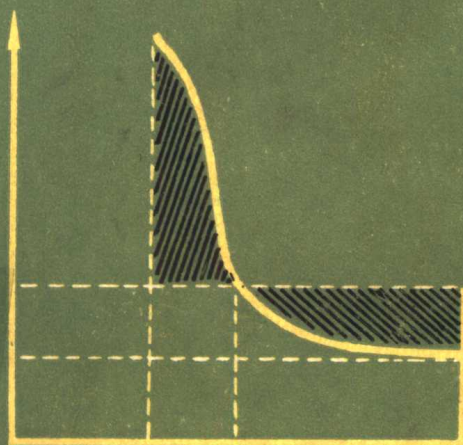


普通物理学讲义

第一册

阎金铎 李 椿 王殖东 编



中央广播电视大学出版社

普通物理学讲义

第 一 册

阎金铎 李 椿 王殖东 编

中央广播电视大学出版社

普通物理学讲义

第一册

阎金铎 李椿 王殖东 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 12.625 千字 258

1984年4月第1版 1984年6月第1次印刷

印数 1—200,000

书号: 13300·9 定价: 1.10 元

编者的话

中央广播电视大学一九八四级的普通物理学课程将重播一九八二级的录相磁带。为了解决全国广播电视大学理工科学生对普通物理学教材的急需,我们根据中央电大一九八四级普通物理学教学大纲和主讲教师在中央电大一九八二级普通物理学课程中的讲解内容,整理成此教材。

本教材考虑到广播电视大学分散办学、远距离教学的特点,力求内容详细,重点突出,每章都有小结,紧密配合电视播出内容、便于课后自学。

本教材分别由阎金铎、李椿、王殖东三位副教授任主编,由中央电大有关教师整理。全书分三册,第一册内容包括力学、分子物理学和热力学。力学部分由阎金铎任主编,苗敏如整理;分子物理学和热力学部分由李椿任主编,吴铭磊整理。第二册为电磁学,其中第七章至第十一章李椿任主编,第十二至十四章阎金铎任主编。柳树政整理第七至第十章,蔡枢整理第十一至十四章。第三册为光学和近代物理学基础,王殖东任主编,光学部分由金天允整理,近代物理学基础由柳树政整理。

这次编写工作,是我们编写远距离教学教材的一次初步尝试,由于缺乏经验,加之时间紧,任务重,错误在所难免,衷心希望全国各地广播电视大学师生在使用该教材的过程中多提宝贵意见,便于今后更好地改进,提高。

编者

一九八四、一

12AG 38 / 08

目 录

第一篇 力 学

第一章 运动的描述	1
§ 1-1 质点运动的描述.....	2
§ 1-2 直线运动.....	15
§ 1-3 平面曲线运动.....	31
§ 1-4 刚体定轴转动的描述.....	44
小 结.....	54
习 题.....	57
第二章 质点动力学	62
§ 2-1 牛顿运动定律.....	62
§ 2-2 力学中常见的几种力 物体受力分析.....	70
§ 2-3 运用牛顿运动定律的思路和方法.....	80
§ 2-4 动量 冲量 动量定理.....	91
§ 2-5 质点组动量定理 动量守恒定律.....	104
§ 2-6 功的概念.....	112
§ 2-7 动能 动能定理.....	121
§ 2-8 势能 功能原理.....	129
§ 2-9 机械能守恒定律.....	141
§ 2-10 碰撞.....	147
小 结.....	154
习 题.....	156
第三章 刚体定轴转动动力学	167
§ 3-1 转动惯性及其量度.....	167
§ 3-2 力矩.....	175

§ 3-3 转动定律	179
§ 3-4 角动量定理 角动量守恒定律	190
§ 3-5 刚体定轴转动中的动能定理	195
小结	200
习题	202
第四章 振动学基础	208
§ 4-1 简谐振动的特点及其表述	208
§ 4-2 简谐振动的运动方程	212
§ 4-3 简谐振动的图象	219
§ 4-4 简谐振动的能量	223
§ 4-5 角谐振动	226
§ 4-6 简谐振动的合成	229
§ 4-7 阻尼振动	237
§ 4-8 受迫振动	240
小结	243
习题	245

