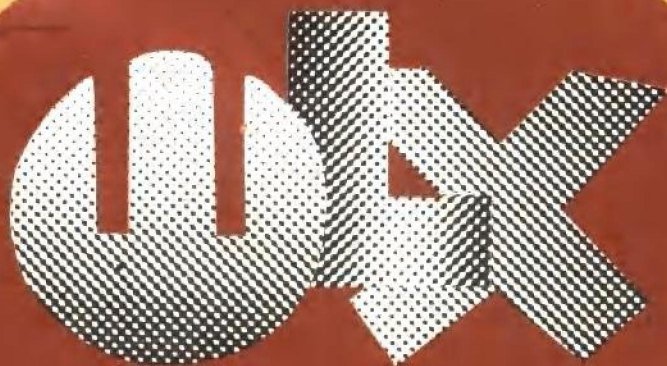


第一册

·高等学校教学用书·

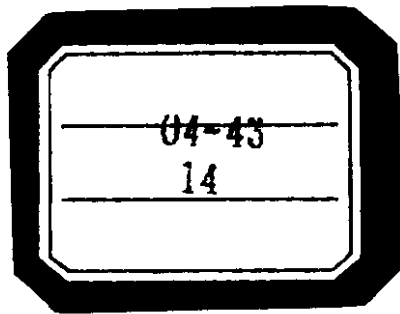
大学物理学

四川大学等七所高等院校编



四川大学出版社

1703114



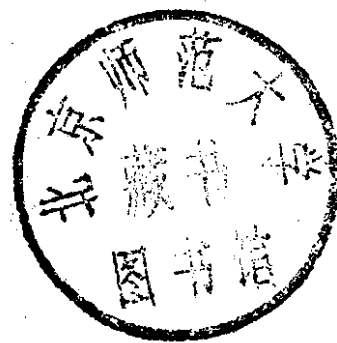
高等学校教学用书

大学物理学

第一册

四川大学等七所高等院校合编

JY1176/11



四川大学出版社



B1316720

(川)新登字014号

责任编辑:杨守智 周明松

封面设计:冯先洁

技术设计:杨守智

大学物理学

第一册

四川大学等七所高等院校合编

四川大学出版社出版发行

(四川大学校内)

四川省新华书店经销

成都市郫县犀浦印刷厂印刷

787×1092mm32开本

14.75印张

310千字

1995年7月第一版

1995年7月第一次印刷

印数:0001—5000册

ISBN7-5614-1080-8/O·98

(全套共四册)定价32.50元

编者的话

《大学物理学》是高等院校理工科各类专业的一门重要基础课程。一套既能满足各类专业及高科技发展要求、符合教学大纲规定,又能使教师好用学生好学的教材,是教学改革中教材建设的一个重要课题。我们想从“横向联合”方面来探索这个课题,为此,联合了理科大学、工科大学、师范大学等多所高等院校的物理教师,在交流与综合各类院校教学经验的基础上,合作编写了《大学物理学》。

编写《大学物理学》的依据是委颁非物理专业的教学大纲。编写的主要考虑是:(1)在注意与中学物理衔接的基础上,突出大学物理的教学内容。在力学部分作了结构上的改变,在讲清物理思想与物理概念的同时,增强了高等数学的应用;(2)在保持各分支学科纵向深度适当的同时,注意各学科间的横向联系与渗透的广度,特别注意在联系近代高科技应用方面“开口子”、“找接口”。书中这方面内容用带“*”号标记,供教师选择或学生阅读之用;(3)为利于教与学两个方面,书中增加了讲授例题的数量与类型,精选了习题的层次与类型,并在每部分末附有与标准化试题类似的综合习题;(4)为配合《大学物理学》的使用,我们还编写了全部习题与综合习题的解答。

《大学物理学》分四册,第一册内容为力学与热学;第二册内容为电磁学;第三册内容为光学与近代物理学;第四册为习题和综合题解答。

参加上册编写的人员有:

