

高等学校试用教材

物 理 学

上 册

复旦大学《物理学》编写组编

人 民 教 育 出 版 社

53
410.1
=1

高等学校试用教材

物 理 学

上 册

复旦大学《物理学》编写组编

人民教育出版社

编写说明

本书是根据1977年高等学校理科物理教材会议草拟的化学类专业物理学教材编写大纲编写的。全书分上、中、下三册，上册包括力学、热力学与分子物理学二篇，中册包括电磁学一篇，下册包括振动与波、光学、量子物理基础三篇。

根据大纲的精神，在编写过程中企图贯彻以下几点：

1. 注意物理学作为一门基础科学自身的系统性，把重点放在阐明一些基本概念、基本原理上。

2. 结合化学专业的特点和实际需要，为后继课作一定的准备。

3. 注意充分运用学生已掌握的数学工具。考虑到化学类专业是在二年级上学期开始开设物理课程（有些学校在一年级下学期开始），学生已有一定的高等数学基础，在内容的处理上较多地使用了矢量运算和微积分运算。

在内容安排上，第一篇着重写了三个守恒定律。第二篇的重点放在分子运动论，着重分析分子运动的统计规律。流体力学则注意于应用，在阐述流体最基本的性质规律的同时，注意联系化工方面的应用。

此外，还考虑到化学类不同的专业对物理教学的要求不尽相同，各学校情况也互有差异。编写时，除了基本内容以外，还写进了一些属于提高性质的内容，用小字排印，供讲课选用或参考，不作为本课程的基本教学内容。

本书由蔡怀新同志主编，上册主要由蔡怀新、俞鸣人、黄发泮、李惜惜等同志执笔，苏汝铿、郑广垣、郑永令、范膺等同志参加了部

分修改工作,杨莉敏、刘伟民两同志画了全部插图。

本书由南开大学主审,参加审稿的还有北京大学、北京师范大学、南京大学、辽宁大学、山东大学、中山大学、云南大学、广西大学、开封师范学院、四川师范学院、南充师范学院等兄弟院校的同志。审稿同志都认真审阅了原稿,并提出了不少改进意见,对此我们表示衷心感谢。

《物理学》编写组

1978, 8

34505

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 力 学

引言	5
----------	---

第一章 质点的运动	8
-----------------	---

§ 1.1 质点	8
§ 1.2 运动学	11
§ 1.3 几个典型的质点运动问题	26
§ 1.4 牛顿运动定律	38
§ 1.5 力学单位制 量纲	50
§ 1.6 动力学问题示例	54
练习题	62

第二章 功和能 能量守恒定律	68
----------------------	----

§ 2.1 功	70
§ 2.2 动能	76
§ 2.3 势能	78
§ 2.4 机械能守恒定律 能量守恒和转换定律	90
练习题	93

第三章 动量 动量守恒定律	103
---------------------	-----

§ 3.1 动量 力的冲量 动量定理	103
§ 3.2 动量守恒定律	106
§ 3.3 碰撞	114
练习题	127

第四章 角动量守恒定律 刚体的转动	131
-------------------------	-----

§ 4.1 角动量和角动量定理	133
§ 4.2 角动量守恒定律	140
§ 4.3 刚体的绕轴转动	146
§ 4.4 角动量守恒的几个实例	156

§ 4.5 进动	159
§ 4.6 守恒定律与对称性	161
练习题	165
第五章 流体力学	168
§ 5.1 流体的属性	168
§ 5.2 作用在流体上的力	175
§ 5.3 静止流体中的压力	180
§ 5.4 流体运动的描述	190
§ 5.5 定常流的连续性方程	193
§ 5.6 伯努利方程及其应用	197
§ 5.7 伯努利方程在实际管流中的推广	209
练习题	215

第二篇 热力学与分子物理学

引言	219
第六章 热力学简介	221
§ 6.1 平衡态 温度	221
§ 6.2 理想气体状态方程	225
§ 6.3 热量和功 热力学第一定律及其对理想气体的应用	230
§ 6.4 循环过程 卡诺循环	240
§ 6.5 可逆过程和不可逆过程 热力学第二定律	244
练习题	253
第七章 气体分子运动论	257
§ 7.1 气体分子运动论的基本概念 压强公式和温度的统计意义	257
§ 7.2 统计规律 气体分子按速率的统计分布和玻耳兹曼分布律	263
§ 7.3 能量均分定理 气体的比热	277
§ 7.4 气体的输运过程	282
练习题	294
第八章 气体、液体、固体和相变	296
§ 8.1 实际气体	296
§ 8.2 液体	309
§ 8.3 固体	317
§ 8.4 气液两相的平衡和转化	323
§ 8.5 固液、固气两相的平衡和转化	329
练习题	331

