

黑龙江省高等工科院校统编教材

总主编 曹茂盛 杨学栋

物理学简明教程

(第一册)

曹茂盛 韩桂华 孙玉兰 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书是高等工科院校《物理学简明教程》(共四册)的第一册,内容包括力学篇、振动与波动篇、热学基础篇。

本书是工科类高等学校物理学教材,亦可供其他专业师生参考。

黑龙江省高等工科院校统编教材

物 理 学 简 明 教 程

Wulixue Jianming Jiaocheng

(第一册)

主编 曹茂盛 韩桂华 孙玉兰

主审 林家齐 房晓勇

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨理工大学东区印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 5.875 字数 130 千字

1998 年 2 月第 3 版 1998 年 2 月第 3 次印刷

印数 11 001—14 500

ISBN 7-5603-1191-1/O·82 定价 7.00 元

前 言

《物理学简明教程》是黑龙江省高等工科院校物理协作组部分教师联合编写的工科通用教材。全书分四册出版，一、二册是基本教材，内容符合国家教委最新修订的“高等学校工程专科物理学课程教学基本要求”的精神。第三册是“物理学与现代工程技术”阅读教材，是为了提高学生自学能力、拓展学生知识面而专门编写的，也是使物理学与现代工程技术接轨的探索性尝试。第四册是“解题指导与标准化训练试题选编”，是为了提高学生分析问题和解题能力而编写的配套指导书。本书具有以下特色：

1. 本书编写过程中，注意把握了教材的科学性、系统性和适用性；

2. 本书内容丰富、由浅入深、简明扼要、重点突出，能充分满足少学时时的要求；

3. 本书配有“物理学与现代工程技术”阅读教材，选编了物理学原理在现代工程技术中的应用，充分体现了“基本要求”中所强调的“以应用为主”的要求；

4. 本书配有“解题指导与标准化训练试题选编”指导书，便于教师教学，同时也便于学生自学，对学生巩固知识，提高自学能力有较大益处。

参加本册编写工作的有哈尔滨工程大学曹茂盛，哈尔滨工业高等专科学校韩桂华，哈尔滨理工大学（东区）孙玉兰，哈尔滨建筑大学吴琦，齐齐哈尔大学工学院陈丽娜。

本书编写过程中得到了哈尔滨工业大学赵世杰教授的精心指导，在此表示衷心的感谢。

由于水平所限，不足之处在所难免，欢迎读者多提宝贵意见。

编 者

1997 年 12 月

目 录

绪 论	(1)
-----------	-------

第一篇 力 学

第一章 质点力学预备知识	(5)
--------------------	-------

§ 1-1 质点运动的基本概念和基本物理量	(5)
-----------------------------	-------

§ 1-2 牛顿运动定律	(12)
--------------------	------

§ 1-3 单位制和量纲	(15)
--------------------	------

习 题	(17)
-----------	------

第二章 质点力学的普遍定律	(19)
---------------------	------

§ 2-1 功 功率	(19)
------------------	------

§ 2-2 动能 动能定理	(23)
---------------------	------

§ 2-3 势能	(27)
----------------	------

§ 2-4 功能原理 机械能守恒定律	(31)
--------------------------	------

§ 2-5 能量转换与守恒定律	(34)
-----------------------	------

§ 2-6 冲量 动量 动量定理	(35)
------------------------	------

§ 2-7 动量守恒定律	(40)
--------------------	------

习 题	(44)
-----------	------

第三章 刚体的定轴转动	(48)
-------------------	------

§ 3-1 刚体的运动	(48)
-------------------	------

§ 3-2 力矩 转动定律 转动惯量	(50)
--------------------------	------

§ 3-3 力矩的功 转动动能	(57)
-----------------------	------

§ 3-4 角动量 冲量矩 角动量守恒定律	(62)
-----------------------------	------

习 题	(66)
第四章 流体力学基础	(69)
§ 4-1 流体静力学	(69)
§ 4-2 理想流体 连续性方程	(74)
§ 4-3 伯努利方程	(77)
§ 4-4 粘滞流体的运动规律	(80)
习 题	(85)

第二篇 振动与波动

第五章 机械振动	(88)
§ 5-1 简谐振动	(89)
§ 5-2 简谐振动实例分析	(96)
§ 5-3 简谐振动的能量	(100)
§ 5-4 两个同方向同频率简谐振动的合成	(103)
习 题	(105)
第六章 机械波	(107)
§ 6-1 机械波的产生和传播	(107)
§ 6-2 平面简谐波的波动方程	(111)
§ 6-3 简谐波的能量	(117)
§ 6-4 惠更斯原理 波的干涉	(119)
习 题	(124)

