

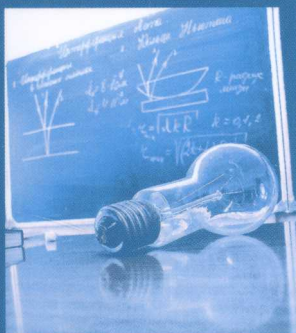


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Physics

物理学 (第四版)

祝之光 编



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

013024502

04
283-4



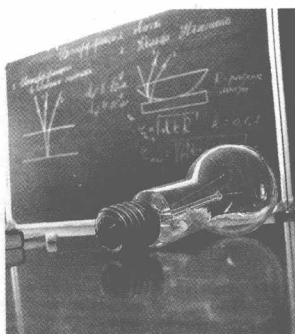
普通高等教育“十一五”国家级

Physics

物理学 (第四版)

Wulixue

祝之光 编



04
283-4



北航

C1631905



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

13054205

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是教育科学“十五”国家规划课题子课题“应用型人才培养的创新与实践”项目的成果，第一版曾获国家教委优秀教材二等奖。署名祝之光为本书编写组（包括李迺伯、李佐周、王子大、柯金星、曾庆福、陈灵草、曾毅、庄梅英、易正湘、方强等）的集体笔名。本版由李佐周、易正湘主持修订。

本书选材恰当，内容简练，深广度要求适度，物理概念清晰，文字生动活泼，教学体系安排有一定特色。书中各节安排有预习要点及课后练习，配套教辅齐全，并配有大量学生课外阅读材料，介绍了与现代高新科技联系紧密的物理前沿知识。第三版在保留原书优点的基础上，将教材内容与中国高校物理课程网的网上优质资源相结合，有利于实现资源共享、支持教师创建自己的个性化教学方案，采用多媒体教学手段提高教学质量。

本书可作为高等学校理工科各专业 60~90 学时的大学物理课程的教材，也可供高职高专、成人高校等选用及有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

物理学/祝之光编. --4 版. --北京:高等教育出版社,2012.12

ISBN 978-7-04-036514-6

I. ①物… II. ①祝… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 285140 号

策划编辑 程福平
责任校对 刘丽娟

责任编辑 程福平
责任印制 韩刚

封面设计 张志

版式设计 王莹

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 100120
印刷 高教社(天津)印务有限公司
开本 787mm × 960mm 1/16
印张 28.25
字数 530千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 1988年3月第1版
2012年12月第4版
印 次 2012年12月第1次印刷
定 价 39.40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 36514-00

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是教育科学“十五”国家规划课题子课题“应用型人才培养的创新与实践”项目的成果,第一版曾获国家教委优秀教材二等奖。署名祝之光是《物理学》编写组(包括李迺伯、李佐周、王子大、柯金星、曾庆福、陈灵草、曾毅、庄梅英、易正湘、方强等)的集体笔名。

一方面囿于篇幅和教学时数限制,一本文字教材能包含的教学内容和教学参考资料是有限的,许多有利于启迪学生创新意识、创新思维和科学精神的物理学发展史、物理学家生平事迹及重大科学发现的思路等史料,都无法详细编入教材。另一方面,为提高教学效率和教学质量,各校教师已广泛采用现代化的多媒体教学手段,但共同的困扰是:个人掌握的素材不多、动画的制作难度大和费时多。显然,充分利用已有的优质教学资源,可以弥补上述文字教材的不足,并帮助教师解决上述创建个性化教学方案所遇到的困难。因此,本版教材尝试将中国高校物理课程网(<http://phy.cncourse.com>,以下简称课网)与本教材相适应的动画、演示程序、图像、文本资料、视频等资源,分别标注在书中相关的内容处,以方便教师和学生上网查看、参考和借鉴。

此外,根据采用本教材的老师们的意见。本版对三版的内容作了少量的修改,增补和修改了物理学在基本粒子和宇宙学研究方面的最新进展。本版中加“*”号部分为选讲内容,教师可根据本校物理课程的教学要求自行选取。

这次修订,由广东工业大学李佐周负责绪论,第一、二、三、六、七、八章,阅读材料一、五、十及附录;武汉理工大学易正湘负责第四、五、九、十章及阅读材料七、八;武汉理工大学吕大韵负责第十一、十二章及阅读材料二、三、四、六、九;广东工业大学李晓端负责全书电子教案的编制,并且在本教材和课网优质资源的结合方面做了许多深入细致的工作。

