

高等学校教材

物理学

(专科适用)

宋士贤 郭晓枫 刘云龙 等编

西北工业大学出版社

高等学校教材

物 理 学

(专科适用)

宋士贤 郭晓枫 刘云龙 等编

西北工业大学出版社

1995年6月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】本书作为高等工程专科物理教材,参照了全日制和函授专科教学基本要求,按经典物理内容组建全书框架,并融入了近代物理知识和物理原理在工程技术上的应用,突出了基本概念和研究思路及方法,在数学处理上避免或减少了对专科学生不必要的繁杂推证和计算要求。在习题配置上也作了大幅度改革,并统一采用“法定计量单位”和最新版“物理学名词”。

全书分六篇。题材丰满、新颖,文字流畅,通俗易懂,论述严谨,重点突出,易教易学,特别在反映物理学在工程技术中的新成就以及针对工程专科各专业的需求方面,颇有新意和特色。本书适用于高等工业学校、高等工程专科学校和各类成人高校学生 70—100 学时(函授 216—270 学时)的物理课程教材,并有“物理大作业”与其配套出版使用,也可供有关大、中学师生、工程技术人员和管理人员参考。

高等学校教材

物 理 学

(专科适用)

宋士贤 郭晓枫 刘云龙 等编

责任编辑 刘 红

责任校对 齐随印

*

© 1995 西北工业大学出版社出版

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 4253407)

陕西省新华书店发行

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0740-9/O·99 (课)

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 28.75 字数: 618 千字

1995 年 6 月第 1 版 1995 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—5 000 册 定价: 21.30 (套)

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

序

1994年盛夏,应徐绪笃教授坚邀,飞抵古城西安,在西北工业大学参与了本书的审稿会。

本书作为一本高等工程专科物理课程的教材,乃是编者坦诚地启用长期积累的知识库存和教学经验宝藏,经历了长达5年余的探索、构思、设计、选材、编写、试用和迭经修改后而出台的。

在高等工程专科教育领域内,编者从物理课程所面临的挑战和选择的困惑中,重新寻求物理教学演变轨迹上的最佳“坐标”,旨在推出一本更适应当前专科教学需求的教材,俾能使本课程更好地为工程类专业培养目标服务。

编者参照全日制和函授专科教育中有关本课程的教学基本要求,对全书内容和体系作了积极稳妥的处理,既不拘泥于同类教材的传统模式,又便于教学操作。在按经典物理内容构建全书框架和精选内容时,寻找接口,融入了一些近代物理基本知识和当代物理学新成就在工程技术上的应用,如能级概念、散斑应用、电流变液、空间技术等等;且以生替熟,避免了与中学物理内容不必要的重复。

本书在论述上,主要表现为以简胜繁,由浅入深,引俗趋真而又不诡随,意到笔随而不拘一格,重在基本概念和基本理论的定性阐释,鲜有繁复的数学推导和赘文滞句;且颇多点睛之笔,对读者起到一定的点拨解惑作用。特别是对一些抽象难懂的概念和理论,紧密结合工程技术和生活实际,给以较轻松的包装,使读者在引人入胜的知识享受中,既接受到一些物理思想和理论的蕴涵,又突现了本书在理论联系实际方面的专科教材特色,可谓相得益彰。其次,附在每章之末的“练习题”,经编者精心设计,别具一格,布题周详,题材多样,难易适中,导引有序,尤其对自学读者来说,通过习作,有助于把握全章内容,并达到基本训练的目的。

总之,编者按照本课程的教学要求和偏低的学时数,以有限的篇幅,在适当提高物理直觉性的浓度、信息量的密度和物理思想的深度等方面所作的努力,断非率尔操觚者所能为的。至于书中欠当之处,也在所难免,这就有待于编者不断实践,用一个漫长的未来,去进一步求索一份完美。

“忽如一夜春风来,千树万树梨花开”。也许在本书问世后,对当前新形势下的工科大学物理教材改革,能起到一些推波助澜的效应,那么,这恐怕是对编者们莫大的慰藉和鞭策了,也是物理教学界的同仁所企望的。

编者囑序,书此短文,藉达葵忱,以酬高谊。

嚴道詮

1994年6月13日端午节于同济学舍,
时梅雨霏霏,蒲绿榴红。

前 言

高等工程专科教育（即“高工专”）是高等教育的一个重要的、独立的层次，它既不同于中等技术教育层次，也不同于高等工程本科层次，更不同于研究生教育层次，其目标是为四化建设培养工程应用型人才。

