

高等教育自学辅导丛书

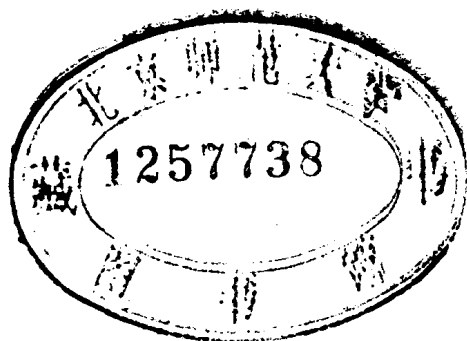
物 理 学

第 一 册

(力学 振动与波 热学)

北京大学 张为合 古 玥 编

JY1/122/17



化学工业出版社

内 容 提 要

本套自学教材是参照1980年修订的全国理科非物理类专业和工科院校普通物理教学大纲编写的。全书共分三册。本册包括：力学、机械振动和机械波、热学。书中基本内容的阐述通俗易懂，基本概念和基本原理的表述清楚简洁，便于自学；书中有较多的例题，可帮助读者加深对基本概念和基本原理的理解，并掌握解题方法；每章有小结，并附有一定数量的思考题和习题，书末给出习题答案和部分题解；本册共有六次阶段测验，以供读者自我检查学习情况之用。全书由北京大学章立源副教授审定。

本书可作为参加高等教育自学考试人员的自学教材，也可供理工科大学、师范院校、电视大学、业余大学师生选用，亦可作为中学物理教师进修用的参考书。

高等教育自学辅导丛书

物 理 学

第 一 册

(力学 振动与波 热学)

北京大学 张为合 古 玥 编

责任编辑：王永美

封面设计：季玉芳

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 22 $\frac{1}{2}$ 字数 610千字 印数1—25,170

1985年2月北京第1版1985年2月北京第1次印刷

统一书号15063·3721定价4.05元

出版说明

建国以来，在党的领导下，我国业余教育事业取得了很大成绩。为了进一步促进业余教育事业的发展，加速培养和选拔四化建设所需要的合格人才，教育部作出了关于建立高等教育自学考试制度的决定，凡属中华人民共和国公民经考核达到高等学校毕业生同等水平的，均承认其学历。为了配合这一工作的开展，为自学人员提供学习辅导材料，我社组织编写出版一套《高等教育自学辅导丛书》。这套丛书包括《语文》、《哲学》、《政治经济学》、《高等数学》、《物理学》、《化学》、《生物学》等册。

本《丛书》是根据北京市高等教育自学考试委员会公布的考试科目、教科书和考试要求以及教育部推荐的教学大纲编写的。书中力求从自学特点出发，对指定教材的内容作进一步阐述，重点突出，文字通俗，便于自学。

《丛书》除供自学人员学习外，也可供理工科大学、电视大学、业余大学师生选用。

化学工业出版社

前 言

为了实现“四化”，我国广大青年正在如饥似渴地以现代科学技术知识武装自己。通过各种形式的自学完成大学课程的学习是国家培养人才的有效途径之一。当前的一个迫切问题是要有适合于自学的教材，本书就是为此目的而编写的一套大学普通物理自学用书。

本书是参照1980年修定的全国理科非物理类专业普通物理教学大纲，以及工科院校普通物理教学大纲编写的。根据大纲精神，在编写过程中力图贯彻以下几点。

充分注意作为一门基础课的普通物理学自身的系统性，并把重点放在基本概念、基本原理和基本方法的阐述上，以使读者在从事实际工作和进一步深造时能具有比较牢固的物理学基础。注意理论与实际相结合，尽可能广泛地介绍实践领域中的各种应用，以丰富读者的基础物理知识。

物理学的发展历史以及处理问题的方法是进行辩证唯物主义教育的生动教材。我们力图用辩证唯物主义的观点和方法来阐明物理学发展的几个重大转折，并充分注意关于物理学中科学思维方法的训练，而这种科学思维方法的训练是学习自然科学所必不可少的。

考虑到本书是自学用书，对基本内容的阐述尽可能详尽易懂，并突出对物理概念和物理图象的解释，以利于读者对基本内容的掌握。本书主要各章附有大量例题，以帮助读者巩固对学过的基本规律和基本概念的理解，并提高读者的解题能力。