解放军后勤工程学院:史通源、范森春、李树河、蒲志文

武汉大学:刘宏清、徐斌富

四川工业学院:李晓林、张绍成

贵州师范大学:孙梅丽、龚彩萍、宁 燕、杨昌达

成都理工学院:林隆述

四川三峡学院:刘兴业、于奇云

四川大学:杨自觉、杨用炯、黄邦俊

第一册由四川大学杨自觉修编与定稿。

我们对支持和关心本书编写和出版的所有同仁和单位表示诚挚的感谢。书中不足不妥之处,欢迎批评指出。

编 者

1994年12月于成都

目 录

第一编 力学

第一章 运动学	(2)
§ 1—1 描述运动的几个基本概念	(2)
§ 1—2 位置矢量、速度矢量和加速度矢量	(6)
§ 1—3 直线运动	(17)
§ 1—4 平面曲线运动	(24)
§ 1—5 刚体的平动与定轴转动	(39)
习 题	(44)
第二章 动力学的基本规律	(51)
§ 2—1 牛顿运动定律	(51)
§ 2—2 单位制 量纲	(56)
§ 2—3 常见的力	(58)
§ 2—4 牛顿运动定律的应用	(68)
§ 2—5 质心运动定理	(75)
§ 2—6 刚体定轴转动的转动定律	(80)
§ 2—7 转动定律的应用	(88)
§ 2—8 惯性参照系 非惯性参照系	(94)
习 题	(101)
第三章 运动定理和守恒定律	(112)
§ 3—1 质点动量定理	(113)
§ 3—2 质点系动量定理 动量守恒定律	(118)
§ 3—3 质点的角动量 角动量定理	(129)
§ 3—4 质点系的角动量定理 角动量守恒定律	(133)
§ 3—5 功 功率 几种常见力的功	(139)
§ 3—6 动能定理	(145)
§ 3—7 质点系的势能	(149)

§ 3—8	功能原理 机械能守恒定律	(154)
§ 3—9	碰撞	(163)
§ 3—10	牛顿力学的适用范围	(169)
	习 题	(170)
第四章 流体力学基础		(178)
§ 4—1	流体的属性 理想流体	(178)
§ 4—2	流体静力学	(180)
§ 4—3	流体运动的描述	(188)
§ 4—4	伯努利方程及其应用	(192)
§ 4—5	实际流体的运动	(200)
	习 题	(208)
第五章 机械振动		(212)
§ 5—1	简谐振动	(213)
§ 5—2	谐振动的旋转矢量表示法	(224)
§ 5—3	简谐振动的能量	(226)
§ 5—4	简谐振动的合成	(230)
§ 5—5	阻尼振动 受迫振动 共振	(239)
§ 5—6	振动的分解	(247)
	习 题	(249)
第六章 机械波		(257)
§ 6—1	机械波的产生和传播	(257)
§ 6—2	平面简谐波的波动方程	(263)
§ 6—3	波的能量 波的强度	(270)
§ 6—4	惠更斯原理	(274)
§ 6—5	波的干涉	(278)
§ 6—6	声波 超声波 次声波	(287)
* § 6—7	多普勒效应	(294)
	习 题	(297)