高等工程专科物理课程是一门必修的基础理论课程。其任务是：为培养工程应用型人才打好必要的物理基础，提高人才素质，开阔思路，激发探索和创新精神，增强学习和掌握新技术、新工艺的能力。因此，编写一本符合高工专教育层次的特点、利于教学的高工专物理教材，就成为作者多年来的愿望。本教材初稿就是在这种愿望的驱使下，经过 5 年多的酝酿和努力而问世的。

本教材在突出高工专层次的教学特点上，有如下的一些举措：

1. 内容的取舍服从于培养目标服务，服从于本课程在培养工程应用型人才中所承担的任务，并符合高工专物理课程教学基本要求。内容着重讲解基本的物理现象，加强了对物理过程的分析以及建立正确物理图象的论述；对物理概念力求解释清楚，保证足够的信息量，使高工专学生对整个物理框架和发展有所认识，并强化对物理原理在现代工程技术中的应用途径的介绍和引导。不少内容侧重于讲清物理概念，指明物理思路和方法，对结论进行分析讨论，避免和降低了一些不必要的繁杂的理论推导和计算要求。

2. 根据编者的教学经验，在课程体系上有所更新。增加了入门的导论篇；把一些近代物理的概念、方法和前沿交叉科学最新研究进展揉合到经典物理中去讨论；把波动光学与机械波合成为波动篇一起讨论；把气体动理论改写为热运动的物理图象及统计方法予以介绍等。做到该扩充的内容就作必要的扩充，该删减的内容也毫不吝啬，着意反映科学发展的连续性和新潮迭起的动态。同时，在版式设计、插图设计等方面也力求新颖，尽量使读者在阅读时从内容到形式都有新鲜感。

3. 对习题作业作了大幅度改革。本教材采用了作者 10 多年研究试验的“基础练习和大作业”的习题作业方式，即习题作业由基础练习与大作业两部分组成。

“基础练习”印在本教材各章的最后，它紧密结合教学内容，以内容为单元归类选编，并冠以相应的标题。题目从对有关的基本概念和规律的分析讨论，到处理问题的一般思路方法，再导向到具体问题的求解和应用，一个层次一个层次地展开，形成一个完整的框架结构。这些题目一般不要求学生做到作业本上，主要供学生课后复习、自学时钻研之用，因此，它实际上相当于一份自学指导提纲。

“大作业”是某一部分教学内容结束后应完成的综合性作业，与本教材配套出版使用。它覆盖了该部分教学要求的全部内容，题型包括选择题、填空题、计算题、证明题、问答题等，以利于从各个侧面检验学生掌握知识的程度和能力水平。由于它带有阶段总结的性质，故称为“大作业”。大作业共 10 次，要求学生在完成练习题的基础上，经过阶段复习后独立完成，可以在 2~3h 内集中完成，也可按课程进度分散完成，每道题均留有答题空位，学生可直接在其上答题，不需另备作业本。

4. 自始至终注意结合内容, 强化物理原理在现代工程技术中的应用途径和物理学对现代科学技术发展的影响的介绍, 密切注意理论联系实际, 以提高高工专学生学习、掌握新技术、新工艺的适应能力。

5. 本教材统一采用“中华人民共和国法定计量单位”和全国自然科学名词审定委员会1988年公布的“物理学名词”。

本教材共分六篇。编者的分工是: “导论”——宋士贤; “力学”——文喜星、宋士贤; “波动”——郭晓枫、赵建林; “热学”——阮在勤、宋士贤; “电学”——刘云龙、王济民; “近代专题”——戴慧莹、文喜星。由宋士贤任主编并负责全书的策划和统稿, 郭晓枫、刘云龙任副主编。

本教材适合于高等工业学校、高等工程专科学校、各类成人高校的工程专科各专业70~100学时(函授216~270学时)物理课程使用, 也可供有关大、中学教师和工程技术人员、管理干部参考。采用本教材的教师; 可根据实际情况对本教材的内容作必要的取舍。

在编写过程中, 我们参考了国内外的许多教材, 从中吸吮了丰富的养料, 得到了有益的启发。并得到了全国理工院校成人教育研究会物理学科委员会、西北工业大学应用物理系和继续教育学院、同济大学函授与继续教育学院、武汉交通科技大学成人教育学院、西安空军通讯工程学院以及其他兄弟院校的支持和关注, 特别是西安交通大学吴百诗、中国纺织大学汤毓骏、同济大学严导淦、东南大学马文蔚、西北工业大学徐绪笃、哈尔滨建筑大学唐光裕、高等教育出版社奚静平等教授对本教材的编写给予了多方的关怀、指导和帮助。西北工业大学、同济大学、西北纺织工学院、西安空军通讯工程学院、西安飞机工业公司工学院、榆林高等师范专科学校、山东济宁联合大学等院校4 000多位师生试用了本教材。在此一并表示衷心地感谢。