第三篇 热学基础

第七章 气体分子动理论简介	(127)
§ 7-1 气体分子动理论的基本观点	(127)
§ 7-2 气体的状态参量 理想气体的状态方程	(129)

§ 7-3 气体分子动理论的基本公式	(132)
§ 7-4 能量均分原理 理想气体的内能	(137)
习 题	(141)
第八章 热力学基础	(142)
§ 8-1 热力学第一定律	(142)
§ 8-2 热力学第一定律对理想气体等值过程的 应用	(147)
§ 8-3 绝热过程	(154)
§ 8-4 循环过程 卡诺循环	(157)
§ 8-5 热力学第二定律	(163)
习 题	(164)
第九章 传热学基础	(167)
§ 9-1 热传导 傅里叶定律	(167)
§ 9-2 对流 牛顿冷却定律	(170)
§ 9-3 热阻	(172)
习 题	(175)
习题参考答案	(177)

绪 论

一、什么是物理学

物理学 physics 一词来源于古希腊文 physis, 其含义是关于自然的学说。大约在公元前 4 世纪, 亚里士多德 (Aristotle 公元前 384 ~ 322 年) 在总结了若干观察的事实和经验的基础上, 写成了《物理学》一书。该书叙述的知识同我们今天所说的物理学相去甚远。作为科学, 物理学是研究物质运动的最基本、最普遍形式及其规律的一门自然科学。它诞生于 17 世纪, 以伽利略 (Galileo Galilei 1564 ~ 1642 年) 为代表的物理学家把实验引进科学研究中, 后经几代科学家们不懈地探索, 目前已经确立了一个比较完整的物理学体系。这个科学体系由经历了大量实验检验的五大部分组成, 即研究机械运动规律的经典力学、研究热现象及分子运动规律的热力学和统计物理学、研究电磁运动规律的电磁场理论、研究原子及原子核等微观粒子运动规律的量子力学和研究高速运动物体的相对论。

纵观物理学发展史, 迄今为止, 出现了三次重大的理论突破: (1) 在开普勒 (J. Kepler 1571 ~ 1630 年)、伽利略等人的基础上, 牛顿 (I. Newton 1642 ~ 1727 年) 把天体运动规律和地面上的实验研究成果加以综合, 建立了牛顿运动三定律和万有引力定律。1687 年发表的《自然哲学的数学原理》一书, 标志着经典力学理论体系的初步建立。(2) 19 世纪中叶, 焦耳 (J. P. Joule 1818 ~ 1889 年) 的热功相当原理

奠定了热力学第一定律，该原理同卡诺（S.Carnot 1796 ~ 1832 年）的理论结合导致了热力学第二定律；同时，麦克斯韦（J. C. Maxwell 1831 ~ 1879 年）、玻尔兹曼（L.Boltzmann 1844 ~ 1906 年）的研究奠定了统计物理学基础，1902 年吉布斯（J.W.Gibbs 1839 ~ 1903 年）发表的《统计力学基本原理》一书完成了热学两个理论的综合。另一方面，以麦克斯韦关于电磁场理论的第三篇论文“电磁场的动力学理论”

（1865 年）和赫兹（H.Hertz 1857 ~ 1894 年）的电磁波实验（1887 年）为标志，物理学完成了第二次大综合。

（3）本世纪初，物理学面临一场伟大的革命，实验上一系列新发现同经典物理学的理论体系产生了尖锐矛盾，指出了经典物理学的局限性。为了适应这一新形势，相对论和量子力学应运而生，同时推动了其它一些新兴学科的产生和发展。

现在，物理学正面临又一次重大的突破，许多科学家坚信，新的物理学理论体系将出现在相对论和量子力学的交汇处。为此，物理学的研究正朝着三个方向发展：最大（ 10^{24} m）、最小（ 10^{-15} m）和最复杂。它们对应着三个物理学的前沿，即天体物理、基本粒子物理和凝聚态物理。

