、波的 干涉	(73)
一、波的叠加原理	(73)
二、波的干涉	(73)
三、驻波	(74)
第五节 声波和超声波	(76)
一、声强和声强级	(76)
二、多普勒效应	(77)
三、超声波	(78)
四、次声波	(80)
习题四	(80)
第五章 分子物理学	(82)
第一节 动理学理论	(82)
一、动理学理论及其实验基础	(82)
二、分子现象统计规律性	(83)
第二节 理想气体动理论基本 方程	(84)
一、理想气体物态方程	(84)
二、理想气体动理论基本方程	(85)
第三节 能量均分定理	(87)
一、分子平均平动动能	(87)
二、自由度	(87)
三、能量均分定理	(88)
第四节 分子速率及其实验	

测定	(89)
一、分子速率的统计分布	(89)
二、分子速率的实验测定	(92)
第五节 真实气体	(92)
一、真实气体的等温线	(92)
二、分子力	(94)
三、范德瓦耳斯方程	(95)
习题五	(98)
第六章 静电场	(100)
第一节 电场强度、高斯定理	(100)
一、电场强度	(100)
二、电场线、电通量	(103)
三、高斯定理	(105)
第二节 电势、电势差	(109)
一、静电场的环路定理	(109)
二、电势差、电势	(111)
三、电场强度与电势的关系	(113)
第三节 静电场中的电介质	(116)
一、电介质的极化	(116)
二、极化强度和极化电荷	(117)
三、电位移、有电介质时的高斯 定理	(119)
第四节 电容	(121)
一、孤立导体的电容	(121)
二、电容器的电容	(121)
三、电容器电容的计算	(122)
第五节 静电场的能量	(123)
一、电容器的能量	(123)
二、电场的能量和能量密度	(123)
第六节 压电效应及其应用	(125)
一、压电效应	(125)
二、逆压电效应及其应用	(125)
习题六	(126)
第七章 直流电路	(129)
第一节 恒定电流	(129)
一、电流强度	(129)
二、电流密度	(129)
三、欧姆定律的微分形式	(131)
第二节 基尔霍夫定律及其	

应用	(132)	二、有旋电场	(174)
一、基尔霍夫定律	(132)	三、涡电流	(175)
二、基尔霍夫定律应用举例	(133)	第二节 自感	(176)
第三节 温差电现象及其应用	(135)	一、自感现象	(176)
一、电子逸出功	(135)	二、 RL 电路中电流的增长与衰减	
二、接触电势差	(136)	规律	(177)
三、温差电现象及其应用	(137)	第三节 磁场的能量	(179)
第四节 电容器的充电和放电	(139)	第四节 电磁场及其传播	(181)
一、电容器的充、放电	(139)	一、位移电流	(181)
二、 RC 电路充电时的电势差和电		二、麦克斯韦电磁场基本方程	(182)
流的变化规律	(139)	三、电磁波的产生和传播	(183)
三、 RC 电路放电时的电势差和电		四、电磁波的能量	(185)
流的变化规律	(141)	第五节 超导电性和超导磁体	(186)
习题七	(142)	一、零电阻现象	(186)
第八章 电流的磁场	(146)	二、迈斯纳效应和磁通量子化	(187)
第一节 磁场、磁感应强度	(146)	三、超导磁体	(188)
第二节 电流的磁场	(147)	习题九	(189)
一、毕奥-萨伐尔定律	(147)	第十章 光的波动性	(192)
二、安培环路定理	(149)	第一节 光的干涉	(192)
三、磁通量	(152)	一、光的相干性	(192)
第三节 磁场对运动电荷的		二、杨氏双缝实验	(193)
作用	(153)	三、劳埃镜实验	(194)
一、洛伦兹力	(153)	四、光程和光程差	(195)
二、质谱仪	(155)	五、薄膜干涉	(196)
三、霍尔效应	(155)	六、干涉仪	(197)
第四节 磁场对电流的作用、		第二节 光的衍射	(199)
磁矩	(157)	一、惠更斯-菲涅耳原理	(199)
一、安培定律	(157)	二、单缝衍射	(200)
二、磁场对载流线圈的作用、		三、衍射光栅	(203)
磁矩	(158)	第三节 X 射线的衍射	(205)
第五节 磁介质	(162)	一、 X 射线的波动性	(205)
一、磁介质	(162)	二、布拉格方程	(206)
二、磁导率、磁场强度	(164)	第四节 光的偏振	(208)
三、铁磁质	(165)	一、自然光和偏振光	(208)
四、磁致伸缩	(166)	二、光的双折射现象	(212)
习题八	(167)	三、椭圆偏振光和圆偏振光	(215)
第九章 电磁感应	(171)	第五节 旋光现象	(216)
第一节 电磁感应定律	(171)	一、旋光性	(216)
一、电磁感应的基本定律	(171)	二、圆二色性	(217)
		第六节 光的吸收和散射	(217)
		一、光的吸收、朗伯-比耳定律	(217)