本教材由严导淦(主审)、徐绪笃、汤毓骏三位教授审稿。参加审稿会的还有: 周锰钰(中国矿业大学)、崔子明(西安理工大学)、张淑兰(成都科技大学)、郑敏(上钢一厂职工大学)、吴柳(北方交通大学)、张文斌(西安空军通讯工程学院)、陈晓城(西北工业大学)、王小力(西安交通大学)等专家。

由于编者水平所限, 本教材中一定还有许多不妥、甚至错误之处, 我们恳请使用本教材的师生以及其他读者不吝赐正。

编 者

1994年6月于西安

一本新书象一艘船,带领着我们
从狭隘的地方,驶向生活的无限广阔
的海洋。

——凯勒

目 录

序..... 严导淦 1
前言..... 1

第 0 篇 导 论

§ 0.1 物理学理论及其在近代科学技术发展中的作用 2
§ 0.2 物质的物理图象 4
§ 0.3 物理学中的矢量运算 8
§ 0.4 中华人民共和国法定计量单位..... 19
内容概要 23
练习 0 24

第 I 篇 力 学

第 1 章 时间、空间与运动学..... 28
 § 1.1 模型化方法..... 28
 § 1.2 运动描述的相对性、参考系 29
 § 1.3 时 间..... 31
 § 1.4 空 间..... 31
 § 1.5 描述运动的图线法..... 33
 § 1.6 速 度..... 35
 § 1.7 加速度..... 39
 § 1.8 运动学的第二类问题..... 43
 § 1.9 抛体运动..... 48
 § 1.10 圆周运动的角量描述 49
内容概要 51
练习一 52

第 2 章 牛顿运动定律 56

§ 2.1 力是物体运动状态变化的原因..... 56

§ 2.2 牛顿运动定律..... 59

§ 2.3 处理动力学两类问题的思路..... 61

§ 2.4 牛顿运动定律在科学技术中的应用举例..... 66

内容概要 69

练习二 69

第 3 章 动量守恒与能量守恒 71

§ 3.1 动量守恒定律..... 71

§ 3.2 动量守恒定律在高科技发展中的应用..... 74

§ 3.3 功与功率..... 77

§ 3.4 动能定理..... 79

§ 3.5 势 能..... 80

§ 3.6 机械能守恒定律..... 82

§ 3.7 应用两个守恒定律解题示例..... 85

§ 3.8 工程技术中的能量守恒定律..... 89

内容概要 90

练习三 90

第 4 章 刚体的定轴转动 94

§ 4.1 刚体运动的基本概念..... 94

§ 4.2 刚体定轴转动的运动学规律..... 98

§ 4.3 刚体定轴转动的动力学规律..... 99

§ 4.4 动量矩守恒定律的实际应用 102

内容概要..... 106

练习四..... 107

第 I 篇 波 动

第 5 章 简谐运动..... 111

§ 5.1 简谐运动及其特征 111

§ 5.2 简谐运动的描述方法 114

§ 5.3 简谐运动的合成 122

§ 5.4 阻尼振动,受迫振动..... 126

内容概要..... 128

练习五..... 129

第 6 章 机械波的传播规律	135
§ 6.1 机械波的基本概念	135
§ 6.2 波动的描述方法	137
§ 6.3 波的能量特征	145
§ 6.4 波的干涉	145
§ 6.5 声波在科学技术中的应用	150
内容概要.....	151
练习六.....	152
第 7 章 光的波动性	157
§ 7.1 光波的物理图象	157
§ 7.2 光的干涉	160
§ 7.3 光的衍射	168
§ 7.4 光的偏振性	176
§ 7.5 波动光学对近代科学技术发展的影响	181
内容概要.....	186
练习七.....	187

第 III 篇 热 学

第 8 章 热现象与热运动	194
§ 8.1 热现象及其宏观规律性	194
§ 8.2 分子热运动的物理图象	196
§ 8.3 热运动的统计规律性	199
内容概要.....	201
练习八.....	202
第 9 章 理想气体热力学过程中的能量守恒	203
§ 9.1 理想气体的状态方程	203
§ 9.2 能量按自由度均分定理	207
§ 9.3 理想气体的准静态过程	210
§ 9.4 准静态过程的功	211
§ 9.5 热 量	213
§ 9.6 热力学第一定律	214
§ 9.7 热力学循环过程	220
内容概要.....	225
练习九.....	227