二、为什么要学习物理学

纵观当今社会，存在着许多有关自然、社会和工程技术的学科，如数、理、化、天、地、生等基础学科，冶金、机械、电子、化工等传统工程技术学科，以及新兴的工程技术学科。按照科学学的观点，现代科学技术的发展已经进入了多学科合成作战的大科学时代，一些关系密切的学科的集合构成了所谓大科学群。目前，存在着五个大科学群，它们是

物理科学群、生理科学群、心理科学群、数理科学群和事理科学群。其中，物理科学群除包括物理学、化学、力学等基础学科外，还包括许多工程技术学科，如材料科学、机械工程、电子学、微电子技术、原子能、航天工程等。这些学科相互渗透、密切相关，并都与物理学的发展分不开。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力学的建立；电机、电器的创造，以及无线电通讯的出现就来源于电磁场理论的建立。本世纪初，相对论和最子力学的建立使人们对原子、原子核结构的认识越来越深入，在此基础上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。目前，在欧美发达国家的工科院校都非常重视基础理论的教学，尤其是数学和物理学的教学，其物理课程设置的学时一般都在500学时左右。在社会主义现代化建设的今天，要想在科学技术方面有所发明创造，对现代化建设作出较大贡献，就必须加强基础理论的学习，特别是物理学的学习。

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，不仅能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，而且能在实验技能、逻辑思维能力和独立工作能力等方面受到初步训练。同时，学习物理学还可以为学习专业知识和近代科学技术奠定良好的基础。

第一篇 力 学

在多种多样的物质运动形式中,最简单、最常见的一种运动形式是物体间或物体各部分之间相对位置的变化,这种运动称为机械运动。力学就是研究机械运动的规律及其应用的学说,它包括运动学和动力学两部分内容。运动学研究物体位置随时间变化的规律;动力学则研究物体之间的相互作用对物体运动的影响,即研究物体运动状态变化的原因。

力学是最早发展的学科之一,人们通过生活和生产实践逐步认识了机械运动的规律。到17世纪,牛顿在前人研究的基础上,建立了牛顿运动三定律和万有引力定律,奠定了经典力学理论的基础。其后,经过伯努利(D. Bernoulli 1700 ~ 1782年)、拉格朗日(J. L. Lagrange 1736 ~ 1813年)、达朗贝尔(d'Alembert 1717 ~ 1783年)等人的推广和完善,形成了系统的理论,取得了广泛的应用并发展出现了流体力学、弹性力学和分析力学等分支。到了18世纪,经典力学已经相当成熟,成为自然科学中的主导和领先学科。

本篇着重介绍质点力学、刚体力学和流体力学的基本概念、基本规律,其中动力学基本守恒定律(机械能守恒定律、动量守恒定律、角动量守恒定律)及其应用是本篇的中心内容。

第一章 质点力学预备知识

本章主要介绍有关质点运动的基本概念和基本物理量、牛顿运动三定律以及量纲和单位制等质点力学预备知识。

§1-1 质点运动的基本概念和基本物理量

一、参照系 质点

世界是物质的,物质是运动的。在自然界中,不可能找到一个绝对静止不动的物体。放在桌上的书对于桌面是静止的,但它却随地球一起绕太阳运动;太阳也在运动,它以数百公里每秒的速度绕银河系中心运动,同时银河系也在运动,这就是运动的绝对性。

既然物体的运动是绝对的,那么接下来的问题必然是:对于某一个具体的物体,如雨滴,它是怎样运动的?这个问题可以有不同的答案:站在窗前的甲认为雨滴是竖直向下运动的,而坐在运行列车里的乙却认为雨滴是倾斜向下运动的。哪一个回答正确?这里涉及到运动描述的相对性问题。

在物理学中,当观察一个物体的位置及其变化时,总是要选择另外一个物体作为标准物。由于选择的标准物不同,对同一个物体运动的描述也自然不同,这就是运动描述的相对性。为此,引入了参照系的概念。

参照系 参照系是为确定物体的位置和描述其运动而选作依据的另一个物体(或几个相对静止的物体群)。物体运

动状态的描述依赖于参照系的选取，只有预先选定参照系，对某一个物体运动状态的描述才有确定的意义。参照系的选取完全是任意的，通常要考虑问题的性质和研究的方便，一般都选取地球为参照系。在讨论地球或其它行星运行时，常以太阳及几个选定的恒星组成的物体群作参照系。

