



高等学校新世纪系列教程
New Century Series Textbook of University

主编 张社奇 刘亚龙

基础物理学



科学出版社

高等学校新世纪系列教程

农林类物理教材编写委员会

顾问 傅志东 (西北农林科技大学)
编委主任 王国栋 (西北农林科技大学)
编委副主任 (以姓氏笔画为序)
习 岗 (华南农业大学)
孙 凡 (西南农业大学)
刘亚龙 (西北农林科技大学)
张社奇 (西北农林科技大学)
武秀荣 (山西农业大学)
戚大伟 (东北林业大学)
曾庆军 (湖北农学院)
潘建斌 (河南农业大学)

《基础物理学》

主 编 张社奇 刘亚龙
副主 编 习 岗 蒙文舜 蔡丽君 丁惠萍
参 编 (以姓氏笔画为序)
王纪元 刘云鹏 李 海 吴艳萍
武秀荣 杨运经 曾庆军
主 审 张振瀛 (西北农林科技大学)

前 言

物理学是自然科学中最具活力的带头学科,它是人类认识自然、创造物质财富与推动社会进步必不可少的重要理论和技术源泉。刚刚过去的20世纪,物理学理论及其在各个学科中的应用,为人类社会文明与进步做出了巨大贡献。物理学不仅在人类科技创新过程中起着举足轻重的作用,同时它的基本理论、分析和解决问题的方法,在强调素质教育的今天更有着极其重要的地位和作用,是培养学生科学精神、科学态度、科学思维方法的最好素材,也是大学生知识-能力-素质协调发展的催化剂。针对目前高等农林院校物理教学的现状,结合我们承担的教育部“面向21世纪农林院校基础物理教学内容和课程体系改革的探索与实践”课题,经过4年多的改革与研究,在西北农林科技大学、华南农业大学、西南农业大学、东北林业大学、山西农业大学、湖北农学院和河南农业大学等7所农林院校的物理同仁们的共同努力下,编写了这套适用于农林院校理科、农科各专业的《大学物理学》、工科各专业的《基础物理学》以及与之配套的《大学物理实验》和《大学物理学习指导》,共计4本教材或参考书。

在对大学物理的教学目的、任务和教材编写方案的研讨中,我们深切地感受到必须从人才的培养目标、培养规格、模式及方法等方面思考和定位。根据“厚基础、宽口径”的人才培养原则以及注重学生“综合素质”和“创造能力”培养的教学原则,在整套教材的编写过程中力图遵循以下基本原则:

1. 能够使学生对物理学的内容和方法、物理图像和概念、工作语言、历史、现状和前沿有一个比较全面的了解,力求将比较新的前沿学科和技术问题中的物理学原理反映在教学内容中。

2. 在对理、农科教材的处理上,注重物理内容的两个“有机结合”:一是注重现代物理与经典物理的有机结合;二是注重物理学理论与生物类专业实际问题的有机结合。考虑到农林院校物理学时的限制,对原有经典内容做了删减,淡化过渡内容,突出主线,对某些与专业结合的问题只讲原理,不涉及具体的应用细节。

3. 在对工科教材的处理上,除遵循以上原则外,加重了“物”的份额,调节“物”与“理”的平衡,以物质的结构、运动和能量为基础,构建物质世界新的理性框架,突出方法论。

4. 注重对学生的科学素质培养,将科学方法论有机地融入教学内容中。培养学生的科学思维能力,使学生掌握正确的科学研究方法,具备发现问题、分析问题与解决问题的能力,具备探索自然规律的能力,并初步具备创新能力。

5. 实验教材自成体系,使学生对物理实验的基本原理、仪器的使用、实验方法及数据处理有一个全面了解,实验技能得到系统性训练,为后续课程学习打下坚实的基础。

6. 学习指导注重所学知识的归纳总结,特别注重对实际问题的分析思路、解决途径的引导与训练。给出的同步测试问题能够帮助学生及时检查和巩固所学内容。

7. 书中统一使用国际单位制, 所用名词术语以全国自然科学名词审定委员会 1988 年公布的基础物理学名词为准。

《基础物理学》一书由西北农林科技大学张社奇、刘亚龙任主编, 由华南农业大学习岗和西北农林科技大学蒙文舜、蔡丽君、丁惠萍任副主编, 西北农林科技大学刘云鹏、杨运经、吴艳萍、西南农业大学王纪元、山西农业大学武秀荣、湖北农学院曾庆军、华南农业大学李海等参加了本书的编写工作。

全书由张社奇、刘亚龙统稿, 原中国物理学会教学委员会农林分委会副主任委员、西北农林科技大学张振瀛教授主审, 感谢他对本书提出的宝贵意见。西北农林科技大学韩维生老师绘制了本书的全部插图, 在此一并致谢。