第Ⅳ篇 电磁学

第10章 静电场	232
§ 10.1 物质的电结构	232
§ 10.2 电场强度	235
§ 10.3 电 势	241
§ 10.4 静电场的环路定律和高斯定理	246
§ 10.5 导体在静电场中的行为特性	251
§ 10.6 导体的电容和电场的能量	255
§ 10.7 电介质对电场的影响	258
§ 10.8 静电与新技术	261
内容概要	263
练习十	264
第11章 稳恒电流的磁场	270
§ 11.1 稳恒电流的基本概念	270
§ 11.2 磁场	272
§ 11.3 磁场的物质性	274
§ 11.4 电流激发磁场的基本规律	280
§ 11.5 磁场中的环路定律与高斯定理	282
§ 11.6 磁介质对磁场的影响	286
内容概要	287
练习十一	288
第12章 电磁感应及电磁场	293
§ 12.1 电磁感应的实验研究	293
§ 12.2 电磁感应的基本定律	295
§ 12.3 电磁学与工程技术	301
内容概要	315
练习十二	316

第Ⅴ篇 近代物理及专题选讲

第13章 近代物理发展概论	322
§ 13.1 历史背景	322
§ 13.2 狭义相对论	323
§ 13.3 量子物理简介	328

第 14 章 激光技术的物理原理 331

§ 14.1 自发辐射和受激辐射..... 331

§ 14.2 粒子数的反转分布..... 332

§ 14.3 光学谐振腔 激光的形成..... 333

§ 14.4 激光器..... 334

§ 14.5 激光的特性..... 335

§ 14.6 激光的应用..... 336

第 15 章 物理学与新技术、新学科..... 339

§ 15.1 电流变液及其应用前景 339

§ 15.2 遥感技术与物理学..... 340

§ 15.3 高温超导体的发展..... 340

§ 15.4 物理学与农业现代化..... 342

§ 15.5 电磁学与现代战争..... 342

§ 15.6 激光物理与激光武器..... 344

§ 15.7 红外物理及其技术在军事装备中的应用..... 345

附：物理大作业 346

主要参考书目..... 348

在任何行业中，走向成功的第一步，是对它产生兴趣。

——威廉·奥斯勒

第 0 篇

导 论

物理学是研究物质的基本结构和相互作用、物质最基本最普遍的运动形式及其相互转化规律的学科。大至恒星、星系，小至分子、原子和“基本粒子”，其研究范围十分广泛，几乎一切自然现象都与物理学有关。

物理学的基本理论与方法，渗透于自然科学的各个领域，应用于生产技术的许多部门，并对近代技术的形成和发展具有更为直接的意义。物理学的许多发现和重要效应，常常是技术发展的先导，每逢物理学上取得一次重大突破，总会导致一场新的重大的技术革命。例如，电磁学的发展，很快转化为新技术，并对已往的技术产生影响，导致了电动机、发电机、电灯、电话、电报、雷达、变压器等的发明和应用，微观物理学的发展，又涌现出半导体、激光、电子计算机、电子显微镜、原子能、电视、遥感、空间技术等一系列新兴技术。反过来，技术的发展和生产力的要求，又有力地推动了物理学研究的发展。有人对 20 世纪以来 70 项重大技术发明作了分析，绝大多数项目均来自于物理学的发展或与物理学科的相互渗透有关。不仅如此，物理学的知识、概念和思想方法，已渗透到现代医学、生命科学、考古学、文化艺术和生活诸方面，出现了诸如生物物理、材料物理，地球物理、化学物理……等许多新的边缘交叉科学。当今越来越多的人都已认识到：自然科学和工程技术的各个领域，都有必要从物理学中吸取养料，并把它作为本学科的理论基础之一。在高科技发展的今天，不懂得物理学，就难以成为自然科学、工程技术和医学等方面的优秀专家，即使是生产第一线的操作和管理人员，不懂物理学，也难以适应新技术发展的需要。

