

大学物理学

第一分册

力学 分子物理和热力学

何世湘 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书根据全国高等学校工科物理课程教学指导委员会修改审定的《大学物理课程教学基本要求(送审稿)》编写。全书分《力学分子物理和热力学》、《电磁学》、《波动学》、《近代物理基础》四个分册出版。除主要内容按照基本要求独立编写外,还有一定数量的拓宽和加深的内容,供各种不同类型的学校和专业选用。同时,还配有适量的思考题和习题。本分册包括质点运动学、质点动力学、功和能、动量和动量守恒定律、刚体的转动、气体分子运动论、热力学基础等内容。

本书可作为工科院校大学物理课程的教材,也可作为其它院校非物理专业和夜大学、职工大学各工科专业的教学参考书。

大 学 物 理 学

第一分册

力学 分子物理和热力学

何世湘 主 编

责任编辑 黄开植

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆医科大学印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.5 字数: 258千

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数: 1-17800

ISBN 7-5624-0028-8 统一书号: 13408·10

标准书号:

O·8

定 价: 1.55元

序 言

作为一门科学，物理学并不直接着眼于经济效益，而只从事各种物质最基本的运动现象和规律的探索，所以物理学是人类精神文明中文化科学知识的一个组成部分。但它一旦和其他科学或工程技术相结合，就可采取它的成果，开拓为各种应用，乃至掀起一次次工业革命的浪潮。因此，物理学又是创造物质文明的一个重要基础和源泉。尽管近代科学门类繁多，工程技术日新月异，物理学本身也在不断发展，但物理学仍继续保持着在精神和物质文明建设中既有的地位和作用。

文化革命以后，我国工科大学物理经过人们的再认识后，理所当然地比过去更为受到重视。现在工科大学物理教学改革已进入一个新的阶段。即以教材来说，大家都希望能在统一的基本要求下，有各种不同风格、不同重点和深度的教材，以供不同学校、不同专业选用。且自实行改革和开放政策以来，我国科学技术力争先进，为此，工科大学物理不仅要求确保必要的传统基本内容，尤其要求尽可能加强近代物理内容。这就在物理学教师们面前提出了编写新教材的任务。

教材编写是一件严肃而繁重的科学工作。由于课程内容和授课时数之间的矛盾十分突出，教材内容轻重繁简的布置，深浅难易的处理，都需要编写人的反复琢磨和实践。而如何在短时间内融汇教师们长期积累的经验，有效而又合理地纳入一部教材，显然又是一个重要的组织问题。西南地区十一所有关工科院校的教师同志们早有编印适用于本地区各学校的教材的愿望，所以一经倡议，就于1986年组织起来，合力编写并出版了这部《大学物理》教材。这在西南地区算是一个创举。

这部教材最显著的特点就是切实加强了与近代工程技术密切相关的物理基础，但由于处理上花了很多功夫，即或是较深较难的内容，估计对大学一、二年级学生，接受起来也不会有大的困难。为了说明

这点，可举教材中狭义相对论一章为例。此章从分析迈克尔逊—莫雷实验入手，先将光速不变、相对性原理和有关重要概念如同时性、时间膨胀和长度收缩等一一讲清。随之很自然地就得出洛仑兹时空变换式和速度合成法则，然后扩展去讨论相对论动力学和电磁规律，以及其他一些问题。由于前面基本概念垫底厚实，所以后面说明较难的问题，如双生子问题，也易于为人理解。

逐章读去，就可以知道，书中原理之所以易于接受，就在于各部分的关键性概念，如能量、动量、叠加原理，场的概念，波动的特征，统计行为，时空相对性和物理量的量子化，都在一开始就作为重点问题来讲述。