按照大纲要求，全书有三册，共分六篇：第一册包括第一篇，力学；第二篇，机械振动和机械波；第三篇，热学；第二册包括第四篇，电磁学；第三册包括第五篇，光学；第六篇，近代物理基础。某些非基本要求的内容以小字排印，只作为读者参考阅读的内

容用星号（*）注明。为适应自学者的需要，每章后都有本章小结，每章（或每节）后附有份量适中的思考题和习题。书末给出习题答案，对较难和综合性的习题还给出题解。书中附有阶段测验题，以便于读者进行自我检查。

全书由北京大学章立源副教授审定。

参加本书编写的有古玥、张为合、严隽珏、冯庆荣、李衡芝；参加本书初稿整理、誊写和底图绘制的还有吕小光、韩福坤等同志。

由于时间仓促，编者学识有限，缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	2
第一节 质点	2
第二节 参照系和坐标系 时间和时间间隔	4
第三节 位移、瞬时速度和瞬时加速度	9
第四节 直线运动	19
第五节 抛体运动	31
第六节 圆周运动	37
第七节 相对运动	45
附录 矢量	48
小结	55
思考题	58
习题	60
第二章 牛顿运动定律	63
第一节 牛顿运动定律	63
第二节 力学单位制和量纲	70
第三节 力学中常见的几种力	74
第四节 牛顿运动定律应用举例	84
第五节 非惯性参照系中的惯性力	98
小结	107
思考题	109
习题	112
阶段测验一	114
第三章 功和能	117
第一节 功和功率	117
第二节 质点的动能和动能定理	123

第三节	物体系的势能	126
第四节	功能原理和机械能守恒定律	133
小结	.....	139
思考题	.....	140
习题	.....	141
第四章	动量和角动量	143
第一节	动量和冲量 动量定理	143
第二节	动量守恒定律	150
第三节	火箭原理	154
第四节	碰撞	157
第五节	质点的角动量和角动量守恒定律	166
小结	.....	173
思考题	.....	174
习题	.....	175
阶段测验二	.....	178
第五章	刚体力学	181
第一节	刚体的平动和转动	181
第二节	质心和质心运动定理	183
第三节	刚体定轴转动的运动学	188
第四节	转动定理	193
第五节	转动动能和力矩的功 刚体的重力势能	206
第六节	刚体对固定轴的角动量和角动量守恒定律	211
第七节	刚体的平面平行运动	217
第八节	回转仪	226
小结	.....	230
思考题	.....	232
习题	.....	234
第六章	流体力学	238
第一节	流体的静力平衡	238
第二节	理想流体的稳定流动 连续原理	247
第三节	伯努利方程	250
第四节	粘滞流体的运动	259
小结	.....	267

思考题	268
习题	270
阶段测验三	272

第二篇 机械振动和机械波

第七章 机械振动	275
第一节 谐振动	275
第二节 单摆 复摆	292
第三节 同方向谐振动的合成	297
第四节 相互垂直的两个谐振动的合成	309
第五节 阻尼振动和受迫振动 共振	320
小结	329
思考题	332
习题	335
第八章 机械波	339
第一节 机械波的产生和传播	339
第二节 一维简谐行波	348
第三节 金属杆中的纵波 具体媒质中的波速	358
第四节 波的能量 能流密度	367
第五节 惠更斯原理	374
第六节 波的叠加原理 波的干涉	380
第七节 驻波	387
第八节 多普勒效应	395
第九节 声波 超声波 次声波	402
小结	421
思考题	426
习题	427
阶段测验四	431

第三篇 热 学

第九章 平衡态和状态方程	439
第一节 平衡态及其描写	439

第二节	温度	443
第三节	理想气体状态方程	449
小结	.....	459
思考题	.....	460
习题	.....	460
第十章	气体分子运动论	462
第一节	物质的微观图象	462
第二节	理想气体的压强	466
第三节	温度的微观解释	471
第四节	气体分子的速率分布律	476
*第五节	麦克斯韦速度分布律	492
第六节	玻尔兹曼分布律 重力场中微粒按高度的分布	495
第七节	能量按自由度均分定理 理想气体的内能	498
第八节	分子碰撞和平均自由程	510
第九节	气体内的迁移现象及其基本定律	514
第十节	真空的获得和低压的测定	527
附录	积分表	530
小结	.....	531
思考题	.....	535
习题	.....	536
阶段测验五	.....	538
第十一章	热力学第一定律和第二定律	540
第一节	热力学过程 功和热量 内能	540
第二节	热力学第一定律	548
第三节	热力学第一定律在理想气体的等值过程中的应用	552
第四节	绝热过程	560
第五节	循环过程 卡诺循环	570
第六节	热力学第二定律	577
第七节	热现象过程的不可逆性	582
第八节	热力学第二定律的统计意义	586
第九节	卡诺定理	591
*第十节	熵	595
*第十一节	熵增加原理 熵与热力学几率	604

