

第二版

大学物理学 上册

University Physics

彭长德 罗灵芝 编著

中国矿业大学出版社

04

494-2/1

大学物理学

(第二版)

(上册)

彭长德
罗灵芝 编著

中国矿业大学出版社

内容提要

本套教材是为高等师范院校理科非物理类专业的学生学习物理课程而编写的。全书分上、中、下三册。上册为力学和热学；中册为电磁学；下册为光学和近代物理学。编者在为适应 21 世纪物理教学知识现代化方面作了尝试，并选编了一些与现代科学技术密切相关的阅读材料。本套教材也可作为理工科有关专业大学物理课程、中学物理教师和自学考试者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/彭长德等编著. —2 版. —徐州:中国矿业大学出版社, 2002. 8

ISBN 7-81070-033-2

I. 大… II. 彭… III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 060429 号

书 名	大学物理学
编 著	彭长德 罗灵芝
责任编辑	朱明华
出版发行	中国矿业大学出版社 (江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
排 版	中国矿业大学印刷厂照排中心
印 刷	中国矿业大学印刷厂
经 销	新华书店
开 本	850×1168 1/32 印张 12.375 字数 320 千字
版次印次	2002 年 8 月第 2 版 2002 年 8 月第 1 次印刷
印 数	1~2050 册
总 定 价	39.80 元(共三册)

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

物理学是一门基础的自然科学,也是当代技术发展的主要源泉。物理学的发展对整个人类社会的进步产生了深刻的影响。随着科学技术的飞速发展,学科的发展方向日趋综合,新型的交叉学科不断出现。物理学与数学、化学、生物学、信息技术和工程技术等学科的关系越来越紧密,并在其中得到了广泛的应用。因此,物理学已经成为学习许多学科所必须具备的基础知识。

为了顺应 21 世纪对人才的新要求,教材结构和教材内容的更新势在必行。特别是,对于大学理科非物理类专业,除了《大学物理学》课程之外,一般没有物理方面的后继课程,教材内容的现代化显得尤为重要。我们在总结了多年教学经验的基础上,充分研究和借鉴了国内外的许多优秀教材,组织编著了这套《大学物理学》教材。本教材具有以下几个方面的特点:

(1) 考虑到物理学科的特点,我们特别注意了理论阐述的逻辑性和系统性,并适当介绍了物理学的研究方法和发展史。

(2) 为了使教材内容更适应新时代的要求,我们删去了传统教材中与中学物理重复的内容,增添了一些近代物理内容。对如何把近代物理内容揉合到大学物理中,我们主要采用了渗透法,即在原来经典物理概念的基础上,扩展这些概念的外延和内涵,使近代物理与经典物理的内容融为一体,使得学习者在不知不觉中就学到了近代物理知识。

(3) 人类生活与科学技术紧密相连,许多技术的发展与物理

密不可分。为了开阔学习者的知识视野,更多的了解现代科学技术的发展,我们选编了一些与现代科学技术密切相关的内容作为阅读材料。

(4) 要学习和掌握一门课程,做习题是必要的。我们精选了思考题和习题,习题的难度适中,题量是根据每章的授课时数配备的,学习者在学习结束时,习题也应该全部做完。

(5) 本套教材分上、中、下三册,上册为力学和热学;中册为电磁学;下册为光学和近代物理学。授课时数约 140 学时,授课教师可根据不同专业对物理的要求自行进行调整。

最后,我们对在本教材编写过程中所借鉴的国内外出版的同类教材的作者以及给予我们帮助的物理系的许多老师致以诚挚的谢意。

作者于徐州师范大学

目 录

绪 论	1
§ 0-1 物质及其运动	1
§ 0-2 空间和时间	5
§ 0-3 单位制和量纲	11
§ 0-4 物理学的发展	15
§ 0-5 物理学的特点及学习方法	19

第一篇 力 学

第一章 质点运动的描述	23
§ 1-1 运动描述的相对性 理想物体	24
§ 1-2 描述质点运动的物理量	27
§ 1-3 运动学的两类问题 运动的叠加原理	38
§ 1-4 曲线运动的自然坐标表述	46
§ 1-5 相对运动	54
阅读材料一 宇宙大爆炸	57
思考题	62
习 题	63
第二章 牛顿运动定律及动量守恒定律	66
§ 2-1 质量和动量	67
§ 2-2 牛顿运动定律	70