参照系是一个物体，它只能定性地说明另一个物体的运动情况。为了能定量地描述物体的运动状态，必须使参照系概念数学化，所以在物理学中一般用坐标系替代参照系。坐标系有许多种，选取哪种坐标系视物体运动的形式而定，最常用的是直角坐标系，它由三个相互正交的轴交汇而成。交点 O 固定在参照系上，称为坐标原点，如图 1-1 所示。坐标系选定后，运动物体的位置可以用它在这个坐标系中的坐标来描述。适当选取坐标系，可以简化所研究的问题。

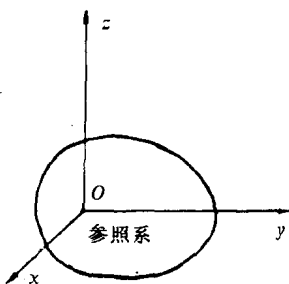


图 1-1 直角坐标系示意图

质点 任何物体都具有一定的大小、形状和内部结构，而物体间的这些差异会给我们的研究带来许多麻烦。为了方便，需要把运动的物体理想化。这种理想化的模型有许多种，其中质点是最基本的力学理想模型。

所谓质点，就是具有质量但在运动中可忽略其大小、形状和内部结构而视为几何点的物体。质点是从实际物体中抽象出来的理想模型，该模型突出反映了物体具有质量和占有位置这两个根本性质。采用质点模型可以使问题简化，便于作精确描述。

物体能否作为质点处理，取决于物体的相对大小和所研

究问题的性质。大如地球,在研究其公转时,可以把它看作质点;小如分子、原子,在研究其内部振动和转动时,就不能把它看作质点。对于不能当作质点来处理的物体,可以将其分割成许多个微小部分,小到每一微小部分的大小、形状不起作用,使每一微小部分都可当作一个质点为止。这样,就可以把物体作为质点的集合。

二、质点的位置矢量 速度 加速度

位置矢量 在质点力学中,物体的空间位置由坐标系中的一个点 P 来表示。通常把由坐标原点指向质点所在位置的有向线段定义为质点的**位置矢量**,简称**位矢**,如图 1-2 所示。在直角坐标系中,位矢可以表示为

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

它的大小即矢量的模

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

方向可由其方向余弦确定

$$\cos\alpha = x/r, \cos\beta = y/r, \cos\gamma = z/r \quad (1-3)$$

当质点运动时,它的坐标随时间而变化,一般可表示为时间的函数

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \quad (1-4)$$

若用位矢表示,则质点在任一时刻 t 的位置可由

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-5)$$

唯一确定。因为(1-5)式反映了质点的运动规律,所以称为质点的**运动方程**。由运动方程可以得到质点运动的轨迹方程,即由式(1-4)消去参数 t 。如果质点的轨迹是一直线,则其运动称为直线运动;如果质点的轨迹是一条曲线,则其运动称为曲线运动。在直线运动情况下,可通过选取适

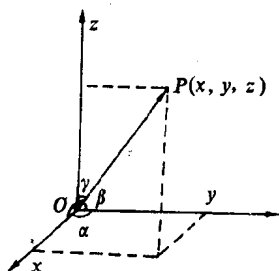


图 1-2 质点的位置

当的坐标系使 $z(t) = 0$, $y(t) \neq 0$, 此时, 质点的运动方程为

$$x = x(t) \quad (1-6)$$

位移 设质点在如图 1-3 所示的曲线 I 上运动, 在 t 时刻, 质点的位置 A 由位矢 $\mathbf{r}(t)$ 唯一确定; 在 $t + \Delta t$ 时刻, 质点运动到 B 点, 其位置亦可由 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ 确定。我们可以用弧长 $\widehat{AIB}$ 即路程 s_1 来描述质点的位置变化, 对同一位置变化, 质点也可以通过曲线 II 由 A 点运动到 B 点。事实上, 质点从 A 点运动到 B 点的路径可以有許多条。如果采用矢量 $\mathbf{AB}$ 来描述质点的位置变化, 就可以不考虑质点的具体路径, 使质点在 Δt 时间间隔内的空间位置变化被唯一确定。一般把由质点运动始点指向其运动终点的有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 定义为 位移矢量。