第二编 热 学

第七章 气体分子运动论	(304)
§ 7—1 理想气体分子运动论的基本概念	(304)
§ 7—2 理想气体的状态方程式	(307)
§ 7—3 理想气体的压强公式和温度公式	(313)
§ 7—4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	(319)
§ 7—5 气体分子的速率分布律 波尔兹曼分布	(325)
§ 7—6 气体分子的平均碰撞频率 平均自由程	(334)
§ 7—7 气体内的迁移现象	(337)
§ 7—8 范德瓦尔斯方程	(342)
习 题	(347)
第八章 热力学基础.....	(351)
§ 8—1 热力学第一定律	(351)
§ 8—2 热力学第一定律对理想气体的应用	(357)
§ 8—3 循环过程 卡诺循环	(374)
§ 8—4 热力学第二定律	(383)
§ 8—5 卡诺定理	(390)
§ 9—6 熵 熵增加原理	(394)
习 题	(402)
第一编综合练习题.....	(409)
第二编综合练习题.....	(434)
习题参考答案.....	(444)
第一编综合练习题参考答案.....	(455)
第二编综合练习题参考答案.....	(459)
附录 I 国际单位制〔SI〕简介	(461)
附录 II 常用物理基本常数表.....	(463)

第一编 力学

力学是研究物质机械运动的学科。机械运动是指物体之间或物体各部分之间空间相对位置的变化,它是物质各种运动形式中最普遍最简单又最基本的形式。机械运动存在于一切其它高级运动形式之中,所以,力学是整个物理学的基础,也是工程技术的理论基础。

力学以牛顿运动定律为基础。研究宏观物体(尺度远大于原子尺度 10^{-10}m 的物体)的低速(远小于光速的)运动的客观规律,亦称经典力学,或牛顿(Newton, Sir Isaac 1643·1—1727·3 英国科学家,经典物理学理论体系的建立者)力学。

牛顿力学一般分为三个部分。(1)运动学。研究物体的空间位置随时间变化的规律,即从几何学的观点研究物体的运动状态,而不涉及运动状态改变的原因。(2)动力学。研究物体间相互作用(力)对物体运动的影响和所遵循的规律。(3)静力学。研究物体的平衡问题。

本篇讨论的主要内容为质点力学、刚体力学和流体力学。

第一章 运动学

研究物体的运动规律时,按不同情况,我们使用的物体理想化模型分别为“质点”、“刚体”或“质点系”。本章主要讨论质点运动与刚体运动这两类典型情况,重点要求理解描述运动的基本物理量、掌握处理运动问题的基本方法以及典型运动的运动规律。

§ 1-1 描述运动的几个基本概念

研究物体的机械运动规律,首先要确定如何描述物体的运动。物体的运动的描述,起源于人们对运动物体的观察,对大量现象进行归纳、综合,从而抽象出必要的概念,再建立必要的基本运动学量(物理量)来实现的。

一、时间

人们在日常生活和观察自然现象中,为了描述事件的顺序和过程的长短,得出时间概念。在物理学中,时间是一个重要的物理量,在[SI]制中它的基本单位是秒(S)。对时间的量度,通常是用钟、表来实现。

“时刻”是一个瞬时概念,它对应于时钟上时针的一个确定位置,通常用符号 T 表示,例如秒表上的38"或45"。时刻的

数值,取决于我们对零时刻的选取,从而具有相对意义。“时间间隔”是一个积累概念,用来描述过程的长短,是过程初、终时刻 T_1 、 T_2 的差值,记作 $\Delta T = T_2 - T_1$ 。时间间隔具有绝对意义,与零时刻的选取无关。时间间隔通常又简称为时间。在牛顿力学中,时间是被认为单向流逝的,即规定 $T_2 > T_1$ 。

从时间的意义可以看出,一切物体的运动,都是与时间过程分不开的,脱离时间的运动是不存在的。时间是描述运动的必不可少的物理量。

二、空间

空间概念也是在日常生活和观察自然现象中建立的,它用来描述物体的形状和位置。通常,人类生存的空间被设想成一个延伸到整个宇宙的容纳物质的三维框架。一般情况下,我们用一个固连在某个物体(例如实验桌)上的三维笛卡尔坐标架来表示空间。空间的大小可以用长度这个物理量沿着坐标轴(三个互相垂直的方向)量得的值来表示,在[SI]制中,长度的基本单位是“米”。角是经常用来量度空间的另一个物理量,其单位常用弧度表示。在牛顿力学中,空间的大小被认为是绝对的。所以在牛顿力学中用到的时间——空间概念属于绝对时空观。

