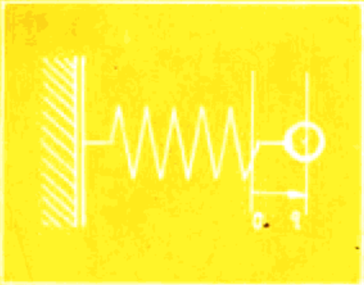


普通物理简明教程

上册

主编　蒋修业

成都科技大学出版社

出版说明

本书由７省１４所师专（院）的部分教师，按８９年国家颁布的师专化学、数学专业普通物理教学大纲，联合编写，在专业特色和近代特色方面有所突破。

全书分上、下册，可作９０学时，或１０８学时的两年制师专数学，或化学专业的教材，加上选讲部分后，亦可作学时少于１４０的非物理专业的普通物理教材。

由于近代物理部分材料新颖，深入浅出，故本书亦可作本科师生、中等学校物理教师的参考书。

前　言

本书在化学专业（总108学时)的基础上，兼容数学专业应加强部分。书中用“Δ”表示化学专业采用，数学专业不采用；用“※”表示数学专业采用，化学专业不采用；用“※Δ”表示化学、数学专业均酌情选用。全书分上、下册，可作师专数学、化学专业教材，加上选讲部分，可作为140学时以下的非物理专业的普通物理教材。

本书力学、电学注重基础知识、物理现象的数学表象、数学规范化。热学、原子物理与化学专业有关学科紧密衔接。全书贯穿师范特色，物理概念的科学性与形象类比并重。

本书最后的自由选讲部分，采用1979—1989年度英、日、俄、德等外刊材料。对高温超导、常温核聚变机制的讨论，和对基本粒子、现代空——时观的讨论，把读者引向物理前沿。

本书是编写者通力合作的结果，也包含绘图、出版、印刷等各方面同志的辛劳。在此，谨向对本书有贡献的各位同志表示感谢和敬意。

本书不妥之处，请读者指正，函寄各编委转编写组。

上册编委

范明康　倪念极　林笙律　许中才

廖家信　吴　严　王炳云

目　录

第一篇　力　学

在物质的各种各样，千变万化的运动中，物体间的位置变化是最简单最基本的运动，称为机械运动。例如各种交通工具的运行、各种机器的运转、大气和河水的流动、行星绕太阳的转动等等。力学研究的对象就是机械运动的客观规律及其应用。

第一章　质点运动学

物体的机械运动通常用位移、速度、加速度等物理量来描述。本章将定义上述各物理量并研究这些物理量随时间变化的关系。但不涉及引起变化的原因。

§1·1　质点运动的描述

一、参照系　坐标系　质点

参照系和坐标系　一切物质都处在永恒的运动中。以物体的机械运动为例，地面上的物体相对于地球有位置的变动，而地球又绕着太阳运动，太阳和恒星间的位置也在变动。所以当我们研究某一物体的运动时，必须具体指明运动是相对

于哪一个物体或哪一物体组的。研究物体运动时**用来作为参考的物体或物体组称为参照系**。例如，研究车船相对于地球的运动，则地球就是参照系。又如研究河水的流速，若相对于地面，则地面为参照系，若相对于行驶在河中的轮船，则轮船为参照系。研究某一物体的运动究竟选哪一个物体或选哪个物体组为参照系，要看问题的性质和计算的方便。

对同一物体的运动，由于我们所选参照系不同，对物体运动的描述就会不同。例如匀速行驶的轮船桅杆上落下的物体，以船为参照系则它作直线运动。以岸为参照系，则作抛物线运动，若以太阳为参照系，则运动的描述就更为复杂了。这一事实，称为**运动描述的相对性**。这个事实本身说明参照系之间也存在着相对运动，它反映了宇宙空间一切物质都处于永恒的运动中。总之，运动和物质是不可分割的，运动是物质存在的形式，物质的各种运动形式都具有其特殊的规律，物质运动存在于人类意识之外，这便是**运动本身的绝对性**。

选定了参照系之后，要把物体在各个时刻相对于参照系的位置定量地表示出来，还需要在参照系上选用一固定的坐标系。常用直角坐标系、极坐标系或其它坐标系。

参照系选定之后，物体的运动情况就确定了。至于在参照系上选用什么坐标系，则只是描述运动所用的变量不同而已。

质点　**所谓质点是指具有质量，而没有大小和形状的物体**。显然，质点是一种理想化模型，是对实际物体的一种抽象描写。能否把物体看成质点，要视所研究的问题性质和具体情况而定。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球的直径大约是公转轨道半径的万分之一，地球上各点绕太阳运动可以看成基本一样，不必考虑地球的形状和大小。即可以把