由于我们的学识与教学经验所限, 书中缺点和错误在所难免, 恳请使用本书的师生批评指正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

前言

第1章 物质世界的结构层次及相互作用	(1)
§ 1.1 物质世界的结构层次	(1)
§ 1.2 物质的基本形态及存在形式	(4)
§ 1.3 物质世界的基本作用	(6)
§ 1.4 物理科学的学科层次	(7)
思考题	(8)
第2章 实物运动基本规律	(9)
§ 2.1 实物运动学基础	(9)
§ 2.2 相平面 相空间	(16)
§ 2.3 实物动力学基础	(18)
§ 2.4 动量、角动量	(26)
§ 2.5 能量守恒定律	(32)
§ 2.6 回转仪 进动	(39)
§ 2.7 时空对称性与守恒定律	(41)
思考题	(44)
习题	(45)
第3章 机械振动与机械波	(51)
§ 3.1 线性系统与非线性系统	(51)
§ 3.2 线性振动	(53)
§ 3.3 振动的合成	(58)
§ 3.4 非线性振动	(61)
§ 3.5 机械波	(65)
§ 3.6 波的干涉与衍射	(70)
§ 3.7 超声技术	(72)
§ 3.8 频谱分析	(75)
思考题	(78)
习题	(79)
第4章 相对论力学初步	(83)
§ 4.1 狭义相对论基本原理	(83)
§ 4.2 狭义相对论时空观	(84)
§ 4.3 洛伦兹变换	(88)
§ 4.4 狭义相对论动力学基础	(91)

§ 4.5 广义相对论简介.....	(96)
思考题.....	(101)
习题.....	(102)
第 5 章 流体力学基础	(105)
§ 5.1 理想流体的定常流动	(105)
§ 5.2 伯努利方程及其应用	(107)
§ 5.3 黏滞流体的流动	(113)
思考题.....	(119)
习题.....	(119)
第 6 章 多粒子体系的宏观运动规律	(122)
§ 6.1 多粒子体系的宏观描述	(122)
§ 6.2 热力学第一定律	(124)
§ 6.3 热力学第二定律	(132)
思考题.....	(134)
习题.....	(135)
第 7 章 多粒子体系的统计规律	(139)
§ 7.1 气体分子热运动的统计规律性	(139)
§ 7.2 气体压强和温度的统计解释	(144)
§ 7.3 能量均分定理	(147)
§ 7.4 麦克斯韦速率统计分布规律	(149)
§ 7.5 玻耳兹曼能量统计规律	(152)
§ 7.6 多粒子体系碰撞的统计规律	(153)
§ 7.7 真空技术	(154)
§ 7.8 系统内的输运过程	(158)
思考题.....	(161)
习题.....	(163)
第 8 章 熵科学基础	(166)
§ 8.1 克劳修斯熵	(166)
§ 8.2 玻耳兹曼熵	(171)
§ 8.3 熵与耗散结构理论	(172)
§ 8.4 熵科学进展	(176)
思考题.....	(183)
习题.....	(183)
第 9 章 电磁场	(185)
§ 9.1 电磁场的描述	(185)
§ 9.2 高斯定理	(191)
§ 9.3 稳定电磁场环路定理	(194)
§ 9.4 电介质和磁介质	(198)

§ 9.5 带电粒子在电磁场中的运动	(202)
§ 9.6 电磁感应	(206)
§ 9.7 麦克斯韦电磁理论	(212)
§ 9.8 电磁场的能量	(215)
§ 9.9 超导技术	(218)
§ 9.10 等离子体简介	(221)
思考题	(224)
习题	(226)
第 10 章 波动光学基础	(230)
§ 10.1 光的波动性	(230)
§ 10.2 光的干涉	(232)
§ 10.3 光的衍射	(238)
§ 10.4 X 射线衍射	(245)
§ 10.5 光的偏振	(247)
§ 10.6 偏振光的干涉 光弹性效应	(252)
§ 10.7 非线性光学	(256)
§ 10.8 激光	(258)
思考题	(263)
习题	(265)
第 11 章 量子力学基础	(269)
§ 11.1 能量量子化	(269)
§ 11.2 波粒二象性	(272)
§ 11.3 波函数 薛定谔方程	(278)
§ 11.4 势垒 隧道效应 扫描隧道显微镜	(282)
§ 11.5 原子核与基本粒子	(284)
§ 11.6 变换、对称与守恒	(288)
思考题	(291)
习题	(291)
附录	(294)
一、矢量的运算	(294)
二、物理量的名称、单位和量纲	(299)
三、基本物理和化学常量表	(303)
参考文献	(305)