统观全书，不但重视传授物理知识，而且注意培养学生学习和工作的能力。在传授知识方面，除研究对象上的统一性（统一为物质运动）和多样性（分为力、热、电磁、波动等多种运动形式），规律上的概括性（能量守恒、叠加原理、时空相对性、量子规律等）和特殊性（统计规律、波动的特征、适用于低速运动的牛顿力学、宏观物体运动不显量子效应），都随课程进展，逐处指明以外，特别还强调了方法上的连贯性和应变性。例如力学中一些处理问题的方法继续使用于电磁学、波动学以至量子力学。但各部分又因研究对象的变化，所用的主要方法和观点又大不相同。这些关节在各部分开始都讲得十分清楚。学生掌握了这个纵横关系的脉络，就可了解关键性概念的基础上，把全部普通物理知识融会贯通起来。

在培养能力方面，教材力求培养学生的物理思维能力。这包括观察和描述物理现象，进而抽象、概括物理本质的能力；自学和独立获取新知识的能力（为此，教材中备有一些学生阅读材料）；用数学表述物理过程和规律的能力，计算解题的能力以及用数量级估算的能力。这在讲述的内容上，例题、习题的挑选和安排上，都显得费过很多心思，要求学生在听课和研习过程中，循序渐近，不断熏陶，在教学各环节的配合下，最后形成这些能力。

教材中还穿插若干物理学史的段落。这可以使生活跃思想，扩大眼界，提高学习兴趣。也有利于他们在知识和能力增长的同时，养成辩证唯物主义世界观。

所有这些，对工程技术人员来说，都是到处需要，永不过时，终身发挥作用的。

选用这套教材的教师们，讲授中有了依据，自不碍其灵活使用，更好地临场发挥。因为编写人都在同一地区，教材使用几年以后，再商量修改，也是比较方便的。

虽然国内外工科大学物理教材迄今已为数不少，中国西南地区十一所工科院校的教师同志们合编的这部具有地区和时代特色的《大学物理》，无疑是教材建设中一次很有意义的尝试，也是对工科大学物理教学改革的一项贡献。

当然，大而言之，这也绝不能说是与精神和物质文明建设无关的劳动成果罢！

刘之郎

1986年11月，于重庆

绪 论

我们生存的世界连同我们人类自身都是由物质构成的。所有的客观存在，大到日月星辰，小到原子、分子乃至原子核、质子、中子、电子、光子等等都是物质。严格地说来，物质可以分为两大类，一类是实物物质，其基本特点是有质量，而静止质量不为零： $m_0 \neq 0$ ，例如一切由原子分子构成的物质都是实物物质；另一类是场物质，其基本特点是有质量，但静止质量为零： $m_0 = 0$ ，例如，光（电磁波）就是场物质的一种。

不论哪种物质，其最基本最本质的特征是运动。一切物质都在永恒地运动着；自然界的一切现象都是物质运动的表现。我们这里所说的运动，是指广义的运动，包括自然界中所发生的一切变化和过程。物体位置的变化是运动，化学反应是运动，生命过程是运动，天体的演变、人类的思维……无一不是运动。因此，物质和运动是不可分的。我们既不能离开运动来谈物质，也不能离开物质来谈运动。

当然，广义的物质运动可以按其特点分为各种不同的运动形式；各种不同形式的运动，既要遵从普遍（广义）运动的规律，也要遵从自己的特有的规律。而对于不同运动形式的研究，就形成了不同的学科。

我们知道，一切自然科学都是以认识物质世界的基本属性、研究物质运动的基本规律为对象的。物理学所研究的，是物质运动最基本、最普遍的形式，这些运动形式包括：机械

运动、分子热运动、电磁运动、原子、原子核的内部运动这四类。对机械运动的研究构成了力学的主要内容；对分子热运动的研究是分子物理学、热力学的内容；对电磁运动的研究是电磁学的主要内容；对原子、原子核内部运动的研究则是近代物理的内容。