附录 I 矢量分析(一)	334
§ I.1 矢量定义	334
§ I.2 矢量的合成和分解	335
§ I.3 矢量的标积	338
§ I.4 矢量的矢积	341
§ I.5 矢量的微分	343
§ I.6 矢量的极坐标分量式	345
§ I.7 标量场和矢量场 梯度	349
§ I.8 矢量的曲面积分 散度	351
§ I.9 矢量的线积分 旋度	353
附录 II 国际单位制	357
II.1 国际制(SI)基本单位	357
II.2 力学的国际制(SI)单位	358
II.3 热学的国际制(SI)单位	359
II.4 物理化学与分子物理学国际制(SI)单位	360
II.5 国际制(SI)词冠	361
附录 III 常用物理常数	362

绪 论

我们的物质世界是处在永恒的运动、发展之中。天体的演化运行,生物的生长与进化,以至于我们人类的思维活动,都是物质运动的各种表现。人们在对外观世界的种种运动形态及其相互转化的研究中,根据它们各自特有的矛盾,区分为自然科学的各门学科。物理学就是在人们对物质的一些最基本的运动形态,例如机械运动、热运动、电磁运动…的研究和应用中发展起来的。

人们为了要在自然界里得到自由,就要用自然科学来了解自然,克服自然和改造自然。在观测物候天象、航海、灌溉、使用机械等各种实践活动中,我国和希腊等古代文明国家都积累了不少物理知识。但物理学之成为一门学科,还是在近代科学在西欧兴起以后,并且最初发展的只是其中几个部分。在力学方面,伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)等先驱者,运用科学实验和理论分析的方法,取得了成果,进行系统研究的条件就逐步趋于成熟。最后通过牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)的总结,建成了力学体系。光学、热学、电磁学等的建立较迟,它们发展成为体系,已经是在十八、十九世纪。早期自然科学家的活动都不局限于一门学科,物理、化学等学科之间也还没有分明的界线。牛顿最著名的成就是在物理、数学上,但他对化学也极为爱好,在他的《光学》一书中曾对化学现象作过不少猜想,同时代的玻义耳(Robert Boyle, 1627~1691)常被看作化学家,但他在物理上也有不少贡献。物理和化学虽然有不同的特点,但它们的联系始终是使人们深感兴趣的。

工业革命以后,物理学发展的步子大大加快了。作为一门基础学科,它对技术的发展起了巨大作用,同时也为生产的需要所推

进。热学的研究受到热机发展的推动，电磁学的研究则促成了后来的电气化。这时候分门别类的发展更趋于完备。局限于学科内部的研究，使形而上学的观点有所滋长，但科学本身的发展也终于使人们对学科之间的联系看得更清楚了。能量守恒和转化的发现，促进了这种认识大踏步前进。在它的基础上建立起来的热力学在物理和化学两方面都成为重要的理论基础。电学从一开始就和化学相联系，形成了电化学，电子存在的最早的迹象就是在法拉第 (Michael Faraday, 1791~1867) 的电化学研究中出现的。原子学说最初原是物理学家鼓吹的，但却在化学上真正得到了确立，然后又又在物理学中结出了丰硕的成果。光谱也是物理学上先发现，化学家发现了它是元素的标志，给以重要的应用和发展，最后又成为物理上探索原子结构的重要线索。这样的互相联系与互相促进在物理学史上是屡见不鲜的。