地球当成质点。但当研究地球自转时，则必须考虑其形状和大小了，也就是不能把它当成质点了。

质点运动是研究物体运动的基础，当进一步研究物体运动时，常常把整个物体看成由无数个质点组成。分析这些质点的运动，就可以弄清整个物体的运动。

时间和时刻　运动物体不能离开空间和时间。**时间**是单方向性的，一去不复返的。任何物体的运动在时间上总是按先后次序进行。

在运动学中，除时间外还经常用到**时刻**的概念。在一定参照系中考察质点运动时，与质点在某一位置相对应的为某一时刻；与质点所通过的路程相对应的为某一时间。例如，火车到达成都站的瞬间——6点30分，表示时刻；火车从北京开出，到达成都这两个时刻的间隔就表示一段时间。

二、位置矢量　位移

位置矢量　为了描述质点的空间位置，必须在选定的参照系上建立坐标系，参看图1·1。质点p在直角坐标系中的位置可由所在点的三个坐标x、y、z来确定。或者用从原点o到p点的有向线段$\overline{op}$（$=\mathbf{r}$）来表示。**矢量r叫做位置矢量，也叫矢径**。相应地，坐标x、y、z就是矢径$\mathbf{r}$沿坐标轴的三个分量。

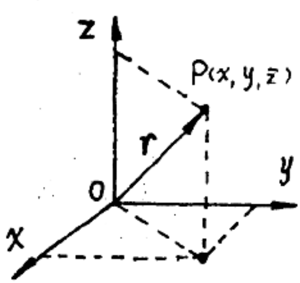


图1·1位置矢量

矢径$\mathbf{r}$的大小由下式决定

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

矢径的方向余弦是

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

运动方程　当质点相对于所选定的参照系作机械运动时，其空间位置要不断随时间变化，即质点的位置矢量$\mathbf{r}$和坐标x、y、z都是时间的函数。表示运动过程的函数式称为**运动方程**，可以写作

$$\mathbf{r}=\mathbf{r}(t) \qquad (1\cdot1a)$$

或　$$x=x(t),\ y=y(t),\ z=z(t) \qquad (1\cdot1b)$$

当质点在选定的xoy平面运动时，则运动方程可简化为：

$$x=x(t),\ y=y(t)$$

知道了运动方程，就能确定任一时刻质点的位置，从而确定质点的运动。力学的主要任务之一，正是根据各种问题的具体条件，求解质点的运动方程。

运动质点在空间所经过的路径称为**运动轨迹或轨道**。质点的运动轨道是直线时，称为**直线运动**，质点的运动轨迹是曲线时，称为**曲线运动**。从式（1·1b）中消去t后，可得轨道方程，而式（1·1b）是轨道的参数方程。

由上可知，运动方程表明$\mathbf{r}$与t的函数关系，而轨道方程只是坐标x、y、z之间的关系，两者是不相同的。

位移　设质点在选定的坐标系中沿一曲线轨道运动，在t时刻位于p_1点，位置矢量$\mathbf{r}_1$。$t+\Delta t$时刻到达p_2点，位置矢量$\mathbf{r}_2$（图1·2）。在时间Δt内，质点的位置变化可用p_1到p_2的有向线段$\Delta\mathbf{r}$来表示，称为质点的**位移矢量**，简称**位移**。根据矢量相加的法则有

$$\Delta\mathbf{r}=\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1 \qquad (1\cdot2)$$

上式说明，位移等于矢径r_2和r_1的矢量差，也就是矢径r在Δt时间的增量。

必须注意，位移表示位置的改变，并非质点所经历的路程。如图(1・2)，位移是有向线段$\overrightarrow{p_1p_2}$，是矢量，它的量值$|\Delta r|$即割线$\overline{p_1p_2}$的长度；而路程是标量，即曲线$\overset{\frown}{p_1p_2}$的长度，常记作Δs。显然，Δs和$|\Delta r|$并不相等。只有在时间Δt趋近于零时，Δs和$|\Delta r|$方可视为相等。即使在直线运动中，位移和路程也是两个截然不同的概念。