二、光的散射	(219)
习题十	(220)

第十一章 光的粒子性

第一节 热辐射	(222)
一、热辐射现象	(222)
二、基尔霍夫定律	(222)
三、黑体辐射定律	(223)
四、普朗克量子假设	(225)
第二节 光电效应	(226)
一、光电效应的基本规律	(226)
二、爱因斯坦的光子学说	(228)
三、光电效应的应用	(229)
第三节 康普顿效应	(230)
一、康普顿散射实验	(230)
二、康普顿散射的理论解释	(231)
第四节 光的波粒二象性	(233)
习题十一	(234)

第十二章 量子力学基础

第一节 玻尔的氢原子结构	
理论	(235)
一、氢原子光谱的规律性	(235)
二、玻尔的氢原子理论	(236)
第二节 实物粒子的波动性	(239)
一、德布罗意假设	(240)
二、电子衍射	(241)
三、物质波的统计解释	(243)
第三节 不确定原理	(243)
一、坐标和动量的不确定关系式	(244)
二、能量和时间的不确定关系式	(245)
第四节 波函数、薛定谔方程	(246)
一、波函数的意义和性质	(247)
二、自由粒子的波函数和薛定谔方程	(247)
三、定态波函数和薛定谔方程	(249)
四、一维势阱中运动的粒子	(250)
第五节 氢原子及类氢原子的量子力学描述	(251)
一、能量量子化——主量子数 n	(252)
二、角动量量子化——角量子	

数 l	(252)
-------------	-------

三、空间量子化——磁量子数 m	(252)
-------------------------	-------

第六节 电子自旋

一、施特恩-格拉赫实验	(253)
二、碱金属元素光谱的双线结构	(254)
三、电子自旋假设	(254)

习题十二	(256)
------------	-------

第十三章 激光

第一节 激光产生的原理

一、自发辐射、受激辐射与粒子数反转	(259)
二、光谱谐振腔的作用	(261)
三、激光器的结构	(263)

第二节 激光的特点

一、方向性好	(263)
二、单色性好	(263)
三、亮度极高	(263)
四、相干性好	(264)

第三节 几种常见的激光器

一、气体激光器	(265)
二、固体激光器	(265)
三、半导体激光器	(266)
四、染料激光器	(266)

第四节 激光对生物组织的作用

一、光化作用	(267)
二、热作用	(267)
三、机械作用	(267)
四、电磁场作用	(268)

第五节 激光在医药学及科技领域中的应用

一、激光在医药学上的应用	(268)
二、激光在科技领域中的应用	(269)

习题十三	(270)
------------	-------

第十四章 原子核

第一节 原子核的组成

一、原子核的电量、质量和大小	(271)
二、原子核的组成	(272)
三、原子核的结合能	(273)
四、核力	(274)