第1章 物质世界的结构层次及相互作用

现代观点认为，物理学是研究物质结构和基本运动规律的学科。也有人认为，它是研究自然界基本规律的科学，这是因为英文单词 physics 来源于希腊文，原意就是自然。而中文的物理则有两个含义：一是“物”的成分，即物质的结构和性质；二是“理”的成分，即物质的运动、变化规律。中文的含义与现代的物理学定义颇为吻合。因此，自然界中的所有物质均在物理学的研究范围之内。本章作为大学物理学习的开端，主要讨论物质世界的基本轮廓和物质的基本形态与作用。

§ 1.1 物质世界的结构层次

在人类已研究的领域中，自然界中的物质大到宇宙，小至基本粒子，其空间尺度的跨度非常大，按大小顺序，物理学习惯将其分为宇观系统、宏观系统和微观系统。除此之外，物质的寿命、质量的差异也相当悬殊。为了更清楚地介绍物质世界的全貌，物理学中引入数量级的概念，以表述物质的大小、寿命及质量。

1.1.1 数量级的概念

对于一般量的大小，可以用简单的数字形式来描述。但随着人类社会的发展和科技的进步，所描述的物质世界的尺度发生了很大的变化，简单的数字形式已不再能满足需要，例如：“坐地日行八万里”是指人在静止时，每日要随着地球运动八万里（华里），即地球的周长。若以米为单位，则其数值将非常巨大，而且很不方便。因而，为了更简便地表示这些更大或更小的量，科学界引入了“数量级”的概念。

数量级是一种科学的记数方法，它是用 10 的正幂次代表大数，用 10 的负幂次代表小数。例如 1 摩尔物质中包含六千万亿亿多个分子（阿伏伽德罗数），就可表示为 6×10^{23} ，它的倒数约为一亿亿亿分之 1.7，可表示为 1.7×10^{-24} 。这一方法规定：指数相差 1，即代表数目大 10 倍或小 10 倍，称其为一个“数量级”。

物理学中将一个物理量的数值表示为一个小于 10 的数字乘以 10 的幂次，既表示了数量的大小，也包含了有效数字的位数，因而具有更加清晰的物理内涵。需要说明的是，当研究对象跨越很大的数量级范围时，单一的单位使用起来极为不便，通常的处理方法是在单位前加上一个词头（可参阅附录二），代表十进倍数或十进分数，如千（kilo）代表倍数 10^3 ，厘（centi）代表分数 10^{-2} 。这些词头和物理量的单位组合在一起，便构成了尺度相差悬殊的、不同大小的单位，不仅在物理学中得到广泛使用，有一些已成为物理学名词的一部分，像纳米（nm）结构、飞秒（fs）光谱等概念，已成为一些新兴技术的标志和象征。另外，物理学是一门定量程度很高的学科，其理论结构相当严密，并且要求实验测量和理论计算的精度很高，因而掌握某一特征量的数量级是研究物理问题的重要内容。

1.1.2 物质世界的空间尺度

物质空间尺度按其大小可分为大尺度、中尺度和小尺度。把物质的空间尺度大于地球尺度的客体称为宇观系统；物质空间尺度在分子尺度以下的客体称为微观系统；物质的空间尺度在人体尺度上下几个数量级范围内的客体称为宏观系统。就目前的研究而言，从微观到宇观跨越了42~43个数量级。图1.1示出了物质世界空间尺度的全貌。

追溯对自然的研究过程，人类首先选择了与其大小相适应的“米”(m)作为长度的基本单位，对人体尺度上下几个数量级范围内的宏观系统的物质结构和运动规律作了研究，尺度范围为 $10^{-6} \sim 10^7 \text{m}$ 。准确地说，这个宏观系统大到地球、小到分子，与我们的日常生活及很多工程技术密切相关，也是人类最为熟悉的空间客体，与其他物质层次相比，也是研究最为清楚的物质层次。

进入大尺度的宇观系统，人类对地球以外的天体进行了研究，空间尺度由 10^7m 达到了 10^{26}m 。以太阳系为例，日地距离是地球半径的两万多倍，通常定义为1个天文单位(AU)，但它只能作为太阳系内表示天体的单位，其精确值为 $1.49597892 \times 10^{11} \text{m}$ 。太阳系以外的天体距离则是用光年(l.y.)或秒差距(parsec，单位符号为pc)作单位。光年是指光在一年里走过的距离，约为 10^{16}m ；秒差距是指选用地球公转轨道的半径为基线，视角差为1角秒的距离，1l.y.相当于0.3pc。银河系离我们最近，其直径为 $7.5 \times 10^4 \text{l.y.}$ ，离银河系最近的星系(小麦哲伦云)距离为 $1.5 \times 10^{21} \text{m}$ ，更大的天体系统是星系团(尺度为 10^{23}m)，比这更大的称为超星系团(10^{24}m)，现在人类所能观测的极限为哈勃半径，尺度为 10^{26-27}m 。

