

· 高等学校教材 ·

物理学 基本教程

第一册 张达宋 主编



高等教育出版社

高等学校教材

物理学基本教程

第一册

张达宋 主编

参加编写人:

李行一	袁长寿	王安安	陈大德	刘 坤
王文楷	于永香	董勋德	贾惠凯	张 平

高等教育出版社

1987

内 容 提 要

本书系作者根据长期教学积累的经验编写而成,比较系统全面地阐述了工科大学物理(即原普通物理学)课程的基本内容。全书共分三册。第一册内容为力学、气体分子运动论和热力学基础,包括七章:质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量、刚体的转动、气体分子运动论和热力学基础,每章后附有习题,书末附有习题答案。第二册内容为电磁学、第三册内容为振动与波动和近代物理学基础。本书由洪晶主审,杨仲春、周勇志、方光耀和胡盘新等参加审稿。

本书内容的选取和讲述的深度主要依据国家教委1987年颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》,可作为工科类各专业本科《大学物理》课程的基本教材,也可供非工科类有关专业选用。

责任编辑: 黄元铭

(京)112号

高等学校教材
物理学基本教程
第一册

张达宋 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 8 字数 200 000

1989年 6 月第 1 版 1992年 7 月第 5 次印刷

印数 32 773—42 213

ISBN 7-04-001019-4/O · 650

定价 2.35元

前 言

本书初稿系根据1980年原教育部颁布的高等工业学校普通物理教学大纲的基本要求(即不打*号的内容)结合编者的教学经验并借鉴国内外部分教材而编写的,1984年通过评选,随即按照评审意见对原稿作了修改、试用,以后又根据1986年西安审稿会所提意见及1987年国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》作了进一步的修改和补充,经复审后于1987年9月定稿。

本书编写的指导思想是:1°要便于教师教和学生学,要符合人的认识过程,既与高中物理衔接,又避免不必要的重复,起点不要太高,但又必须达到国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》(以下简称基本要求).2°由于本课程内容多学时少,教材要编写得紧凑,又要把问题阐述清楚,使之便于教学.3°概念的讲述要清楚,推理论证要严谨,要有逻辑性和系统性.

本书除打*号部分外,绝大部分内容都是属于《基本要求》的范围,可根据专业的需要选用.本书参考总学时为130~140学时,各部分内容基本上按照《基本要求》的先后次序安排的,只是牛顿力学的相对性原理放在“狭义相对论基础”一章的开头,玻耳兹曼能量分布定律放在“激光”一节之前.本书采用国际单位制,各物理量名称及有关单位的名称均采用国家标准规定的名称.

参加本书编写工作的有李行一、袁长寿、王安安、陈大德、刘坤、王文楷、于永香、董勋德、贾惠凯及张平等同志.

本书审稿人有哈尔滨工业大学洪晶同志(主审)、天津大学杨

仲奇同志、华南工学院周勇志同志、华东工学院方光耀同志及上海交通大学胡盘新同志等。他们对本书原稿进行了详细审阅并提出宝贵意见和具体建议，对本书的修改工作帮助很大，在此表示衷心感谢。

南京空军气象学院、成都地质学院、广东工学院及华东工学院等院校的同志对本书原稿提出许多宝贵意见和建议，云南大学李德修教授对本书固体能带理论基础一章提出了宝贵和具体的修改意见，使编者深受教益，在此一并表示感谢。

由于本书的编写及修改工作量很大而时间又十分仓促，更主要的是由于编者的水平有限，本书缺点错误一定不少，衷心希望使用本书的同志多多提出宝贵意见。

编者

第一册 目 录

绪论	(1)
----	-------

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	(4)
§ 1-1 参照系 质点	(4)
§ 1-2 质点的位移 速度和加速度	(7)
§ 1-3 相对运动	(20)
§ 1-4 圆周运动	(23)
思考题	(30)
习 题	(31)
第二章 牛顿运动定律	(35)
§ 2-1 牛顿运动定律 力的概念 惯性参照系	(35)
§ 2-2 力学单位制和量纲	(43)
§ 2-3 牛顿运动定律应用举例	(47)
思考题	(60)
习 题	(61)
第三章 功和能	(65)
§ 3-1 功 功率	(65)
§ 3-2 动能 动能定理	(71)
§ 3-3 势能	(75)
§ 3-4 功能原理 机械能守恒定律	(81)
§ 3-5 能量转换与守恒定律	(88)
思考题	(89)
习 题	(90)
第四章 动量	(95)
§ 4-1 动量 冲量 动量原理	(95)
§ 4-2 动量守恒定律	(98)

