

高等学校教学用书

普通物理学

第一册 力学

梁绍荣 池无量 杨敬明 主编
杨敬明 编

北京师范大学出版社

高等学校教学用书

普通物理学

第一册 力学

梁绍荣 池无量 杨敬明主编

杨敬明 编

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

辽宁省清原县印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 12.875 字数: 314 千

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数: 1—15,000

统一书号: 13243·78 定价: 2.85元

内 容 简 介

本书是在1981年10月“全国综合大学及师范院校外系普通物理教学及教材讨论会”之后编写的。初稿经两次教学实践后，修改成普通物理学讲义，在此基础上，又经过反复讨论、修改，编成这套非物理专业用的“普通物理学”。全书共分四册：第一册力学，第二册热学，第三册电磁学，第四册波动光学与近代物理，共用150—180学时。

力学共有九章：质点运动学，牛顿运动定律，功与机械能，动量，角动量，刚体力学，振动，波动及流体力学。每章附有适量的思考题和习题，书末附有答案。

本书可作为高等学校非物理专业的教材或教学参考书；也可作函授、教师进修学院的教材或教学参考书。

编 者 的 话

本书是在1981年10月“全国综合大学及师范院校外系普通物理教学及教材讨论会”（香山会议）之后开始编写的。初稿完成后，经两次教学实践，修改成普通物理学讲义。在此基础上，经过反复讨论、推敲，最后编成这套非物理专业（理科）用的《普通物理学》。全书共分四册：第一册为力学；第二册为热学；第三册为电磁学；第四册为波动光学与近代物理。在一学年内讲完，共用150—180学时。现将我们在编写过程中的一些指导思想写在下面。

（1）物理学是一门实践科学，它的理论正确与否最终由实验确定，而物理学在实践基础上建立起的完整的理论体系则是本书的基本依据。根据《普通物理学》的特点，在书中适当介绍一些物理学在各方面的应用和新成就，但注意避免使它成为内容庞杂、结构松散的“百科全书”。在总体上仍是先经典后近代，在每一部分严格分清哪些是由实验确认的定律，哪些是由定律推出的定理。对物理概念的阐述，力求清晰、简明，要有明确的定义，使学生了解它的来龙去脉和物理涵义，从而建立起明确的物理图象。这样做的目的，是使学生学到物理思想，提高物理素养，从而提高学习能力，并使同学逐步认识“理想模型”在物理学中的重要地位。

（2）在取材方面，与工科教材略有不同。考虑到理科非物理专业没有开设理论力学和电工学等后继课，本书在力学中增加了一章“角动量”，在电磁学中增加了一章“交流电路”。同时，考虑到对近代物理的需要，在近代物理中增加了一章“狭义相对论”。

（3）在编排上注意到教学的方便，把选学部分用小号字

或*号注明。在力学中特别考虑到不同学校的高等数学的进度不一，对需要高等数学较多的地方，都分两种写法：一种是由浅入深，适可而止；一种是以高等数学为起点，深入分析。在教学时可任选其一，各成体系，互不相扰。

(4) 注意到《普通物理学》全书是一个整体，各册之间应前后衔接，避免重复或遗漏，我们考虑到力学中的振动与波和电磁学中的电磁波以及这二者与光学之间的联系；力学中的经典时空观与近代物理中的狭义相对论时空观的关系等，在编写时尽量作到分工明确，相互衔接，成为一体。

(5) 本书选取了一定数量的习题和思考题，与教学内容配合较紧密，要求也较明确。

本书由梁绍荣、池无量、杨敬明任主编。

第一册力学由杨敬明写成初稿，赵定柏完成习题和思考题初稿，最后由池无量全面修改定稿，卢圣治审阅。第二册热学由谢云峰在杨敬明的讲稿基础上写成初稿，杨敬明修改总论、第一、二章，沈芳修改第三章并在该册编写过程中作了大量工作，由高尚惠审阅。第三册电磁学由陈淑娴、段金梅在池无量的讲稿基础上写成初稿，池无量修改了初稿。在成书过程中，梁绍荣修改了全册并执笔第八章，池无量、段金梅、陈淑娴复核、定稿，陈淑娴负责全部习题和思考题，由梁竹健审阅。第四册波动光学与近代物理的波动光学部分由孙荣山执笔，黄婉云审阅。近代物理部分由胡镜寰执笔第二、三、四章，由梁绍荣审阅。梁绍荣执笔第一章，由池无量审阅。最后，由梁绍荣对全书复核、定稿。