经典物理学是以平常速率运动的普通大小的物体为研究对象的，它包括牛顿力学、热力学和电磁学。当物体的速率接近于光速时，必须用相对论物理学代替经典物理学；物体的大小约为 10^{-10}m （接近原子大小）时，必须用量子物理学代替经典物理学。亚原子大小（大小为 $10^{-15}\sim 10^{-10}\text{m}$ ）的物体，且速率接近于光速时，只有相对论量子物理学才能适用。当然，这些理论之间并没有明显的界限，而是相互交错的。当物体大小约为 10^{-15}m （接近原子核大小）时，出现了一些至今还没有全部为人们理解的使人困惑的现象。同样，在非常大的范围内（约 10^{25}m ），很重要的宇宙学问题至今还没有得到完善的解决。

由于物理学是以物质最基本最普遍的运动形式为研究对象的，这就使得物理规律具有极大的普适性。数百年来，它一直是各个自然科学的基础，工程技术的柱石。事实上，有许多工程技术（例如电工、无线电等）本身就是从物理学派生出去的。

而且，任何一个工程技术问题，就其本质而言，都可以分解为一系列最基本的物理问题。因此，物理学上的重大突破必然导致工程技术发生革命性的变革，乃至诱发新的工业革命，极大地促进人类在物质文明和精神文明方面的巨大进步。回顾历史，我们可以看到，以近代大工业生产为代表的

物质文明是和物理学的发展分不开的。物理学发展史中的三次大突破是作为三次工业革命的先导和前奏而出现的。

十七八世纪，由于牛顿力学的建立和热力学的发展，不仅有力地推动了其他科学技术的发展，而且适应了蒸汽机的研制和机械工业发展的需要，引起了第一次工业革命，极大地提高了社会生产力，使人类首先从繁重的体力劳动中解放出来。到了十九世纪，在法拉第一麦克斯韦电磁理论的推动下，人们成功地造出了电机和各种电器，使得人们应用电能成为现实，从而引起了第二次工业革命，使人类社会步入电气化的时代。还在电磁学的理论和实验发展处于初级阶段的时候，无产阶级的革命导师马克思就以其犀利的眼光密切地注视着它的发展，并以极大的革命热情指出“电气的火花”必将取蒸汽机而代之，成为推动人类社会进步的动力；列宁在其“共产主义等于苏维埃加电气化”的著名公式中，热情地讴歌了电磁学在人类社会进步中的巨大作用。二十世纪以来，由于相对论和量子力学的建立，人类对原子、分子、原子核的认识日益深化。在此基础上，人们逐渐实现了核能的开发和应用；由于量子力学、微观理论的成果，直接促进了半导体、激光等新兴技术的发明，从第一支晶体管的发明（1948年）到计算机的出现和普及（这使得人类有可能从繁重的脑力劳动中解放出来），引起了第三次工业革命，它以核能的开发利用，电子计算机、激光技术的普及，以及空间技术的开发为其标志，使人类进入信息时代。从这三次工业革命，我们可以看到物理学的重要性。我们是不是可以这样说：如果没有物理学作为开路先锋、实现三次重大的突破，这三次工业革命的实现是不可想象的，或许人类社会至今还

会停留在蒙昧野蛮的中世纪呢！我们确信，事实还将证明，物理学的进一步发展，必将对人类生活和自然科学的发展继续产生巨大而深远的影响。【注1】

近百年来，特别是第二次世界大战以来，许多物理学家把物理学的理论、研究方法和实验手段用来研究自然科学的其他领域，从而形成了许多边缘科学。这是物理学开拓其新领域的横向发展。如量子力学渗透到化学，就形成了量子化学；量子力学渗透到生物学而形成了量子生物学；此外还有物理仿生学、遗传工程学等等。只要把物理学的理论和研究方法应用于某一学科，就会使这门学科的研究获得突破性的高速发展，这几乎成了一条普遍规律。比如生物学，以前仅停留在研究细胞里的蛋白质的阶段上，对于核酸之类的大有机分子也只能用化学方法进行定性研究。一旦应用了量子力学，问题就一下子深入到了核酸分子内部，对核酸的分子结构、排列、形状等更为深化更为全面的问题进行了更为本质的研究。所以，物理学向其他自然科学的渗透推动了整个自然科学的发展。

