普通物理学辅导

PUTONGWULIXUEFUOAO

1 力学

西南师范大学出版社

电大 职大 夜大 函大

普通物理学辅导（一）

（力 学）

周国立 编

西南师范大学出版社

普通物理学辅导（一）

周国立 编

*

西南师范大学出版社出版
（重庆 北碚）
西南师范大学出版社印刷厂印刷
新华书店重庆发行所发行

*

787×1092毫米 32开本 7印张 149千字
1986年11月第一版 1986年11月第一次印刷
印数：1——5,000
统一书号：13405·1 定价：1.45元

前　　言

本书是为电视大学、职工大学、夜大学和函授大学一年级学生学习普通物理学编写的一套辅导丛书。其内容与电大大纲所规定的深度和广度相一致。编写时以现行电视大学教材“普通物理学讲义”一书为主要参考，将书中的大量习题作为本书的例题做了详细讨论。本书还可以作为自学者和中学物理教师的参致书。

全书共分五分册，第一分册为力学；第二分册为热学；第三分册为电磁学；第四分册为波动光学；第五分册为量子物理学基础。各分册中各章有内容摘要，例题详解和分析；还编选了自我检查题及答案。自检题除传统的论证题和计算题外，有思考题、填空题和是非题，有利于初学者自我检查。

本书由西南师范大学物理系普通物理教研室主编，力学由周国立付教授编写，热学由肖坤岳讲师编写，电磁学由哈骥骏讲师编写，光学由万中义讲师编写，量子物理基础由殷传宗付教授编写。

由于我们水平有限，本书一定存在不少缺点和错误，敬希读者批评指正。

编者

1985．10

附：书中正黑体字符表示矢量。

目　　录

第一篇　力　　学

第一篇　力学部分

第一章　运动学量的計算

引　　言

运动学主要是去计算（求解）位置坐标，速度（角速度），加速度（角加速度）．如果质点的运动是限制在一条直线上作匀变速运动，可利用公式：

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$v^2=v_0^2+2a(x-x_0)$$

$$v=v_0+at$$

当刚体围绕固定轴作匀变角速转动时，可利用公式：

$$\theta=\theta_0+\omega_0t+\frac{1}{2}\beta t^2$$

$$\omega^2=\omega_0^2+2\beta(\theta-\theta_0)$$

$$\omega=\omega_0+\beta t$$

以及　$v=R\omega$

$$a_\tau=R\beta$$

如果运动是非匀变速的或平面曲线运动的，可以由加速度和速度定义

$$\mathbf{a}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}, \qquad \mathbf{v}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

利用微分或积分去求位置矢量（坐标）、速度和加速度．例如在平面直角坐标系中

$$\mathbf{a}=\frac{dv_x}{dt}\mathbf{i}+\frac{dv_y}{dt}\mathbf{j}$$

$$=\frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i}+\frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j}$$

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

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

当已知运动规律

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

利用微分可求得 $\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{a}$．反之，已知 $\mathbf{a}=\mathbf{a}(t)$ 时利用积分可求 $\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{r}$．

因为速度是矢量，它的合成应按矢量加法（即平行四边形法则）相加，即

$$\mathbf{v}_{合}=\mathbf{v}_1+\mathbf{v}_2$$

合成的逆运算是分解，最主要又最常用的分解是正交分解．例如在平面直角坐标系中速度 $\mathbf{v}$ 可分解为：

$$\mathbf{v}=v\cos\theta\mathbf{i}+v\sin\theta\mathbf{j}$$

式中 θ 是 $\mathbf{v}$ 与 O-x 轴间的正向夹角；$\mathbf{i}$，$\mathbf{j}$ 是 x，y 轴方向的单位矢量．

当物体作相对运动时，它的绝对速度 $\mathbf{v}_{AC}$，牵连速度 $\mathbf{v}_{AB}$，相对速度 $\mathbf{v}_{BC}$ 三者有如下关系：

$$\mathbf{v}_{AC}=\mathbf{v}_{AB}+\mathbf{v}_{BC}$$

§1　直线运动的位置矢量（坐标）、位移、速度和加速度的计算

当物体作平动时，物体的运动可视为一质点的运动。某一时刻它在空间的位置可用相对于参考点 O 的位置矢量 $\mathbf{r}$ 确定（见图1—1）．则位移为：

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

速度为：$\mathbf{v}=\lim\limits_{\triangle t\to 0}\dfrac{\triangle \mathbf{r}}{\triangle t}$