第四版仍请教育部高等学校工科物理课程教学指导委员会委员、广东省物理学会副理事长、广东工业大学教授胡义华博士审稿。编者对他给予本教材修订的指导和表示衷心的感谢。

编者水平有限,第四版中仍难免出现疏漏和错误,恳请读者批评指正。

编 者

2012年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

出版物数码防伪说明：

本图书采用出版物数码防伪系统，用户购书后刮开封底防伪密码涂层，将16位防伪密码发送短信至106695881280，免费查询所购图书真伪，同时您将有机会参加鼓励使用正版图书的抽奖活动，赢取各类奖项，详情请查询中国扫黄打非网（<http://www.shdf.gov.cn>）。

反盗版短信举报：

编辑短信“JB,图书名称,出版社,购买地点”发送至10669588128

数码防伪客服电话：

(010)58582300/58582301

“中国高校物理课程网”充值卡使用说明：

1. 欢迎访问“中国高校物理课程网”进行学习，网址：<http://phy.cncourse.com>；
2. 封底所附充值卡可充值50点用于网站消费，请在两年内充值，过期作废；
3. 首次访问本网站，请先行注册；
4. 刮开充值卡上的密码涂层，登录网站并进入“个人服务—我的账户”，按照提示进行充值。

电子邮箱：phycourse@hep.com.cn

咨询电话：(010)58581377



北航

C1631905

目 录

绪论——物理世界	1
§ 0-1 微观 宏观 宇观	1
§ 0-2 基本作用	5
§ 0-3 物理的定量研究	6
§ 0-4 物理学不断进步	9
§ 0-5 写给学生的几句话	10
第一章 质点运动 时间 空间	11
§ 1-1 质点运动的描述之一	11
§ 1-2 质点运动的描述之二	21
§ 1-3 经典时空观及其局限性	29
* § 1-4 相对论时空观念	37
讨论参考题之一	41
第二章 力 动量 能量	43
§ 2-1 牛顿运动定律	43
§ 2-2 动量定理和动量守恒定律	54
§ 2-3 功 动能定理	63
§ 2-4 功能原理 机械能转化和守恒定律	70
* § 2-5 质量-速率关系 质量-能量关系	80
阅读材料之一 广义相对论简介	85
第三章 刚体的定轴转动	90
§ 3-1 刚体定轴转动的动能定理和转动定律	90
§ 3-2 定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律	100
讨论参考题之二	105
第四章 气体动理论	107
§ 4-1 宏观与微观 统计规律	107
§ 4-2 理想气体的压强与温度	110
§ 4-3 能量均分定理 理想气体的内能	115
§ 4-4 麦克斯韦速率分布律 * 玻耳兹曼能量分布律	119

阅读材料之二 我们的宇宙(一)	
——大爆炸宇宙模型	126
第五章 热力学基础	130
§ 5-1 热力学第一定律及应用	130
§ 5-2 循环过程 卡诺循环	141
§ 5-3 热力学第二定律	147
讨论参考题之三	153
阅读材料之三 我们的宇宙(二)	
——恒星的演化	153
阅读材料之四 能量的退化	155
第六章 静电场	159
§ 6-1 电场强度	159
§ 6-2 高斯定理	170
§ 6-3 电势	177
§ 6-4 静电场中的导体和电介质	188
§ 6-5 电容 电场的能量	198
讨论参考题之四	205
第七章 恒定磁场	207
§ 7-1 磁感应强度 磁场的高斯定理	207
§ 7-2 安培定律	219
§ 7-3 毕奥-萨伐尔定律	225
§ 7-4 安培环路定理	233
§ 7-5 介质中的磁场	238
第八章 电磁感应 电磁场	247
§ 8-1 电磁感应的基本定律	247
§ 8-2 动生电动势 * 涡旋电场	254
§ 8-3 自感 * 互感 磁场的能量	261
* § 8-4 位移电流 麦克斯韦方程组	268
讨论参考题之五	273
第九章 振动学基础	275
§ 9-1 简谐振动的规律	275
§ 9-2 简谐振动的描述	284
§ 9-3 简谐振动的合成	292
阅读材料之五 混沌	299

