OACHING
PHYSICS

工高校试用教材

（上）

物理学辅导

河南科学技术出版社

BY HENAN
SCIENTIFIC AND TECHNICAL PUBLISHING HOUSE

河南省物理学会职工大学教学委员会编
河南省教育委员会 审定

前　　言

为了帮助广大学员学好物理知识，加深对基本概念和基本规律的理解，提高分析问题和解决问题的能力，我们根据“职工高等工业专科学校普通物理教学大纲（草案）”的要求，编写了这套《物理学辅导》。全书分上、下两册。上册包括力学、气体分子运动论和热力学基础，下册包括电磁学、机械振动、机械波、波动光学和近代物理简介。本书与河南省物理学会职工大学教学工作委员会编写的《物理学》教材相配套，可供职工大学、业余大学、广播电视大学、函授大学、夜大学的广大学生与教师使用。

本书的每章内容都由基本要求、基本内容、解题指导和单元练习四个部分组成。重点是基本内容和解题指导。在基本内容部分，我们力求对基本概念和基本规律进行多层次、多角度的分析和对比，对物理模型和研究方法也作了尽可能详细的阐述，以便帮助读者全面而深入地认识和理解物理学的基础知识，同时在物理思想和方法论上也有所提高。在解题指导部分，通过对例题的示范解答和分析，使读者了解如何把学过的基础知识应用于具体的物理过程，掌握解题的思路和方法，从而提高分析问题和解决问题的能力。本书的编写吸取了广大教师的丰富实践经验，结合学员容易出现的问题进行了有针对性的剖析，对学习物理学知识有一定的指导

和帮助。每章后面还提供了一定量的单元练习题，书后附有单元练习、综合练习和教材习题的参考答案，以便广大读者选用和对照。

本书上册由新乡市职工大学别洪彬任主编，漯河市职工大学邵鸿鸣任副主编。参加编写工作的有：安阳钢铁公司职工大学靳晋忠、洛阳职工科技学院王振平，舞阳钢铁公司职工大学周森。

初稿完成后，为加快工作进度，受河南省物理学会职工大学教学工作委员会委托，陈国荣（郑州市职工大学）、庄文生、曾宪忠（郑州煤田职工地质学院）、柴松年（郑州铝厂工学院）承担了修改和定稿工作。

本书由新乡市职工大学张德远副教授主审。

在本书编写过程中，自始至终得到了河南省教委成人教育教材教学研究室和河南省物理学会的大力支持和协助，同时还得到了全省职工大学同行的热情支持。省教委成人教育教材教学研究室陈志勇同志对书稿进行了审阅。在此一并致以深切的谢意。

由于我们水平有限，时间仓促，书中不妥和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编　者

一九八九年十月

目　录

第一章　质点运动学

质点运动学是研究可以被看作质点的物体在空间的位置随时间而变化的规律。它不涉及物体为什么做这种或那种运动的力学本质。

一、基本要求

（1）深刻理解描述质点运动的基本物理量：位置矢量、位移、速度和加速度。正确理解切向加速度和法向加速度的物理意义，并能进行简单的计算。

（2）熟悉运动方程的矢量形式及其分量形式，能用运动方程求速度、加速度和简单的轨道方程。

（3）在直线运动和抛体运动中，能用建立坐标系的方法解有关问题。

（4）掌握圆周运动中角量与线量的关系。

二、基本内容

1．位置矢量

位置矢量用来表示质点在空间所处的位置，它是由坐标原点指向质点所在位置的一条有向线段，用$\boldsymbol{r}$表示，其矢量表达式为

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

式中i、j、k分别为沿x、y、z轴的单位矢量。

位置矢量是一个有方向的物理量，矢量的方向余弦是：

$$\cos\alpha=\frac{x}{r},\ \cos\beta=\frac{y}{r},\ \cos\gamma=\frac{z}{r}$$

α、β、γ分别表示r与x、y、z轴的夹角。

位置矢量的大小为：

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

需注意：位置矢量一定与质点运动中某一时刻相对应。采用不同的坐标系来描述某质点的位置，r的表达式不同。

2．运动方程和轨道方程

当质点作机械运动时，r随时间变化而变化，即

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

这一函数关系式称为质点的运动方程。其分量形式为

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

这里，$\mathbf{r}=\mathbf{r}(t)$是运动方程的一般形式，质点作不同的运动，其函数形式也不相同。如$x=vt$为匀速直线运动；$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$为匀变速直线运动。