§ 4-3	碰 撞	(103)
	思考题	(109)
	习 题	(109)
第五章	刚体的转动	(113)
§ 5-1	刚体的平动、转动和定轴转动	(113)
§ 5-2	力矩 转动定律 转动惯量	(116)
§ 5-3	转动动能 力矩的功	(124)
§ 5-4	角动量 角动量守恒定律	(127)
	思考题	(133)
	习 题	(134)

第二篇 气体分子运动论和热力学基础

	引言——分子物理学和热力学的研究对象和方法	(138)
第六章	气体分子运动论	(139)
§ 6-1	分子运动论的基本概念	(139)
§ 6-2	气体的状态参量 平衡状态 理想气体 状态方程	(142)
§ 6-3	气体分子运动论的压力公式	(148)
§ 6-4	气体分子的平均平动动能与温度的关系	(153)
§ 6-5	能量按自由度均分原则 理想气体的 内能	(156)
§ 6-6	麦克斯韦速率分布定律	(161)
§ 6-7	分子的平均自由程和平均碰撞次数	(167)
*§ 6-8	实际气体的范德瓦耳斯方程	(170)
*§ 6-9	气体内的迁移现象	(175)
	思考题	(180)
	习 题	(181)
第七章	热力学基础	(185)
§ 7-1	内能 功 热量	(185)
§ 7-2	热力学第一定律	(187)
§ 7-3	热力学第一定律对理想气体等容、等压和等温过程的 应用	(190)

§ 7-4	气体的热容	(197)
§ 7-5	热力学第一定律对理想气体绝热过程的应用.....	(201)
§ 7-6	循环过程 卡诺循环 热机的效率.....	(205)
§ 7-7	热力学第二定律.....	(211)
§ 7-8	可逆过程和不可逆过程 卡诺定理.....	(214)
§ 7-9	热力学第二定律的统计意义.....	(219)
§ 7-10	熵.....	(222)
	思考题.....	(228)
	习 题.....	(230)
习题答案		(237)
附录 I	国际单位制的七个基本单位的定义.....	(244)
附录 II	常用力学量和热学量的单位	(245)
附录 III	常用物理基本常数表.....	(247)

绪 论

一、物理学的研究对象

物理学和其他自然科学一样都是研究物质的，也就是研究物质运动形式的。什么是物质？各种气体、液体、固体和组成物体的分子、原子、电子等这些实物都是物质，电场、磁场、重力场和引力场等这些场也是物质，整个自然界是由各式各样的物质组成的。

一切物质都是在永恒不停的运动之中，运动和物质是分不开的，世界上没有不运动的物质，也没有无物质的运动。运动是物质存在的形式，是物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程。例如物体位置的变化，生命过程，桌子的腐朽，岩石的风化等等都是物质运动的例子。人的思维也是运动，是人脑的运动。运动的形式是多种多样的。在所有的运动形式中，位置的变化是最简单的运动，这种运动称为机械运动。物质不是处在这种运动形式之中，就是处在那种运动形式之中。

自然科学的不同学科研究不同的运动形式。物理学是研究最普遍的运动形式的，即机械运动、分子热运动、电磁运动以及原子和原子核内部的运动等。至于其他比较复杂的运动形式，则属于其他自然科学的范围，例如化学反应属于化学范围，生命过程属于生物学范围等等。

物理学所研究的运动形式具有最大的普遍性，即是说，这些运动形式普遍地存在于其他高级的复杂的运动形式之中，因此，物理学所研究的规律具有最大的普遍性，例如能量守恒定律，任