本世纪以来，物理学以深入微观领域为标志，在各个方面都取得了更大的进展，进入了一个新的时期。在此基础上产生了无线电电子学、原子能、激光等一系列有重大意义的新技术学科。技术的发展又为它提供了研究的新手段，使探索太空和基本粒子内部结构都成为可能。在理论方面出现了相对论和量子论。在量子论的推动下，微观领域的许多情况弄清楚了。过去全凭经验摸索去认识的许多物理、化学性质，现在都从微观结构上得到了理解，取得了研究和利用它们的自由。这也使物理学和相邻学科之间形成更为密切的联系，使它充分发挥了基础学科的作用。现代物理学的发展前沿，基本粒子物理、核物理、电子原子和分子物理、固体物理、光学、声学、等离子体物理、天体物理等分支学科几乎都已和相邻学科结合起来，特别是和化学方面相对应的边缘学科并肩作战。在量子力学的基础上建立起来的量子化学，和统计力学一起，已成为现代化学的理论基础。实验方面，物理上的新成就包括各

种波谱、衍射方法已在化学上普遍发展。今天的化学工作者,不具备较深入的物理基础知识是难以开展工作的。在这同时,物理学也受到了化学和其它学科的很大影响。在过去,物理学比较偏重于研究基本运动规律,而化学则注意于研究物质结构。在深入原子内部以后,物理学的情况也有了很大变化,物理、化学都集中许多力量于物质结构的探索。化学着重于与分子层次有关的问题,而物质结构的其它层次则主要是物理学研究的课题,但也都和化学有联系。原子、原子核、固体等方面,物理和化学的研究都是交叉进行的,甚至在天体和基本粒子等较远的层次,近年来也有分子天文学、介子化学等边缘学科活跃发展起来。分子层次地位的重要不仅是由于化学,而且也因为对生命的研究有重要意义。在这方面,化学、物理学都和生物学结合起来,而化学的作用一直走在物理的前头。可以说,从学科的基础来看,有些在过去只看作是物理学的基础的东西,现在已逐步发展为化学、生物学、地学、天文学等相邻学科的共同的基础,而物理学自身的基础也在发展演变。

本书作为一门物理基础课的试用教材,所要介绍的内容大部分是二十世纪新物理学建立以前已经成熟的所谓经典物理的基本原理。表面上看起来这些内容似乎与现代物理的学科划分很不相同,但这并不意味着它们的内容已经过时。力学、热学、电磁学、光学的基本原理和基础知识至今仍然是物理学各学科发展的基础,在化学上也有广泛的应用,而对于学习现代的新理论,如本书最后一篇初步介绍的量子论等,它们也是不可缺少的阶梯。只是我们今天学习的侧重点有些已和过去不同,在教材中介绍经典物理的内容时,就需要注意与今后所要学习的微观理论联系起来。

在物理学史上,最初看起来并无联系而后来找到共同基础的事例是很多的。行星的运行和重物的落地曾经被认为是截然不同的现象,在力学开始发展以后,经过一百多年观测研究才终于在引

力理论中把它们统一了起来。电、磁和光长期以来也被当作不同的东西，到十九世纪末才发现了它们的共同性，概括成为统一的电磁场理论。可是在找到了这一统一规律以后不久，却又发现了它们的新的量子性的特点，最后发展起了不同于原有经典物理理论的量子论。物理和化学这两个最初独立发展的学科，到今天已经有了非常紧密的联系，可以预见，这种情况还会加速发展。在物理学的基本原理中，可以在化学中找到联系的地方也是很多的，可是限于我们的水平，书中对这方面的介绍很不全面。我们只能希望读者在学习中把自己掌握的化学基础知识同物理基础知识结合起来，善于在不同的领域中看到联系而在同类的现象中又注意到不同的特点，更好地掌握必要的物理基础知识，以适应当前科学发展形势的需要。

第一篇 力 学

引 言

物质世界多种多样的运动形式中，最简单，最普遍，因而人们最早研究的一种运动形式，是物体之间的位置变化。一个物体相对于其它物体，或物体的一部分相对于其它部分的位置变化，这样一种运动形式称为机械运动。天体的运行，车辆、飞机的行驶，水、空气的流动等等，都是常见的机械运动的例子。研究物体机械运动规律的学科称为力学。