当人类使用了更为先进的观测仪器后，不仅加快了对宇观系统的探索，也在微观领域取得了突破。20世纪80年代发明的扫描隧道显微镜(STM)，真正做到了原子分辨，通过粒子加速器实现了人类在更小尺度的探索，目前微观研究已深入到核子以下的夸克层次(参阅本书第十一章)，尺度达到 10^{-15}m (飞米)。这些研究向人类提供了微观层次的基本图像，如人体的组成包含了约 10^{16} 个细胞，每个细胞中含有约 $10^{12} \sim 10^{14}$ 个原子，由此组成了最复杂的生命组织。

物质不仅有空间尺度的差异，质量上也存在很大差异。但是，因每个空间尺度上个体的大小不同，质量与空间尺度之间并不存在对应的关系，图1.1也列出了几种具有代表性的质量数量级。

1.1.3 物质世界的时间尺度

物质世界的时间尺度也称为物质的时标，表示物质处于某一状态所持续的时间。按照现代的标准宇宙模型推算，宇宙是在大约 $(1.0 \sim 2.0) \times 10^{10}$ 年前的一次大爆炸中诞生的，其年龄具有 10^{18} 数量级(秒)。在宇宙的早期，温度极高(10^{10}K 以上)，物质密度也极大，整个宇宙无生命存在，而只有中子、质子、电子、光子和中微子等一些粒子状态的物质，宇宙的结构是非常简单的。随着宇宙体系的膨胀，温度急剧下降，大约在大爆炸后的三分钟，温度降到 10^9K 左右，那时较轻的原子核(氘、氦等)开始合成，温度从 10^9K 降到 10^8K 也就成为轻元素的早期合成阶段。又经过了大约40万年时间，温度降到