初学物理的专科学学生，在某些方面面临着比高年级学生更艰难的任务。他们不仅要学习物理学的框架、概念、思路和方法，了解物理原理在工程技术上的应用途径，还面临着在学习方法上由中学向大学过渡的问题。但是，物理学作为工程专科各专业的一门基础理论课程，并不能包含物理学的全部内容。本篇作为导论，将首先简要介绍一下物理世界的概貌，目的是使初学者在学习之初，就对物理学有一个较为完整的认识，并知道今后所学习的每一部分内容在整个物理框架中所处的地位和作用。

物理学对数学的依赖和相互促进是很明显的，数学为物理学提供了定量表示和预见的能力，为自然界提供优美而简明的描述，本书中将用到简单的矢量和微积分运算，熟练地掌握这些必要的数学工具是很关键的。不过，尽管物理规律最终要用数学方程来表述，但在方程的背后却是物理概念之间的联系，在物理学研究中，数学工具始终是紧密结合物理概念的需要而引入的，决不是相反。在导论中，我们将侧重从物理角度来讨论这些数学知识。同时，物

理学又是建立在对物理现象观测结果的基础上的一门科学，因此，在开始学习物理时，必须熟悉各种测量单位和所采用的单位制。在这一篇中，我们也将较系统地介绍《中华人民共和国法定计量单位》，为后面的学习作好充分的准备。

教学要求：

1. 了解物理学的研究对象及其对近代工程技术发展的影响；
 2. 初步建立物质与运动的物理图象及一些数量级概念；
 3. 建立矢量及矢量运算的概念，逐步掌握矢量的加减法、标积、矢积和矢量微积分的运算方法；
 4. 了解“中华人民共和国法定计量单位”和量纲概念，并逐步会运用它。
-

§ 0.1 物理学理论及其在近代科学技术发展中的作用

物理世界是丰富多彩的，要想进入物理世界并能领略其中的奥妙，并不是一件轻而易举的事情，首先需要发现它，了解它，然后再研究它，驾驭它。

自然界是由形形色色的运动物质所组成的。自然界中没有不运动的物质，也没有脱离物质而单独存在的运动，运动和物质是不可分割的，并构成了物理世界的主体。

所谓“运动”，包括了自然界中所发生的一切变化和过程，诸如物理的、化学的、生物的、思维的和社会的运动等等。而物理运动则是其中最基本、最简单的运动形式，包括机械运动、热运动、电磁运动和微观粒子的运动等，并由此形成了相应的五门重大的基础理论：

- (1) 经典力学——关于物体机械运动的理论，亦称牛顿力学；
- (2) 统计物理与热力学——关于热现象和大量粒子群体性质的理论；
- (3) 电磁学——关于电、磁和电磁辐射的理论；
- (4) 相对论——关于高速运动物体和物理规律不变性的理论；
- (5) 量子力学——关于微观粒子运动的理论。

物理学是实验性科学，人们对自然的了解，必须依靠观察和测量。在物理学发展的长河中，许多科学家就曾用一些简单粗糙的仪器设备，获得了许多伟大的发现和发明，可以说，如果没有实验，现代物理学绝不会有这样飞速的发展。另一方面，由于新的实验技术和观测手段的不断发展，人们的认识也在不断深化，这就决定了物理学定律总有一定的适用范围。例如，牛顿力学只适用于低速物体在惯性系中的运动。如果物体的速度大到可以与光速相比的程度，那么牛顿力学就无能为力了，必须用相对论来研究。当代物理学的研究内容，多数是探索那些非常小 ($<10^{-15}\text{m}$)、非常大 ($>10^{20}\text{m}$) 或非常复杂的前沿和交叉学科领域，相对论和量子力学正是这些领域中卓有成就的理论。

尽管物质的运动形式多种多样，千差万别，但它们之间又普遍存在着联系，遵循着某些统一的规律。物理学从牛顿力学开始至今 300 多年来，最基本的追求就是探索自然界的统一，寻找支配宇宙万物的最基本的统一规律，并不断将已知的物理概念、理论和规律转化为技术产物，转化为改造世界的生产力。

前面已经谈到，技术的原理是以自然科学作为理论基础的，虽然一种技术所凭藉的自然科学往往涉及许多领域，但是，物理学对近代技术的形成和发展却具有更为直接的意义，物理学的许多发现和重要效应常常是技术发展的先导。

在一项技术的形成过程中，总是要运用一定的科学原理（工程中常称为技术原理），选择一定的技术路线，并确定技术的具体实施方案。技术原理、技术路线和技术方案称为技术形成过程的结构要素。物理学对技术发展的作用，主要反映在这些要素中，图 0.1 大致表示了这种作用与相互关系。