将质点运动方程的分量形式联立，消去时间参数t，便可求出质点运动的轨迹，即轨道方程$F(x、y)=0$或$y=f(x)$。

因此，知道了质点的运动方程，就可确定质点在任一时[illegible]运动状态（位置，速度，加速度）。也可以确定质点的[illegible]。

[illegible]位移

描述质点空间位置变化的物理量称为位移。在坐标系中，它用从质点的起始位置指向终点位置的有向线段来表示，记为$\Delta \mathbf{r}$。

$$\Delta \mathbf{r}=\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1$$

关于位移应注意以下几点：

（1）位移是矢量，是有大小有方向的量。若质点沿x轴运动，则位移可用$\Delta x=x_2-x_1$表示，x_1，x_2分别为起点和终点的坐标。当Δx为正时，表示位移方向与坐标轴正方向相同，Δx为负则表示位移方向与坐标轴正方向相反。

（2）位移和位置矢量的区别：因为位移反映了质点在运动过程中位置的变化，因此它总是和某一段时间间隔相对应；位置矢量则反映质点在空间的位置，它总是和某一时刻相对应。

（3）位移和路程的区别：路程是质点在一段时间内所经过的轨迹的长度，与路径有关，是标量。而位移只与始末位置有关，是矢量。在曲线运动中，路程和位移的区别明显；在直线运动中应注意不要把它们混淆。例如AB两点之间距离为300米，质点M从A点沿直线运动到B点，又返回AB中点C，所用时间为Δt秒。在这段时间内M的位移为$\overline{AC}=150$米，方向由A指向C，而M的路程为$\overline{AB}+\overline{BC}=450$米。可见，只有质点作直线直进运动时，位移的大小才等于路程。

（4）位移具有相对性，与参照系的选择有关，但与坐标系的选择无关。

4．速度

速度是描述物体运动方向和位置变化快慢的物理量。通过质点运动方程$\mathbf{r}(t)$对时间求导，可计算任一时刻t质点的瞬

时速度，简称速度。其数学表达式为：

$$\mathbf{v}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

在直角坐标系中，速度可写作

$$\mathbf{v}=v_x\mathbf{i}+v_y\mathbf{j}+v_z\mathbf{k}$$

中v_x、v_y、v_z为速度$\mathbf{v}$在x、y、z三个坐标轴上的分量，其大小分别为

$$v_x=\frac{dx}{dt},\quad v_y=\frac{dy}{dt},\quad v_z=\frac{dz}{dt}$$

速度的大小

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

关于速度应注意以下几点：

（1）速度是矢量，但其坐标分量也有正负之分：分量为正表示其方向与坐标轴正方向一致，反之表示此分量与坐标轴正方向相反。

（2）速度和速率的区别：速度描述的是质点运动的快慢和方向，是矢量；而速率只反映质点运动的快慢，是标量。速度的大小就是速率。

（3）平均速度和平均速率的区别：平均速度是位移和产生此位移所用时间的比，即$\overline{\mathbf{v}}=\frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t}$，是矢量，其方向与位移方向相同。而平均速率是路程和时间的比，是标量。在某段时间间隔内，质点可能位移为零而路程不为零。因此，质点在这段时间里平均速度为零而平均速率不为零。切不可误认为平均速率就等于平均速度的大小。

（4）平均速度和瞬时速度的区别：平均速度只是对质

点在某一时间间隔内运动快慢和方向的粗略描述，它一定对应着某一时间间隔，时间间隔越短，Δt时间内的平均速度就越接近真实情况。当$\Delta t \to 0$时，平均速度的极限值就能表达质点在某一时刻的运动情况，这个平均速度的极限值就是瞬时速度，即$\mathbf{v}=\lim\limits_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$。瞬时速度对应着某一时刻（或某一位置）。