第二篇 分子物理学和热力学

第五章 气体分子运动论	253
第一节 理想气体状态方程	253
第二节 分子运动论的基本概念	260
第三节 理想气体压强公式	263
第四节 温度与分子平均平动能的关系	269
第五节 气体分子的速率分布律	272
第六节 能量按自由度均分定理	287
第七节 气体分子的平均自由程	292
第八节 分子力 范德瓦耳斯方程	297
小结	307
习题	310

第六章 热力学的物理基础	315
第一节 准静态过程	315
第二节 功和热量	318
第三节 内能 热力学第一定律	325
第四节 热力学第一定律对理想气体的应用	328
第五节 循环过程和卡诺循环	344
第六节 热力学第二定律	355
第七节 热力学第二定律的统计意义和适用范围	366
小 结	370
习 题	372
附录 I 国际单位制 (SI) 简介	378
附录 II 矢量	383
习题答案	391

第一篇 力 学

力学是普通物理学中重要组成部分。那么，力学所研究的内容是什么呢？首先让我们观察一下我们周围的事物，例如火车在行驶；起重机起吊重物；天体在运行，甚至人在走路、劳动等，在这些现象中，尽管它们的具体性质不同，但却有一个共同的特征，那就是：物体在空间的位置在随时间变动，这种变动叫做机械运动，也叫做宏观运动。在日常生活和工农业生产上，无时无刻都能看到这种运动，因此它是一切运动形式中最基本、最普遍的运动形式。力学就是研究机械运动的客观规律及其应用的科学。

第一章 运动的描述

自然界中的一切物体都在运动，大到地球、太阳等天体，小到分子、原子等各种基本粒子都在无时无刻地运动，所以物体的运动是普遍的、绝对的。但是，对运动的描述却是具有相对性。为了描写物体的运动，就必须选择另一个其他物体作为标准，这个被选作标准的物体，叫做参照系。对同一个运动，选择不同的参照系，描述的结果一般不相同。究竟选择哪个物体为参照系，主要取决于问题的性质、需要和研究的方法。

便。在今后的讲述中如果不特别指明，就是以地球作为参照系。

物体的运动有两种基本类型：平动和转动。物体在作平动时，其上各个点的运动情况完全相同，所以，可用任意一个点来代表，因而可以把物体看作是一个没有大小的质点。物体在做转动时，不能把物体视为质点。为简单起见，把它看作有大小和形状，但形状没有明显变化的刚体。

质点和刚体都是理想的模型，它们都是实际物体在一定条件下的抽象。把复杂的、具体的物体用简单的模型来代替，可以简化它的条件，突出主要矛盾，便于找出其中的规律，因此，这是一种科学的研究方法。

本章主要讲述如何描写质点的运动和刚体的定轴转动。

§ 1-1 质点运动的描述

对于一个质点的运动，应当从以下几个方面来描写。

一、描写质点在空间中的位置——位置矢量

定量地描写质点的位置，必须在选定的参照系上建立坐标系。通常采用直角坐标系，如图 1-1 所示。描写空间任一质点 P 的位置，可以从原点向 P 点引一有方向的线段 r （即图中的 OP ）， r 叫做位置矢量，也叫矢径。矢径的端点就是质点的位置。矢径在 OX 轴、 OY

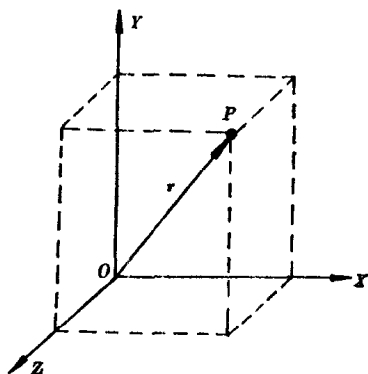


图 1-1

轴和 OZ 轴上的投影(即坐标)分别为 x, y 和 z 。因此, 位置矢量可表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为沿 x, y, z 轴的单位矢量, 位置矢量的大小为