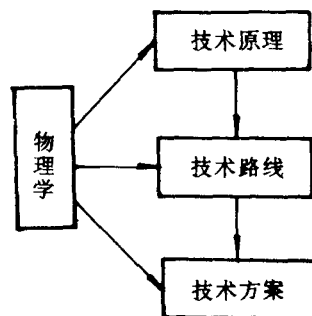


图 0.1 物理学对技术发展的作用

一、物理学为技术的形成提供科学原理

物理学的发展，经历了从简单到复杂、从宏观到微观、从低速到高速的发展过程，在这个过程中所发现的各种规律，就成为相应技术形成的基本原理。如机械技术主要以牛顿力学为基本原理；热工技术和电力技术则主要以热力学或电磁理论的有关规律为基本原理，以机械技术为基础发展起来的。20 世纪以来，物理学的新发展也为相应的新技术提供了科学原理：火箭利用了反冲原理，无线电技术应用了电磁波理论；激光技术应用了光的受激辐射原理，原子能技术应用了质能关系原理，高速测量应用了多普勒原理，温度测量应用了导体电阻随温度变化的原理等。

二、物理学影响技术进行的路线

物理学不仅为近代技术提供了科学原理，还直接影响到技术路线的选择和技术实现的方向。例如，1831 年法拉第发现了电磁感应定律，为发电机的研制提供了科学原理，但选择什么样的技术路线呢？作为磁场，可有永磁铁、多个永磁铁的组合、它激式电磁铁、自激电磁铁等；作为电枢的形式，可有圆筒形、双 T 形、齿形、环形和鼓形等可供选择。人们经过了 50 多年的研究和试验，最终确定了鼓形电枢和自激发电形式的技术路线。在这一过程中，除了电磁感应定律以外，电流磁效应、磁滞及剩磁等有关理论起了很大作用。

三、物理学指导技术方案的实施

科技发展史告诉我们，如果说 19 世纪以前，一项新技术的实施方案还有一定的经验成分的话，那么，19 世纪中这种经验成分就愈来愈少了，而科学因素变得多起来，进入 20 世纪后，则主要是科学在起作用，也就是说，物理学对技术的作用，不仅限于提供科学原理，影响技术路线，还渗透到实施方案的确定中。如人们由爱因斯坦质能关系以及对核蜕变的研究，认识到使原子核质量发生变化而释放能量的途径，既可以通过重核裂变，也可以由轻核聚变去实现，在实现这些反应的具体实施方案中，从核燃料的制备到减速剂的选用，从核反应堆、原子弹、氢弹的结构设计到核废料的处理，都是在物理学原理的支配下完成的。

由此可见，物理学对近代技术的发展具有极其重要的作用，物理学是我们学习、掌握和发展其它科学技术的重要理论基础。高等工程专科这一教育层次所培养的“工程应用型人才”，正是在生产第一线承担着将这些成果进行传递、应用的责任。

§ 0.2 物质的物理图象

所谓“物质”，是指不以人们的意志为转移的客观实体（也称客体）。自然界中的物质以各种形态出现，千差万别。在物理学研究中，人们常常从不同的角度和需要出发，分别把它们具体划分为不多的几类，并分别冠以各种科学性、习惯性的名称。

一、宏观和微观

从物质的线度（即尺寸大小）来看，目前知道的最小物体要算电子了，尽管至今还没有测出其具体大小，但实验断定电子的直径不会大于 10^{-18} m。目前所知的最大线度要算宇宙了，“宇宙”是人们能直接或间接观测所及的“空间范围”，其曲率半径的下限约为 2×10^{26} m。从电子到宇宙，如果我们以 10 倍作为一个阶梯，那就有 44 级，天地万物的线度均处在这个阶梯的不同梯级上（图 0.2）。图中，普朗克长度约为 10^{-35} m，被认为是最小的长度了，这个极限长度具有重要意义，在比普朗克长度更小的范围内，长度的概念可能就不再适用了。

为了研究需要，人们常以 10^{-7} m（大体处于分子水平）为界限，粗略地把物质分为“宏观”与“微观”两类；线度大于 10^{-7} m 的称为宏观物体；反之，称为微观物体。

宏观与微观，不仅有大小数量的差别，而且在其性质、规律及研究方法上存在着质的差异。例如，宏观物体可以具有任意数值的能量，显示出能量的连续性，在研究方法上着重于研究个体的粒子性规律；而微观物体的能量却只能具有某些特定的量值，呈现出不连续性或量子化特征，其行为具有波粒二象性的规律，因此，在研究方法上，就着重于研究其整体所遵循的统计规律了。