在编写过程中，我们得到许多有关同志的帮助和指导。漆安慎、杜婵英审阅了力学的初稿，王雪君、孙岳、韩继岭等同志使用了本教材，他们对修改教材提出了许多宝贵的意见。我们还得到我系领导梁竹健等和外系普物教研室主任李平以及北京师范大学出版社的关心和支持。在此一并致以深切的谢意。

由于我们水平不高、经验不足，错误和不妥之处在所难免，
欢迎批评、指正。

编 者

目 录

结论	(1)
力学引言	(3)
第一章 质点运动学	(5)
§ 1 - 1 参照系和坐标系 时刻和时间间隔	(5)
§ 1 - 2 质点	(8)
§ 1 - 3 描述质点运动的物理量	(9)
§ 1 - 4 质点的直线运动	(21)
§ 1 - 5 质点的平面运动	(35)
§ 1 - 6 相对运动	(47)
思 考 题	(50)
习 题	(51)
第二章 牛顿运动定律	(56)
§ 2 - 1 牛顿运动定律的基本内容	(56)
§ 2 - 2 力学单位制 量纲	(61)
§ 2 - 3 力学中常见的力	(66)
§ 2 - 4 牛顿运动定律的应用	(75)
§ 2 - 5 经典时空观和力学相对性原理	(87)
* § 2 - 6 非惯性系中的运动定律	(90)
附 录 国际单位制 (SI)	(99)
思 考 题	(100)
习 题	(102)
第三章 功与机械能	(108)
§ 3 - 1 功和功率	(108)
§ 3 - 2 质点的动能定理	(114)
§ 3 - 3 质点组的位能	(119)
§ 3 - 4 质点组的功能原理	(130)
§ 3 - 5 质点组的机械能守恒定律 能量转化和守恒定律	(135)
思 考 题	(140)

习 题	(142)
第四章 动量	(147)
§ 4 - 1 动量 冲量 质点的动量定理	(147)
§ 4 - 2 动量守恒定律	(157)
§ 4 - 3 球的对心碰撞	(162)
思 考 题	(172)
习 题	(173)
第五章 角动量	(176)
§ 5 - 1 力矩	(176)
§ 5 - 2 质点的角动量、角动量定理和角动量守恒定律	(183)
§ 5 - 3 质点组的角动量、角动量定理和角动量守恒定律	(197)
思 考 题	(199)
习 题	(199)
第六章 刚体力学	(202)
§ 6 - 1 刚体运动学	(203)
§ 6 - 2 刚体平动的动力学	(211)
§ 6 - 3 质心运动定理	(212)
§ 6 - 4 刚体定轴转动的角动量定理	(223)
§ 6 - 5 定轴转动中的角动量守恒定律	(235)
§ 6 - 6 转动的动能定理 刚体的重力位能	(243)
• § 6 - 7 回转仪	(252)
• § 6 - 8 刚体的平衡	(257)
思 考 题	(259)
习 题	(261)
第七章 振动	(269)
§ 7 - 1 简谐振动	(269)
§ 7 - 2 简谐振动的合成	(289)
§ 7 - 3 阻尼振动	(301)
§ 7 - 4 受迫振动	(304)
思 考 题	(308)
习 题	(309)
第八章 波动	(313)

§ 8 - 1	弹性体的基本概念	(313)
§ 8 - 2	波的基本概念	(318)
§ 8 - 3	平面简谐波方程	(326)
§ 8 - 4	波的能量	(336)
§ 8 - 5	波的迭加原理 波的干涉 驻波	(342)
思考题		(350)
习 题		(351)
第九章 流体力学.....		(354)
§ 9 - 1	流体的属性 理想流体	(354)
§ 9 - 2	流体静力学	(356)
§ 9 - 3	流体运动学的基本概念	(363)
§ 9 - 4	伯努利方程	(367)
§ 9 - 5	粘性流体的流动	(376)
思考题		(382)
习 题		(383)
习题答案		(388)