小结	608
思考题	611
习题	613
第十二章 真实气体和液体	617
第一节 真实气体的等温线	617
第二节 范德瓦耳斯方程	620
第三节 真实气体的内能 焦耳-汤姆孙实验	630
第四节 低温的获得	632
第五节 液体的微观结构 液晶	636
第六节 液体的表面性质	639
第七节 聚集态的转变 三相点	653
小结	657
思考题	660
习题	660
阶段测验六	661
附表一 国际单位制的基本单位	663
附表二 国际单位制的辅助单位	664
附表三 物理常数	664
附表四 本书用到的国际单位制外的单位	665
习题答案	666

第一篇 力学

自然界是由各种物质组成的，一切物质都在不断地运动和变化着。在形形色色的运动形式中，最基本和最普遍的形式是物体位置的变化，或是同一物体中各部分间相对位置的变化，这类运动形式称为机械运动。例如，天体的运行、车辆的行驶、水和空气的流动等都属机械运动。力学就是研究机械运动的学科。

与其它自然科学一样，力学也是在生产实践的基础上逐步发展起来的。由于机械运动是人们在生产实践中接触得最为普遍的一种运动，所以在物理学中力学最先得发展。古代劳动人民很早就从生产实践中积累了相当丰富的有关力学的基本知识，进而利用这些知识制造了各种交通工具和简单机械，并完成了许多著名的工程建筑。然而，力学发展成为一门具有系统理论的学科则始于十六~十七世纪。此时欧洲资本主义生产得到了发展，航海、纺织、机械制造等事业的发展，促进了天文学和力学的迅速发展。另一方面，生产技术的发展提供了越来越精密的实验工具和测量仪器，因而进行观察和实验的科学研究方法也逐步地建立了起来，这有力地促进了对力学规律的研究。经过许多科学家，特别是伽利略、笛卡儿、惠更斯等人的努力，建立了力学的实验基础，在这基础上，牛顿对前人的工作进行了分析、总结和归纳，提出了力学的基本定律，为建立力学的完整理论奠定了基础。

以牛顿定律为基础的力学称为牛顿力学或经典力学，它是观察宏观物体的低速运动而建立起来的。所谓宏观物体是由大量分子和原子组成的物体，低速是与光速 (3×10^8 米/秒) 相比而言的。实践表明，经典力学对宏观物体的低速运动是相当精确的。

从十七至十八世纪，力学在广泛的领域内取得了巨大成就，于是一些自然科学家就错误地认为物质的所有运动形式都可归结为机

机械运动，因而一切自然现象都可用经典力学的概念和规律来解释。这种机械论的观点抹杀了物质世界运动形式的多样化以及它们之间质的区别。从十九世纪末到二十世纪初这段时期内，人们的科学实践逐步深入到象分子和原子那样小的微观世界，发现经典力学在微观世界并不适用，于是以普朗克的热辐射理论为起点，逐步建立了适用于微观领域的量子力学。爱因斯坦所创立的狭义相对论是对机械唯物论观点的又一次冲击，它从根本上抛弃了牛顿力学的基本前提——关于空间和时间的概念。相对论理论表明，牛顿力学不适用于高速（可与光速相比拟）运动的物体。总之，牛顿力学只适用于宏观物体的低速运动，在研究微观运动时必须用量子力学，研究高速运动时必须用相对论力学。尽管如此，在涉及一般宏观物体运动的广阔领域内，牛顿力学的基本定律仍然是正确的，是解决广泛的理论和实际问题的基础。