当今物理学发展的另一趋势是物理学仍以极高的发展势头沿着两个前沿阵地展开，向着纵深发展。这两个前沿阵地就是粒子物理学和天体物理学。现在，世界上杰出的物理学

【注1】 自1986年下半年以来，各国物理学界为提高超导材料的转换温度开展了激烈的竞争。由于有关超导材料物理性能的研究、测试技术等方面的突破，目前已实现的最高转换温度，展现出了十分诱人的前景：超导技术投入实用而引起能源工业、电力、交通工业发生巨大变革已经为期不远了。截至87年4月为止，我国物理学界对超导的研究已处于先进行列。

家大都在这两个领域中从事创造性的研究工作。

粒子物理学以量子场论作为理论基础，以高能加速器、宇宙射线探测为其实验手段，研究基本粒子的内部结构，它们的相互作用和相互转化的规律。目前，这一领域的研究十分活跃，人们已经发现了不同层次的许多粒子。中微子是一种穿透能力极强的基本粒子，它可以毫不费力地穿过地球。由于只要中微子具有质量，那怕是极小的质量，对于粒子物理理论乃至天体物理学都有极为重要的影响，因此整个粒子物理学界对于中微子的实验和理论研究都十分重视。

天体物理学是研究天体形成和演化的一个物理学分支。弄清宇宙之谜，是自有人类以来就有的人类夙愿。在我们中国，自古就有盘古开天劈地的美丽的传说。天体物理学在广义相对论的理论基础上，运用强大的天文望远镜及射电技术、航天技术，对宇宙天体进行观察研究，并根据观察结果对天体的演化进行理论分析。根据对已观察到的黑洞、中子星、红巨星等异常星体的研究，人们现在对于宇宙的起源和演化问题有一个被称为“宇宙大爆炸”的理论。按照这个理论，宇宙最初是一个具有极大能量的象兰球那么大的火球，它爆炸开来，能量就分散开了，并向四周扩散。在扩散过程中，各部分能量分别聚积在一起，就形成了恒星、星系等等。天体物理学家们推算，大爆炸发生在距今约200多亿年前；现在已有实验观察表明，宇宙还在继续膨胀之中。它是永远膨胀下去呢，还是因为万有引力的作用当其膨胀到一定程度时又要收缩，最后又变为一个火球呢？科学家们还不能回答这个问题。目前有一种理论认为，这个问题取决于中微子有无质量。而中微子有无质量的问题正是粒子物理学的基本问题之一。

由此可知,物理学的这两个前沿虽然研究的是两个极端,一个研究超微观(粒子物理深入到亚原子层次),一个研究超宏观(天体物理扩张到宇宙天体尺度),但二者仍然相互渗透,互为补充。这是物质统一性的又一个强有力的佐证。

综上所述,目前物理学不论是向横向发展还是向纵向进军,都有着广阔无垠的发展前景,仍然保持着极高的发展势头。在可以预期的将来,物理学仍将一如既往地继续保持其在自然科学中带头学科的地位。有志于物理学并决心为之献出毕生精力的青年学生,是可以大有作为而决不会感到无用武之地的。