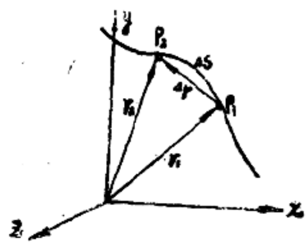


图1・2 位移

三、速度

研究质点的运动，不仅要知道质点的位移，还有必要知道在多长的时间内有了这一位移，即要知道质点位置变化的快慢。如图1・2在时刻t到t+Δt这段时间Δt内，质点的位移为Δr，那末，Δr与Δt的比值，称为质点在Δt内的平均速度。用$\overline{V}$表示。即

$$\overline{V}=\Delta r/\Delta t$$

平均速度也是矢量，它的方向与位移Δr的方向相同，其大小是$|\Delta r|/\Delta t$。

平均速度只反映了某一段时间Δt内位移的平均变化，Δt取得愈小，平均速度就愈接近于真实的速度。当Δt趋近

于零时，平均速度就趋近于某一极限。这一极限称为t时刻的瞬时速度，简称速度。其数学表达式为

$$V=\lim_{\Delta t\to 0}\Delta r/\Delta t=dr/dt \qquad (1\cdot 3)$$

上式表明，速度等于矢径对时间的一阶导数。速度是矢量，其大小

$$V=|V|=\lim_{\Delta t\to 0}|\Delta r|/\Delta t$$

前面已提及，当 $\Delta t\to 0$ 时，割线$\overline{p_1p_2}$无限接近于相应的曲线 Δs。所以速度的大小也就是速率，可写作

$$V=\lim_{\Delta t\to 0}|\Delta r|/\Delta t=\lim_{\Delta t\to 0}\Delta s/\Delta t=ds/dt \qquad (1\cdot 4)$$

速度的方向，就是当 Δt趋近于零时，位移 Δr的极限方向。参看图1·3，当 Δt趋近于零时，p_2点无限接近于p_1点。位移 Δr的方向无限接近于曲线在p_1点的切线方向。所以，质点的速度方向，沿轨道上质点所在点的切线并指向质点前进的方向。

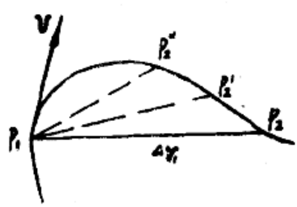


图1·3　质点在轨道上p_1点处的速度的方向

速度既是矢径对时间t的导数，而矢径r在直角坐标轴上的分量是x、y、z，所以速度的三个分量分别为

$$V_x=dx/dt,\ V_y=dy/dt,\ V_z=dz/dt. \qquad (1\cdot 5)$$

并且有

$$V=|V|=\sqrt{V_x^2+V_y^2+V_z^2} \qquad (1\cdot 6)$$

例1·1 一质点在xoy平面内运动，其运动方程为

$$x=2t \qquad (1)$$

$$y=2-t^2 \qquad (2)$$

其中x、y的单位是m，t的单位是s，试求：（1）质点的轨道方程；（2）$t_1=1$ s，$t_2=2$ s时质点的矢径，从1 s末到2 s末的位移；（3）从开始（t=0）到第2 s末这段时间内的平均速度；（4）第2 s末的速度。

解：（1）由（1）式和（2）式消去t即得轨道方程

$$y=2-x^2/4$$

（2）将$t_1=1$ s和$t_2=2$ s代入运动方程（1）和（2）得

$$x_1=2\,\mathrm{m},\ y_1=1\,\mathrm{m};\ x_2=4\,\mathrm{m};\ y_2=-2\,\mathrm{m}$$

所以，质点在$t_1=1$ s时矢径r_1的大小和r_1与x轴正向的夹角α_1分别为：

$$|r_1|=\sqrt{x_1^2+y_1^2}=\sqrt{(2\,\mathrm{m})^2+(1\,\mathrm{m})^2}=2.24\mathrm{m}$$

$$\alpha_1=\mathrm{arctg}(y_1/x_1)=\mathrm{arc\,tg}\left(\frac{1}{2}\right)=26°34'$$