由于机械运动是最简单、最普遍的一种运动形式，人们在生产实践和社会活动中大量接触到它，因而力学在各种自然学科中最富直观性，发展也最早。古代的中国、埃及、巴比伦的劳动人民就已从生产实践中总结了大量有关力学的基本知识，创造发明了不少利用这些原理的简单机械，完成了许多著名的工程、建筑，开发了自然界，推动了生产力的发展。古代有关力学的知识虽然十分丰富，但是力学取得重大发展，成为一个有系统有完整理论的学科，则是伴随着资本主义生产力的出现和发展而实现的。约在十六世纪末，在欧洲，资本主义生产关系发展的结果，航海、纺织、机械制造等生产活动有了较大较快的发展，较之封建时代为先进的生产技术，提供了前所未有的科学实验手段，因而促进了力学规律的研究；加之许多科学家的努力，其中特别是开普勒（Johannes Kepler, 1571~1630）、伽利略、笛卡儿（René Descartes, 1596~1650）、惠更斯（Christian Huygens, 1629~1695）等人，把力学规

律的研究与科学实验和观察更紧密地结合起来，为力学的进一步发展开阔了道路，准备了丰富资料。在这个基础上，牛顿对前人的工作进行分析、总结、概括，最后得出了几条基本定律，奠定了经典力学或称为牛顿力学的基础。理论的建立，推动了力学研究的深入，同时它的运用范围也越益扩大，使生产技术有了更高的发展。在许多物理学家的辛勤努力下，力学的理论和体系越趋严密和完备；到了十九世纪末叶，一个基本完整的力学体系被建立了起来。

随着力学的发展，相应地扩大了唯物论自然观的影响，同时在哲学上则出现了机械的形而上学的唯物论。它在和封建的经院哲学斗争中起了很大的进步作用。然而，物质世界的运动形式并非仅仅机械运动这一种，在它的基础上建立的哲学观点必然有其片面性。在十九世纪末叶，由于力学的充分发展，不少自然科学家得出了错误结论，以为一切自然现象都可用力学的概念和规律来解释，任何物质运动形式都可归结为机械运动，而抹杀了各种运动形式的质的区别，这种观点阻碍了科学的进一步发展。

十九世纪末叶以来，随着生产和科学实验的不断进步，出现了一些新的学科领域，这是经典力学体系所不能包容的。旧的经典力学所研究的仅是由大量原子所组成的宏观物体（如机器、车辆、天体之类），并且物体运动的速度远比光速（ 3×10^8 米/秒）小得多。因此，当人们研究到分子、原子层次以下的微观世界或近于光速的高速运动物体时，经典力学的规律就不适用了。生产和科学的进步，充分说明了这一事实，经典力学的理论和其它学科一样，它所说明的一些规律，仅是物质作机械运动的一部分规律，因之有一定的适用范围，有的规律范围广一点，有的狭一点，但绝不是普遍适用而无所不包的，它是绝对真理的长河中的一个片段，将随着生产和科学的进步而不断发展。

力学中,研究物体运动的位置随时间变化的关系的内容,属于运动学,而研究物体在运动中和周围其它物体的相互作用关系的则是动力学。在研究机械运动规律的各个不同侧面中,力学又分成了许多分支,例如研究天体运行规律的天体力学,研究水、空气流动规律的流体力学,等等。在本篇,我们将介绍有关质点、刚体及流体运动的一些基本概念和规律。其中包括在物理学中有较广的适用范围和重要作用的能量守恒、动量守恒和角动量守恒等定律。这些内容在力学中是最基本的部分,是必须很好地掌握的。

第一章 质点的运动

力学研究的对象机械运动是比较简单的运动形式，可是运用力学原理去解决的实际问题往往包含大量复杂因素。在设计空间航行的轨道，飞机船舶的形体，计算机件的振动，分析气流的动向时，所根据的仍然是力学普遍规律所总结的基本原理。但是具体的处理方法和涉及的计算却是很复杂的。在处理复杂的问题时必须分清主次，抓住主要的因素，弄清一些基本的典型问题的特点，然后才有可能去分析解剖更为复杂的实际问题。在本篇中我们介绍的只是力学中的一些最基本的原理及其简单的示例，但同样也要从最简单的模型入手。从本章开始，我们将先介绍质点的力学。