还需指出,长度是一个相对量,其数值与零点的选取有关。但当用它来描述物体的位置和物体的尺寸(从而描述物体的形状)时,其数值是两个长度之差: $\Delta L = L_2 - L_1$,它与零点的选取无关,是有绝对意义的。

三、质点 刚体

任何物体都有大小和形状。一般地讲,物体运动时,其内部各点位置的变化是不一样的,物体的形状和大小也可能发

生变化。因此物体作一般的机械运动时,物体各部分的运动规律将十分复杂。

如果在某些情况下,物体的大小和形状对于所研究的问题不起作用,或所起作用甚小可以忽略不计时,为使问题简化,可将被研究的物体看作一个只具有质量而没有大小和形状的几何点,即质点。

质点是物体的理想化模型。用理想化模型代替实际研究对象(物体),既突出了物体的主要性质,忽略次要因素,又简化了问题处理,这是物理学中处理问题的重要方法,也是一切科学研究中的重要方法。

应该指出,质点模型的应用是有条件的。由于所研究问题的性质不同,同一物体在某些情况下可视为质点,而在另一些情况下则不能视为质点。例如地球,当讨论它绕太阳的公转时,由于地球的平均半径(6400km)比地球到太阳的距离(约 1.5×10^8 km)小得多,地球自转引起的地球上各点公转运动的差异可以忽略,即地球上各点相对于太阳的公转运动可视为相同,这时就可以把地球看作一个质点。当研究地球的自转时,地球上各点的运动的差别便相当显著,因而也就不能再把地球视为质点了。

如果在某些情况下,物体的形状和大小变化对所研究问题不起作用或所起作用甚小可以忽略不计时,则可以使用“刚体”这一理想化模型。简单地讲,形状与大小在运动过程中不发生变化的物体,就是刚体。严格地定义是:物体内任二点的距离在运动过程中都保持不变的物体,称刚体。当然,刚体模型的应用也是有条件的。

四“参照系 坐标系

辩证唯物论认为,宇宙中的一切物体都处于永恒不停的运动中,自然界没有绝对静止不动的物体。因而哲学上说,运动是绝对的。

力学中研究的机械运动则是相对的。这是因为描述物体的机械运动,就是要考察物体在空间的位置及其随时间的流逝而发生变动。而一个物体的位置总是相对于其它物体或物体体系来确定的。这个用以确定运动物体位置的其它物体或物体体系称为参照系。要注意的是,对同一运动物体的描述,因所选用的参照系不同,而有不同的结果。

例如,我们从运动着的参照系地球或太阳上来观察某行星的运动:从太阳上看到该行星是沿着轨道A运动的;但从地球上看到该行星是沿着轨道B运动,

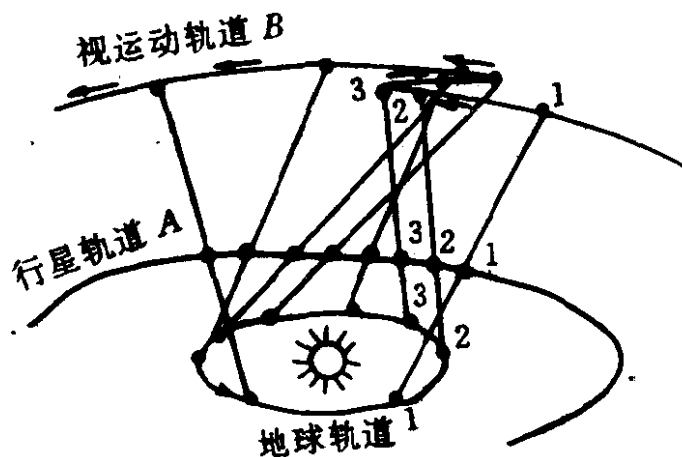


图1-1

这种运动叫“视运动”。从地球上,该行星有时由西向东运动(叫“顺行”),有时由东向西运动(叫“逆行”),由顺行转为逆行或由逆行转为顺行时,从地球上看起来行星似乎在星空中静止不动,叫做“留”。