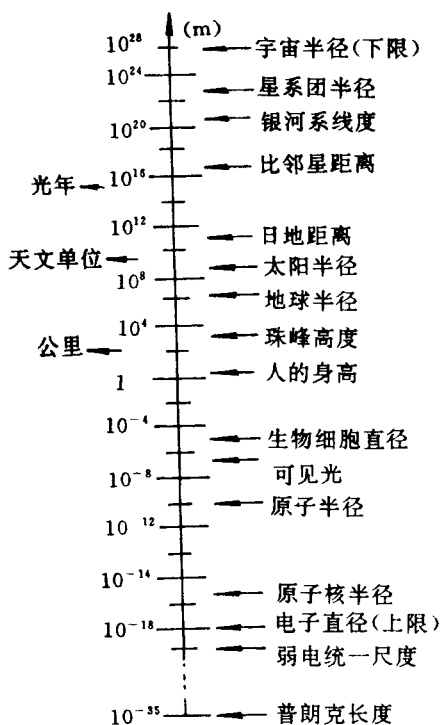
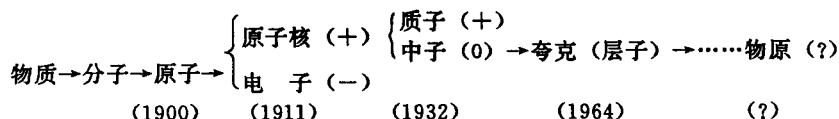


图 0.2 物质的线度阶梯

二、物质五态

通常所说的各类物质，都具有一定的结构层次。这正象我们国家一样，由 30 个省、市、自治区构成（不包括台湾省），每个省（市）又由若干市（县）组成，每个市（县）又由若干区（乡）组成，每个区（乡）又由若干居委会（村）组成……。然而，人们对物质结构层次的认识，是随着科学发展的水平而不断深化的。当前已达到的水平是：



原子、电子、中子等都曾在不同时期被人们看作是构成物质的“基本单元”，故被称为“基本粒子”（其实并不“基本”！），从分子到“基本粒子”统称为微观粒子。至今被发现的“基本粒子”约有 300 多种。自然界中以某种聚集态出现的物质，如气态、液态等，都是由为数众多的微观粒子聚集而成。从这个角度出发，物质大致可分为五态。

1. 固态

由于分子间的引力很大，固态物质具有一定的形状和大小，在不太大的外力作用下，其体积和形状的变化均较小。当外力撤去后能恢复原状的叫做弹性体，不能恢复原状的称为塑性体。

固体分晶体和非晶体两类。

晶体（如金属、金刚石、晶体硅、NaCl 等）有严格的空间点阵结构，组成晶体的微观粒子在空间作有规则的、周期性的排列（有序性）。非晶体（如玻璃、陶瓷、树脂、橡胶等）内部就没有这种严格的规律性，即所谓无序性。

图 0.3 反映了这种差别。其中，(a) 为石英晶体的结构，(b) 为垂直于 $A \rightarrow B$ 方向的一个平面上的投影，它由排列整齐，大小相等的六角形环组成，而 (c) 所显示的就不同了，它是非晶体的石英玻璃的结构，可以看出是不规则的，环有四角形的、五角形的和六角形的，只在最邻近的四面体间，硅离子和氧离子才相互保持着一定程度的规律性，称为短程有序结构。

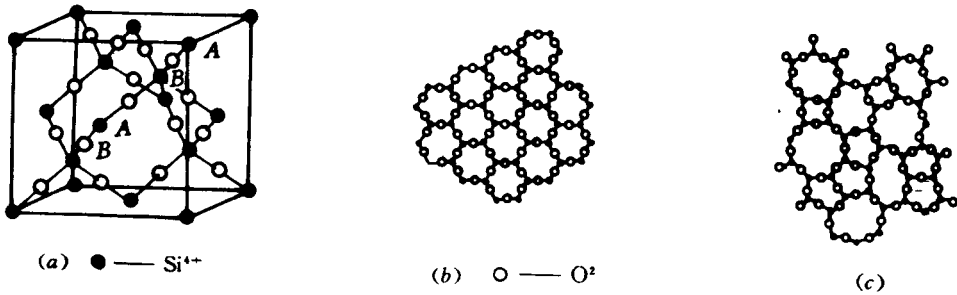


图 0.3 石英晶体和石英玻璃的结构示意图

晶体加热到熔点时，便溶解成液态。而非晶体的溶解过程则表现为随温度升高而流动性逐渐增加，因此，有时把非晶体看作是过冷液体，固体则专指晶体。

近年来，非晶态材料科学发展较快，用某种办法将液态金属急速冷却，“打乱”原来的点阵排列，形成非晶态金属，也称玻璃金属，它比晶体金属具有更好的机械性能和耐磨、耐腐蚀性，因而有更广泛的应用前景。