第一章 质点运动学

通常把力学分为运动学、动力学和静力学。运动学只研究物体在运动过程中位置随时间而变的规律；动力学则研究物体的运动与物体相互作用之间的内在联系，静力学研究物体在相互作用下的力学平衡问题，可把它看成是动力学的一部分。本章只讨论运动学，在这章中将定义描述物体运动的各物理量，并导出这些物理量所遵从的运动学公式。本章要用到矢量的概念，对矢量的性质和运算不熟悉的读者请先学习本章后的附录。

第一节 质 点

实际物体总有一定的大小和形状，物体上各点的运动情况一般是各不相同的，这使物体所作的机械运动变得很复杂。例如，火车沿铁轨运动时，除整体的运动外，还包括车厢的摆动、车轮的旋

转、各种传动机件的运动等复杂运动；又如炮弹的飞行除整体沿一定曲线运动外，还包括炮弹本身的复杂转动。物体在运动过程中一般还会发生大小和形状的变化。以上种种都表明物体上不同点的运动情况是不同的。要想对物体的实际运动作全面描述是困难的，面对如此复杂的运动问题，我们只能分清主次，逐个解决。假如我们要研究的只是物体整体的运动规律（如火车沿铁轨的整体运动，炮弹沿运动轨道的运动等），我们可忽略那些与整体运动关系不大的次要运动，认为物体上各点的运动完全一样，这就毋需考虑物体的大小和形状，物体的运动可用一个点的运动来代表。这种忽略物体的大小和形状而具有该物体全部质量的点称为质点。

显然，质点是一种理想化的模型，是对实际物体的一种抽象。能否把物体看成质点，要视所研究的问题的性质和具体情况而定。例如，当我们研究地球绕太阳的公转运动时，由于地球的直径大约是地球至太阳的距离的万分之一，地球上各点绕太阳的运动可看成基本上一样，不必考虑地球的大小和形状，即可把地球当作质点。但当我们研究地球的自转运动时，就必须考虑其大小和形状，不能将其看成是质点。又如研究水滴的自由下落运动时，水滴形状的变化比较小，可忽略不计，水滴的运动可用一个点代表，即可看成是质点。在研究气体分子的运动时，一般把气体分子当作质点，但在研究气体分子之间的碰撞过程，或计算气体分子的能量时，就必须考虑分子的大小和形状，不能看成质点。因此，能否把物体看成质点并不由其实际的大小决定，而要看问题的性质如何。

必须注意，质点概念只是对物体的大小和形状作了简化，质点仍然代表一个物体，它仍具有象质量、动量和能量等所有的物理属性。

虽然质点是一种理想化模型，但研究质点的运动规律仍有普遍的意义，因为在必须考虑物体的大小和形状的场所，可把物体分割成许许多多小块，每一小块可看成是质点，而物体的运动就是这些质点运动的总和。

第二节 参照系和坐标系 时间和时间间隔

任何物体的运动都不能脱离空间和时间，机械运动就是物体在空间中的位置随时间的变化过程。为描述物体的机械运动，我们引进参照系、坐标系、时间和时间间隔等概念。

一、参照系

一切物体都处在永恒的运动之中，任何物体的运动都只能是相对于其它物体的相对运动。为了描述某一物体的运动状态，就必须预先选定作为参考的物体或物体系，被选作参考的物体或物体系称为参照系。例如，当研究车辆、船只等在地球上的运动时，是以地球为参照系；研究行星绕太阳的公转运动时，是以太阳为参照系，等等。对同一物体的运动，若选定不同的参照系来描述，所得结果一般也不同。比如，对站在匀速行驶的船上的人来说，以船为参照系时，人静止不动，以地球为参照系时，人则跟着船一起作匀速运动。若从船的桅杆上自由落下一物体，以船作参照系时，该物体垂直下落，以地面作参照系时，则将沿抛物线下落。所谓物体是“静止”的，是指相对于某参照系而言的，如地上的建筑物相对地球静止，但相对太阳则是运动的；车厢中的地板、桌椅等相对于车厢是静止，但相对地面却是运动的。所以静止和运动都只有相对的意义。在研究某一物体的运动时，究竟选哪个物体为参照系，原则上是任意的，要看问题的性质和计算的方便程度而定。