绪 论

在自然科学中，物理学由于它的普遍性、基本性以及与其它学科在理论上的相关性，从而使它占有独特的地位。在十九世纪，力学、热力学和电磁理论，从少得惊人的几条基本原理出发引出了众多意义深远的推论。这不仅促成物理学的统一，而且也加强了物理学同数学、天文学、化学甚至和哲学的密切联系。在当时实际生活中，化学和生物学远比物理学重要。如纺织印染、军事炸药、采矿冶金、药学麻醉、环境卫生以及流行病学和保健知识等，已为人们所熟悉，它们在生产工艺、人类生活方面的作用比物理学显著得多。但是，物理学以它对最基础、最基本的内容的理性追求和对精巧性和成熟性的追求，而赢得了重要的地位。由于物理学努力去澄清“更基础”、“更基本”的含义，因此它在物质科学中属基础学科。

近代科学的发展，使物理学同其它学科之间的关系更加密切，同时又产生了许多边缘科学，如生物物理学、量子生物学、生物磁学等相继诞生。生物物理学是应用物理仪器和方法以及运用物理概念和理论来探讨生命的物理过程和物理本质的一门边缘科学；量子生物学是量子力学在生物学问题上的应用；生物磁学是将生物学、磁学和医学相结合的一门边缘学科。物理学和化学有时甚至很难区分，有的学者认为，“物理学和化学分离开可能是件不幸的事”。过去，因为化学是用数学较少的实验性科学，而物理学当时又不能处理原子间小尺度的力，才使这两种科学远远分开。随着物理化学的发展，这两门科学也逐渐靠拢到一起。物理学中的热力学、统计物理和量子力学是物理化学、结构化学的基础，而力学、电磁学、光学和原子物理等，既是物理的基本内容，又是许多化学问题研究的直接需要。这两门学科有广阔的

共同研究领域，因此在量子力学问世不久，又诞生了化学物理这一新的学科，它研究液体结构、分子晶体、高分子聚合物、辐照损伤等内容。

有鉴于此，在高等学校中，各理工农医等非物理专业都开设普通物理学。本书可供高等师范院校和综合性大学以及教师进修学院等非物理专业的教学用书。本书首先力求使同学对从经典物理到近代物理的基本内容有较为系统的了解，对物质运动的规律建立起比较全面、清晰的物理图象和物理概念；其次，注意对同学思维的训练，培养学生掌握物理问题的研究方法，提高学生分析问题解决问题的能力；最后，注意贯彻理论联系实际的原则，在加强教材的科学性和系统性的同时，注意加强对某些实验现象的描绘和分析以及适当加入在各非物理专业的应用实例等。

本书的目的是为非物理专业奠定初步的坚实的物理基础。

力 学 引 言

力学是研究机械运动所遵循的客观规律。物体与物体之间或物体各部分之间相对位置的变化，叫做机械运动。如天体的运行、车船的运动、机器的转动、大气和河水的流动等等都是机械运动。机械运动是物质多种多样运动形式中最简单而又最基本的一种，几乎在物质的所有运动形式中都包含有这种最基本的运动形式，所以在物理学中首先学习力学。