第十章 波动学基础	304
§ 10-1 波动的基本概念	304
§ 10-2 平面简谐波波函数	310
§ 10-3 波的能量	316
§ 10-4 波的叠加	319
* § 10-5 多普勒效应	326
讨论参考题之六	330
第十一章 波动光学	332
§ 11-1 光的相干性 光程	333
§ 11-2 分波面干涉	339
§ 11-3 分振幅干涉	345
§ 11-4 光的衍射	355
§ 11-5 衍射光栅	363
§ 11-6 光的偏振	369
讨论参考题之七	376
阅读材料之六 激光	377
阅读材料之七 光通信	381
第十二章 波和粒子	383
§ 12-1 量子论的出现	383
§ 12-2 物质波 不确定关系	397
* § 12-3 波函数 薛定谔方程及简单应用	404
讨论参考题之八	411
阅读材料之八 从电子显微镜到扫描隧穿显微镜	411
阅读材料之九 纳米科技	416
阅读材料之十 对称性与守恒定律	419
附录1 矢量	422
附录2 国际单位制(SI)	427
附录3 常用物理常量	431
附录4 常用数学公式	432
习题答案	434
参考文献	443

绪论

物理世界^①

进入科学技术的任何一个领域,都必须敲开物理学的大门。

§0-1 微观 宏观 宇观

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形态基本规律的科学。物理学的研究目的在于认识物质运动的普遍规律和揭示物质各层次的内部结构。

物理科学涉及范围极广。它既研究人们身旁发生的物理现象,也研究宇宙中天体的运动及构造,还研究微观领域中物质的结构和运动规律。

宏观物体,形式多样,五光十色。它们都是由各种分子和原子组成的。各种元素的原子又都由质子、中子和电子组成。而质子和中子还有内部结构,它们由更基本的粒子——夸克组成。按照现在的粒子物理标准模型,目前,还没有发现具有内部结构的粒子约有三大类共62种。包括构成物质基本“砖石”的18种夸克和电子、 μ 子、中微子等6种轻子及其反粒子共48种;传递各种相互作用的粒子如光子、胶子等13种,以及一种理论上预言的特殊粒子——希格斯粒子。除了

亲爱的同学们,当你第一次翻开这本书,你是否为即将开始的物理学之旅做好了准备?也许,你很想探究一下宇宙的形成过程;也许,你对我国载人航天的发展很有兴趣;也许,你希望扩展知识面,提高能力,也许……无论你抱着怎样的期待走进了物理学的殿堂,希望在科学世界的遨游能让你有所收获。在这次旅行中,中国高校物理课程网将一直陪伴在你的左右,网站上的电子资源会成为你学习的好帮手。看,资源0-1和资源0-2的精美图片在欢迎大家了,让我们出发吧!

资源0-1:图形图像——质子的夸克组成。

资源0-2:图形图像——银河系。



① 绪论中的§0-1和§0-2是为扩展学生眼界而写的,可让学生阅读。

希格斯粒子和引力子外,其余都已被实验所证实。^①这些粒子是最“基本”的吗?还有没有新的层次?大千世界就是由这些“基本粒子”构成的吗?……科学家们在继续探索着。

从整个宇宙来看,我们的太阳系只是这宇宙中的沧海一粟。太阳系是银河系的一小点。银河系之外,还有河外星系。银河系只是宇宙的极小部分。宇宙有多大?宇宙的历史有多长?既是科学家感兴趣的问题,也是哲学家热衷的课题。对天体及其运动规律的研究似乎是天文学家的事情。然而,对于天体(主要是行星)的运动规律的研究曾总结出万有引力定律,大大促进了物理学的发展。直到今天,天文学和物理学仍然是既合作又互相促进的兄弟学科。从遥远的天体传来的信息(星光或无线电波)表明,天体也是由在地球上发现的同样的原子和基本粒子构成的;在地球上发现的物理规律又有助于我们理解来自天体的信号。

宇宙创生于一次大爆炸的理论现在可谓家喻户晓。但是,理论终究是纸上谈兵,这个“大爆炸”究竟是怎么回事,谁也不可能身临其境了。不过不要紧,资源0-3的视频带来了由电脑模拟的宇宙成长史,让我们一起“回到过去”。

