大学物理

（第一册）

王言福 康颖 郑立亮 主编

国防科技大學出版社

大学物理

王言福　康　颖　郑立亮　主编

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本套大学物理教材是为适应国防现代化对部队训练的要求，根据军事院校物理教学的实际情况编写的。全书共分三册，本书为第一册，内容为：质点的运动、功与能、动量与角动量、刚体的定轴转动、机械振动、机械波、气体动理学理论和热力学基础。

大 学 物 理

（第一册）

王言福　康　颖　郑立亮　主编

*

责任编辑　戴东宁

封面设计　陆荣斌

责任校对　何　晋

国防科技大学出版社出版发行

国防科技大学印刷厂印装

*

开本　850×1168　1/32　印张　9.5　字数　230千

1992年3月第1版第1次印刷　印数　1～5050册

ISBN　7-81024-181-8

O·16　全套三册共9.80元

前言

物理学是各类军事院校的基础课程。为了适应国防现代化对部队训练的要求，根据军事院校教学的实际情况，迫切需要一套具有军队特色并适合军事院校训练的物理教材。

我们认为，教材是教学的工具。为了达到教育目的，顺利完成训练任务，教材必须受教育理论的指导，必须综合反映包括教学方法等诸方面的客观规律。

在编写中，我们以国家教委和总参制订的对本课程的基本要求为依据，结合军队训练的实际，注意了教材体系的科学性、教材的适应性和针对性。既汲取国内同类教材的优点，又重视教员们成功的教学经验。在内容的取舍上，力求做好与中学物理的衔接，保证基本理论体系完整，紧密结合军事，结合生产实际，精选例题、习题，使之与教学内容紧密配合。为使本教材对各专业有较好的适应性，在内容广度上适当有所拓宽，同时将某些内容打上“*”，以供教员灵活掌握。在内容叙述中，力争重点突出、简明扼要、深入浅出、说理透彻，方便教，方便学。

全书分为三册。第一册内容包括力学、气体动理学理论和热力学基础；第二册内容为电磁学；第三册内容包括波动光学和近代物理基础。

本书是在武汉地区军校协作中心的领导下，由海军工程学院陈浩、信阳陆军学院王言福、空军雷达学院吕维本、第二炮兵指挥学院杨建光、通信指挥学院吴正邦、空军第一航空技术专科学校郑立亮组成编写筹备小组，由以上六所院校参加编

写而成的。参加第一册编写的有康颖、陈浩、余汉明、王恒志、孙红、李春庭、冯春晓、郑立亮，由王言福统稿，王言福、康颖、郑立亮、罗友红、刘向群讨论定稿。

在编写过程中，各院校领导给予了巨大的支持和关怀，并且始终得到协作中心物理组陈浩的帮助和指导。雷达学院刘永年对本书的编写给予了大力的支持。在此一并表示感谢。

由于时间仓促，加之编者水平所限，书中错误和缺点在所难免，恳请采用本书的教员、学员和其他读者批评、指正。

编　者

1991年8月

新审定的部分物理学名词

中文名	英文名	注释
常量	constant	曾用名“恒量”
常数	constant	无量纲的常量
基本物理常量	fundamental physical constant	曾用名“基本物理常数”
普适常量	universal constant	曾用名“普适常数”
径矢	radius vector	曾用名“矢径”
劲度[系数]	[coefficient of]stiffness	曾用名“倔强系数”
能量守恒定律	law of conservation of energy	曾用名“能量守恒与转化定律”
简谐运动	simple harmonic motion, SHM	又称“简谐振动”
相[位]	phase	曾用名“位相”
旋进	precession	曾用名“进动”
气体动理[学理]论	kinetic theory of gases, gas kinetics	曾用名“气体分子运动论”
定体[积]比热	specific heat at constant volume	又称”定容比热”
等体[积]过程	isochoric process	又称“等容过程”
等体[积]线	isochore	又称“等容线”
概率	probability	曾用名“几率”
最概然分布	most probable distribution	曾用名“最可几分布”
最概然速率	most probable speed	曾用名“最可几速率”
热力学概率	themodynamic probability	曾用名“热力学几率”

注：我国物理学名词审定委员会在1988年完成基础物理学部分的物理学名词的审定工作，并已公布。本书采用审定后的物理学名词。表内条目中的[ ]内为可省略部分；注释中的“又称”为不推荐用名，“曾用名”为被淘汰用名。