2. 液态

液体具有一定的体积，但形状则由于它的流动性而随容器的形状而异，在外力作用下，其可压缩性甚小，体积不易改变，但容易发生流动。盛于静止容器中的液体，其液面形成与重力方向垂直的水平表面。

从微观结构看，由于液体分子间距也比较小，故相互作用力也很显著，液体分子虽容易作相对移动（流动），但在极小范围内，仍有着象晶体那样的严格有规则的排列，称为准晶体近程有序结构。当前应用很广的“液晶”，就是近程有序程度相当高的一种液体，它除了流动性外，很多方面都类似于晶体。现在有些电子表、计算器和仪表等就采用液晶显示。

3. 气态

气体分子的间距比固体、液体分子大得多，相互作用很小，所以，气体容易被压缩，分子间的相对位置不固定，几乎不存在“近程有序”，处于一种完全“混乱”的状态，因此，它没有固定的形状和体积，能自发地充满任何容器。

气体分子都在作无规则的热运动，频繁的碰撞是热运动的主要特征，也是产生某些宏观物理现象的本质，例如，气体的压强 p 就是大量气体分子连续碰撞器壁所产生的宏观效果。

在分子物理的研究中，常把具有物理性质均匀一致、且存在分界面的物质的某种聚集态称为“相”，如气相、液相、……。不同聚集态之间的相互转变称为“相变”。气态、液态和固态在一定温度 T 和压强 p 下，可以相互转化。图 0.4 所示的 $p-T$ 曲线称为相图，图中 OC 为汽化曲线， OB 为熔解曲线， OA 为升华曲线，它们把 $p-T$ 图划分为三个区——固相区、液相区和气相区、任一曲线上的各点为两相共存，如 OB 上的某点，表示相应于该点的压强 p 和温度 T 情况下，固液共存。而三条曲线的交点 O 就是三相共存点，称为“三相点”。不同物质三相点的温度和压强不同，表 0.3 列出了几种物质的三相点，其中水的三相点温度 273.16K 被选为开尔文温标的基点。

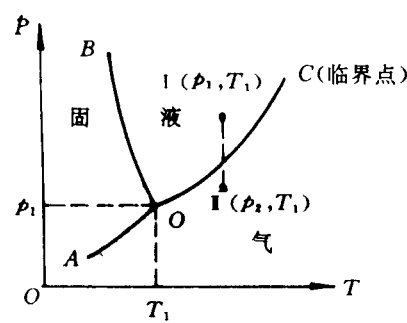


图 0.4 相图

表 0.1 几种物质的三相点

物 质	温度 (K)	压强 (Pa)
H ₂ O	273.16	6.10×10^2
CO ₂	216.60	5.17×10^5
N ₂	63.20	1.26×10^4
O ₂	54.36	1.52×10^2
H ₂	13.84	7.03×10^3

相图表示了三相存在的条件及相互转变的情况，根据相图，可以决定在什么温度和压强下物质处于何种相，并可以控制相变条件，如图中状态 I 为液相，若保持 T 不变，将压强减少至 I，则它就转化为气相了。

4. 等离子态

一个中性原子分解成几个电和正离子的过程叫做“电离”。在几千度以上的高温下，气体中几乎所有的原子都电离成了正离子和电子，这种由高速运动着的正离子和电子组成的物质叫做“等离子体”或“等离子态”，它和气体的结构有很大的差别，通常也称为“物质的第四态”，电弧以及日光灯里的发光气体都是等离子体，宇宙中的绝大部分物质都在天然等离子态存在着。

等离子体中的粒子带有电荷，而且正、负电荷密度几乎相等，故从整体上看，呈现为电中性。由于等离子态中的粒子带有电荷并能自由移动，故在等离子体中电磁力起主要作用，它既有很高的导电性，又有很高的温度和流动性，所以应用前景令人瞩目。在工业上用来焊接、切割、喷涂和炼钢；医学上用作“手术刀”；电力工业上用等离子体作为磁流体发电的工作物质；原子能工业上用它控制热核反应等。