（5）速度具有相对性，它与参照系的选取有关。

5. 加速度

加速度是用来描述质点运动时其速度（大小、方向）随时间变化快慢的物理量。其定义式为

$$\mathbf{a}=\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}=\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

在直角坐系中，加速度可写作

$$\mathbf{a}=a_x\mathbf{i}+a_y\mathbf{j}+a_z\mathbf{k}$$

式中a_x、a_y、a_z为加速度$\mathbf{a}$在x、y、z三个坐标轴上的分量。其大小分别为

$$a_x=\frac{dv_x}{dt},\quad a_y=\frac{dv_y}{dt},\quad a_z=\frac{dv_z}{dt}$$

加速度的大小为

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}$$

关于加速度应注意以下几点：

（1）加速度是矢量，它的方向是速度变化Δv的极限方向，而$\Delta \mathbf{v}$的方向不一定同$\mathbf{v}$的方向（质点运动的方向）相同，故加速度的方向不表示质点运动的方向。因此，当$a>0$时，物体的速度不一定增加；$a<0$时，物体的速度不一定减小。只

增当a与v方向之间夹角小于90° 时，物体才加速，速率才增大；当a与v方向之间夹角大于90° 时，物体才减速，速率才减小。

（2）切向加速度和法向加速度：加速度是描述质点速度随时间变化快慢的物理量，加速度是一矢量，有大小也有方向。质点速度的大小或方向二者改变其一，就说明质点存在加速度。我们将加速度分为切向加速度$\mathbf{a}_t$与法向速度$\mathbf{a}_n$。切向加速度反映质点速度大小随时间变化的快慢，其方向沿质点运动的轨迹中该位置的切向方向。法向加速度反映了速度的方向随时间变化的快慢，其方向始终指向质点运动轨迹中该位置的曲率中心。它们与速度的关系为

$$\mathbf{a}_t=\frac{dv}{dt}\mathbf{t}_0 \qquad \mathbf{a}_n=\frac{v^2}{\rho}\mathbf{n}_0$$

式中$\mathbf{t}_0$、$\mathbf{n}_0$分别为自然坐标中切向与法向的单位矢量，ρ为曲率半径。而物体的加速度可表示为

$$\mathbf{a}=a_t\mathbf{t}_0+a_n\mathbf{n}_0$$

其大小为$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}$，方向$\alpha=\mathrm{arctg}\frac{a_n}{a_t}$（$\alpha$为$\mathbf{a}$与$\mathbf{t}_0$方向的夹角）。

当物体作直线运动时，运动方向不变，有$a_n=0$，则$a=a_t$。当物体作匀速率圆周运动时，速率不变，有$a_t=0$，则$a=a_n=\frac{v^2}{R}$，即向心加速度。当物体作变速率曲线运动时，$a_t\neq0$且$a_n\neq0$，既有切向加速度，又有法向加速度。

另外，$a_t=\frac{dv}{dt}$，而$\left|\frac{d\mathbf{v}}{dt}\right|=|\mathbf{a}|$，$\frac{dv}{dt}$只是$\frac{d\mathbf{v}}{dt}$中的切向

分量，$\frac{dv}{dt}\neq\left|\frac{d\mathbf{v}}{dt}\right|$。

（3）速度与加速度 ：速度与加速度是两个意义根本不同的物理量，速度只反映物体运动的快慢和方向，而加速度则反映物体运动的快慢和方向随时间变化的程度。速度小，加速度不一定小；速度大，加速度不一定大；速度为零，加速度不一定为零。