由于人类在长期的生产实践中，经常地、大量地接触到物体的机械运动，所以力学也是发展最早的学科之一。因为农业生产的需要，人们使用了杠杆、斜面、滑轮等简单机械；在运输上使用了车辆和船舶；此外兴修水利、土木建筑等都使人们对机械运动有了初步的、感性的认识。但是真正使力学发展成为一门系统的科学理论，还是在十六——十八世纪。这时在欧洲资本主义生产关系得到了发展，航海、纺织、机械制造、军事工业的兴起，大大地促进了力学的研究，同时也为进行科学实验提供了较好的条件。在此期间内，意大利人芬奇研究了力的平衡，引入了力矩的概念；芬兰物理学家史蒂芬从研究斜面问题，得出力的分解和合成定律；波兰的哥白尼提出了日心说，引起了宇宙观的大革命；德国科学家开普勒根据哥白尼的学说以及天文观察资料建立起行星运动三定律；意大利科学家伽里略研究落体运动的规律，引出了加速度的概念等等。直到十七世纪，英国物理学家兼数学家牛顿总结以前无数科学家的成就，发表了著名的牛顿运动三定律和万有引力定律，奠定了经典力学的基础。之后，又经过许多科学家的不断补充和发展，使经典力学成为一门有着严密而完整的理论体系的学科，而且经典力学在天体、火箭、车辆、行船等广泛

的领域内，都取得了辉煌的成就。

本册将讲述经典力学的基本概念和规律。这些概念、规律和方法往往也为物理学的其它部分所应用，所以也可以说力学是学习整个物理学的基础。

第一章 质点运动学

力学可分为运动学、动力学和静力学。运动学只研究物体做机械运动过程中位置随时间的变化关系，而不涉及引起变化的原因，即解决如何描述运动的问题。动力学则研究物体运动状态变化的原因，研究物体的运动与物体间相互作用的内在规律。运动学的知识是动力学的基础，只有把动力学和运动学结合起来，才能很好地解决力学问题。静力学则研究物体在相互作用下的平衡问题，它是动力学的特殊情况。

本章研究运动学最简单最基础的情况——质点的运动学。

§ 1 - 1 参照系和坐标系 时刻和时间间隔

空间和时间是运动着的物质存在的基本形式，任何物质运动都是在空间和时间中进行的。机械运动就是物体在空间中的位置随时间的变化。因此我们首先引入参照系、坐标系、时刻、时间间隔等概念，来描述物体在空间和时间中的运动。

一、参照系和坐标系

宇宙中的任何物体都处于不停的运动之中，绝对静止的物体是没有的。停在路边的汽车，机器的底座，房屋建筑等看来都是静止不动的，其实，它们都随着地球一起运动。地球一方面有自转，一方面还以30千米/秒的速率绕太阳公转。即使太阳也不是静止的，太阳正以250千米/秒的惊人速率率领它的整个家族绕银河系的中心旋转。银河系也是运动的。……。若深入到物体

内部去，则组成物体的各种分子、原子、电子等各个层次，也都在作着永不停止的运动。由此可见，在我们生活的物质世界中，运动是绝对的。但是对物体运动情况的描述又是具有相对性的。例如，在行驶中车厢的地板上有一个物体，站在车厢中的人看来，它是静止的，而站在路边的人看来则认为它在运动。因此我们说静止是相对的。又如，在以匀速沿直线运动的车厢中令一物体自由下落，站在车厢中的人看到物体沿一直线落下，而站在路边的人看到物体则沿一抛物线落下。为什么同一物体的运动二人看到的结果如此不同？这是因为他们研究物体的运动所选择的标准不同。车厢里的人选择车厢做标准，路边的人选择地面做标准。可见，同一物体相对于不同的标准具有不同的运动状况，这就叫做机械运动的相对性。

因此要确切地说明一个物体的位置和运动，必须首先选定其它物体做标准。为描述物体运动而被选作标准的另外的一个不变的或几个无相对运动的物体叫做参照系。

当我们选定某物体作为参照系后，则认为该参照系是静止的，以它为标准来考察其它物体相对于该参照系的运动。至于如何选取参照系，原则上是任意的，主要看分析解决问题的方便与否而定。

在选定了参照系后，为了定量地确定物体相对于参照系的空间位置，可在参照系上再固结一个坐标系。通常采用的直角坐标系（图 1-1），是在参照系上选定一点 O 为坐标系的原点，过 O 点作三条互相垂直的坐标轴（ x 轴、 y 轴、 z 轴），并用箭头标出正方向，再取定一单位长度