第二节 放射性、衰变定律、核反应	(275)	一、大爆炸宇宙模型	(308)
一、放射性衰变	(276)	二、恒星的演化	(309)
二、衰变定律	(278)	三、赫罗图	(310)
三、人工核反应	(280)	四、引力坍缩	(310)
第三节 放射性核素	(281)	五、脉冲星与中子星	(312)
一、放射线的剂量	(282)	六、黑洞	(312)
二、放射性核素在医药方面的应用	(283)	第三节 元素的起源	(312)
第四节 核子及核的自旋与磁矩、核磁共振	(284)	一、 B^2FH 理论	(313)
一、核子的自旋与磁矩	(284)	二、元素形成理论的发展	(313)
二、原子核的自旋与磁矩	(285)	三、与地球、生物及人体的联系	(314)
三、核磁共振	(286)	第四节 恒星的能源	(315)
四、核磁共振的应用	(289)	一、质子-质子反应	(315)
习题十四	(291)	二、碳氮循环	(315)
第十五章 粒子物理	(293)	第五节 广义相对论的检验	(316)
第一节 高能粒子的来源与探测	(293)	一、弱引力场中的效应	(316)
一、宇宙射线	(293)	二、宇宙学效应	(317)
二、人工辐射源	(294)	三、引力波效应	(317)
三、高能粒子探测	(295)	第十七章 电子技术基础	(318)
第二节 基本粒子简介	(295)	第一节 半导体器件	(318)
一、粒子与反粒子	(295)	一、半导体的导电特性	(318)
二、 μ 介子与中微子	(296)	二、晶体二极管、稳压管、可控硅	(320)
三、介子与超子	(297)	三、晶体三极管	(323)
四、粒子的分类	(299)	第二节 晶体管放大器	(325)
第三节 基本相互作用和守恒定律	(300)	一、低频放大器	(325)
一、粒子间的相互作用	(300)	二、直流放大器	(329)
二、守恒定律	(301)	第三节 LC 振荡器	(329)
第四节 强子的夸克模型	(303)	一、从交流放大电路到 LC 谐振放大电路	(329)
第十六章 天体物理	(305)	二、 LC 振荡电路	(330)
第一节 概述	(305)	第四节 运算放大器	(331)
一、天体的层次	(305)	一、集成电路简介	(331)
二、天体物理研究的可行性	(306)	二、集成运算放大器简介	(332)
三、观测与实验	(306)	三、普适结论	(332)
四、天体物理的发展趋势	(307)	四、集成运放组成的差分运算电路	(333)
第二节 天体的演化	(308)	五、集成运放在信号运算方面的应用	(334)
		第五节 数字显示	(335)
		一、脉冲波形	(335)
		二、数字显示	(335)

第六节 模拟量和数字量的

转换 (336)

第七节 常用电子分析仪器 (336)

一、电子电势差计 (336)

二、电导率仪 (338)

三、电泳仪 (339)

四、酸度计 (340)

习题答案 (344)

附录 (352)

1. 物理基本常数表 (352)

2. 希腊字母表 (352)

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学是研究物质基本结构形态和基本运动规律的科学。人们周围存在着的客观实体,从粒子、原子、分子到宇宙天体,从蛋白质、细胞到人体都是物质;从核力场、电磁场到引力场也都是物质。所有物质都在不停地运动和变化之中,自然界的一切现象就是这些物质运动的表现,因而运动是物质存在的形式,是物质的固有属性。物理学研究的领域非常宽广,在空间尺度上已涉及从小到质子半径 10^{-15}m ,大到目前可以观测到的最远的类星体的距离 10^{26}m ;所包含的时间尺度从短到 10^{-25}s 的最不稳定粒子的寿命,直到长达 10^{39}s 的质子寿命。各种不同的物质运动形式既服从普遍规律,也有自己的独特规律。由于物理学所研究的物质运动规律具有普遍性,就使得物理学成为研究包括药学在内的其他自然科学和技术的重要基础。物理学的基本概念和技术被应用到了所有的自然科学,在这些自然科学与物理学之间的边缘领域中形成了一系列新的分支学科和交叉学科。例如,高能物理或粒子物理在最小尺度上探索物质更深层次上的结构和运动规律,是物理学研究中的一个尖端领域;另一个尖端领域是天体物理,它在最大尺度上追寻宇宙的演化和起源,它是物理学与天文学之间形成的边缘学科,也是物理学及天文学中的一个分支学科。当今这两个尖端领域已相互衔接起来而成为密不可分的姊妹学科。再如,物理学和化学从来就是并肩前进的,它们相互结合而形成了物理化学、量子化学等边缘学科。物理化学是应用物理学的原理和实验手段来研究化学反应体系所遵循的普遍规律的一门科学,它与物理学中的热学、光学、电学等交叉渗透关系非常密切,它涉及化学反应体系的平衡和动力学以及与之相关联的结构-性能关系,已发展成为化学科学的理论核心。量子化学是在量子力学的基础上发展起来的,它深入研究原子结合力的本质、原子分子空间排列的方式以及结构与性能之间的关系。物理学的实验方法和理论工具使化学科学得以深入地迅速发展。物理学与生物学相结合形成了生物物理学。特别是近四、五十年来在两学科的交叉点上取得了一系列的重大成就,如 DNA 双螺旋结构的确定,以及分子生物学、遗传工程、耗散结构理论的建立等,都是与近代物理学的成就密切相关的。物理学与生物学的相互渗透,前途是不可估量的。还可以预料生命科学的发展必定是在与物理学更加密切的结合中达到的。