目　录

第一章 质点的运动

自然界是由物质组成的，一切物质都在不停地运动着。虽然运动的形式是多种多样的，但是，从简单的位置变动到复杂的思维活动，各种运动都遵循着一定的规律。物理学研究的是物质运动最基本和最普遍的形式，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等。这些最基本的运动形式，普遍存在于其它高级的、复杂的物质运动形式之中。由于这些运动形式及其规律具有普遍性，所以物理学就成为其它自然科学和技术科学的重要基础。

机械运动就是物体之间或物体各部分之间相对位置的变化。它是最简单而又最基本的运动形式，因此物理学中首先研究机械运动的规律及其应用。本章研究质点的运动。质点的运动是机械运动的基础。我们首先讨论质点运动学，即讨论质点位置随时间变化的规律，然后讨论质点动力学的基本定律，即讨论质点运动状态发生变化的原因。

§ 1-1 参考系 质点

参考系 一棵树，人站在地上看，它是静止的，人坐在运动着的车上看，它在运动。在匀速前进的车厢中自由下落的物体，车厢内的人看，它是直线运动，地面上的人看，它的运动轨迹却是曲线。由这些例子不难看出，尽管运动本身是绝对的，但是对运动的描述却是相对的。因此，要描述物体的运动，首先必须指明是相对哪一个物体才有意义。被选作参考的

物体称为参考系。参考系的选择可以是任意的，主要看问题的性质和研究的方便。讨论地面上物体的运动时，通常选地面为参考系。一个星际火箭刚发射时，主要研究它相对于地面的运动，所以可选地面为参考系。但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时，为研究方便，应选太阳为参考系。

为了定量地描述物体相对参考系的位置，需要在参考系上建立坐标系。通常采用直角坐标系，根据需要也可选用其它的坐标系，如自然坐标系、球坐标系或柱坐标系等。坐标系选取适当可以简化问题的处理，如研究直线运动时，就取该直线为坐标轴，其上某一点为原点，这样选取最为方便。

质点 物体有形状、大小和质量，在运动过程中不同时刻处在不同位置，而且形状大小也可发生变化，一般说来情况是很复杂的。但在实际问题中，根据所研究的问题的性质，我们将发现某些因素起着决定性的作用，另一些因素只起次要作用，甚至完全不起实质作用。例如研究一颗飞行中子弹的弹道曲线和射程。子弹除受到重力的作用外，还受到空气的阻力以及风力的影响，在子弹整体通过空间时，自身还在旋转。如果计及所有影响，就很难找出其运动规律。但是在这个问题中，我们关心的是子弹在空间的位置变动，对这个问题起决定作用的是重力对子弹的影响。如果将空气阻力与子弹自身的转动等次要因素忽略掉，把子弹整体的运动简化为一个具有一定质量的点只在重力作用下的运动，就容易得出弹道曲线、射程等结果。尽管结果是近似的，但可以在此基础上再逐步深入地进行研究。这就是物理学常用的方法，把实际物体抽象为理想模型。这样做可以略去次要因素，突出主要因素，便于研究，但不影响对问题实质的讨论。

所谓质点，即把实际的物体当作有质量的点。把物体视为质点是有条件的、相对的。一个物体能否视为质点，并不决定

于它的实际大小，而是决定于所要研究的问题的性质。当物体作平动或在所研究的问题中，物体的形状大小可以忽略时，就可以把物体视为质点。如气缸中活塞的运动，由于活塞在气缸中作平动运动，活塞的各部分运动情况是完全相同的，这时就可以用一质点代表活塞。再如研究地球绕太阳的公转时，公转半径是地球半径的 2.34×10^4 倍，由于地球至太阳的平均距离比地球半径大得多，地球上的各点相对于太阳的运动可以看作是相同的，所以在研究地球公转时，可以把地球视为质点。但在研究地球本身的自转时，地球上各点的运动情况就大不相同，这时就不能把地球当成质点来处理。当物体不能视为质点时，可以把整个物体看成由许多质点所组成，分析这些质点的运动就可弄清整个物体的运动。因此，研究质点的运动是研究物体运动的基础。