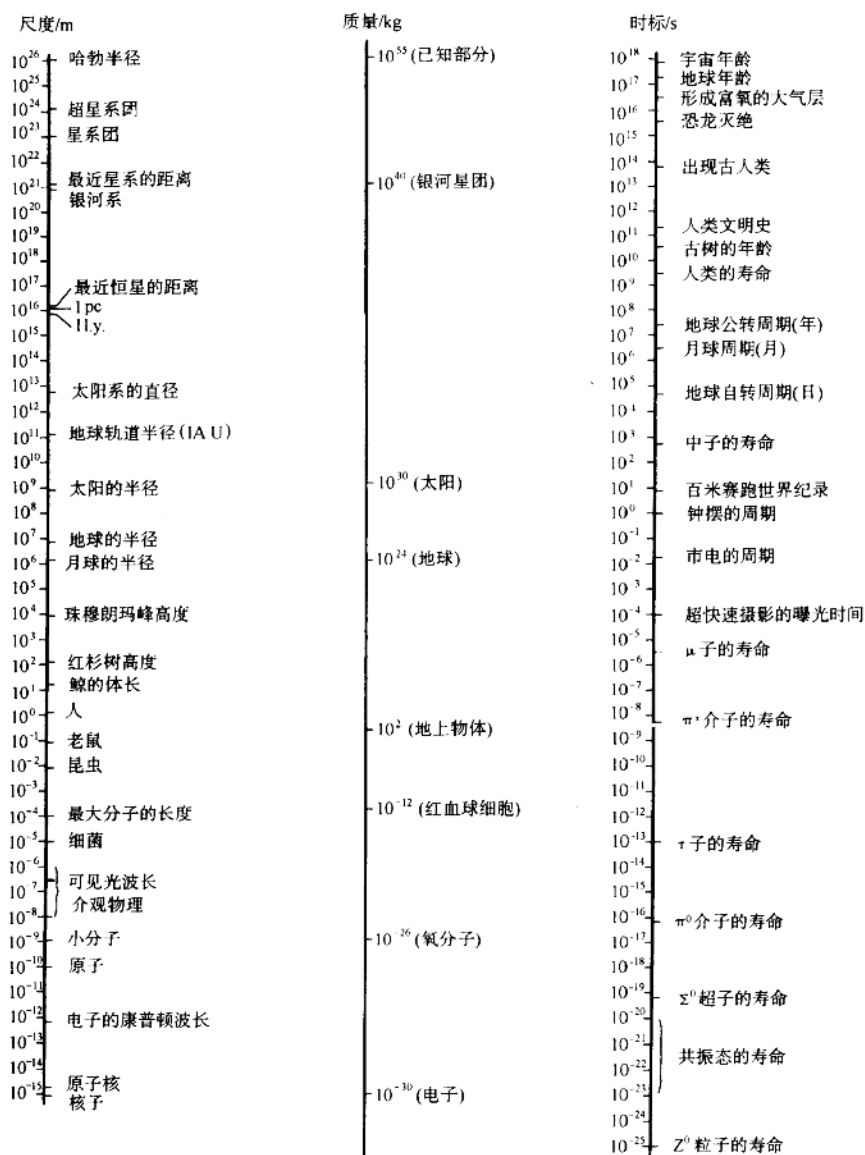


图 1.1 物质世界的空间尺度和质量

图 1.2 物质世界的时间尺度

了几千 K, 原子核与电子复合成电中性的原子和分子, 那时的宇宙主要是气态物质, 气体逐渐凝聚成气云, 再进一步形成了各种各样的恒星体系, 演变为今日的宇宙。

恒星不断地向外释放能量, 这些能量来自于内部的热核反应, 当核燃料耗尽后, 恒

星就会死亡。恒星质量愈大，聚变反应速度愈快，其寿命愈短。据估计，太阳的寿命约 10^{10} 年，而太阳的年龄约为 5×10^9 年，正处于壮年期。

在对宇观世界讨论的同时，我们不妨看一下微观世界。20 世纪 30 年代，物理学的发展让人类的视野进入了原子，弄清了原子是由原子核和电子组成的，电子、质子、中子、光子成为人类最早认识的基本粒子，之后又发现了玻色子、轻子、强子三大类的更多粒子（详见第十一章），但其中绝大多数已发现的粒子是不稳定的，一种粒子通过衰变成为其他粒子，所以，粒子的寿命是指粒子从产生到衰变前存在的时间。在常见的基本粒子中，光子、电子和质子是稳定的，其余的粒子寿命如图 1.2 所示，图中标注了物质世界的时间尺度，可以看出，现在所知道的物质世界最短寿命为 10^{-25}s (Z^0)。

§ 1.2 物质的基本形态及存在形式

自然界中的物质在分子力作用下形成了自身的形态，并以特定的形式而存在着。概括起来说，所有的形态可归结为四种基本形态：固态、气态、液态和等离子体态；所有的存在形式可归结为两类：实物和场。

1.2.1 分子间的作用力

物质是由分子（原子）组成的，分子整体上呈电中性，但分子（原子）内部包含着运动的电荷（核外电子和核内质子所带的正电荷），电荷的运动形成了分子间的电磁相互作用。当两个分子相互接近时，每个分子的表面电荷密度将重新分布，表面的电子会稍微偏离分子单独存在时的状态，在分子的某个部分上，电荷的平均距离变小，而在另一个部分上变大，进而在两个分子上形成了带相反电荷的区域，产生分子间的吸引力。值得指出的是，这一特殊区域只能在分子距离很近时产生，因而分子作用是近距离作用（短程作用）。如果分子靠得更近，将导致原子的外层电子壳层重叠，这时两分子的电子壳层均属同种电荷，分子间形成了排斥力。

分子间除以上作用外，还存在万有引力，但分子间的作用力主要表现为电磁力。这是因为，如果把分子之间的万有引力和分子间的电磁力相比，后者比前者大 10^{29} 倍，万有引力是可以忽略的。另外，分子的电中性决定了分子间的电磁力的大小，其微弱程度又

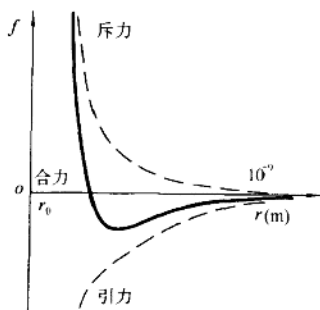


图 1.3 分子间的作用力

不能与其他带电离子的电磁作用相比拟，因而在一一般的标准下，分子间的力是很小的。从作用效果上看，将这一作用施加在质量非常小的分子上，却能够产生比重力加速度大 10^{14} 倍的瞬时加速度。这种加速度会在极短的时间里使分子获得很高的速度，并使加速后的快分子很快跑出另一个分子的作用范围。

图 1.3 示出了分子间的相互作用力与距离间的关系，图中的 r_0 约为 $2.5 \times 10^{-10}\text{m}$ ，当分子间距为 r_0 时，分子间的吸引力和排斥力的合力为零，因

而这一距离常被认为是分子碰撞时能靠得最近的近似距离,称为分子的有效直径.当分子间的距离大于 r_0 时,合力主要表现为吸引力,且当距离约为原子直径的四倍时(即分子有效直径),合力趋于零;当分子间的距离小于 r_0 时,合力则为排斥力,而且它的变化斜率相当大,因而只有高能粒子才能进入分子内部,一般原子不可能进入分子.