（4）加速度具有相对性，其值与参照系选取有关。

6．匀变速直线运动的基本公式

匀变速直线运动即a为常量，且$a_n=0$。若$t=0$时，速度为$\mathbf{v}_0$，位移为x_0，则由

$$a=\frac{dv}{dt}$$

分离变量且等式两边积分：

$$\int_{v_0}^{v}dv=\int_0^t a\,dt。$$

可得 $$v-v_0=at$$

即 $$v=v_0+at（匀变速直线运动速度公式）。$$

又由 $$v=\frac{dx}{dt}$$

分离变量 $$dx=v\,dt=(v_0+at)dt$$

两边积分 $$\int_{x_0}^{x}dx=\int_0^t(v_0+a_t)dt$$

可得 $$x-x_0=v_0t+\frac{1}{2}at^2（匀变速直线运动 位移公式）$$

将速度公式和位移公式联立消去时间参数t，可得基本公式

$$v_t^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$$

7. 抛体运动方程

在忽略空气阻力的情况下，抛体运动可认为是匀变速运动（$\mathbf{a}=\mathbf{g}$）。若$t=0$时，$\mathbf{v}=\mathbf{v}_0$，$\mathbf{r}=\mathbf{r}_0$。则由

$$\mathbf{g}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

分离变量得　$d\mathbf{v}=\mathbf{g}dt$

两边积分　$\int_{\mathbf{v}_0}^{\mathbf{v}} d\mathbf{v}=\int_0^t \mathbf{g}dt$

可得　$\mathbf{v}-\mathbf{v}_0=\mathbf{g}t$

即　$\mathbf{v}=\mathbf{v}_0+\mathbf{g}t$

又由　$\mathbf{v}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}$

分离变量　$d\mathbf{r}=\mathbf{v}dt=(\mathbf{v}_0+\mathbf{g}t)dt$

两边积分　$\int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}} d\mathbf{r}=\int_0^t (\mathbf{v}_0+\mathbf{g}t)dt$

整理可得　$\mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\mathbf{v}_0t+\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$

上式即为抛体运动方程的矢量形式。在解具体抛体问题时，只须将此矢量形式在所建立的坐标轴上分别投影，便可得到两个分量方程，将两分量方程联立，可求解各种抛体运动。（这种处理问题的方法在本章中应作为基本解题方法加以掌握，以便为学习后面的牛顿运动定律、动量等内容打下必要的解题基础。）

8. 圆周运动中角量与线量的关系

描述圆周运动可以用线量（位置矢量、位移、速度、加速度），也可以用角量(角位置 θ， 角位移$\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$，

角速度 $\omega=\frac{d\theta}{dt}$，角加速度 $\beta=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}$)来描述。角量与线量的关系为：

$$v=R\omega$$

$$a_t=R\beta$$

$$a_n=R\omega^2$$

三、解题指导

例1 下列说法是否正确？

（1）运动质点的加速度越大，它的速度也越大。

（2）作直线运动的质点沿其前进方向的加速度减小，则质点前进的速度也随之减小。

（3）上抛质点的加速度一定为正。（或：上抛质点的加速度为一定负。）

解 （1）说法不对。因为质点的加速度是质点速度随时间的变化率。只要速度随时间改变得快，其加速度就大，而此时，质点速度可能很大，也可能很小，还可能为零。

（2）说法不对。质点沿其前进方向的加速度减小，只说明质点速度随时间增加得慢了，但速度仍然在增加着。

（3）说法不对。因为质点加速度是正还是负，取决于所选坐标轴的方向。当加速度方向与坐标轴正向一致时为正，反之为负。而坐标轴正方向的选取完全是任意的，因此作为一个结论，说上抛质点的加速度一定为正（或一定为负）自然是错的了。

例2 设质点的运动方程为$x=x(t)$，$y=y(t)$。在计算质点的速度和加速度时，有人先求出$r=\sqrt{x^2+y^2}$，然后根

$v=\frac{dr}{dt}$和$a=\frac{dv}{dt}$求得结果；又有人先计算速度和加速度的分量，再合成求得结果：

$$v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \qquad a=\sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2+\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}$$

你认为哪一种方法正确？为什么？

解 后一种方法正确。因为速度和加速均为矢量，满足如下关系：

$$\mathbf{v}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}=\frac{d}{dt}(x\mathbf{i}+y\mathbf{j})=\frac{dx}{dt}\mathbf{i}+\frac{dy}{dt}\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a}=\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}=\frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\mathbf{i}+\frac{dy}{dt}\mathbf{j}\right)=\frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i}+\frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j}$$

$$\therefore v=\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2+\left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

$$a=\sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2+\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2}.$$