二、物理学与技术进步、生产实践的关系

历史事实证明,物理学的研究成果除了促进物理学自身和其他自然科学的发展外,还是改造客观世界为人类服务的强有力的工具。在 18 世纪和 19 世纪,由于牛顿力学、热力学的建立和发展推动了其他学科的发展,研制了蒸汽机和其他工业机械,掀起了第一次工业革命,使人类进入了机械化技术的时代。19 世纪,在法拉第-麦克斯韦电磁理论的推动下人们制造了电机、电器和各种电信设备,引起了工业电气化,使人类进入了应用

电能的时代，这是第二次工业革命。20 世纪以来，由于相对论、量子力学的建立，人类对自然界的认识开始从宏观领域推进到微观领域，对原子、原子核的了解日益深入，从而实现了原子核能和放射性同位素的应用。几十年来，与量子力学微观理论有联系的一些新兴边缘学科不断建立，同时在量子力学理论的推动下，直接促成了有关半导体、激光以及核磁共振等许多新技术的发明和应用。现代技术正经历着一场伟大的革命，人类已进入了信息技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、海洋技术、空间技术为主要内容的新技术时代。而从根本上来说，20 世纪科学技术的发展都是来源于 20 世纪初期物理学上的三大成就，即相对论、量子力学和原子核物理。事实证明，自然科学的理论研究一旦取得重大突破，必将为生产和技术带来巨大的进步，从而使社会物质生产的各个领域面貌一新。

三、物理学的学习方法

由于物理学是一门基础课，本书中所介绍的内容大部分是物理学中成熟的所谓经典理论。这些基本原理和基础知识至今仍然是各学科赖以发展的基础，在药学领域中也有着广泛的应用，它们对于学习现代物理学新理论也是不可缺少的阶梯。

物理学知识经过几千年特别是近三百年的积累已相当丰富，要在有限的学时内全面讲授物理学的内容是不可能的。所以在内容选择上只能针对专业性质有所侧重，有些内容仅作概括的叙述。为了学好物理学，进一步提高独立工作能力，学习时不要拘泥于一本教材，还应阅读必要的参考书。此外，物理学是一门实验科学，它的理论是通过实践—理论—实践的考验、经受各种手段从多方面进行检验而建立起来的。因此，要学好物理学还必须重视物理实验，学会使用基本仪器，掌握一些测量的方法和技术操作以及处理数据的原则，并要在实验过程中积极思维，多考虑问题，敢于实践，勇于创新。

物理学是药学专业的一门重要基础课程。物理学的发展，特别是量子力学的发展和应用，对药学的进展起了很大的推动作用。许多新型仪器，如红外分光光度计、紫外分光光度计、质谱仪、傅里叶光谱仪、激光拉曼光谱仪、核磁共振波谱仪等等的使用，已经成为对于药物进行研究和分析的重要手段。量子化学的发展和电子计算机的应用，使得采用理论计算的方法来预测未知化学现象已逐渐成为可能，从而为探求新药物和新流程的研究开拓了广阔的前景。我们深信，同学们通过物理学的严格训练和坚持不懈的学习，不仅可以为今后学习专业课程打下基础，而且将为发展我国药学事业发挥积极的作用。