同理，质点在$t_2=2$ s时矢径r_2的大小和r_2与x轴正向的夹角α_2分别为

$$|r_2|=\sqrt{x_2^2+y_2^2}=\sqrt{4^2+(-2)^2}=4.47\mathrm{m}$$

$$\alpha_2=\mathrm{arc\,tg}(y_2/x_2)=\mathrm{arc\,tg}(-1/2)=-26°34'$$

所以，从1 s末到2 s末的位移Δr的大小及Δr与x轴正向的夹角β分别为

$$|\Delta r|=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}=3.6\mathrm{m}$$

$$\beta=\mathrm{arc\,tg}\left[(y_2-y_1)/(x_2-x_1)\right]=-59°19'$$

（3）$\Delta x=x_2-x_0=4$ m，$\Delta y=y_2-y_0=-4$ m

所以$\overline{V}_x=\Delta x/\Delta t=2\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，

$$\overline{V}_y = \Delta y / \Delta t = -2\ m\cdot s^{-1}$$

$$\overline{V} = \sqrt{\overline{V}_x^2 + \overline{V}_y^2} = 2.83ms^{-1}$$

（4）由式（1·5）知$V_x = dx/dt = 2$，

$\overline{V}_y = dy/dt = -2t$将$t=2s$代入可得

$$\overline{V}_{2x} = 2\ m\cdot s^{-1},\ \overline{V}_{2y} = -2\times 2 = -4\ m\cdot s^{-1}$$

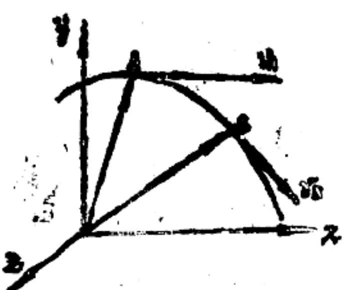
所以质点在2秒末的速度V_2的大小和V_2与x轴的夹角γ分别为

$$|V_2| = \sqrt{\overline{V}_{2x}^2 + \overline{V}_{2y}^2} = 4.47m\cdot s^{-1}$$

$$\gamma = \mathrm{arc\ tg}(V_{2y}/V_{2x}) = -63°26'$$

四、加速度

质点在轨道上不同位置时，其速度的大小和方向通常都是不同的。如图1·4所示。V_A表示质点在时刻t、位置A



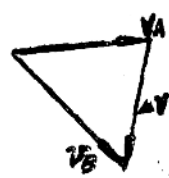


图1·4 速度的增量

处的速度。V_B表示质点在时刻$t+\Delta t$，位置B处的速度，从速度矢量图可知，在时间Δt内，质点速度的增量为

$$\Delta V = V_B - V_A$$

与平均速度定义相类似，比值 $\Delta V / \Delta t$ 称为质点在该段时间内的平均加速度。用 $\bar{a}$ 表示，即

$$\bar{a} = \Delta V / \Delta t$$

平均加速度只是反映在 Δt 时间内，速度的平均变化率。为了精确描述质点在任一时刻t(或任一位置处)的速度变化情况，就必须引入瞬时加速度的概念。即在t时刻附近无限小的时间间隔 Δt 内平均加速度的极限，叫做t时刻的瞬时加速度，简称加速度。用a表示为

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \Delta V / \Delta t = \frac{dV}{dt} = d^2r / dt^2 \qquad (1 \cdot 7)$$

上式表明，瞬时加速度等于瞬时速度对时间的一阶导数，或等于矢径对时间的二阶导数。在直角坐标系中，加速度的三个分量是

$$\begin{aligned} a_x &= dV_x / dt = d^2x / dt^2 \\ a_y &= dV_y / dt = d^2y / dt^2 \\ a_z &= dV_z / dt = d^2z / dt^2 \end{aligned} \qquad (1 \cdot 8)$$

并且有

$$a = |a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \qquad (1 \cdot 9)$$

加速度的方向是 Δt 趋近于零时，速度增量 ΔV 的极限方向。一般说来 ΔV 的方向及其极限方向不同于速度V的方向，因而加速度的方向与同一时刻的速度方向一般不相一致，也就是说，加速度在一般情况下不是沿曲线的切线方向的，而总是指向曲线凹的一边的。