机械运动的描述因所选参照系而异的特征,称为机械运动描述的相对性。所以,当我们研究一个物体的运动时,必须

说明所选定的参照系。通常,在研究地面上物体的运动时,是选取地面或静止在地面上的物体为参照系的,这样描述起来最为简便。在本书以下各章中,如不加说明,则均选取这种参照系。在参照系中,选定一个带长度刻度的三维框架(参照空间)和计时钟表,则构成坐标系(空间坐标与时标),使用坐标系就可以定量的描述运动。本章要介绍的坐标系有直角坐标系、自然坐标系和角坐标系,研究物体不同类型运动时,灵活地使用上述坐标系,将有利于突出所研讨运动的物理特征和简化问题的处理。

五、微元分析法

牛顿力学在处理问题时,常使用“微元分析法”。在研究运动学问题时,按微元分析法将所研究的运动物体视为若干“微元”(质点)所组成,分别研究各质点的运动规律,然后将其组成,即为该运动物体的运动规律。可见,对质点运动规律的研究,是研究物体运动规律的基础。

以下,我们将先研究质点运动,然后推广到刚体与质点系的运动。

§ 1-2 位置矢量、速度矢量和加速度矢量

描述质点运动的基本物理量是位置矢量、位移矢量、速度矢量和加速度矢量。

一、位置矢量

运动质点在任意时刻的空间位置用位置矢量表示。当我们使用直角坐标系时,质点的位置可用它所占据的空间点 P 的三个坐标 x 、 y 、 z 来确定,也可用图1-2中从原点 O 指向 P

点的有向线段 \overrightarrow{OP} 来表示,记作 r 。矢量 r 称为质点的位置矢量,亦称矢径,矢量端点 P 的坐标 x, y, z 是矢量 r 沿坐标轴的三个分量。若以 i, j, k 表示沿 x, y, z 轴正方向的单位矢量,则位置矢量 r 可表示如下:

$$r = xi + yj + zk$$

这样,坐标系一旦选定,运动质点在任一时刻的位置就由矢径 $r(t)$ 在该时刻的值唯一地确定。矢径 r 的大小称为矢径的模,记为 r ,有:

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

r 的大小表示 P 点到所选择坐标原点 O 的距离。矢径 r 的空间方位,则由 r 的三个方向余弦确定,即:

$$\cos\alpha = x/r, \quad \cos\beta = y/r, \quad \cos\gamma = z/r$$

质点运动过程中,其空间位置矢径 r 亦随时间而变,可表示为 $r=r(t)$,显然,其坐标分量 x, y, z 亦是时间 t 的函数,可表示为:

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

即有:

$$r = r(t) = x(t)i + y(t)j + z(t)k \quad (1-2)$$

(1-1)或(1-2)式表征了质点空间位置随时间变化的关系,即表征了质点的运动规律,称为质点的运动方程,是运动学中最重要关系式。(1-2)式还表明,质点的实际运动规律,可

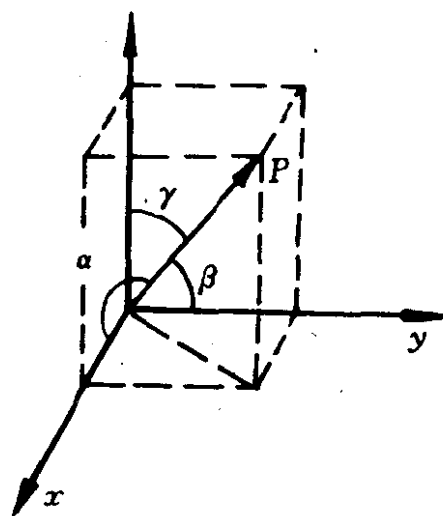


图1-2

以看成质点沿所选坐标方向的三个分运动的矢量合成。这种关系常称为运动的叠加原理。

运动质点的矢径的端点(如图1-1中P点)在空间的径迹称为质点的运动轨道,它表示质点运动的空间径迹。运动方程(1-1)和(1-2)也可看作以时间 t 为参量的轨道方程。从(1-1)式中消去时间参量 t ,便得到质点运动的轨道方程