(王鸿儒)

第一章 力学的基本定律

力学(mechanics)是研究物质的**机械运动**(mechanical motion)的规律及其应用的科学。机械运动是物体间或物体各个部分之间相对位置变化的运动,是物质运动最简单的形式,普遍存在于所有其他运动形式中。本章在高中《物理学》的基础上,有重点地讨论一些动力学的基本概念和规律,为以后的学习奠定基础。

第一节 牛顿运动定律

动力学(dynamics)是研究物体的运动与物体间相互作用的联系和规律的,其基本内容是**牛顿运动定律**(Newton laws of motion)。牛顿运动定律一般是对质点而言的,但由此出发可导出刚体、流体等的运动定律,从而建立起以它为主要组成部分的**经典力学**(classical mechanics)。因此,牛顿运动定律不仅是质点力学的基础,而且是整个经典力学的基础。

一、牛顿运动定律

牛顿(I. Newton)在总结前人成就的基础上,于1687年发表了《自然哲学的数学原理》,提出了三条运动定律,现表述如下:

牛顿第一定律(Newton first law):任何物体都保持其静止或匀速直线运动状态,直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

牛顿第二定律(Newton second law):物体受到外力作用时,所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比,与物体的质量成反比;加速度的方向与合外力的方向相同。

牛顿第三定律(Newton third law):当甲物体有力作用于乙物体时,乙物体也必然同时有力作用于甲物体,这两个力在同一直线上,大小相等而方向相反。

第一定律表明,任何物体都有保持其原有运动状态不变,即保持其速度不变的特性。这一特性叫作物体的**惯性**(inertia),因此第一定律也叫**惯性定律**。第一定律还表明,物体受到其他物体作用时,就会改变运动状态,即产生加速度。物体间的这种作用叫作力(force)。由此可见,力和**加速度**(acceleration)有关。力不是维持速度的原因,而是改变速度的原因。

在相互联系、相互制约的物质世界中,不受其他物体作用而孤立存在的物体是不存在的,因此第一定律无法用实验直接验证。但是,第一定律是通过无数事实的研究而作出的正确推断,依据它所得出的关于力学问题的结论也是完全符合实际的,因此第一定律是客观规律。

第二定律指出,质量为 m 的物体,在合外力 f 作用下,如果获得的加速度为 a ,则

$$f = kma \quad (1-1)$$

式中 k 为比例系数。在国际单位制中,质量的单位为千克(符号kg),加速度的单位为米·秒⁻²(符号 $m \cdot s^{-2}$),力的单位为牛顿(符号N)。1N的力,就是作用于质量为1kg的物



体, 可使其获得 $1\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的加速度的力。在国际单位制中, 比例系数 $k=1$ 。这时, 上式可写成

$$f=ma \quad (1-2)$$

这就是通常所用的牛顿第二定律的数学表达式。

第二定律表明, 在同样大小的力的作用下, 质量越大的物体获得的加速度越小, 即质量越大的物体的运动状态越不容易改变, 其惯性也越大。可见**质量 (mass) 是物体惯性的量度**。

应该指出, 第二定律是瞬时关系。某时刻物体的加速度和该时刻所受合外力成正比; 合外力的方向和加速度方向一致, 即力沿加速度方向而不是速度方向; 质量和加速度的乘积在数值和方向上与力一致, 但 ma 本身不是一个力。

式 (1-2) 是矢量式, 解题时常用其分量式。如果物体运动轨道是一平面曲线, 则在该平面直角坐标系中式 (1-2) 分量式为

$$\left. \begin{aligned} f_x &= ma_x \\ f_y &= ma_y \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中 f_x 、 f_y 分别表示物体所受诸力沿 x 轴、 y 轴方向分量的代数和, a_x 、 a_y 为物体加速度沿 x 轴、 y 轴方向的分量。