§ 2-3 力学中几种常见的力	74
§ 2-4 牛顿运动定律的应用	81
§ 2-5 非惯性系 惯性力	88
§ 2-6 动量定理 动量守恒定律	94
思考题	103
习 题	104
第三章 功和能	109
§ 3-1 功和功率	110
§ 3-2 动能 动能定理	117
§ 3-3 势能 保守力与非保守力	121
§ 3-4 功能原理 机械能守恒定律	126
§ 3-5 碰 撞	131
思考题	137
习 题	138
第四章 刚体力学	142
§ 4-1 刚体的运动	143
§ 4-2 转动定律 转动惯量	147
§ 4-3 角动量定理 角动量守恒定律	158
§ 4-4 刚体定轴转动的动能定理	164
阅读材料二 物理学中的对称性和守恒定律	168
思考题	173
习 题	173
第五章 机械振动	178
§ 5-1 简谐振动	179
§ 5-2 几种常见的简谐振动	187
§ 5-3 振动的合成	192
§ 5-4 阻尼振动	200
§ 5-5 受迫振动	204

思考题	208
习 题	210
第六章 机械波	213
§ 6-1 机械波的产生和传播	214
§ 6-2 波速 波长 波的周期和频率	217
§ 6-3 波动方程	220
§ 6-4 波的能量和强度 波的吸收和散射	225
§ 6-5 波的叠加原理 波的干涉	230
§ 6-6 波的反射 驻波	234
§ 6-7 声	238
§ 6-8 多普勒效应	242
阅读材料三 混沌	245
思考题	254
习 题	254

第二篇 热 学

第七章 热力学基础	258
§ 7-1 平衡态 状态参量 准静态过程	259
§ 7-2 理想气体状态方程	267
§ 7-3 热力学第一定律	272
§ 7-4 理想气体准静态过程的功 理想气体的热容量和内能	275
§ 7-5 热力学第一定律对理想气体准静态过程 的应用	280
§ 7-6 循环过程 卡诺循环	293
§ 7-7 热力学第二定律	302
思考题	308

习 题.....	310
第八章 气体动理论	315
§ 8-1 分子动理论的基本观点	316
§ 8-2 理想气体的压强	319
§ 8-3 麦克斯韦速率分布律	322
§ 8-4 玻耳兹曼分布律 重力场中微粒按高度 的分布	334
§ 8-5 温度的微观解释	336
§ 8-6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	339
§ 8-7 气体动理论与热力学定律	347
§ 8-8 分子的平均碰撞频率和平均自由程	350
§ 8-9 气体内的迁移现象	355
阅读材料四 耗散结构.....	363
思考题.....	373
习 题.....	374
习题答案	378
附录一 常用物理常数	384
附录二 常用物理量	385

绪 论

§ 0-1 物质及其运动

一、我们的宇宙

我们人类生活的地球是太阳系行星之一。太阳系包含绕其公转的九个主要行星和这些行星的卫星及千千万万个小行星。太阳占有太阳系的大部分质量,但太阳系又是一个大的星球集合的一小部分,这个大的星球集合形成银河系。银河系由大约 10^{11} 个星球组成,银河系呈铁饼状,并绕其中心轴旋转,其直径约为 10^{21} m,约 10^5 光年,其最大厚度约为 10^{20} m。已经观察到与银河系类似的许多星系,如最近的一个星系是仙女座大星云,离地球约 2.4×10^{22} m,即 2.4×10^6 光年。

现代天文探测表明,宇宙中的其他星系一般显出是离我们而去,其速率与其距离成正比。据此推算,在 10^{10} 光年的距离处,其后退速率将会达到光速。在这一速率下,由于“星系红移”(由于辐射源的运动而引起的波长和频率的变化)传输到地球上来的能量将降到零,这对可知的宇宙的广延设置了一个天然极限。因此一种观点认为:在现今可知范围内,宇宙似乎可以用一个半径为 10^{10} 光年 (10^{26} m) 的球来表示,在这个区域里大约有 10^{10} 个星系。