1.2.2 物质的基本形态

分子间的作用决定了物质的形态.当物质中的分子间距约为 r_0 时,分子没有足够的能量来克服其他分子的吸引力,只能在 r_0 附近振动,若这种振动中心基本上是稳固的,则物质处于固体形态;若分子具有较大的振动能量,其振动中心是可以自由移动的,则物质处于液体状态,具有流动性;当分子具有较高的动能时,分子就能够摆脱其他分子的吸引而成为自由运动的粒子,此时的物质则为气体状态.

固体通常具有一定的体积和形状,可将其分为晶体、非晶体、准晶体三类.对晶体而言,内部的粒子呈现规则性排列,这些粒子可以是原子、分子和离子,一般也称其为原子态的、分子态的、离子态的或宏观分子态的晶体.例如:金属是原子的有规则排列,属于原子态的晶体;金刚石等是非金属元素以及许多化合物的规则排列,属于分子态晶体;盐等是离子的规则排列,属于离子态晶体.对于非晶体而言,其内部的粒子是无规则排列的,它们的粒子由一些大的长链分子组成.这些分子缠结在一起,有点类似于液体,但没有确定的熔点,形成了与晶体(具有确定熔点)的又一区别,如玻璃、沥青、塑料等.而准晶体既不像晶体粒子的规则排列,也不像非晶体粒子的完全无规则排列,而是具有长程准周期排列的特点,即在某一范围内,主要表现为晶体特性,超出这一范围,则主要表现为非晶体特性,是一种较为复杂的物质形态.

液体通常有一定的体积,但无确定的形状;气体则是既无一定的形状又无一定体积的物质形态,而这两种状态除自身的特点和运行规律外,还具有流动性.这些将在本书第五、六、七章详细介绍.

除固体、液体、气体三种状态外,人类又发现了物质的等离子体态,也有人称其为物质第四态.严格地说,等离子体就是电离了的气体,它是由电子、离子和未电离的中性粒子三种成分组成的,整体上呈准电中性,而且是集体效应起主要作用,是自然界里更为复杂的一种聚集状态.它能够引起局部的电荷集中,产生电流,形成电场和磁场,这些场又反过来影响其他区域的带电粒子,因而等离子体态下的粒子运动,必然受到局部条件和整个等离子体的制约.综观整个宇宙中的物质,竟然有99%以上的物质处于等离子体态,只是人类现在生存的近地空间存在较少.在目前,对于等离子体理论和实验的研究已形成了一门新兴学科——等离子体物理学,并且出现了与等离子体有关的边缘学科.相关知识将在本书第九章介绍.

1.2.3 物质存在的基本形式

实物和场是物质存在的两种基本形式.实物是由原子、分子组成的客观实体,它包含了大到宇宙天体、小到静止质量不为零的基本粒子,如太阳、地球、电子、质子、中子等.场是物质的又一存在形式,它是传递物质相互作用的媒质,如引力场是传递引力

作用的媒质、电磁场是传递电磁作用的媒质，都属于无形的物质存在形式。从实物和场的基本性质上分析，实物和场都具有能量和运动属性，可参与物质之间的相互作用。但场却表现出特有的弥散性和叠加性，也就是说，场可以弥散于整个空间，并在空间的任意点允许各种场同时存在，且保持各自的独立特征，当相同性质的场在空间某一点相遇时，可以相互叠加。

值得指出的是，物质无论以何种形式存在，其运动属性是不会改变的，自然界中没有不运动的物质，也不存在脱离物质的运动，这点早已为物理学家所证明。

§ 1.3 物质世界的基本作用

物质无论大小和以什么形式存在，它们之间总是存在着各种相互作用，这些作用改变着物质的运动状态，支配着自然界的千变万化。迄今人类所认识的基本作用有四种，它们分别是引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。

万有引力相互作用是物质间最普遍的一种作用。当两个物体相距一定距离时，便存在引力作用，它的作用范围可以达到无限远。但在日常生活中，人类只对地球的引力作用（重力）有感觉，而对其他宏观物体间的引力常常没有感觉，这是由于一般物体的质量较小、万有引力可以忽略不计的缘故。但在研究星体间的相互作用时发现，由于星体的质量很大，万有引力的作用很强，因此将对天体的运行和演化将产生重大影响。

电磁相互作用是整个自然界最普遍的相互作用，它影响着从宏观到微观的所有物质世界，其作用范围可以达到无限远，属于长程作用。从微观上看，一切物质的理化性质都与分子、原子的变化有关，是以电磁相互作用为基础的。