资源0-3:视频素材——大爆炸。



现在,关于宇宙起源、演化的理论——“大爆炸宇宙模型”^②已被普遍接受。根据这一模型,宇宙大约在137亿年前的一次大爆炸中创生,时空和物质也由此创生。随着宇宙的不断膨胀,宇宙从早期高温高密度的一片混沌中一步步演化发展出复杂、有序、多样化的结构:从微粒子、原子核、原子、分子,乃至构成生物体细胞的生物大分子;从星云、星系、乃至太阳、地球、人类等。按照这一模型,宇宙的演化所经历的几个主要阶段如表0-1所示。

表0-1 宇宙的演化所经历的几个主要阶段

时间/s	阶段
0	大爆炸开始
10^{-6}	粒子处于热力学平衡
1	平衡中止

^① 2012年7月4日,欧洲核子中心(CERN)宣布其大型强子对撞机实验监测到希格斯粒子存在的迹象,但仍需更多实验来获得结论性证据。

^② 参阅本书阅读材料之二。

宇宙大爆炸理论模型图 0-0 类

续表

时间/s	阶 段
10^3	氦形成,开始形成化学元素
10^{12}	复合
$10^{12} \sim 10^{16}$	星系形成
2×10^{17}	太阳系形成
4×10^{17}	今天

据估算,宇宙半径的数量级为 10^{27} m. 表 0-2 中再列出客观世界各种实物的尺度的数量级.

表 0-2 客观世界的空间尺度

空间尺度/m	实 物
...
10^{27}	宇宙半径
10^{24}	地球到最近的河外星系的距离
10^{21}	地球到银河系中心的距离
10^{18}	地球到最近的恒星的距离
10^{15}	冥王星的轨道半径
10^{12}	地球到太阳的距离
10^8	地球到月球的距离
10^6	人造卫星的高度
1	一个孩子的高度
10^{-3}	一颗细砂粒
10^{-6}	病毒
10^{-11}	玻尔半径
10^{-15}	原子核半径
...

从宏观到微观,从宏观到宇观,我们对物理世界的认识已达到如此细微和遥远. 从表 0-3 可以看到在这么广大范围内各种实物的质量的数量级.

表 0-3 客观世界各种实物的质量的数量级

质量/kg	物 体
...
10^{44}	银河系
10^{30}	太阳
10^{24}	地球
10^{22}	月球
10^7	一艘巨轮
10^2	一个人
10^{-4}	一枚邮票
10^{-27}	一个质子
10^{-30}	一个电子
...

宏观物体由大量的分子、原子等微观粒子组成. 不同物体的微观构成及环境的差异, 导致宏观特性迥然不同. 就物质形态而言, 可分为固态、液态、气态、等离子态等. 固态和液态现在常统称为凝聚态.

固态物体中的分子、原子或离子有相对固定的位置, 因而整个物体有固定的形状. 其中有一定规律排列者称为晶体; 没有一定规律排列者称为非晶体.

液态物质中的分子没有固定的位置, 可以相对移动. 所以液体没有一定的形状. 但是液体分子之间的距离仍较近, 分子间的作用力使得液体总是凝聚在一起, 形成一定的表面.

气态物质, 分子间的距离很大, 分子间的作用力极弱, 分子可以自由行动. 因此气体总是弥漫至整个容器.

在一定条件下, 中性原子将全部离解为正、负离子. 物质的此种形态称为等离子态^①. 例如在太阳和恒星的内部, 温度达到几百万甚至上千万开, 其中的物质就处于等离子体状态. 极高的温度, 给不间断的热核反应创造了极好的条件. 太阳及其他恒星正是依靠持续的热核反应维持极高的温度, 向外辐射能量.

有趣的是, 还存在着质子态和中子态的物体. 晚期的恒星在耗掉大量能量之后, 星体的巨大质量引起的万有引力把全部核子(中子和质子)集中在一起, 相当于一个巨大的原子核. 星体被压缩成密度极大的天体, 原子的构造被破坏, 众

^① 参看资源 0-4: 图形图像——等离子体.

多的电子包围着这种天体,天文学家称为白矮星.质量更大的晚期恒星的巨大压力甚至可将电子压入原子核,与原子核中质子结合成中子,整个星体主要由中子构成,称为中子星(可参看资源0-5:图形图像——中子星).

上面只给出自然界中的无生命物质图景的大概轮廓.应该指出,不要把上述图景看成静止的.无论是深入到原子内部,还是大到宇宙中的天体,所有物体都处在不停息的运动中.

§0-2 基本作用

通常把物体之间的相互作用称为力.现在,人们认识了自然界中的基本作用力共有四种,它们是:引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用、弱相互作用.