而前一种方法只是考虑了矢量的量值随时间 t 的变化，而未考虑由于$\mathbf{r}$的方向随时间t的变化对速度的影响，或速度方向随时间t变化对加速度的影响。

例3 已知质点的运动方程为$\mathbf{r}=(4+8t-t^2)\mathbf{i}$（m），求：

（1）$t_1=0$s、$t_2=4$s、$t_3=8$s、$t_4=10$s时，质点的位置；

（2）$t_1=0$到$t_2=4$s时间间隔内，$t_1=0$到$t_3=8$s时间间隔内及$t_1=0$到$t_4=10$s时间间隔内的位移Δx_1、Δx_2和Δx_3、 （3）$t_1=0$、$t_2=4\,s$ 及$t_3=8\,s$ 时，质点运动的速度；

（4）前8s内质点的平均速度v和平均速率v；

（5）质点在任意时刻的加速度。

解 此题属已知运动方程，求解质点的运动。由方程可知，质点只沿X轴作直线运动，因而运动方程可改写为

$$x=(4+8t-t^2)\mathrm{m}$$

（1）将$t_1=0$、$t_2=4s$、$t_3=8s$及$t_4=10s$分别代入上式即可得

$$x_1=4\mathrm{m} \qquad x_2=20\mathrm{m}$$

$$x_3=4\mathrm{m} \qquad x_4=-16\mathrm{m}$$

（2）$\Delta x_1=x_2-x_1=16\mathrm{m}$

$$\Delta x_2=x_3-x_1=0$$

$$\Delta x_3=x_4-x_1=-16-4=-20\mathrm{m}$$

（3）速度表达式为

$$v=\frac{dx}{dt}=(8-2t)\mathrm{m}\cdot s^{-1}$$

$$\therefore v_1=8\mathrm{m}\cdot s^{-1} \qquad v_2=0\mathrm{m}\cdot s^{-1}$$

$$v_3=-8\mathrm{m}\cdot s^{-1}$$

（4）前8s内质点的平均速度

$$\bar{v}=\frac{\Delta x_2}{\Delta t}=\frac{0}{8}=0(\mathrm{m}\cdot s^{-1})$$

前8s内质点的平均速率

$$\bar{v}=\frac{2\Delta x_1}{\Delta t}=\frac{2\times16}{8}=4(\mathrm{m}\cdot s^{-1})$$

（5）$a=\frac{d^2x}{dt^2}=\frac{dv}{dt}=-2(\mathrm{m}\cdot s^{-2})$

度a的大小为$2m\cdot s^{-2}$，在运动过程中是一恒量，表明质点作匀变速直线运动，负号表示加速度方向与x轴正方向相反。

讨论：

（1）由解题结果可知，质点先向右运动，过4s后向左运动。因为质点的加速度$a=-2m\cdot s^{-2}$，若初速度为零，那么物体将沿一个方向（x轴负方向）运动。而现在，$t=0$时，初速度$v_0=8m\cdot s^{-1}$，a与v_0方向相反，故质点先沿x轴正方向作减速运动，$t=4s$时$v=0$；此后物体改变运动方向，沿x轴负方向作匀加速直线运动。

（2）$t=0$时$x_0=4m$，坐标原点不在初始位置，这说明坐标原点的选取是任意的。

（3）由于质点在运动过程中改变了运动方向，虽然质点作直线运动，质点在某段时间间隔的路程和位移却不一定相等。

例4 一个物体在距地面14.7m高处被竖直上抛，初速度为$9.8m\cdot s^{-1}$，达最高点后自由下落。求：

（1）物体所到达的最大高度和它到达最大高度所用的时间；

（2）物体回到出发点所用时间；

（3）物体落地时的速度。

解 此题为匀变速直线运动的习题。建立坐标系如图1-1所示，选抛出点为坐标原点，y轴向上为正，则$a=-9.8m\cdot s^{-2}$。

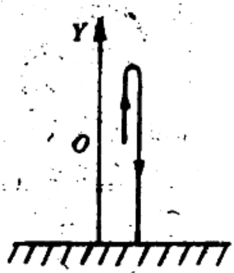

图 1—1

（1）物体达到最大高度时，其瞬