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

位置矢量的方向余弦可由下式确定

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}$$

$$\cos \beta = \frac{y}{r}$$

$$\cos \gamma = \frac{z}{r}$$

式中 α, β 和 γ 分别是 $\mathbf{r}$ 与 X 轴、 Y 轴和 Z 轴之间的夹角。

所谓运动, 实际上就是位置随时间的变化, 即位置矢量 $\mathbf{r}$ 为时间 t 的函数

$$\begin{aligned}\mathbf{r} &= \mathbf{r}(t) \\ &= x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}\end{aligned}$$

上式叫做质点的运动方程。

当质点在选定的 XOY 平面内运动时, 运动方程可简化为两个标量函数式

$$x = x(t)$$

$$y = y(t)$$

如果质点沿一直线运动, 则运动方程可简化为一个标量函数式

$$x = x(t)$$

质点运动时在空间中运动所经过的路径叫做轨道. 例如, 质点在 XOY 平面上运动, 从运动方程中消去时间 t , 就得到

$$y = f(x)$$

或
$$x = f(y)$$

这就是质点平面运动的轨道方程.

例如: 一质点的运动方程为

$$\mathbf{r} = R \cos \omega t \mathbf{i} + R \sin \omega t \mathbf{j}$$

其标量函数式为

$$x = R \cos \omega t$$

$$y = R \sin \omega t$$

消去 t 后就得到轨道方程

$$x^2 + y^2 = R^2$$

这是圆心在坐标原点、半径为 R 的圆(圆面在 XOY 平面内).

关于位置矢量 $\mathbf{r}$, 应当明确它有以下三个特性:

(1) 矢量性: $\mathbf{r}$ 是矢量, 不仅有大小, 而且有方向.

(2) 瞬时性: 质点在运动过程中, 不同时刻的位置矢量是不相同的, 也就是说, 位置矢量是描写质点在某时刻的位置.

(3) 相对性: 空间中某一点的位置, 用不同的坐标系来描写, 结果是不同的. 如图 1-2 所示, 空间任一点的位置, 相对于各对应轴互相平行的两个坐标系 $OXYZ$ 和 $O'X'Y'Z'$ 是不相同的. 相对于 $OXYZ$ 坐标系, P 点的位置可用 $\mathbf{r}_{PNO}$ 来表示, 相对于 $O'X'Y'Z'$ 坐标系, P 点的位置可用 $\mathbf{r}_{PNO'}$ 来表示. 而 $\mathbf{r}_{PNO}$ 和 $\mathbf{r}_{PNO'}$ 的关系为

$$\mathbf{r}_{PNO'} = \mathbf{r}_{PNO} + \mathbf{r}_{ONO'}$$

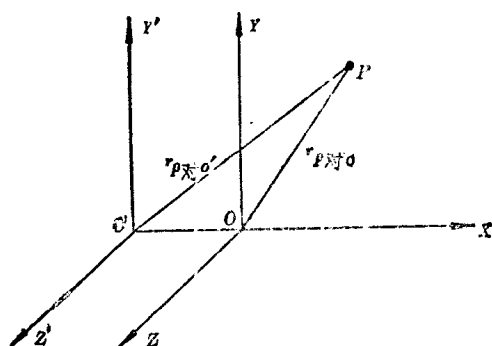


图 1-2

二、描写质点位置变动的大小和方向——位移

参阅图 1-3, 图中曲线 $\widehat{AB}$ 是质点轨道的一部分. 在时刻 t 质点在 A 点处, 在时刻 $t + \Delta t$, 质点已到达 B 点处. A 、 B 两点的位置矢量分别用矢径 r_1 和 r_2 来表示. 在 Δt 时间内, 质点位置的变化可以用从 A 点到 B 点的有向线段 Δr (或 $\overrightarrow{AB}$) 来表示, 叫做质点的位移. 且