$$f(x, y, z) = 0 \quad (1-3)$$

质点运动学的主要问题就是寻求(1-1)或(1-2)与(1-3)式的具体形式,即质点运动学的主要问题在于求出质点的运动规律与运动轨道。

二、位移矢量

当质点在 t 到 $t + \Delta t$ 时间间隔中,沿轨道从A点运动到B点,并以 $r(t)$ 和 $r(t + \Delta t)$ 分别表示质点在A点和B点时的位置矢量,则我们称从A点指向B点的有向线段 \overrightarrow{AB} 为这段时间内质点的位移矢量,简称位移,记作 Δr 。从图1-3中看出

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t)$$

以A、B的坐标代入(1-2)式得A、B两点的矢径为

$$r(t) = x_A i + y_A j + z_A k$$

$$r(t + \Delta t) = x_B i + y_B j + z_B k$$

应用矢量合成法则可得

$$\Delta r = (x_B - x_A) i + (y_B - y_A) j + (z_B - z_A) k$$

由此,位移矢量 Δr 的大小为:

$$|\Delta r| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (1-4)$$

其方向则由 Δr 的三个方向余弦确定。显然,位移矢量既描述

了A、B 两点间的空间距离,也描述了B 点相对于A 点的方位,即描述了质点位置变动的大小和方向。

必须注意,位移和路程是两个完全不同的概念。位移是矢量,它的大小是质点两个位置间的直线距离,并且它一般不是质点运动的实际轨迹;路程则是标量,其大小为质点运动的实际轨迹(直线的或曲线的)的长度 ΔS 。显然, $|\Delta r|$ 与 ΔS 一般是不相等的。还应注意,由于

$$\begin{aligned}\Delta r &= r(t + \Delta t) - r(t) \\ &= \sqrt{x_B^2 + y_B^2 + z_B^2} - \sqrt{x_A^2 + y_A^2 + z_A^2}\end{aligned}$$

表示位置矢量大小的增量,所以一般地说, $|\Delta r| \neq \Delta r$ 。

三、速度矢量

运动质点空间位置变化的快慢程度和变化方向,用速度矢量来描述。

如图1-3 所示,当质点在 t 到 $t + \Delta t$ 的时间内沿曲线轨道由A 点运动到B 点,其位移为 Δr ,则定义位移 Δr 与 Δt 之比为质点在 Δt 内的平均速度,记作 \bar{v} ,即

$$\bar{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1-5)$$

平均速度是矢量,其方向与位移方向一致,其大小等于 Δt 时间内每单位时间的位移大小。从(1-5)式可知,平均速度与所取的时间间隔 Δt 有关,对同一运动,不同的 Δt 值,其对应的平均速度

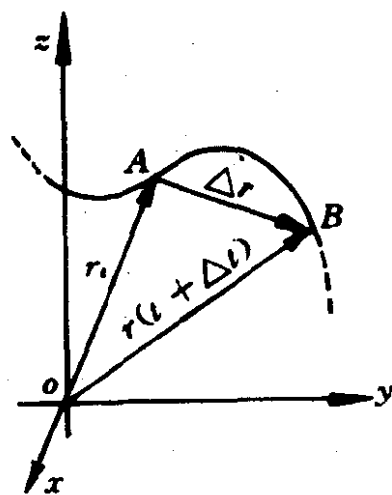


图1-3