二、坐标系和位置矢量

运动学是研究物体位置的变化情况的，在选定了参照系后还必须在参照系中设立一个坐标系，以便能定量地描述物体的空间位置。坐标系可有不同的选择，常用的是直角坐标系。如图1-1所示，一质点在 P 点时，其空间位置可用坐标 (x, y, z) 表示，也可用自坐标原点 O 至 P 点所引的矢量 $\mathbf{r}$ 表示。矢量 $\mathbf{r}$ 称为质点的位置矢量，其大小代表质点到坐标原点的距离，其方向表示质点在坐标系中所处的方位。用三个坐标数值 x 、 y 、 z 来描述质点的位置与用位置矢量 $\mathbf{r}$ 来描述是一致的， x 、 y 、 z 是矢量 $\mathbf{r}$ 在三个坐标轴上的

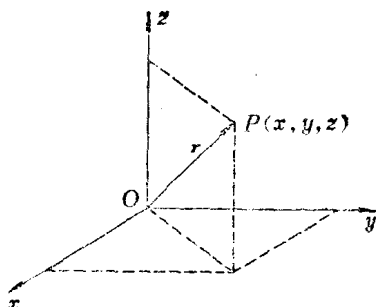


图 1-1 质点位置在直角坐标系中的表示法

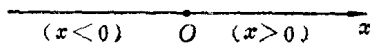


图 1-2 作直线运动的质点，其位置可用标量表示

分量，所以有

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \quad (1-1)$$

式中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 和 $\mathbf{k}$ 是三个坐标轴方向的单位矢量，它们的大小等于1，方向分别指向三个坐标轴的正方向。

假如质点被限制在一条直线上运动，设立坐标系时，可令 x 轴（或其它坐标轴）与运动所沿的直线相一致，此时质点的位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i}$$

由于质点被限制在一条直线上运动，其位置不必用矢量来描述，只用坐标数值 x 就可完全确定。如图1-2所示，当质点在原点 O 的右方时， x 为正值（ $x > 0$ ），在原点左方时， x 为负值（ $x < 0$ ）。

决定质点位置的坐标值或位置矢量的大小具有长度的单位，在国际单位制（SI）中以米为单位。

三、时间和时间间隔

在日常生活用语中，“时间”一词通常有两种含义：一是“时刻”的意思，即指某一瞬时，如火车到站的时间是6点30分，会议从8点整开始等，都是指发生某事件的瞬间时刻，通常用符号 t 表示；另一含义是“时间间隔”的意思，如火车从甲站到乙站所用时

间是两个半小时，会议进行了两个小时等，都是指某件事持续进行所需的时间，常用 Δt 表示。今后当我们看到“时间”一词时，必须分清是指某一“时刻”，还是过程进行的“时间间隔”。

时间的流逝是无限的，从无限的过去一直到无限的将来，为了确切地表示发生某事件的时刻，必须先选定某时刻作为计时的起点。例如说火车到站时间为6点30分，这实际上已选定了清晨零点作为计时的起点。在力学中计时起点的选择是任意的，计时起点一旦选定后，任何事件发生的时刻就可用带有计时单位的数来表示。

在国际单位制中计时单位用秒。

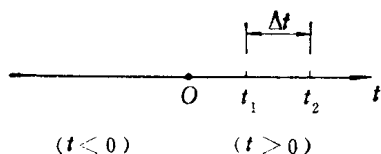


图 1-3 在时间轴上表示时刻和时间间隔

与建立空间坐标系确定空间位置一样，我们也可建立一“时间坐标轴”来确定发生某事件的时刻。如图1-3所示，时间轴的原点 O 是计时起点，坐标轴的方向是

时间从过去到未来的流逝方向，轴上一点对应于某一时刻。凡在计时起点以前的时刻为负（ $t < 0$ ），在计时起点之后的时刻为正（ $t > 0$ ）。时间间隔是过程进行的一段时间，是过程的终结时刻与开始时刻之差。若某过程的开始时刻为 t_1 ，终结时刻为 t_2 ，则该过程的时间间隔为

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

时间流逝不能逆向进行，所以时间间隔 Δt 总是正的。国际单位制中时间间隔也以秒作为单位。

四、运动方程

当质点相对于所选定的参照系（坐标系）运动时，其空间位置要不断地随时间而变，即位置矢量 $\mathbf{r}$ 是时间的函数

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

这一函数关系称为运动方程。在直角坐标系中位置矢量 $\mathbf{r}$ 可分解为 x 、 y 、 z 三个分量，所以运动方程在直角坐标系中也可写成