以上我们介绍了描述质点运动的一些物理量。如位置矢量r、位移 Δr、速度V、加速度a等。从下节起我们将讨论几种简单而又较为重要的运动。

§1・2　直线运动

在直线运动中，位移、速度和加速度都在同一条直线上，所以我们可以把有关各量用标量来处理。沿质点运动方向建立坐标轴（比如x轴），则运动方程可写作

$$x=x(t)$$

相应地，瞬时速度和瞬时加速度分别为

$$V=dx/dt$$

$$a=dV/dt=d^2x/dt^2$$

V和a的正负，表示它们指向沿x轴正方向或沿x轴负方向。

一、位移时间曲线和速度时间曲线

质点运动的描述除用解析法外，还可用图示法，在质点作直线运动时，应用图示法可更形象更直观。

以t为横坐标，x为纵坐标，按运动方程x=x(t)描出曲线如图1・5所示。这一曲线通常称为坐标时间曲线（简称x－t曲线）。设在和t+Δt时刻，质点坐标为x和x+Δx，则从图1・5中可以看出，平均速度Δx/Δt在量值上等于x－t曲线中各相应的割线的斜率。当Δt→o，Δx→o时，瞬时速度$V=dx/dt=\lim\limits_{\Delta t\to o}\Delta x/\Delta t$在量值上等于x－t曲线上各点的切线的斜率。可见，当V＝dx/dt>

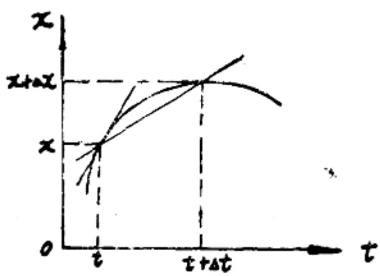


图1・5　位移时间曲线

以看出，从t＝0到t＝t的时间内，质点的位移为$x-x_0=V_0t$
即

$$x=x_0+V_0t \qquad (1 \cdot 10)$$

上式就是匀速直线运动的方程。

在匀加速直线运动中，V－t曲线是一条斜率等于加速度a的直线。a为一恒量。如图1・8所示，在任何一段时间

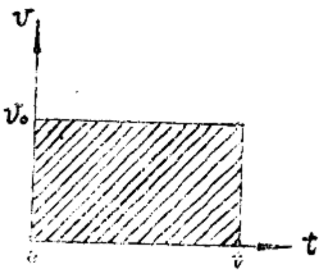


图1・7　匀速直线运动的v-t曲线

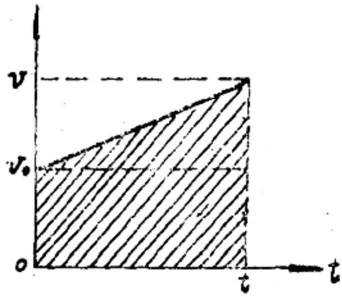


图1・8　匀加速直线运动的v-t曲线

Δt内，速度的增量为

$$\Delta V=a\Delta t$$

设质点在t＝o时刻，$V=V_0$，$x=x_0$。质点在t＝t时刻，速度应为

$$V=V_0+at \qquad (1 \cdot 11)$$

坐标为x＝x。由图可看出，位移$x-x_0$应等于图中梯形面积，即

$$x-x_0=\frac{1}{2}(V_0+V)t$$

由上式和（1・11）式可得

$$x=x_0+V_0t+\frac{1}{2}at^2 \qquad (1 \cdot 12)$$

由（1・11）式和（1・12）式消去t得

$$V^2=V_0^2+2a(x-x_0) \quad (1\cdot13)$$

(1·11)，(1·12)，(1·13)三式都是匀加速直线运动的基本方程。x、x_0和V、V_0分别表示质点的位置、初位置和速度、初速度。

例1·2 一小球从地面以初速度V_0竖直上抛，忽略空气阻力。求（1）在抛出后t_0秒末小球的位置和速度；（2）到达最高处所需的时间和最高高度；（3）回到地面时所需的时间和末速度。

解：以地面为坐标原点，竖直向上为y轴正向，见图1·9。加速度a=−g，t=o时，y=o，$V=V_0>o$，由公式（1·11）和公式（1·12）得

图1·9

$$V=V_0-gt \quad (1)$$

$$y=V_0t-\frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

（1）将$t=t_0$代入（1）、（2）两式得：

$$V=V_0-gt_0$$

$$y=V_0t_0-\frac{1}{2}gt_0^2$$

（2）到达最高点时V=o，由（1）式得

$$t_1=V_0/g$$

代入（2）式可得最高高度为

$$y=V_0^2/g-\frac{1}{2}g(V/g)^2=V_0^2/2g$$

（3）回到地面时有y=o由（2）式得

$$V_0t-\frac{1}{2}gt^2=o$$