强相互作用是核力相互作用，是微观世界中基本粒子间的一种相互作用，其作用力程很短，只有 10^{-15}m ，作用时间也很短，只有 10^{-23}s ，但其作用强度很大。

弱相互作用是基本粒子衰变过程中的一种相互作用，常发生在原子核的 β 衰变、 μ 子的衰变等过程中。它的作用力程更短，其有效作用范围仅为 10^{-17}m ，作用强度大于万有引力，而小于电磁相互作用。

若将以上四种作用作数量级比较，设距离源 10^{-15}m 处强相互作用力的强度为 1，则其他力的强度分别为：电磁力是 10^{-2} ，弱相互作用力为 10^{-13} ，万有引力仅为 10^{-38} 。由此可见，万有引力作用是四种相互作用中强度最弱的一种，而且相差悬殊，在研究电磁力时，若不特别声明，万有引力则可忽略不计。

为了更为清楚地比较物质间的相互作用，现将四种作用汇总于表 1.1。

长期以来，物理学家总是在探索如何将物理学的理论归纳综合，以达到理论上的统一和认识上的飞跃。以力学为例，牛顿运动定律和万有引力定律实现了经典力学的综合，爱因斯坦的相对论则实现了更大范围的力学统一。那么能否在物质相互作用之间建立这种统一呢？1967 年温伯格等人提出了一个把弱相互作用和电磁相互作用统一为电弱相互作用的理论。后来，鲁比亚等从实验上证明了这个电弱相互作用的理论。这一发现也把原来的四种相互作用统一为三个。受此鼓舞，许多物理学家正在研究强相互作用和电弱相互作用的统一，并期盼实现物质间四种相互作用的“大统一”。

表 1.1 四种基本作用

相互作用类型	引力相互作用	弱相互作用	电磁相互作用	强相互作用
作用距离	长程	$<10^{-14}\text{cm}$	长程	$<10^{-13}\text{cm}$
相对强度	10^{-38}	10^{-13}	10^{-2}	1
典型衰变时间		10^{-10}s	$10^{-16}\sim 10^{-20}\text{s}$	10^{-23}s
媒介粒子	引力子?	中间玻色子 $W^\pm, Z^0$	光子 γ	胶子 $g_1\sim g_8$
媒介粒子质量	未知	约 90GeV	0	假定为 0
被作用客体	一切物体	强子, 轻子	强子, e, μ, τ, γ	夸克, 胶子, 重子

§ 1.4 物理科学的学科层次

物质可划分为不同的层次, 各个层次的物质有其特殊的组分、结构与性能, 物理学对每个层次物质的研究和探索, 便形成了物理学的物质科学体系. 表 1.2 列出了物质层次及其对应的学科.

表 1.2 物质层次及其对应学科

研究客体	空间尺度/m	主要学科
?	$\uparrow$	物理学前沿
目前观测的最大范围	$10^{26}\sim 10^{27}$	宇宙学
超星系团、星系团、恒星	$10^{13}\sim 10^{21}, 10^{18}\sim 10^{22}, 10^4\sim 10^{12}$	天体物理学、空间物理学
地球	10^7	地球科学
凝聚态物质	$10^{-3}\sim 10^6$	凝聚态科学
介观物质	$10^{-8}\sim 10^{-6}$	介观物理学
分子、原子	$10^{-10}\sim 10^{-8}$	原子物理、分子物理、光学、化学
原子核	$10^{-15}\sim 10^{-14}$	原子核物理学
强子、夸克、粒子	$10^{-15}, <10^{-16}$	粒子物理学
?	$\downarrow$	物理学前沿

物理学除作为物质科学进行研究以外, 还要系统地研究物质的运动变化及其相互作用规律, 因此“理性”成为物理学又一重要内容. 传统的观点常把物理学划分为力学、热学、电磁学、光学、原子及核物理. 为了在本书中突出物质的内容, 我们将以物质的结构层次为主线, 介绍与之相对应的物理规律, 并重点讨论宏观和微观两个层面的基本规律.