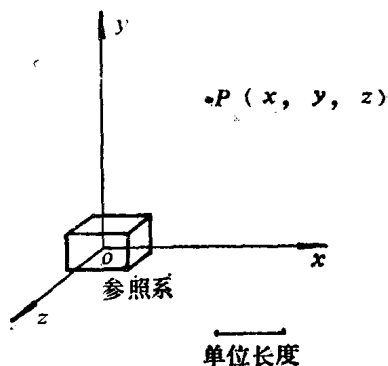


图 1-1

对坐标轴进行“刻度”。这样，如果物体上的某一点处于空间的 P 点，就可以用 P 点的坐标 (x, y, z) 精确地表明该点相对参照系的位置了。可以说，坐标系实质上是参照系的几何抽象。今后，在指明参照系后，可不画出参照系而只画坐标系。

坐标系的单位长度通常取作 1 个长度的单位。长度的单位有米（国际代号 m ）、厘米（ cm ）、千米（ km ）等。

二、时刻和时间间隔

生活中常用的“时间”一词通常有两种含义。有时是指某一瞬时，如“上课的时间是 8 点钟”。有时是指某一段时间，如“每节课的时间是 50 分钟”。在力学中为了明确区分这两种含义，我们引用“时刻”和“时间间隔”两个概念。

时间的单位，有秒（ s ）、分（ min ）小时（ h ）等。

时刻（或瞬时），就是指在时间不停地流逝过程中的一刹那、一瞬间，用符号“ t ”表示时刻。由于时间从过去到未来都是无限的，为了用具体数字表示时刻，必须选取某一时刻作为计时起点（计时标准），再选定量度时间的单位如秒、分、小时等。这样其它任意时刻就可用数字表出，而且规定在计时起点之后的时刻为正，在计时起点之前为负。如日常生活中说的早晨 6 点就是以夜间 12 点（0 点）作为计时起点的。在讨论力学问题时，计时起点的选择是任意的。如何选定计时起点要由计算的方便与否来定。计时起点不一定就是物体开始运动的时刻。

我们也可以建立时间的“坐标轴”（时间轴）来表示时刻（图 1-2）。以计时起点为原点，时间轴的指向表示时间从过去到未来（从 $-\infty$ 到 $+\infty$ ），再取定量度时间的单位，则轴上的一点就对应

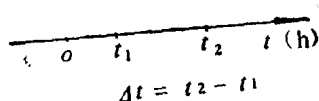


图 1-2

于某一时刻。

时间间隔（或时间增量）指的是一段时间。如从早晨 6 点到 8 点 30 分，这两个时刻的中间 2 小时 30 分就是时间间隔或时间增量。确切些说，时间间隔或时间增量等于终止时刻减去起始时刻。若用 t_1 表示起始时刻， t_2 表示终止时刻，“ Δt ”表示时间间隔或时间增量，则有

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

虽然由于计时起点的选择是任意的，因而表示同一时刻的数字也就不同，但两个固定时刻之间的时间间隔是不变的。由于时间具是单方向性的特点，终止时刻 t_2 总大于起始时刻 t_1 ，故时间间隔 Δt 总大于零。

§ 1-2 质 点

任何物体都有一定的大小和形状。物体的运动情况一般来说也是比较复杂的，其内部各点的运动状况各不相同。因此要想精确地描写一个物体的运动情况并不是一件简单的事。但是，如果在讨论某些问题时，可以忽略运动的某些次要部分，因而可以忽略物体的大小和形状，这时就可以把物体抽象为一个点来看待。

例如，地球的运动是比较复杂的，一方面有绕地轴的自转，一方面又绕太阳作公转，因此地球上各点的运动情况是不同的。但是如果我们只研究地球绕太阳的公转，由于地球到太阳的平均距离是 14950 万千米，而地球的平均直径是 12740 千米，前者约为后者的一万多倍，地球的自转带给地球的各点运动的影响是微不足到的，因此地球的自转可以忽略不计，而认为地球上各点的运动情况基本上是一样的。也就是说，可以把地球看作是一个点而不考虑地球的形状和大小。但如果要研究地球的自转问题，当然就不能再把地球看作是一个点了，因为一个点是无所谓转动的。