茫茫的宇宙中,存在着各式各样的物质,从遥远的星系到充满全部空间的微波背景辐射都是物质,物质是间断的,又是连续的。

物体是物质,从总质量为 10^{53} kg 的已观测到的宇宙以及质量为 2×10^{30} kg 的太阳到最小的质量为 10^{-31} kg 的电子都是物体。物体与物体之间常隔有一定距离,这表明了物质的间断性。但物体与物体之间又存在着某些相互作用,而相互作用又必然要通过媒质的传递才能实现。传递相互作用的媒质称为场,例如传递引力的媒质称为引力场,传递电磁相互作用的媒质称为电磁场,微波背景辐射也是一种电磁场。场也是物质。间断的物体和其周围总存在相互作用的场,构成了物质的间断性和连续性的统一。

二、物质结构及其相互作用

大量粒子依靠它们之间的相互作用结合在一起,组成了丰富多彩、仪态万千的物质世界。当今物理学界认为,物质世界以两种基本形式存在着:实物和场。

1. 实物物质

实物具有静止质量,占有一定的空间,是以空间间断形式存在的物质形态。

按照其空间尺度,实物物质可以划分为宏观和微观两大类。宏观客体的线度在 10^{-7} m 以上;而微观客体的线度在 10^{-7} m 以下,包括原子、中子、电子等。宏观物质与微观物质不仅是尺度大小上的差别,它们的基本性质和遵从的规律也根本不同。一般说来,宏观客体显示粒子性,服从因果律,其运动规律可以用牛顿力学(在更普遍的范围内用相对论力学)来描述;而微观客体显示波粒二象性,服从统计规律,其运动规律要用量子力学来描述。

宏观实物存在的形式是多样的,可以是固态、液态、气态、等离子态、超态(如超导态、超流态、金属氢态、中子态等)、反物质等。

2. 场物质

场没有确定的空间,是以连续形式存在着的物质形态。与实物存在形式的多样性一样,场的存在形式也是多样的,如电磁场、引

力场、胶子场等等。场和实物一样具有质量、动量、能量,一样遵从能量守恒、动量守恒等物质运动的普遍规律。

场与实物的最主要的区别是实物具有不可入性,一种实物所占据的空间不能同时为其他实物所占据,而场具有可叠加性,场总是弥漫在一定的空间范围内,几个场可以同时存在于同一空间而互不干扰。此外,实物的运动速度不能达到光速而电磁波一般以光速传播;实物受力可以产生加速度而场不能被加速;实物可以作为参考系而场不能作为参考系。

引起场与实物的差别的根本原因是组成它们的基本粒子具有不同的特性。组成场的规范粒子都是自旋为整数的玻色子,不遵从泡利不相容原理;而组成实物的粒子是自旋为半整数的费米子,遵从泡利不相容原理。

3. 粒子间的相互作用

粒子之间的相互作用有四种基本形式:引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。前两种是长程力,作用范围在理论上可以说是无限的。后两种是短程力,强作用只在 10^{-15} m 范围内才有显著的作用,弱作用的力程更短,最大不超过 10^{-17} m。四种作用强度之比(如一对质子在相距约 10^{-18} m 时的各种作用的强度)约为强:电磁:弱:万有引力 = $1:10^{-2}:10^{-14}:10^{-40}$ 。

按照近代物理学的观点,传递四种基本相互作用的场也是由称为场量子的媒介子组成的。传递引力相互作用的是引力子,传递电磁相互作用的是光子,传递弱相互作用的是所谓中间玻色子,传递强相互作用的是胶子。

将物质世界中各种表观上完全不同的复杂纷纭的力归结为四种基本的相互作用是物理学的光辉成就。但物理学家们对此并不满足,仍然不断在探求这四种力之间的联系。爱因斯坦就曾经企图把万有引力和电磁力统一起来,但没成功。格拉肖(1961年)、温伯格和萨拉姆(1967年)提出了弱作用和电磁作用统一的理论并获

得了一系列的实验证明,取得了巨大的成功。进一步寻求把电磁、弱和强作用包括在内的“大统一理论”也取得了一些重要成果。如果这一步获得成功,下一步便是寻求把四种力全部包括在内的超统一理论。这些都是当今物理学中最活跃、最令人心动的前沿课题。