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

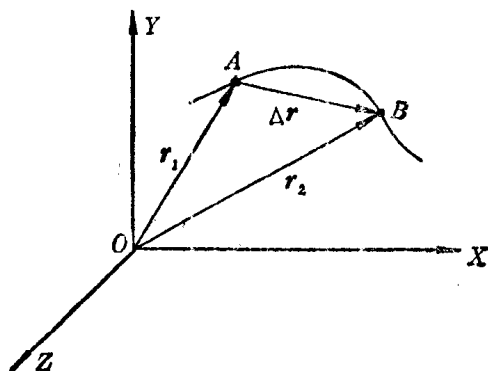


图 1-3

Δr 的大小就是 A 、 B 两点间的距离, 其方向由 A 指向 B 。

关于位移 $\Delta r = r_2 - r_1$, 应当明确它具有以下两个特性:

(1) 矢量性: 位移是矢量, 既有大小, 也有方向。位移表示物体位置的改变, 并不是质点所经历的路程, 路程是指质点在其轨道上经过的路径的长度。例如, 在图 1-4 中的质点, 从 A 沿曲线运动到 B , 位移是由 A 指向 B 的有向线段 AB ; 而路程是曲线 $\widehat{AB}$ 的长度 Δs , 显然 $\Delta s \neq |\Delta r|$ 。又如, 在图 1-5 中, 质点从 A 点经 C 点到达 B 点, 位移是由 A 指向 B 的有向线段 AB , 而路程则是 $AC + CB$ 。只有在质点作直线直进运动的情况下, 位移的大小才等于路程。

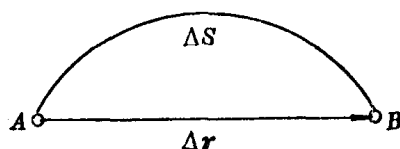


图 1-4

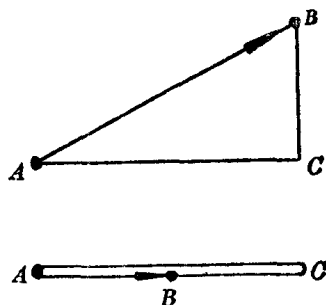


图 1-5

(2) 相对性: 位移的大小和方向是与参照系的选择有关的。例如, 船在流动的河中航行。船相对于水从南向北划行, 水相对于岸从东向西流动, 则船相对于岸是向东北方向运动 (图 1-6, 其中 Δr_1 表示船相对于水的位移, Δr_2 表示水相对于岸的位移, Δr 则表示船相对于岸的位移)。可见, 船对岸的位移 $\Delta r_{\text{船对岸}}$ 、船对水的位移 $\Delta r_{\text{船对水}}$ 和水对岸的位移 $\Delta r_{\text{水对岸}}$, 是符合矢量的平行四边形法则的, 即

$$\Delta r_{\text{船对岸}} = \Delta r_{\text{船对水}} + \Delta r_{\text{水对岸}}$$

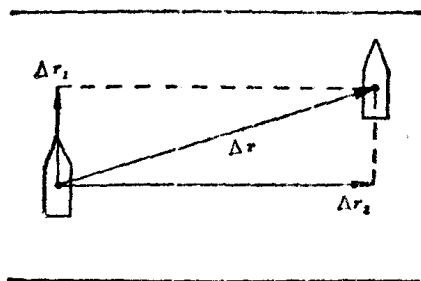


图 1-6

如果以符号 P 表示所研究的物体(对我们这个问题,就是指船),以符号 O 表示第一个参照系(水),以符号 O' 表示第二个参照系(岸),则上式可写成一般的形式:

$$\Delta r_{P \text{ 对 } O'} = \Delta r_{P \text{ 对 } O} + \Delta r_{O \text{ 对 } O'}$$

这就是变换参照系时的位移变换法则,也叫做位移合成定理。

位置矢量和位移在量值上都表示长度,在国际单位制中,都用米来表示,国际符号是 m 。常用的单位还有厘米(cm)、千米(km)等。

三、描写质点位置变动的快慢和方向——速度

最简单的运动是质点始终在一直线上的直进运动,而且在任意相等的时间内通过相等的位移,这种运动叫做匀速直线运动。其特点是任何一段位移 Δr 与通过该位移所用的时间 Δt 的比值为一恒量,该恒量可以反映质点运动的快慢和方向。因此,这个恒量是描写质点运动快慢和方向的物理量,叫做速度,用符号 v 表示,即