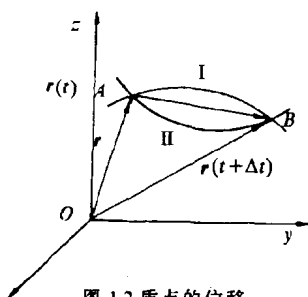


图 1-3 质点的位移

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t) \quad (1-7)$$

位移的矢量性使我们在研究质点的位置变化时可以不考虑其实际路径, 而只着眼于始末两点的位矢, 在运算上满足了位置矢量性的要求。

位矢和位移的单位都是米, 用符号 m 表示。

速度 凭日常经验, 我们说飞机比汽车快, 步行比汽车慢。这实际是说, 当我们从甲地出发到达乙地时, 飞机所需时间短, 而步行所需时间长。通常用位移矢量同所经历的时间之比, 即 平均速度

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-8)$$

来描述质点在某一段时间或某段位移内的运动快慢程度。

平均速度是矢量,其方向与位移方向相同,如图 1-4 所示。当质点由 t 时刻的 A 点经任一路径在 $t' = t + \Delta t$ 时刻运动到 B 点时,平均速度为

$$\mathbf{v} = [\mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t)] / \Delta t$$

可见,平均速度不仅是初始时刻 t 的函数,而且与所取时间间隔有关。

Δt 越小, $\Delta \mathbf{r} / \Delta t$ 就越能精确地描述质点在 t 时刻的运动情况。为此,用 $\Delta t \rightarrow 0$ 时平均速度的极限来描述质点在 t 时刻的运动快慢程度。这个极限称为质点在某时刻或某位置的瞬时速度,简称为速度,其数学表达式为

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-9)$$

式(1-9)说明,速度是位置矢量对时刻 t 的一阶导数。在一般情况下,速度是 t 的函数,具有瞬时性,可精确地描述质点运动的快慢程度。

速度是矢量,其大小称为速率,其方向沿位移的极限方向。由图 1-4 可知,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 B 点趋近于 A 点,此时 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向趋近于 A 点的切线方向。

速度的单位是米/秒,用符号 m/s 表示。

从单纯运动学的观点来看,一个质点的运动状态,可以由其位矢和速度完全确定。但是,当我们进一步去研究质点运动状态发生变化的原因时将会发现,有一个物理量在联系运动学和动力学方面起着关键作用,这个物理量就是加速度。

加速度 加速度是描述速度变化缓急程度的物理量。仿照速度的引入,下面给出加速度的定义。

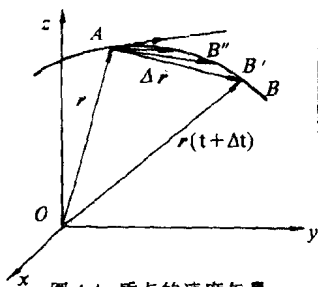


图 1-4 质点的速度矢量

设质点在时刻 t 时处于 A 点, 速度为 $\mathbf{v}(t)$, 如图 1-5 所示。经过 Δt 时间后, 质点运动到 B 点, 速度为 $\mathbf{v}(t+\Delta t)$, 则在 Δt 时间内速度的增量为 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}(t+\Delta t) - \mathbf{v}(t)$ 。该速度增量与所经历的时间之比称为质点在此时间内的平均加速度, 用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示, 即

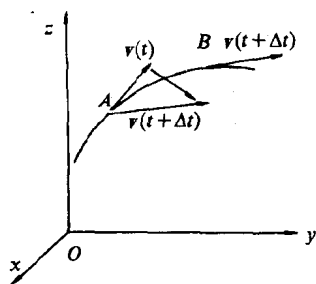


图 1-5 质点加速度矢量

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-10)$$

由于 $\bar{\mathbf{a}} = [\mathbf{v}(t+\Delta t) - \mathbf{v}(t)]/\Delta t$, $\bar{\mathbf{a}}$ 不仅是初始时刻 t 的函数, 而且还同具体的时间间隔 Δt 有关; Δt 取的越小, $\bar{\mathbf{a}}$ 越能够精确地反映质点速度变化的缓急程度。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度趋近于一极限, 我们定义: 质点在某时刻或某位置的瞬时加速度即是当时间间隔趋近于零时平均加速度的极限。其数学表达式为

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (1-11)$$

由 (1-9) 式, 加速度又可写成

$$\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-12)$$

加速度是位置矢量对时刻 t 的二阶导数。在一般情况下, 它也是时刻 t 的函数, 具有瞬时性。加速度又具有矢量性, 其方向沿速度增量的极限方向。由图 1-5 可知, 加速度 $\mathbf{a}$ 总是指向曲线凹的一侧。

加速度的单位是米/秒², 用符号 m/s^2 表示。