§ 1-2 质点运动的描述

描述质点的运动，就是描述质点的空间位置随时间变化的各种情况。我们用位置、位移、速度和加速度等基本物理量来描述质点的运动。

一 位置矢量

位置矢量 要描述一个质点的运动，首先应表示出它在空间的位置。为此，在参考系上选定一点 o，并以 o 为原点建立直角坐标系，质点的位置可用 o 点指向质点位置的有向线段 $\boldsymbol{r}$ 来表示，$\boldsymbol{r}$ 称为位置矢量，也称径矢，如图1-1所示。

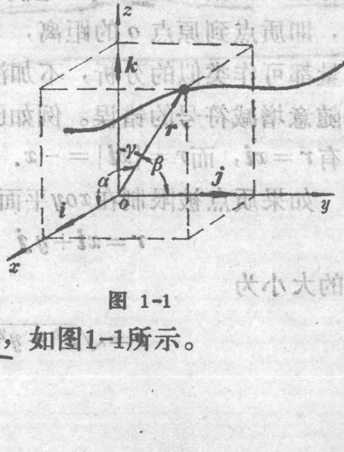

图 1-1

在直角坐标系中，若质点所在位置的坐标为 (x,y,z) 则位置矢量

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k} \tag{1-1}$$

式中 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$、$\boldsymbol{k}$ 分别为沿 x、y、z 三个坐标轴正方向的单位矢量。

$\boldsymbol{r}$ 的大小为

$$r=|\boldsymbol{r}|=\sqrt{x^2+y^2+z^2} \tag{1-2a}$$

$\boldsymbol{r}$ 的方向由其方向余弦确定

$$\cos\alpha=\frac{x}{r},\quad \cos\beta=\frac{y}{r},\quad \cos\gamma=\frac{z}{r} \tag{1-2b}$$

式中 α、β、γ 分别为 $\boldsymbol{r}$ 与 x、y、z 轴正方向的夹角，并且满足关系式

$$\cos^2\alpha+\cos^2\beta+\cos^2\gamma=1$$

因此，α，β、γ 中只有两个是独立的。

值得指出，任一矢量在直角坐标系中都可由式(1-1)或式(1-2a)、式(1-2b)类似地表示。

必须注意，$x\boldsymbol{i}$、$y\boldsymbol{j}$、$z\boldsymbol{k}$ 是 $\boldsymbol{r}$ 沿坐标轴的分矢量；x、y、z 是 $\boldsymbol{r}$ 在坐标轴上的投影，称为 $\boldsymbol{r}$ 在坐标轴上的分量，它们都是标量，根据 $\boldsymbol{r}$ 的取向，它们可以为正、负或零；r 是 $\boldsymbol{r}$ 的模，即质点到原点 o 的距离，r 也是标量，并恒为正值。任一矢量都可作类似的分析，不加注意就可能出现矢量表示的错误或随意增减符号的错误。例如已知 $\boldsymbol{r}$ 的分量 $x<0$，$y=z=0$，则有 $\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}$，而 $r=|x\boldsymbol{i}|=-x$.

如果质点被限制在 xoy 平面内运动，则

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}$$

$\boldsymbol{r}$ 的大小为

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

$\boldsymbol{r}$ 与 x 轴正方向的夹角 θ 常由

$$\mathrm{tg}\theta = y/x$$

确定。要注意先分析 x 和 y 的正负再确定 θ 所在象限，从而正确得出 θ 值。

位置矢量的大小表示长度，在国际单位制(SI)中，其单位为米(m)。

运动方程 所谓质点运动，就是质点的位置随时间变化，即每一时刻均有一确定的位置矢量与之对应，因此 $\boldsymbol{r}$ 是时间 t 的函数。数学上表示为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \tag{1-3a}$$

式(1-3a)称为质点的运动方程。

在直角坐标系中，运动方程为

$$\boldsymbol{r} = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

其分量式为

$$x = x(t),\ y = y(t),\ z = z(t) \tag{1-3b}$$

式(1-3b)实际上就是质点在三个坐标轴上投影点的运动规律。

当质点在 xoy 平面内运动时，其运动方程的分量式为

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

另一式 $z=0$ 通常不必写出。

轨迹方程 运动质点在空间所经过的路径称为轨迹。由式(1-3b)消去 t 就得到轨迹方程。事实上，式(1-3b)就是轨迹的参数方程。若轨迹是直线，则称该运动为直线运动，若轨迹为曲线，则称之为曲线运动。