何变化和过程都要服从这条定律。

二、物理学在自然科学和工程科学中的地位和作用

自然科学中的基础学科有六门，即数学、物理、化学、生物、天文、地学。但最基础的是两门，一门是数学；一门是物理。物理学是除数学以外的一切自然科学的基础，也是一切工程科学的基础。由此可见，物理学在自然科学和工程科学中占有十分重要的地位。许多新学科的建立，工程技术上许多重大发明创造都是和物理学的发展分不开的。例如，在历史上引起工业革命的蒸汽机的发明，就来源于牛顿力学及量热学的建立，反过来，蒸汽机的应用又推动了热学理论的发展；电机电器的创造，以及无线电通讯等等的出现，就来源于电磁学的发展，特别是法拉第-麦克斯韦电磁场理论的建立。相对论和量子力学的建立使人们对于原子、原子核结构的认识就越来越深入了，在此基础上人们实现了原子核能的利用，并引起了电子学、半导体、等离子体、激光、量子化学、生物工程、航天工程等一系列新领域、新技术的出现。在现代，脱离对基础理论的研究和运用而想得到重要的突破性发现是愈来愈不可能了。1957年以前，美国对基础理论不够重视，1957年苏联的人造卫星上天在美国引起很大震动，从此以后美国在科研方面大大加强基础理论的研究，在学校教育中也大大加强了基础理论的教学，这样经过不很长的时间在空间技术方面，美国就赶上了苏联。目前它们在科学技术、军工技术等方面竞争非常激烈。我国正在进行四个现代化建设，而四个现代化的关键是科学技术现代化。同学们要在科学技术方面有所发明创造，对四化作出较大贡献，就必须加强基础理论的学习，特别是物理基础就显得更加重要。

物理学在高等工业学校中是一门重要的基础理论课，通过这

门课程的学习不仅对自然界中各种基本运动形式及其规律获得较全面较系统的认识，而且在实验技能、逻辑思维能力和独立工作能力等方面将受到初步训练。因此，学好物理学可以为学习专业知识和近代科学技术奠定良好基础。

第一篇 力 学

力学的研究对象是机械运动，所谓机械运动就是物体在空间的位置随时间变化的过程。地球绕太阳运动，火车在铁路上行驶，吊车吊起重物等都是机械运动的例子。力学就是研究机械运动的规律及其应用的学科。力学分为三部分：

力学 { 运动学 只从几何观点来研究物体的运动，不考虑产生或改变运动的原因。
动力学 联系改变运动状态的原因（力）来研究运动。
静力学 研究作用在物体上的力的平衡条件。

本篇第一章是运动学的内容，第二至第五章是动力学内容。静力学内容本书不拟介绍。

第一章 质点运动学

§ 1-1 参照系 质点

一、参照系和坐标系

宇宙间一切物体都在运动，桌子上的书对于桌子和房间里其他物体是静止的，但对于太阳是运动的，因为地球绕它自己的轴转动，同时又绕太阳作椭圆运动，所以书和房间里其他物体也跟

着地球绕太阳运动，太阳也在运动，它以每秒几百公里的速度绕着银河系的中心运动，银河系也在运动，绝对静止的物体是没有的，这就是运动的绝对性。

既然一切物体都在运动，为了描述一个物体的机械运动，必须另选一个物体作参考，然后研究这一物体对于被选作参考的物体的运动，这个被选作参考的物体称为参照系，如图1-1。参照系的选择可以任意，通常要看问题的性质和研究的方便。例如研究地面上物体的运动，通常选择地球作为参照系。研究地球或其他行星的运动，就要选择太阳作为参照系。

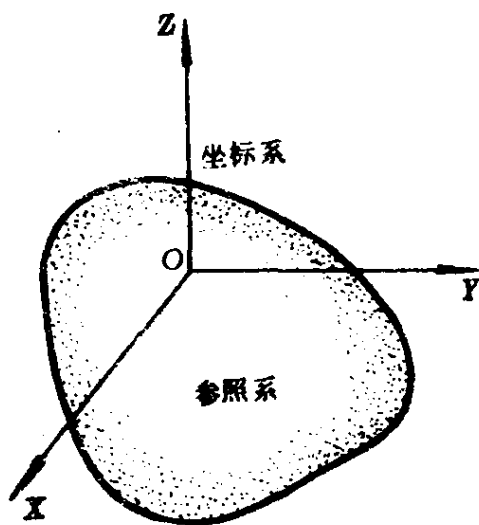


图 1-1

同一物体的运动，由于我们选取的参照系不同，对它的运动的描述就不相同。例如，在沿水平方向作匀速直线运动的车厢中，有一个自由落下的物体，如以车厢为参照系（即从车厢中的人看来），物体作直线运动；如以地面为参照系（即从地面上的人看来），物体作平抛运动。物体的运动对不同的参照系有不同的描述这个事实称为运动描述的相对性。