下面,我们来谈谈物理学的研究方法。

首先是用理想模型来简化研究对象。作为研究对象的物体,一般都是复杂而又具体的,在对给定研究对象的运动情况作某一层面的研究时,我们可以根据实际情况,对于影响问题的诸多因素作具体分析,找出哪些因素起主要作用,哪些因素起次要作用,哪些因素只是偶然地起作用,哪些因素是基本上不起作用的。这样,为了突出主要矛盾,我们可以只考虑起主要作用的那些因素,最多再考虑起次要作用的那些因素,而坚决摒弃偶然地起作用的更不用说基本上不起作用的因素,这样就使问题大大地得到了简化。作了这样简化的“物体”已经不再是原来的具体的物体了,而是简单化了的抽象化的“物体”——理想模型。应用理想模型找出其运动的规律性的东西,更本质地反映了可以当作同一理想模型的一大类物体的共同的规律,因此这是一种重要的科学分析、科学研究的方法。大家熟知的质点、刚体、完全弹性体、理想气体等都是重要的理想模型,今后我们还要学习一些理想模

型。

实验既是物理学理论发展的强大动力和源泉，又是检验物理学理论正确与否的唯一标准。我们这里指的实验，是指在人工控制下重复地出现的物理现象，借以对该现象进行全面系统的、仔细的、反复的研究，经过分析、抽象和概括，找出其规律性的东西，从而建立物理定律，进而形成物理理论；而物理理论的正确与否，必须再回到实践中去经受检验。物理学是一门实验学科，同学们必须十分重视物理实验，对它绝不能掉以轻心，一定要克服重理论轻实践的倾向。

正确的物理理论能预言新的实验，对新的物理实验乃至工程技术的发展有十分重要的指导作用。我们强调实验的重要性时，决不是说物理理论不占有重要地位。物理学理论是通过许多不同的但相互有关的现象的研究，从一些已建立起来的定律中，经过严格的数学分析概括而得出的系统化的知识。体系严谨的理论往往可以从少数几条比较简单的基本原理出发，说明一定范围内的各种现象，并且还能在一定程度上预言未知现象的存在，指导新的更高阶段的实践。例如，麦克斯韦的电磁场理论，不仅能理解当时已知的电现象和磁现象之间的联系，而且预言了电磁波的存在及其传播速度，二十年后方为赫芝振子实验所证实，又过了二十年（本世纪初）意大利的马可尼成功地把电磁波的发射和接收转为实用，始有无线电学及无线电产业的建立。

最后，我们来简单地介绍一下学习大学物理学的方法。

首先，要十分重视物理概念。物理概念是构成物理学大厦的骨架，同学们在学习大学物理时一定要十分重视对物理概念的消化和掌握，力图建立起物理现象的清晰的物理图

象，这对于全面系统地认识物理学的基本原理，学会研究问题的方法，在科学实验、计算能力和抽象思维能力方面接受严格的基本训练，都是至关重要的。

其次，是十分重视用数学手段（特别是高等数学）表述物理规律并进行计算的能力。如果说物理概念是物理学宏伟大厦的骨架的话，可以说数学就是连结这些骨架以形成大厦的纽带。在大学阶段，我们不主张脱离数学去孤立地理解物理概念，即不主张搞无数学的物理，这样将使我们的认识无法深化。我们的同学要逐步养成用高等数学这一强有力的工具去处理物理问题的习惯，以逐步提高分析问题和解决问题的能力，为适应四个现代化的要求，为赶超世界先进水平打下必要的物理基础。

第三，我们一定要认识到任何物理定律，由于实验条件、实验仪器精度的限制，总有一定的近似性和局限性，即总有一定的适用范围，我们决不能将任何物理定律作无限制的外推，将其绝对化。

由于大学物理涉及到了物理学的绝大部分分支，大家学习的时候可能感到内容庞杂，“换幕”频频，似乎大学物理是由力、热、电、波（光）、近等几个块状物拼凑而成的。但是，如果我们注意到它们在内容上的统一性（当然也不能忽视其多样性）规律上的概括性（自然也有其特殊性），以及方法上的连贯性（还应有应变性），我们就能认识到五光十色、丰富多姿的各类物理现象是一个简洁、和谐、对称、完美的整体。各类物理现象都有其丰富的个性，决无千人一面之嫌；然而又相互渗透，错落有致，有着密切的联系。大家有幸涉脚其间，刻苦攻读，寻找大自然的规律，探索大自然的奥秘，必定趣味盎然，乐在其中。