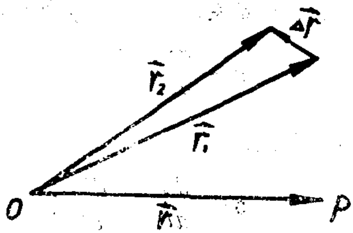

图1—1

按微分定义，上式又可表示为：

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

即瞬时速度 $\mathbf{v}$ 等于位置矢量对时间的一次微分．

加速度为

$$\mathbf{a}=\lim_{\triangle t\to 0}\frac{\triangle \mathbf{v}}{\triangle t}$$

按微分定义，上式又可表示为

$$\mathbf{a}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}=\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$$

即瞬时加速度 a 等于速度对时间的一次微分，也等于位置矢量对时间的二次微分.

如果质点的运动被限制在一条直线上，在此直线上任取一点作为坐标系的原点，向右为 O-x轴的正方向（如图1—2所示）．则它的位置矢量为：

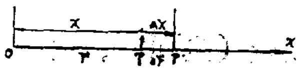

图1—2

$$\mathbf{r}=x\mathbf{i}$$

位移为：$\Delta\mathbf{r}=\Delta x\mathbf{i}$

速度为：$\mathbf{v}=\dfrac{d\mathbf{r}}{dt}=\dfrac{dx}{dt}\mathbf{i}$

在上式两端乘以 i，，得到 v 在 O-x 轴上的投影为：

$$v=\frac{dx}{dt}$$

加速度为：

$$\mathbf{a}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}=\frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i}$$

同样可得 a 在 O-x 轴上的投影为：

$$a=\frac{d^2x}{dt^2}$$

可见质点作直线运动时，它的位置由坐标 $x(t)$ 确定，它的速度等于坐标对时间的一次微分，即$\dfrac{dx}{dt}$确定，它的加速度等于坐标对时间的 2 次微分，即$\dfrac{d^2x}{dt^2}$确定.

$x=x(t)$ 被称为运动方程（或称为运动规律）.

例 1 一质点沿 O-x 轴作直线运动，它的运动方程为：

$$x=3+5t+6t^2-t^3$$

式中长度的单位是 m，时间的单位是 s，求：

a）质点在初始时刻的速度等于多少？

b）什么时刻的加速度为零？

c）加速度为零时，质点的速度等于多少？

解 a）为求初始时刻的速度值，首先需将运动方程求一次微分，求出瞬时速度 v，然后再将 $t=0$ 代入就可以得到．已知运动方程为：

$$x=3+5t+6t^2-t^3$$

求它的微分，得到速度

$$v=\frac{dx}{dt}=x'=5+12t-3t^2$$

将 $t=0$ 代入上式得

$$v_0=5(\mathrm{m\cdot s^{-1}})$$

答 质点在初始时速度为 $5\mathrm{m\cdot s^{-1}}$．

b）求加速度为零的时刻，首先需求加速度 a，然后令 $a=0$，求解时间 t．已知

$$v=5+12t-3t^2$$

求它的微分，得到加速度

$$a=12-6t$$

令 $a=0$得：$0=12-6t$

求解 t 得 $t=2(s)$

答 加速度在 $t=2s$ 时为零。

c）为求加速度为零的速度，只需将 b）中求得的时间 $t=2s$ 代入 a）中求得 v，已知

$$v=5+12t-3t^2$$

代入 $t=2s$ 得

$$v=17(\mathrm{m}\cdot s^{-1})$$

答 当加速度速为零时，速度为 $17\mathrm{m}\cdot s^{-1}$.