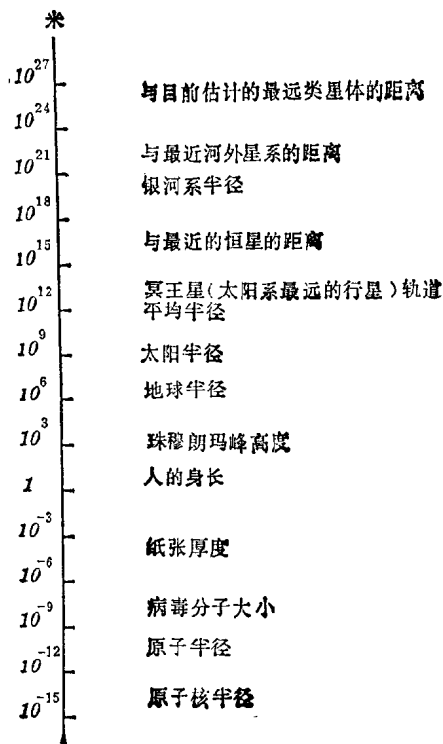
§1.1 质 点

从物理上研究物质的运动，有两种基本的模型，即粒子和场，粒子集中在一点而场分布在空间，在空间形态上，各有不同的特点。

这两种模型都起源很早，古代的中国和希腊都已经有两种概念的雏型。粒子的特点是集中，古希腊的原子论者最早提出自然界的一切最终都由坚不可摧的原子所组成的学说。这种坚固的原子模型脱胎于我们生活中经常接触到的固体。科学的原子论兴起以来，人们一步深入一步地发现生活中常见的各种形态的物体都由微小的分子所组成，而分子是由原子所组成，原子和它内部的核又由基本粒子组成，在一部分基本粒子内部现在已发现还有“层子”结构。物体是由粒子所组成的，可是粒子还可以继续分割而不是象古希腊人所认为的原子那样坚不可摧。粒子具有质量、能量，

它们是质量能量比较集中的物质单元。从表 1.1 中可以看出, 病毒分子的大小(线度)比一张纸的厚度小 4 个数量级, 而比氢原子半径大 3 个数量级, 原子半径与原子核的半径又大约相差 4 个数量级。向大的方面看, 地球、太阳、太阳系、银河系……这些都不是通常所说的“粒子”, 而是庞大的天体和天体的集团, 可是在它们的线度之间, 也存在着几个数量级的差别, 这都反映出物质世界的层次结构。从某一层上看, 它是由一些集中在很小范围内的粒子(或宏观物体)和周围较为广阔的空隙所组成的。到它们里面去看, 则

表 1.1 宏观和微观世界的尺度标尺, 标度是按对数值来画的, 一格间距相当于相差 1000 倍



它们又都有自己的不同结构。在化学上，最感兴趣的是从地球到分子、原子、原子核这些层次上的运动和结构，但是与其它层次上的运动也不是没有联系的。

粒子之间相隔很大的距离，但它们之间仍然有相互作用，彼此联系着。传递这种相互作用的就是场。场的质量、能量分布不是集中而是分散在较大的空间范围。场的概念起源也很早，我国古代有“气”的学说，古希腊有以太的概念，都认为空间充满着这种扩散的物质。这种原始的想法，是从液体、气体的形态提取出来的。我们现在当然知道液体、气体也是由分子、原子组成的，可是，在从宏观的角度研究流体运动时，我们还是采用场的模型。作为物质的一种形态的典型的场有电磁场，在本书中册将介绍它的各种特点。在本世纪对原子的研究深入以后，逐步认识到电磁场和原子内部的基本粒子都兼有场和粒子的特点，场和粒子的概念都有了发展。这些情况，我们留待下册中去介绍。

经典力学以粒子模型作为起点。在力学上通常称粒子为质点。粒子的概念有发展。研究原子领域的问题，所用的已不是经典力学的模型，但许多基本的认识还是从经典力学继承下来的。为了给研究微观领域作好准备，我们也必须先熟悉经典力学的有关概念。

质点是指那些在运动中可以看作一个点的物体。在几何上，一个点是没有大小、形状的。描述点的运动最方便。实际的物体当然都有大小、形状。但是在许多情况，所要研究的问题并不需要考虑物体的大小形状。譬如在运动物体的尺度比它运动的空间范围小得多时，就可以把这个物体看作一个质点；又如在研究物体的转动时，如物体形状的变化对研究的问题影响较小，从而可以忽略时，也可以把运动物体看作一个质点。所以什么样的物体可以看作质点，要看问题的具体条件。地球在我们日常概念上虽然很