万有引力和电磁力在20世纪以前已被认识.强力和弱力则是在研究原子核和基本粒子过程中认识的.这四种相互作用的相对强度(以强相互作用的强度为1)和作用范围的比较如表0-4所示:

表0-4 四种相互作用的相对强度

力的种类	强相互作用	电磁相互作用	弱相互作用	引力相互作用
相对强度	1	10^{-2}	10^{-12}	10^{-40}
作用范围/m	10^{-15}	长	$<10^{-17}$	长

强相互作用是发生在核子(中子、质子)之间,使原子核结合在一起的力.它不像万有引力和电磁作用那样与距离平方成反比.当两个核子的距离大于 10^{-14} m时,它们之间的强相互作用微弱得可以忽略不计;而当它们的距离小于 10^{-14} m时,相互吸引的强相互作用骤然增大;然而,当两个核子靠得更近些,达到 2×10^{-16} m时,核子之间的作用又变成巨大的斥力.参与强相互作用的基本粒子,称为强子.一切强子都参与弱相互作用,此外,参与弱作用的还有电子、中微子等轻子.弱相互作用的范围更小,小于 10^{-17} m.万有引力在四种作用中最弱,只在研究天体的运动时,由于其质量巨大,万有引力才起主要作用.有电荷或磁矩的粒子之间都有电磁作用.电磁作用在宏观领域和微观领域都起重要作用.

基本作用过程可以举例说明如下.两个电子之间的电磁相互作用是:其中一个电子放出一个光子 γ ,此电子变成能量较低电子.光子向第二个电子移动,被吸收,此第二个电子变成能量较高的电子.如此,光子在两个电子之间不断前后传递,把能量和动量从一个电子传到另一个电子.每个电子的动量的变化率,等于另一个电子向它施加的电磁力.两个带电粒子之间的电磁相互作用,用它们之间交换光子来解释.所以电磁力也称为交换力.电磁作用的传递者是光子.强

作用的传递者是胶子. 弱相互作用的传递者是 W^+ 和 Z^0 粒子. 引力相互作用的传递者被认为是引力子. 但引力子至今尚未被发现, 一般估计, 在不远的将来, 也许还是观测不到它, 这是因为引力相互作用实在太弱.

爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 生前追求统一场论, 他企图建立一个包括引力场 (引力作用) 和电磁场 (电磁作用) 的统一场理论. 而建立四个基本作用之间的统一的理论是物理学界追求的目标. 爱因斯坦奋斗了 30 年, 未能成功. 他带着热切的企望和必定成功的信念离开人世. 1961 年美国物理学家格拉肖 (S. L. Glashow, 1932—) 首先提出弱相互作用和电磁作用统一的基本模型, 1967 年美国物理学家温伯格 (S. Weinberg, 1933—) 和巴基斯坦物理学家萨拉姆 (A. Salam, 1926—1996) 独立地对此模型进行了发展和完善, 随后, 该理论得到实验证实. 物理学向统一场论迈出了坚实的一步.

人们在日常生活中的直觉的力很多, 例如两个物体碰撞时的相互作用力、摩擦力、气体分子对器壁的压力等. 它们都起源于分子间的相互作用, 即与分子有关. 而分子力与原子中的电结构有密切联系. 原子之间的作用的基础是电磁作用. 这种力足够大, 通常正、负电荷总是紧密地结合在一起.

§ 0-3 物理的定量研究

本书是物理基础教材, 书中只涉及物理学最基本的知识. 为帮助读者熟悉物理研究中的一些特点, 从中得到点学习方法上的启发, 就如下几个问题作一简单介绍.

一、物理模型

为了突出所要研究的主要问题, 便于寻求规律, 物理学常常把所研究的对象加以简化, 使之抽象成理想的模型. 这种理想模型保留实际物体的主要特征, 次要因素则不予考虑或暂时不予考虑. 此类理想模型被称为“物理模型”. 例如质点、刚体、理想气体等, 都是物理模型.

经典力学研究宏观物体的运动, 定义质点这一理想模型后, 既可很方便地处理简单的力学问题, 又能以此为起点, 进一步研究复杂的力学问题.

质点是指在运动中可以忽略其线度大小而看作一个点的物体, 或者说, 它是一个具有质量的点 (与几何点区别, 又称它为物理点). 它保留了物体的两个主要特征: 物体的质量和物体的空间位置. 在如下情况下可以把运动物体当作质点处理.