本例充分说明了，当已知 $x=x(t)$（即运动方程）时，可利用速度是坐标的一次微分，加速度是坐标的二次微分，去求解速度和加速度．值得指出的是，本例求的瞬时速度

$$v=5+12t-3t^2$$

和瞬时加速度

$$a=13-6t$$

都是时间 t 的函数，所以既不是匀变速运动，当然也非匀速的．

如果是匀变速直线运动，不需利用微分去求速度和加速度，因为有现成的公式：

$$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$v=v_0+at$$

$$v^2=v_0^2+2a(x-x_0)$$

例如竖直上抛运动就是一个匀变速直线运动的典型例子．若取 O-x 轴竖直向上，且有初始条件：$t=0$时，$x=x_0$，$v=v_0$．因为加速度 $a=-g$，代入匀变速直线运动公式得：

$$x=x_0+v_0t-\frac{1}{2}gt^2 \tag{1}$$

$$v=v_0-gt \tag{2}$$

$$v^2=v_0^2-2g(x-x_0) \tag{3}$$

由于以上各式应用十分广泛，下面具体讨论一下它们的特性

由（1）式可得

$$t^2-\frac{2v_0}{g}t+\frac{2}{g}(x-x_0)=0 \tag{4}$$

解 t 得二根

$$t_1=\frac{v_0}{g}+\sqrt{\frac{v_0^2}{g^2}-\frac{2}{g}(x-x_0)}$$

$$t_2=\frac{v_0}{g}-\sqrt{\frac{v_0^2}{g^2}-\frac{2}{g}(x-x_0)}$$

上二式表示：只要给定一个 x 的值，就相应有两值 t_1 和 t_2. 但从物理实际上讲，并非所有 t_1 和 t_2 的值都适合物理实际. 因为在物理上时间是不能为虚数，这样就要求

$$\frac{v_0^2}{g^2}-\frac{2}{g}(x-x_0)\geqslant 0$$

即 $$\frac{v_0^2}{2g}\geqslant(x-x_0)$$

或 $$\frac{v_0^2}{2g}+x_0\geqslant x$$

上式意味着只要 x 的值小于或等于物体上升至最高点的坐标值，都可得到适合于物理实际的解答（上式中的 $\frac{v_0^2}{2g}$ 是在 x_0 处以初速 v_0 竖直上抛后，物体上升的最大高度）. 在满

足上述条件之下，t还可能有正、负之别。例如当x满足条件：

$$\frac{v_0^2}{2g}+x_0\geqslant x\geqslant x_0,$$

将使得$\sqrt{\frac{v_0^2}{g^2}-\frac{2}{g}(x-x_0)}\leqslant\frac{v_0}{g}$

于是t_1和t_2都为正，且$t_1>t_2$. 它所对应的物理过程是：当$t=0$时，物体在x_0处，具有初速v_0，随后它上升直到最高点$x=\frac{v_0^2}{2g}+x_0$处，速度变为零，然后下降再回到x_0处. 在此过程中在每一个位置坐标物体都经过二次：一次是上升时经过，一次是下降时经过. 它们相应的时间都为正.

如果x满足条件：

$$x_0\geqslant x>-\infty$$

此时有$\sqrt{\frac{v_0^2}{g^2}-\frac{2}{g}(x-x_0)}>\frac{v_0}{g}$，$t_1$将为正，$t_2$将为负. 它所对应的物理过程是：物体上升到$x_0$之前的时间是在$t=0$之前，所以相应时间为负；物体回到$x_0$后又继续下降是在$t=0$之后，所以相应的时间为正.