思考题

1.1 本章所提到的“物”和“理”含义是什么？描画出你所认识的物质世界的结构和层次。

1.2 有人认为，实物是实的，场是虚的，在我们的现实生活中起主要作用的物质是实物，场的存在是微不足道的。你认为这种观点对吗？为什么？

1.3 有人提出，物理学习惯于研究简单系统。你的观点如何？为什么？

1.4 本章的 1.2.1 和 1.3 两次将万有引力与电磁力做比较，数值却不同，你能否说出这是为什么？

第2章 实物运动基本规律

实物的运动形式是多种多样的,实物之间或实物内各部分之间相对位置的变化是最简单、最基本的实物运动,这种运动称为机械运动,几乎存在于实物运动的各种形式之中。

机械运动包括平动和转动两种基本形式。尽管平动和转动的运动形式不同,但其研究方法和思路是相通的:都不考虑实物的微观结构;都可引入恰当的物理模型,使问题的研究得以简化;在一定的尺度与速度范围内,都可从牛顿力学理论出发来探讨其运动规律。例如,在平动问题的研究中不必考虑实物的形状和大小,可引入质点模型,从而将实物的平动简化为质点的运动;在转动问题的研究中,由于必须考虑实物的形状和大小,可将实物划分为许多微小部分,每一微小部分可视为一个质点,整个物体可视为许多质点组成的质点系,当实物的形状、大小变化不大时(与其原有形状、大小相比),若忽略其形变不影响对问题实质的探讨,就可将实物看作刚体进行研究。引入刚体模型后,实物的转动就简化为刚体的转动。

本章将以平动和转动为基础,介绍实物的基本运动规律,主要内容包括实物运动学、相平面与相空间、实物动力学以及时空对称性与守恒定律等。

§ 2.1 实物运动学基础

运动学从几何观点研究和描述物体相对位置随时间的变化规律,其核心内容就是在一定的时空上确定物体的位置及其变化。

2.1.1 时空的基本属性

要研究物质的运动,必然涉及空间和时间两个概念。时间用于描述运动的连续性,空间用于描述运动的广延性。牛顿等认为物质、时间、空间三者是分离的,物体是在绝对静止的空间中随着绝对时间的流逝而运动的。

爱因斯坦等在长期的科学实践中,通过对时空的观测、研究和理性思考,认清了时空的基本属性,提出了时间均匀性假设、空间均匀性和各向同性假设。

1. 时间均匀性假设 时间平移对称性

时间均匀性假设的基本内容是:时间是一维的,它均匀地流逝着。时间的一维性,是指时间的测量与空间方位无关。如在某确定的空间测量某事件所经历的时间,无论钟放在什么方位,结果都相同。时间的均匀性可以这样理解:在某时刻做某个物理实验得到一个结果,换一个时刻在相同的条件下重复该实验,结果是相同的。

时间的均匀性意味着,当时间的计算起点移动时,物理规律的具体形式(表现为数

学方程)不会改变,即物理规律对时间的平移变换具有不变性.这种不变性表明,不同的时刻在物理上是等价的,时间具有平移对称性.

2. 空间均匀性和各向同性 空间平移与旋转对称性

空间均匀性和各向同性假设的基本内容是:空间分布是均匀的,而且是各向同性的,即某方位的空间分布不可能与其他方位的空间分布有什么不同.这一假设表明,不同的空间位置在物理上是等价的.

空间的均匀性可以这样理解:在实验室做某物理实验,无论将仪器、设备放到什么位置,只要条件、方法等相同,所得结果就相同.这说明将空间坐标的原点移动时,物理规律的具体形式不会改变,即空间具有平移对称性.空间的各向同性可以这样理解:在实验室中某处做某个物理实验得到一个结果,然后将实验仪器在原地转过任意角度,重复这一实验,所得的结果仍然相同.这说明空间的一切方向都是等价的,物理规律对于空间的旋转变换具有不变性,即空间具有旋转对称性.

2.1.2 参考系 坐标系

在观测、描述物体的运动时,必须选择另外一个物体作为参照,这个参照物体就称为参考系.选择不同的参考系,对同一物体的运动会得出不同的观测结果和不同的.例如,坐在火车上的人说,从其手中落下的物体沿着直线下降;而站在路边的人却说该物体沿曲线运动.总之,运动是绝对的,而运动的描述是相对的.

参考系确定以后,要精确描述物体的位置及运动状态,必须在参考系上建立适当的坐标系.坐标系是固定在参考系上的,它实际上是参考系的一种数学抽象.

2.1.3 实物平动的描述

1. 位置矢量

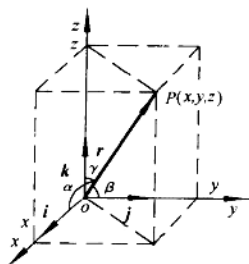


图 2.1 位置矢量

实物平动的描述归结为质点运动的描述,首要问题是确定质点的位置.质点的位置用位置矢量来描述,如图 2.1 所示.在直角坐标系中,从原点 O 到 P 点的有向线段 r 表示质点 P 的位置,矢量 r 称为位置矢量,简称位矢,也叫径矢. r 沿三个坐标轴的分量分别是 x, y, z , 以 i, j, k 分别表示 x, y, z 方向的单位矢量,则可将 r 表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (2.1)$$

质点运动时的坐标 x, y, z 和位置矢量 r 都是时间的函数,即

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (2.2a)$$

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \quad (2.2b)$$

上式称为运动方程.