(1) 物体作平动^①. 这时, 物体各点具有相同的速度和加速度, 我们可以

^① 物体上任两点间的连线, 在各时刻的方向始终保持平行的运动, 称为平动.

把它当作一个质点来研究其运动. 通常把物体的质心当作此质点的位置, 想象地认为物体的全部质量都集中在这一点.

(2) 运动物体的尺度比它运动的空间范围小得很多. 这时也可把此物体看作质点. 例如在研究地球这个庞然大物绕太阳的公转时, 可以忽略地球的大小和转动, 当作一个质点对待.

如果所研究的物体不能当作一个质点处理, 那么, 我们可以把运动物体看作若干个质点的集合——质点系. 研究了其中每一个质点的运动之后, 整个物体运动情况也就清楚了.

在往后学习的过程中, 读者将会看到, 在物理学的每一个领域里, 都会遇到物理模型. 除了上面谈到的质点、质点系和理想气体之外, 振动学中的谐振子, 波动学中的理想弹性介质, 关于热机的卡诺循环, 电学中的点电荷, 几何光学中的光线, 关于物质结构的原子模型、核模型等, 都是物理模型. 人们总是先使客观对象理想化、简单化, 形成一定的物理模型, 认识了其主要特征, 然后再把这种认识向客观实际逼近, 使对物质世界的认识更全面、更真实. 可以毫不夸张地说, 是各种各样的物理模型, 把人们的认识一步一步地引向物理世界的深处.

二、物理量和物理公式

物理量和物理公式是物理学在描述物体的运动特性和规律时使用的专门词汇. 物理量是用于定量描述物理现象的, 一般可简称为量.

力 F 、质量 m 、能量 E 、温度 T 、电场强度 E ……都是物理量. 在物理学家的眼中, 客观世界变成了许许多多物理量; 自然界的物理规律变成了联系物理量的物理公式. 每一个物理量都被赋予严格、准确的涵义. 读者只有透彻地理解每个物理量的涵义, 进入物理领域才能感到不陌生, 才能自由地进行抽象思维.

不妨在这里介绍一下人们对动能这个物理量的认识 and 确立过程. 1669 年, 惠更斯 (C. Huygens, 1629—1695) 在研究碰撞时发现, 参与碰撞的每个物体的质量与速度平方的乘积 mv^2 之和守恒. 于是, 把 mv^2 称为物体的活力. 后来, 研究力对物体做功, 发现做功只改变活力的二分之一 (即 $\frac{1}{2}mv^2$), 才重新定义了动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$. 动能被确定, 是 19 世纪的事情. 从活力 mv^2 到动能 $\frac{1}{2}mv^2$, 仅仅差一个 $\frac{1}{2}$ 因子, 却经历了差不多二百年的历史. $\frac{1}{2}$ 这个因子的有无, 反映了这个物理量是否有实在的物理意义. 从爱因斯坦相对论质能公式也可以证明, $\frac{1}{2}mv^2$ 是相对论普遍动能公式 $E_k = mc^2 - m_0c^2$ 的经典近似.

国家标准 (GB 3101—93) 指出, “物理量是通过描述自然规律的方程式或定

义新量的方程式而相互联系的。”这里所说的方程式就是我们常说的物理公式。对物理公式,不要停留在数学关系上去认识它,应该理解它所包含的物理内容。为了帮助读者学习,我们把物理公式大致分为如下三类:

(1) 物理定律,例如

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}; pV = \frac{m}{M}RT; \mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2}\mathbf{e}_r,$$

这一类公式描述了从实验中总结而得出的物理定律,它建立了不同的物理量之间的联系。例如 $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$,是把质点的质量、它所受的力和因此而获得的加速度这三个物理量之间在数量和方向上的关系用一个等式联系起来。

(2) 从物理定律出发得到的重要的理论结论,如高斯定理

$$\oint_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = \int_v \rho dV$$

它是从库仑定律(实验结论)出发,经过对静电场性质的深入分析,演绎推理之后得到的结果。这类公式往往比较抽象,而它们所表达的物理内容却更为深刻。

(3) 物理量的定义式,如

$$\text{动量 } \mathbf{p} = m\mathbf{v}; \quad \text{功 } W = \int_l \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r};$$

$$\text{转动惯量 } I = \int_v r^2 dm; \quad \text{磁通量 } d\Phi = \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \text{ 等.}$$