由(3)式

$$v=\pm\sqrt{v_0^2-2g(x-x_0)}$$

因为v不能为虚数，这就要求

$$v_0^2-2g(x-x_0)\geqslant 0$$

即
$$\frac{v_0^2}{2g}+x_0\geqslant x$$

在此条件下，v 不会为虚数，且开方后得一正一负两个值．它对应的物理含义是：给定一个 x 的值，对应有两个速度，它们大小相等，方向相反，正的对应上升的速度，负的则对应下降的速度．

上述讨论说明：（1）式和（3）式不仅适用于上升过程，也适用于下降过程，所以此类问题勿需分段讨论．其次是数学的解，不一定都适合于物理实际，需要经过分析讨论．

下面将举例说明匀变速直线运动公式的应用．

例 2 甲、乙两车由同一地点向同一方向行驶，甲车初速 $v_{01}=15\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，加速度 $a_1=-0.5\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，乙车初速 $v_{02}=11\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，加速度 $a_2=0.3\mathrm{m\cdot s^{-2}}$

a）求经过多少时间相遇？

b）求经过多少时间，两车速度相同，速度大小为多少？

解 a）若起始位置作为坐标系原点(如图1—3所示)，则有 $x_0=0$．当两车相遇时，它们的坐标应相等，即 $x_1=x_2$．由匀变速直线运动公式得：

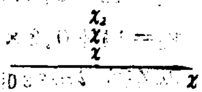

图1—3

$$x_1=v_{01}t+\frac{1}{2}a_1t^2$$

$$x_2=v_{02}t+\frac{1}{2}a_2t^2$$

利用条件 $x_1=x_2$，得

$$v_{01}t+\frac{1}{2}a_1t^2=v_{02}t+\frac{1}{2}a_2t^2$$

整理上式得

$$(v_{01}-v_{02})+\frac{1}{2}(a_1-a_2)t=0$$

代入已知值：$v_{01}=15\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$a_1=-0.5\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，$v_{02}=11\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$a_2=0.3\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，求得

$$t=10\ \mathrm{s}$$

答 当 $t=10\ \mathrm{s}$ 时，两车将相遇.

(b) 两车速度相等，即 $v_1=v_2$，由匀变速直线运动公式得

$$v_{01}+a_1t=a_2t+v_{02}$$

代入已知值：$v_{01}=15\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$a_1=-0.5\mathrm{m\cdot s^{-2}}$，$v_{02}=11\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，$a_2=0.3\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，求得

$$t=5\ \mathrm{s}$$

此时 $v_1=15-0.5\times5=12.5\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$

$v_2=11+0.3\times5=12.5\ (\mathrm{m\cdot s^{-1}})$

答 两车在 $t=5\mathrm{s}$ 时，速度都为$12.5\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

例3 将二物体从同一高度，以同样的初速度 $v_0=24.5\mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 竖直向上抛出，抛出的时间相间0.5 s. 问第二个物体抛出后经过多少时间它们相碰？相碰时高度为多少？各自的速度为何？

解 设第二个物体抛出后经过 t 秒(s)与第一个物体相

碰，按题给条件第一个物体则经过了（$t+0.5$）秒．若取坐标原点为起始点，向上为 x 轴的正方向，由竖直上抛公式得

$$x_1 = v_0(t+0.5)-\frac{1}{2}g(t+0.5)^2 \qquad (1)$$

$$x_2=v_0t-\frac{1}{2}gt^2 \qquad (2)$$

两物相碰时，$x_1=x_2=h$，得

$$v_0(t+0.5)-\frac{1}{2}g(t+0.5)^2=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$$

整理得

$$0.5v_0-\frac{1}{2}g(0.25)-\frac{1}{2}gt=0$$

$$t=\frac{v_0}{g}-0.25$$

代入已知值：$v_0=24.5\text{m.s}^{-1}$，$g=9.8\text{m.s}^{-2}$，得

$t=2.25\text{ s}$

将 t 代入（2）式得

$h=30.3\text{m}$

再将 h 的值代入 $v=\pm\sqrt{v_0^2-2gh}$，得

$$\begin{aligned} v &= \pm\sqrt{(24.5)^2-2\times9.8\times30.3} \\ &= \pm2.52\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \end{aligned}$$

答 第二个物体抛出后，经过2.25s，在高度30.3m处相碰，相碰时速度各为$\pm2.52\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

本例中物体上升至最高点所需时间为$\frac{v_0}{g}=\frac{24.5}{9.8}=$