例 1-1 某质点在 xoy 平面内运动，其运动方程的分量式为

$$x = 3\sin\frac{\pi}{6}t,\quad y = 2\cos\frac{\pi}{6}t$$

式中 t 以秒计，x 、y 以米计。求任一时刻质点的位置矢量和轨迹方程。

解 任一时刻质点的位置矢量为

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}$$
$$=\left(3\sin\frac{\pi}{6}t\right)\boldsymbol{i}+\left(2\cos\frac{\pi}{6}t\right)\boldsymbol{j}$$

由已知方程消去 t 可得轨迹方程

$$\frac{x^2}{3^2}+\frac{y^2}{2^2}=1$$

上式表明，此质点在xoy平面内沿椭圆轨道运动。

由上可见，运动方程表明 $\boldsymbol{r}$ 与 t 的函数关系，而轨迹方程则是位置坐标 x 、y 、z 之间的关系式，两者是不同的。

二 位移矢量

位移是描述质点位置变动的大小和方向的物理量。

如图 1-2 所示，质点作曲线运动，从 t 时刻到 $t+\Delta t$ 时刻，质点的位置由 P_1 点移到 P_2 点，其位置矢量由 $\boldsymbol{r}_1$ 变为 $\boldsymbol{r}_2$，则质点在这段时间内的位移可由初位置 P_1 点指向末位置 P_2 点的有向线段$\overrightarrow{P_1P_2}$来表示。该位移除表明质点从 P_1点到P_2点位置变动的大小外，还表明 P_2点相对 P_1点的方位，显然，位移是矢量。由矢量加法得

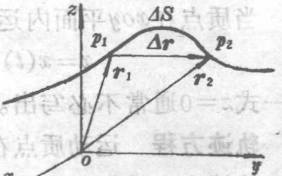

图 1-2

$$\overrightarrow{P_1P_2}=\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1 \qquad (1\text{-}4a)$$

在直角坐标系中，位移可表示为

$$\Delta \boldsymbol{r}=(x_2-x_1)\boldsymbol{i}+(y_2-y_1)\boldsymbol{j}+(z_2-z_1)\boldsymbol{k}$$
$$=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k} \qquad (1\text{-}4b)$$

在SI中，位移大小的单位为米（m）。

必须注意，位移和路程是两个不同的概念。位移是矢量，只由质点的始末位置决定。路程是质点运动经历的实际路径的总长度，是标量，且恒取正值。一般情况下，位移的大小与路程并不相等，如图1-2，与位移$\Delta \boldsymbol{r}$相应的路程的变化量是弧长ΔS，显然$|\Delta \boldsymbol{r}|\neq\Delta S$。当质点作直线直进运动时，位移的大小与路程相等。

例 1-2 某人自某点出发，先向东走30m，后向南走10m，再向西北走18m，求合位移及总路程。

解 以出发点为原点o建立坐标系，作出各位移$\Delta \boldsymbol{r}_1$、$\Delta \boldsymbol{r}_2$、$\Delta \boldsymbol{r}_3$及合位移$\Delta \boldsymbol{r}$，如图1-3所示。由矢量加法知

$$\Delta \boldsymbol{r}=\Delta \boldsymbol{r}_1+\Delta \boldsymbol{r}_2+\Delta \boldsymbol{r}_3$$
$$=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}$$

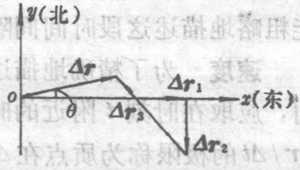

图 1-3

其中 $\Delta x=\Delta x_1+\Delta x_2+\Delta x_3$
$$=30+0+18\cos 135^\circ$$
$$=17.3(\text{m})$$
$$\Delta y=\Delta y_1+\Delta y_2+\Delta y_3$$
$$=0+(-10)+18\sin 135^\circ$$
$$=2.7(\text{m})$$

因此，$\Delta \boldsymbol{r}$的大小为

$$|\Delta \boldsymbol{r}|=\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2}=\sqrt{(17.3)^2+(2.7)^2}\approx 17.5(\text{m})$$