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第一部分 力 学

第一章 质点运动学

§ 1-1 质点运动的描述	(4)
一、位置矢量	(4)
二、位移	(7)
三、速度	(9)
四、加速度	(12)
§ 1-2 直线运动	(16)
一、用微分的方法求质点的位置、速度和加速度	(17)
二、用积分的方法求质点的运动方程	(18)
三、匀变速直线运动的基本公式	(19)
§ 1-3 曲线运动	(22)
一、运动叠加原理	(22)
二、抛体运动	(23)
三、曲线运动中的法向加速度和切向加速度	(27)
四、圆周运动的角量描述	(31)
* § 1-4 相对运动	(35)
思考题	(39)
习 题	(42)

* 为按《大学物理课程基本要求》拓宽和加深的内容

第二章 质点动力学

§ 2-1 牛顿运动定律	(48)
一、牛顿第一运动定律	(48)
二、牛顿第二运动定律	(49)
三、牛顿第三运动定律	(52)
§ 2-2 力的概念 力学中几种常见的力	(53)
* 一、四种基本的相互作用	(54)
二、力学中几种常见的力	(56)
§ 2-3 力学中的单位制和量纲	(59)
一、基本单位和导出单位	(59)
二、力学的单位制	(60)
三、量纲	(61)
§ 2-4 牛顿运动定律的应用	(62)
一、物体的受力分析	(63)
二、如何运用牛顿运动定律立式求解	(64)
§ 2-5 惯性参照系 力学的相对性原理	(72)
一、惯性参照系	(72)
二、力学相对性原理	(74)
三、伽利略坐标变换	(75)
四、经典力学的时空观	(77)
§ 2-6 非惯性系中的力学定律 惯性力	(78)
思考题	(81)
习 题	(83)

第三章 功和能

§ 3-1 功和能的概念 动能定理	(90)
一、功和功率	(90)

二、能量	(98)
三、动能定理	(99)
§ 3-2 势能	(102)
一、势能的定义	(102)
二、有关势能的几点说明	(103)
三、势能曲线	(105)
§ 3-3 功能原理 机械能守恒定律	(107)
一、功能原理	(107)
二、机械能守恒定律	(108)
三、能量守恒与转换定律	(108)
思考题	(115)
习 题	(117)

第四章 动量和动量守恒定律

§ 4-1 冲量 动量和动量定理	(122)
一、冲量	(122)
二、动量和动量定理	(124)
§ 4-2 质点组动量定理 动量守恒定律	(131)
一、质点组动量定理	(131)
二、动量守恒定律	(133)
§ 4-3 碰撞	(137)
一、对心碰撞	(138)
二、斜碰	(143)
* § 4-4 火箭飞行原理	(145)
一、火箭飞行原理	(146)
二、多级火箭	(148)
思考题	(150)

习 题	(151)
-----------	---------

第五章 刚体的转动

§ 5-1 刚体的平动、转动和定轴转动	(155)
一、刚体	(155)
二、平动和转动	(156)
三、定轴转动	(158)
四、角速度和角加速度矢量	(158)
§ 5-2 转动惯性及其量度	(159)
一、转动惯量的定义	(159)
二、转动惯量的计算	(162)
§ 5-3 力矩和力矩的功	(166)
一、力矩	(166)
二、力矩的功	(169)
三、动能定理	(170)
§ 5-4 转动定律	(171)
§ 5-5 角动量定理 角动量守恒定律	(173)
一、质点的角动量定理 角动量守恒定律	(173)
二、质点系角动量定理和角动量守恒定律	(177)
* § 5-6 进动	(186)
思考题	(189)
习 题	(191)

第二部分 分子物理学和热力学

第六章 气体分子运动论

§6-1 平衡态和平衡过程 理想气体状态方程	(200)
------------------------	---------