当物体作圆周运动或曲线运动时, 既有**法向加速度** (normal acceleration) a_n , 还可能有**切向加速度** (tangential acceleration) a_t 。这时常根据轨道的自然情况, 采用法向和切向分量式

$$\left. \begin{aligned} f_n &= ma_n = m \frac{v^2}{r} \\ f_t &= ma_t = m \frac{dv}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中 f_n 、 f_t 分别表示物体所受法向合力和切向合力, v 为物体在该时刻的速率, r 为物体所作圆周运动的半径或作曲线运动时所在点的曲率半径, $\frac{dv}{dt}$ 是该时刻物体速率的变化率, 即物体的切向加速度。

第三定律表明, 作用力和反作用力必定分别作用在相互作用着的两个物体上。作用力和反作用力还必定是属于同一性质的力, 如同属万有引力、弹性力、摩擦力等。

这三条定律是不可分割的整体。第一和第二定律分别定性和定量地说明了物体运动状态的变化和其他物体对它作用的力之间的关系。第三定律则是重要补充, 进一步说明了力的相互作用性质及相互作用的力之间的定量关系。

为了描述物体的机械运动, 总要选择另一个物体或几个相对静止的物体作为**参考系** (reference frame)。在不同的参考系中, 对同一物体的运动会有不同的描述。但从运动的描述来说, 参考系可以任意选择。那么应用牛顿定律时, 参考系能否任意选择呢? 例如, 放在火车站台上的物体, 从站台上的人看来, 物体受的合力为零, 加速度也为零, 牛顿定律成立; 可是在加速行驶的车厢中的人看来, 物体受的合力仍为零, 而加速度则不为零, 牛顿定律不成立。这是因为在不同的参考系中, 物体受力相同, 而加速度则可能不同。

凡是牛顿定律成立的参考系叫作**惯性参考系**, 简称**惯性系** (inertial system)。从天体运动的研究知道, 以太阳为参考系, 太阳中心为原点, 指向任一恒星的直线为坐标轴, 就

构成惯性系。实验还表明, 相对于上述惯性系作匀速直线运动的参考系都是惯性系, 作变速运动的参考系是**非惯性系** (non-inertial system)。

地球相对于上述惯性系有公转还有自转, 因而有加速度, 严格来讲是非惯性系。然而计算表明, 地球的公转与自转加速度极小, 分别为 $5.9 \times 10^{-3} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 及 $3.4 \times 10^{-2} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 因此可近似看成惯性系。事实上, 我们研究地面物体的运动, 就是常以地面为惯性参考系的。但是研究有些现象, 如人造卫星的运动, 则必须考虑地球自转的影响。

二、单位和量纲

各物理量间常常通过定义或定律有一定的联系。速度和加速度通过定义与长度及时间相联系, 力、质量和加速度则通过牛顿第二定律联系在一起。一般常选几个物理量作为**基本量** (fundamental quantity), 规定它们的单位作为**基本单位** (fundamental unit), 其他物理量及其他单位就可通过定义或定律由基本量及基本单位导出。从基本量导出的物理量叫作**导出量** (derived quantity), 它们的单位叫作**导出单位** (derived unit)。

本书采用的**国际单位制** (system of international unit) 中, 选定长度、质量和时间为力学基本量, 米、千克和秒为力学基本单位, 力学中的其他各量都是导出量。例如力就是导出量, 其单位牛顿所代表的基本单位的关系式为 $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

任何物理量都可以用基本量的某种组合表示出来。国际单位制中, 以 L 、 M 和 T 分别表示长度、质量和时间这三个力学基本量, 力学的其他物理量 Q 都可以按下列形式表示出来

$$[Q] = M^{\alpha} L^{\beta} T^{\gamma}$$

上式叫作物理量 Q 的**量纲** (dimension), M 、 L 、 T 分别为质量、长度、时间的量纲, 指数分别叫作物理量 Q 对质量、长度、时间的**量纲指数**。这样, 加速度的量纲为 $[a] = LT^{-2}$, 力的量纲为 $[f] = [m][a] = MLT^{-2}$ 。