三、物质运动与物理学

1. 运动是物质的固有属性

在自然界中,没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。大到宇宙中的星系,小到基本粒子,无不处于永恒的运动之中。所以,运动是物质普遍的固有属性和存在形式。

物质运动的形式是多种多样的:有物理的、化学的、生物的、社会的,有的表现为渐变、有的表现为突变,有的表现为有序、有的表现为无序等等。各种运动形式之间是相互联系的,可以互相转化的。物理运动包括机械运动、热运动、电磁运动等等,是物质最基本、最简单、最普遍的运动形式。它渗透于物质的其他运动形式之中,应用于自然科学的一切领域和生产技术的各个部门。

2. 物理学

什么是物理学?用一句话来概括,可以说:物理学是研究物质结构和运动基本规律的学科。尽管这个相当广泛的定义仍难以刻画出当代物理学极其丰富的内涵,不过有一点是肯定的,即与其他科学相比,物理学更着重于对物质世界普遍而基本的规律的追求。

古希腊人把所有对自然界的观察和思考,笼统地包含在一门学问里,那就是自然哲学。科学分化为天文学、力学、物理学、化学、生物学、地质学等,只是最近几百年的事。在牛顿的时代里,科学和哲学还没有完全分家。牛顿划时代的著作名为“自然哲学的数学原理”,就是一个明证。物理学最直接地关心自然界最基本的规律,所以牛顿把当时的物理学叫做自然哲学。

本世纪随着科学的发展,从物理学中不断分化出诸如粒子物理、原子核物理、原子分子物理、凝聚态物理、激光物理、电子物理、等离子体物理等名目繁多的新分支,以及从物理学和其他学科的交叉中衍生出来的,诸如天体物理、地球物理、化学物理、生物物理等众多交叉学科。

§ 0-2 空间和时间

一、空间和时间

人们关于空间和时间概念的形成,首先起源于对自己周围物质世界和物质运动的直觉。空间的概念,是与物体的体积和物体位置的变化联系在一起的。譬如说我们讲一个箱子有多大,就是指它所占有的空间尺度的大小。那么,一间房子又有多大呢?比房子更大的空间呢?我们都可以设想成是能给人以实在感的箱子的尺度的延伸,这就形成了一个朴素的结论:空间就是物质的延伸。

时间所反映的是物理事件的顺序性和持续性。比如说:“哥伦比亚号航天飞机首航绕地球 36 周后于 1981 年 4 月 14 日着陆”,就是指一件事经历了多长时间,什么事情先发生,什么事情后发生,所涉及的是时间间隔和时序的问题。

空间和时间都是客观存在的。但是,它们都不能脱离物质和物质的运动而存在。没有物体的空间 and 没有空间的物体都是不可想象的。同样也不能设想没有不伴随物理事件的时间。空间就是物质的广延性,时间就是物质运动的持续性。总之,空间和时间都是物质存在的形式。并且,按照现代物理学的观点,空间和时间也不是彼此独立的,物质的运动就是联系空间和时间的纽带。

表 0-1 和表 0-2 列出了各种典型物理现象的空间和时间尺

度,也表明物理学是研究物理现象所涉及的空间和时间的范围。

二、时空观

1. 中国古代思想家的时空观

所谓时空观,就是关于空间和时间的物理性质的认识。早在我国春秋战国之际,由墨翟(约公元前468—公元前376)创立的墨家学派就对空间和时间的概念给予了深刻而明确的概括。《墨经》中说:“宇,弥异所也。”“久,弥异时也。”这里,宇,即空间;久,即时间。意思是说,空间是一切不同位置的概括和抽象;时间是一切不同时刻的概括和抽象。《墨经》还认为物质的运动必然要经历一定的空间和时间,空间的变迁和时间的流逝都是和物质的运动联系在一起的。在现代自然科学形成之前两千多年,有这样深刻的见解,是十分了不起的。中国古代思想家还提出了空间和时间的无限性的观点。东汉著名的思想家和科学家张衡(78—139)说:“宇之表无极,宙之端无穷”,就是这一哲学观念的卓越概括。