由于运动的描述是相对的，所以描述物体的机械运动时必须指明或暗中明确所用的参照系。

为了定量地描述物体相对于参照系的运动情况，只有参照系是不够的，还要有一种说明物体相对于参照系的位置的方法，用数量来说明位置的方法是在参照系上选择一个固定的坐标系，如图1-1中的正交坐标系 $OXYZ$ ，坐标系选定以后，物体的位置就可以用它在这个坐标系中的坐标来描述。

二、质点

任何物体都有一定的大小和形状，在一般情况下，物体运动时，它内部各点的运动情况是各不相同的，而且物体的形状和大小也可能发生变化，但在某些问题中物体的形状和大小不起作用或所起作用甚小，是次要因素。为了抓住主要因素和掌握它的基本运动情况，我们有必要忽略物体的形状和大小，而把它看作是一个具有质量而没有大小和形状的理想物体，这样的物体称为质点。

质点是一理想化的模型，物理学中常用理想模型来代替实际研究的对象，突出它的主要性质，忽略它的次要性质，以便简化问题的研究，这样做是必要的，否则甚至最简单的问题也会使我们感到非常复杂，无法下手。除质点外，以后要讲到的刚体、理想气体、绝对黑体等都是理想模型。

一个物体能否看作质点要看问题的性质来定。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球的平均半径(6400千米)比地球与太阳间的距离(约为 1.5×10^8 千米)小得多，地球上各点对太阳的运动可视为相同。这时，就可以忽略地球的大小和形状，把地球当作一个质点。但是研究地球的自转时，如果仍然把地球看作一个质点，显然就没有意义了。

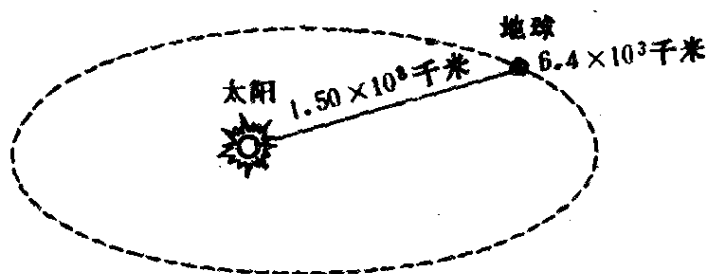


图 1-2

三、时间和时刻

我们要区别“时间”和“时刻”这两个概念。什么是时刻？

时刻就是时间的某一瞬时。例如火车八点钟从甲站开出，十点钟到达乙站，这个八点钟和十点钟就是时刻，从八点到十点经过 2 小时，这 2 小时就是时间间隔，或简称为时间。质点运动时，它所经过的某一位置对应于某一时刻，质点所走的某一段路程对应于某一时间间隔。

§ 1-2 质点的位移 速度和加速度

高中物理的质点运动学首先讨论直线运动，然后把抛射体的运动作为两个直线运动的合运动来处理。在这一节中，为了突出位移、速度和加速度的矢量性，我们从曲线运动讲起，就曲线运动情形介绍这些物理量及有关概念，然后把所得结果应用于直线运动，求出直线运动的位移、速度和加速度的表示式。

一、质点的运动方程 轨道

为简单起见，我们讨论平面运动情形（很容易推广到空间运动）。设质点在一平面上运动，在这平面上取坐标系 OXY ，质点 P 对于这坐标系的位置由两个正交坐标 x 、 y 确定，如图 1-3。当质点运动时，它的坐标随时间而变化，是时间 t 的函数：

$$\begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \quad (1-1)$$

(1-1) 式给出质点在任一时刻 t 的位置，所以它表示质点的运动规律，称为质点的运动方程。知道了质点的运动方程，就可以求出质点在各个时刻的坐标，因而就可以画出质点运动的路线。质点运动的路线称为质点运动的轨道，(1-1) 式就是轨道

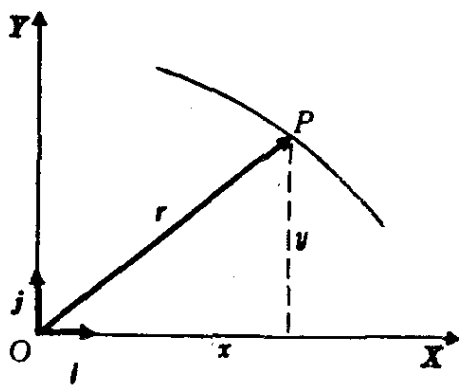


图 1-3

的参数方程。由(1-1)式中两式消去 t 便得到轨道的正交坐标方程：

$$f(x, y) = 0$$

如果质点的轨道是一直线，则其运动称为直线运动；如果质点的轨道是一曲线，则其运动称为曲线运动。

质点 P 的位置还可以用由原点 O 到 P 点的矢径 r 表示， r 称为质点的位置矢。质点的坐标 x, y 是 r 在坐标轴 OX 、 OY 上的分量（图1-3），它们之间有如下关系：