$\Delta \boldsymbol{r}$与x轴正方向的夹角

$$\theta=\text{arc tg}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)=\text{arc tg}\left(\frac{2.7}{17.3}\right)\approx 9^\circ$$

即合位移的大小约为17.5m，方向为东偏北约9°。

总路程$S=|\Delta \boldsymbol{r}_1|+|\Delta \boldsymbol{r}_2|+|\boldsymbol{r}_3|$

$=30+10+18=58(\mathrm{m})$

三　速度矢量

速度是描述质点位置变动的快慢和方向的物理量。

平均速度　质点在位置变动的过程中，位置变动的快慢和方向与两个因素有关，一个是位移$\Delta \boldsymbol{r}$，另一个是完成该位移所用的时间Δt. 比值$\Delta \boldsymbol{r}/\Delta t$反映了质点在这段时间内径矢的平均变化率，称为平均速度，用$\overline{\boldsymbol{v}}$表示，即

$$\overline{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} \tag{1-5}$$

平均速度是矢量。平均速度的方向就是$\Delta \boldsymbol{r}$的方向。由式(1-5)可见，平均速度与所取的时间长短有关，所以在计算平均速度时，必须指明是哪一段时间内的平均速度。平均速度只能粗略地描述这段时间间隔内的运动情况。

速度　为了精确地描述质点在t时刻位置变动的快慢和方向，应取在时刻t附近的时间间隔Δt为无限小，当$\Delta t\to 0$时，$\Delta \boldsymbol{r}/\Delta t$的极限称为质点在$\Delta t$时刻的瞬时速度，简称速度，用$\boldsymbol{v}$表示，即

$$\boldsymbol{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \tag{1-6a}$$

罗必塔法则

上式表明，速度等于位置矢量对时间的一阶导数。

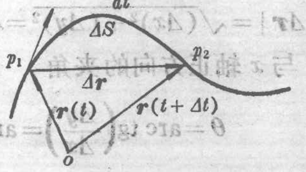

图 1-4

速度的方向就是位移的极限方向。如图 1-4 所示，当$\Delta t\to 0$时，P_2点趋向P_1点，因此速度的方向沿着运动轨迹上质点所在位置的切线，并指向

质点前进的一方。

在直角坐标系中，速度可表示为

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k} \quad (1\text{-}6b)$$

式中各分量

$$v_x=\frac{dx}{dt},\ v_y=\frac{dy}{dt},\ v_z=\frac{dz}{dt} \quad (1\text{-}6c)$$

必须注意，速度和速率是两个不同的概念。速度是位矢对时间的变化率，是矢量。而速率是路程对时间的变化率，是标量。如图1-4，在 t 到 $t+\Delta t$ 这段时间内的平均速率为 $\Delta s/\Delta t$，当 $\Delta t\to0$ 时，平均速率的极限 ds/dt 就是质点在 t 时刻的瞬时速率，简称速率。在一般情况下，平均速度的大小与平均速率并不相等，但是，瞬时速度的大小总是等于瞬时速率，即 $|\boldsymbol{v}|=v=ds/dt$。

在SI中，速度和速率的单位均为米·秒$^{-1}$($\mathrm{m\cdot s^{-1}}$)。

四 加速度

加速度是描述质点运动的速度变化快慢的物理量。由于速度是矢量，因此，速度的变化包括大小和方向的变化。

平均加速度 如图 1-5 所示，质点作曲线运动，t 时刻在位置 P_1 处的速度为 $\boldsymbol{v}_1$，$t+\Delta t$ 时刻在位置 P_2 处的速度为 $\boldsymbol{v}_2$。在 Δt 时间内，质点速度的增量为

$$\Delta\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_2-\boldsymbol{v}_1$$

比值 $\Delta\boldsymbol{v}/\Delta t$ 反映了质点在这段时间内速度的平均变化率，称为平均加速度，用 $\overline{\boldsymbol{a}}$ 表示，即

$$\overline{\boldsymbol{a}}=\frac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t} \quad (1\text{-}7)$$

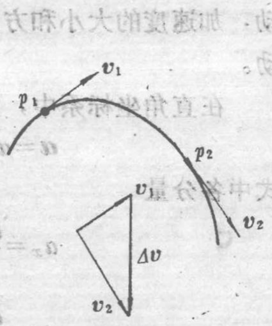

图 1-5