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

对于质点在任何相等时间内通过的位移不相等的运动(变速直线运动或曲线运动),怎样描写质点运动的快慢和方向呢?我们的处理方法是:粗略地描写是把它与效果相同的匀速直线运动进行对比,即用某一相同时间通过相同位移的匀速直线运动“代替”真实的变速运动,这样,速度仍可表示为位移与时间的比值,这时的速度叫做在这段时间(或这段位移)内的平均速度,即

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

一般地说,平均速度(包括大小和方向)与所取的时间长短有关,所以在计算平均速度时,必须清楚是哪一段时间内的平均速度。

精确地描写是,把变速运动的整个过程分成许多无限小的小段,在每个小段里,可以近似地认为是匀速直线运动。这样,通过分小段的办法,把“变”的看成是许许多多“不变的”所组成。小段分得越小(当然,所用的时间 Δt 也越小),求出的速度就越接近这段时间内的实际情况。这样,取在时刻 t 附近的时间间隔 Δt 为无限小,当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\frac{\Delta r}{\Delta t}$ 的极限值,就能描写质点在该时刻 t 运动的快慢和方向,叫做瞬时速度,数学表示为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}$$

也就是说,质点在某时刻或某位置的瞬时速度,等于当时时间趋近于零时平均速度的极限值。或瞬时速度等于矢径对时间的一阶导数。

质点在平面内作曲线运动时，运动的快慢和方向如何描写呢？我们可以把一条曲线看作是由无限多个无限短的直线段组成，这样就可以按直线运动的方法来描写质点各个时刻运动的快慢和方向，即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

建立平面直角坐标系 OXY 可将速度 $\mathbf{v}$ 表示为

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j}$$

式中 $\frac{dx}{dt} = v_x$, $\frac{dy}{dt} = v_y$, 则速度的大小为

$$|\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

速度的方向可用图 1-7 中的 θ 角表示

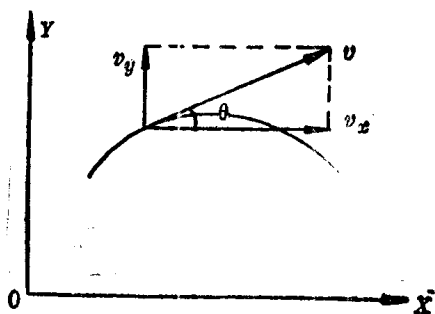


图 1-7

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$$

关于速度，应当明确它具有以下三个特性：

(1) 矢量性：速度是矢量，既有大小，又有方向。速度的合成与分解，应遵循平行四边形法则。

应当指出,描述质点运动时,有时也用到一个叫“速率”的物理量。速率是标量,参阅图 1-8,在 Δt 时间内,质点通过的路程为曲线 AB , 设 AB 长为 Δs , 那么,平均速率就可表示为

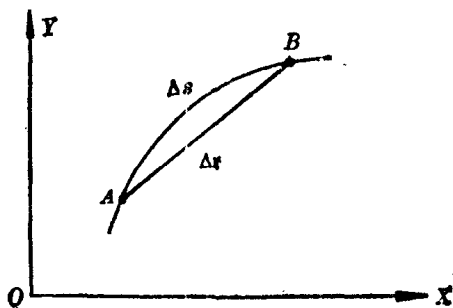


图 1-8

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

而平均速度为

$$\overline{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

可见,平均速度与平均速率是两个不同的概念,且不可混淆。例如,图 1-9 中,在某段时间内,质点从 A 点到达 B 点,又返回 A 点,很明显,质点的位移等于零,平均速度也为零,而质点的平均速率应该等于两倍的 A 到 B 的长度除以从 A 点又返回到 A 点的时间间隔。

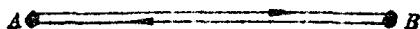


图 1-9

还可以通过平均速率引入瞬时速率。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,弦长 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 无限接近于对应的路程 Δs , 即