$$r = xi + yj \quad (1-2)$$

其中 i 、 j 为 X 、 Y 轴上的单位矢。质点的运动方程亦可用矢函数表示如下式：

$$r = r(t) \quad (1-3)$$

(1-3)和(1-1)两式是等效的。

如果质点在一直线上运动，并取这直线为 X 轴，则质点的位置由一个坐标 x 确定。在此情形质点的运动方程由一个函数表示为

$$x = x(t)$$

二、位移

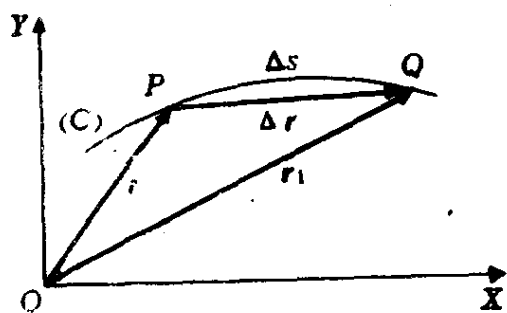


图 1-4

假设质点在如图1-4所示的曲线(C)上运动，在时刻 t 质点位于 P 点，位置矢为 r ，在时刻 $t + \Delta t$ 质点运动到 Q 点，位置矢为 r_1 ，则从 P 点到 Q 点的矢径 Δr 称为质点在 Δt 时间内的位移。

位移是矢量，其大小等于由 P 点到 Q 点的直线距离，其方向为由 P 点到 Q 点的方向。由图1-4得知

$$\Delta r = r_1 - r$$

$r_1 - r$ 就是位置矢 r 在 Δt 时间内的增量, 故用 Δr 表示.

应区别位移与路程, 路程是标量, 在 Δt 时间内质点通过的路程是弧 PQ 的长度 Δs , 而位移是矢量, 在 Δt 时间内的位移的大小等于割线 PQ 的长度 $|\Delta r|$, Δs 与 $|\Delta r|$ 一般不相等, 只当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, Δs 与 $|\Delta r|$ 才可视为相等.

在直线运动情形, 如果质点始终朝一个方向运动, 则位移的大小和路程的长度相等, 如果从 P 点运动到 Q 点, 然后又回到 P 点, 则位移的大小为零, 但路程的长度等于 $\overline{PQ}$ 的两倍(图1-5)。

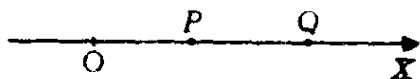


图 1-5

三、速度

假设质点在如图1-6所示的曲线 (C) 上运动, 其运动方程由矢函数 $r = r(t)$ 表示, 在时刻 t 质点的位置矢为 $r(t)$, 在时刻 $t + \Delta t$ 质点的位置矢为 $r_1 = r(t + \Delta t)$, 则在 Δt 时间内质点的位移为 $\Delta r = r_1 - r$, 位移 Δr 与时间

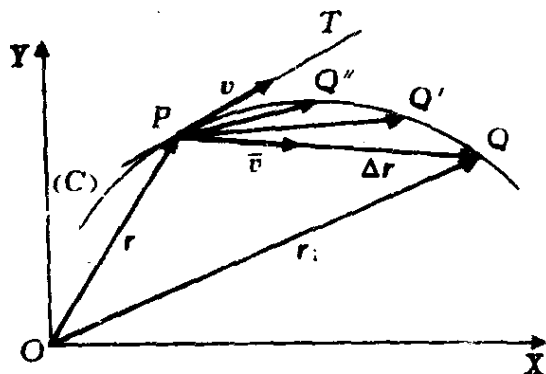


图 1-6

Δt 的比值 $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 称为质点在此时

间的平均速度, 用 $\bar{v}$ 表示, 则

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

符号的上面加一横线“—”表示平均的意思, 平均速度是矢量, 其大小为 $\frac{|\Delta r|}{\Delta t}$; 其方向为 Δr 的方向(图1-6)。平均速度(大小或方向或两者)一般与所取时间间隔有关, 所以说平均速度时必须说明是哪一段时间内的平均速度.