这一类公式是以等号右方的物理表达式来定义等号左方的物理量。因而这类公式的左、右两方,不仅在数学意义上是相等的,而且物理意义也相同。例如:

$$\mathbf{p} \stackrel{\text{def}}{=} m\mathbf{v}$$

等式中的“def”表示定义的意思。上式可读为“按定义, \mathbf{p} 等于 $m\mathbf{v}$ ”。

三、量度 单位 量纲

没有量值的量度,很难说是一门精确的科学。科学离不开测量和量度。欲进行有意义的量度,必须对每个物理量规定(定义)单位。国家标准(GB 3102—93)指出,“在同一类量中,如选出某一特定的量作为一个称之为单位的参考量,则这一类量中的任何其他量,都可用这个单位与一个数的乘积表示,而这个数就称为该量的数值。”

科学技术研究与实践是世界范围的活动,要求有统一的单位。我国已于1984年2月27日公布以国际单位制(SI)为基础的《中华人民共和国法定计量单位》。

如前述,物理量之间靠物理公式联系起来,可以选出一些物理量的单位当作基本单位(相应的物理量称为基本量)。这些基本单位成为构成其他物理量(称

导出量)的单位(称为导出单位)的基础.^①

国际单位制的基本单位有 7 个,它们是:长度的单位 m(米)、质量的单位 kg(千克)、时间的单位 s(秒)、电流的单位 A(安培)、热力学温度的单位 K(开尔文)、物质的量的单位 mol(摩尔)、发光强度的单位 cd(坎德拉).它们的定义请见本书附录 2.

物理学中,为了表示基本量和导出量的关系,对每一个基本量规定一个确定的符号.然后,再用这些符号的不同组合来表达每一个导出量.把这些符号和符号的组合称为物理量的量纲.^②长度的量纲是 L;质量的量纲是 M;时间的量纲是 T;电流强度的量纲是 I;热力学温度的量纲是 Θ ;物质的量的量纲是 N;发光强度的量纲是 J.按上述规定,在 SI 中,速度的量纲 $\dim v = LT^{-1}$;功和能量的量纲是 L^2MT^{-2} ;热容的量纲 $\dim C = L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$;电势的量纲 $\dim V = L^2MT^{-3}I^{-1}$ 等.

在推导物理公式的过程中,常常可以用检查等式两边的量纲是否一致来判断是否出错.只有量纲相同的物理量才能相加或相等,所以,等式两边的量纲一致是物理公式正确的必要条件.量纲还有一些其他的辅助作用,在此不再赘述.

§ 0-4 物理学不断进步

近三百年,特别是近一百多年来,物理学迅速发展着.它为人类历史上的三次工业革命作出巨大贡献,并正在为当前人类面临的新的科学技术革命而大显身手.尽管我们面前还有许多未知的东西,但毕竟已揭示出不少基本的物理规律.物理学的这些成就,首先应归功于实验.实验是科学知识的源泉,又是科学理论的唯一鉴定者.当新发现的实验事实无情地违背旧有的理论时,就导致新理论的诞生.这种情况,在物理学的发展过程中屡见不鲜.

物理学是实验科学.物理学的基本定律都是从实验事实中总结出来的.例如

① 国家标准(GB 3101-93):“为制定单位制和引入量纲的概念,通常把某些量作为互相独立的,即把它们当作基本量,而其他量则根据这些基本量来定义,或用方程式来表示.后者称为导出量.”

② 国家标准(GB 3101-93):“任一量 Q 可以用其他量以方程式的形式表示,这一表达式可以是若干项的和,而每一项又可表示为所选定的一组基本量 A, B, C, \dots 的乘方之积,有时还乘以数字因数 ζ , 即:

$$\zeta A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

而各项的基本量组的指数 $(\alpha, \beta, \gamma, \dots)$ 则相同.

于是,量 Q 的量纲可以表示为量纲积

$$\dim Q = A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

式中 A, B, C, \dots 表示基本量 A, B, C, \dots 的量纲,而 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ 则称为量纲指数.

所有量纲指数都等于零的量,往往称为无量纲量.其量纲积或量纲为 $A^0 B^0 C^0 \dots = 1$.这种量纲一的量表示为“数”.