除了表示导出量和基本量的关系之外, 量纲还有一些其他应用。例如, 一个方程两端量纲必须相同, 相加减各项量纲必须相同。由此可借助量纲检验一个等式是否正确, 确定方程中系数的单位, 并可推测某些规律。例如匀变速直线运动方程为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

其中各项量纲均为 L , 可见是正确的。当然式中各项系数是否正确, 不能由量纲检验。又如万有引力定律

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

中, 引力常数 G 的量纲为

$$[G] = \frac{[f][r]^2}{[m_1][m_2]} = \frac{MLT^{-2} \cdot L^2}{M^2} = M^{-1} L^3 T^{-2}$$

国际单位制中相应的单位为 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 。再如, 自由落体运动的速度和重力加速度及下落高度有关, 具体关系可由量纲初步推断。设

$$v = k g^{n_1} h^{n_2}$$

式中, k 为比例系数。两端量纲分别为

$$LT^{-1} = (LT^{-2})^{n_1} \cdot L^{n_2}$$

由此可得

$$n_1 = \frac{1}{2}, n_2 = \frac{1}{2}$$

因此有

$$v = k \sqrt{gh}$$

事实上,自由落体运动的速度为 $v = \sqrt{2gh}$ 。由此可见,熟悉量纲并常用于检验方程等,将给我们带来方便。

第二节 功和能、能量守恒定律

一个物体的运动总和别的物体的运动有联系。通过力的作用,机械运动可以从一个物体转移到另一个物体,也可以和别的运动形式相互转化,例如摩擦生热就是机械运动转化为热运动。本节先研究机械运动和其他运动形式的相互转化问题,总结出力对空间累积作用规律。功和能量是研究转化问题的重要物理量。

一、功

1. 恒力的功 物体在恒力 f 作用下作直线运动(如图 1-1)时,力 f 在作用点 P 的位移 s 方向的分量和作用点位移大小的乘积,就是力 f 对物体所作的功(work),即

$$A = (f \cos \theta) s = f \cdot s \quad (1-5)$$

式中, θ 为力和位移的夹角。功只有大小、正负而没有方向,是个标量。功反映了力的空间累积效应。由式(1-5)可见, $\theta < \pi/2$ 时,力作正功; $\theta = \pi/2$ 时,力不作功; $\theta > \pi/2$ 时,力作负功,即物体克服力 f 作正功。如不特别指明,都是指力对物体做功。

作用在物体上的摩擦力一般作负功;然而两物体叠放在一起时,拉动下面的物体可带动上面的物体运动,上面物体所受摩擦力就作正功而使之运动;置于匀速转动的转台上的物体必受法向摩擦力,以使该物体作匀速圆周运动。法向摩擦力的功显然为零。可见功的正负不能由力的性质来判断,而要由有无位移及力和位移夹角 θ 的大小来判断。

在国际单位制中,功的单位是焦耳(符号 J),即力在位移方向分量为 1N,力的作用点的位移为 1m 时所作的功。功的量纲为 ML^2T^{-2} 。

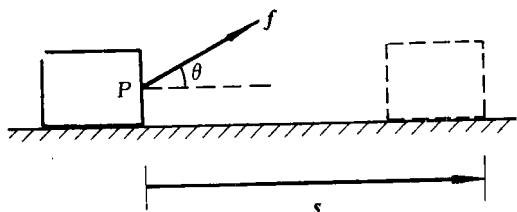


图 1-1 恒力的功

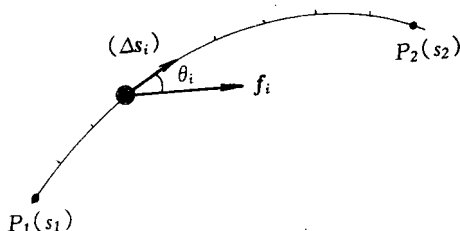


图 1-2 变力的功

2. 变力的功 物体在变力 f 的作用下,由 P_1 沿曲线轨道运动到 P_2 过程(图 1-2)中,为了研究力 f 的功,可将轨道分为若干小段。只要每一小段分得足够小,就可看成直线,而且在这一小段上的力也可看成恒力。这样,力在任一小段位移 Δs_i 上的元功为