2. 莱布尼兹和牛顿的时空观

在自然哲学即物理学的创始人生活的时代,关于空间和时间的本质,有两种最具代表性的看法。德国数学家和哲学家莱布尼兹(G. W. Leibniz, 1646—1716)认为,空间和时间是物质上下左右的排列形式和先后久暂的持续形式,没有具体的物质及物质的运动就没有空间和时间。因此,抽象的、绝对的空间和时间是不存在的。莱布尼兹是唯心主义的哲学家,但他关于空间和时间的认识却包含着辩证法的因素。列宁称他是“通过神学而接近于物质和运动的不可分割的联系的原理”的。与莱布尼兹不同,牛顿认为,空间和时间是不依赖于物质独立的客观存在的。空间,又称虚空,在牛顿看来是一个大容器,其中装有物体时能感觉得到容器的存在,其中没有物体时容器自身依然存在。时间也是一样,不管是否发生事件,它总是单方向地均匀流逝着。牛顿还认为,空间和时间还是彼此独

表 0-1 一些典型物理现象的空间尺度 单位: (m)

已观测的宇宙范围	10^{27}
星系团半径	10^{24}
星系间的距离	2×10^{22}
银河系的半径	7.6×10^{20}
由太阳到最近恒星的距离	4×10^{16}
太阳到冥王星的距离	10^{12}
日地距离	1.5×10^{11}
地球半径	10^6
无线电中波波长	10^3
核动力航空母舰长	3×10^2
小孩的高度	1
尘埃	10^{-3}
人类红血球直径	10^{-6}
细菌的线度	10^{-9}
原子线度	10^{-10}
核的线度	10^{-15}
普朗克长度	10^{-35}

表 0-2 一些典型物理现象的时间尺度 单位: (s)

宇宙年龄	10^{18}
太阳系年龄	1.4×10^{17}
原始人	10^{13}
最早文字记录	1.6×10^{11}
人的平均寿命	10^9
地球公转(一年)	3.2×10^7
地球自转(一天)	8.6×10^4
太阳光到地球的传播时间	5×10^2
人的心脏跳动周期	1
中频声波周期	10^{-3}
中频无线电波周期	10^{-6}
π^+ 介子的平均寿命	10^{-9}
分子转动周期	10^{-12}
原子振动周期(光波周期)	10^{-15}
光穿越原子的时间	10^{-18}
核振动周期	10^{-21}
光穿越核的时间	10^{-24}
普朗克时间	10^{-43}

立的。时间的均匀流逝,譬如一只钟表的走时,就与地域和运动无关。这就是经典力学中的绝对空间和绝对时间。在牛顿的《自然哲学的数学原理》一书中有这么两段话:“绝对空间,因其本身性质,是与任何外界事物无关的,永远保持相同的和不动的。”“绝对的、真正的或数学的时间,由于其内在的性质而均匀地、与任何外界事物无关地消逝着。”这是对于绝对时空观的概括。

莱布尼兹强调空间和时间与物质运动的联系而忽视其客观性;牛顿强调空间和时间的客观存在而忽视其与物质运动的联系。他们都有其合理的一面,而又都包含着错误。

3. 爱因斯坦的时空观

牛顿的绝对时空观一直引起许多物理学家和哲学家的反对。真正从科学上揭示空间—时间的统一性,以及它们与物质运动的关系,是爱因斯坦的伟大功绩。爱因斯坦于20世纪初创立了狭义相对论,他不但反对绝对空间和绝对时间的观点,而且通过定量的形式描述了空间、时间与物质运动之间的关系。爱因斯坦的老师闵可夫斯基(H. Minkowski, 1846—1909)引入四维时空矢量,给予爱因斯坦的思想以更完美的描述。从此,相对论引起了空间和时间科学概念的根本改变,用闵可夫斯基的名言来说,“从今以后,空间本身和时间本身都已成为阴影,只有二者的结合才保持独立的存在,这种结合叫做‘时间—空间’。”应该指出,四维时空的概念并不神秘,它同样与我们的生活直觉紧密相依。例如,我们可能说,2月12日上午8时我们在第三教室上物理课。当然你还可以借助一个三维坐标系对该教室的确切位置给予定量的描述。这表明实际发生的任何一个物理事件总是由三个空间坐标和一个时间坐标同时确定的。

爱因斯坦的贡献在于:他不但明确了这一联系,而且给予了普遍的定量的结果。

当然,在爱因斯坦之后,时空观念还需要进一步发展。在量子