大学物理学习题指导与辅导课设计

内容提要

本书根据《大学物理课程教学基本要求》编写。全书精选并分析讨论和计了各类有代表性的例题157个，提出了20个涉及各重点内容的辅导课程的实施方案，可以促使学生系统和深化所学的物理基本概念和基础理论，掌握解题的思路和方法，也为教师充实教学内容和安排辅导课提供参考。

本书可作为大学和各类成人高校工科学生配合课堂教学的良好课外读物和自学辅导教材，亦可作为各类高等学校物理教师有益的教学参考资料。

大学物理学

习题指导与辅导课设计

秦德培 主编

责任编辑 黄开植

重庆大学出版社出版发行

新 华 书 店 经 销

中国科学技术情报研究所重庆分所印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：13.625 字数：306千

1989年1月第1版 1989年1月第1次印刷

印数：1—14,000

标准书号：ISBN 7-5624-0135-7 / O·23 定价：3.60元

前　言

本书是一本在总结多年教学经验基础上编写的大学物理辅助教材。它的主要任务是通过解题实践帮助学生系统和深化所学的物理基本概念和基础理论，掌握解题的思路和方法，为广大在职和业余学习的读者进行自学辅导，为物理教师补充教学和安排辅导课提供参考。

本书以《大学物理课程教学基本要求》为依据，内容紧密配合课堂教学。全书以解题示例和辅导课设计为主要内容。按通行教材体系分篇分章编写，并以少量涉及内容较广、综合性较强的例题作为全书的结束。为了便于阅读，在各章中，我们简要提出了学习要求，列举了必要的基础知识，并附有适量的练习题（包括答案）。我们认为，读者都是经过某种方式学习，有了一定物理基础的，因此，许多通用的物理量符号，书中都不再加以特别的说明。在解题示例中，共选解了各种类型的题目157个，他们涉及了所有重要的物理概念和基础理论，具有很大的代表性，其中少数“超纲”，可以适应基础较好和部分要求较高专业学生的需要，在绝大多数题目的后面，都进行了总结性的讨论，并指出了容易混淆的常见错误。辅导课设计共汇集了20个课程题目，在每个题目中，安排了课堂讨论、示例、总结和课堂练习的具体内容，主要供教师安排辅导课和补充教学选用，也为广大参加业余和各种在职学习的读者提供自学辅导。鉴于学生的具体情况不同，教师在安排辅导课时，可以根据需要进行适量的课前复习，亦可根据学生的理解和接受程度，适时进行必要的，有针对性的总结。

参加本书编写的有：重庆大学秦德培(力学)、重庆大学潘明福(分子物理和热力学)、贵州工学院姜世淑（磁场、电磁感应和电磁波）、贵州工学院张志清（静电场、光的干涉）、贵州工学院王泽霖（振动、波、光的衍射和光的偏振）和重庆大学唐南（近代物理基础）。唐南参加了全书的审定工作，最后由秦德培审定和统稿。

限于编者水平，书中缺点和不当之处在所难免，敬请使用本书的师生和其它读者批评指正。

编

1988年6

目　　录

目　录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学

一、学 习 要 求

1. 正确理解运动参照系的意义，能用适当的坐标系描述质点的运动。

2. 正确理解运动叠加原理和描述质点运动的位置矢量、位移、速度以及加速度(包括切向加速度和法向加速度)等量的物理意义。

3. 掌握两大类运动学问题的计算方法：已知运动方程求速度和加速度及根据给定的加速度和运动初始条件求速度和运动方程。

4. 掌握运动合成和相对运动的矢量运算法和分量解析法。 全

二、基 础 知 识

1. 运动和运动方程

运动是绝对的，但运动的描述却随参照系的不同而不同，这就是运动的相对性。

质点是力学中一个经过简化，有一定适用范围的理想模型。质点的位置可用给定坐标系中的坐标 (x, y, z)和位置矢量$\mathbf{r}$表示。坐标x，y，z就是$\mathbf{r}$在对应坐标轴上的分量。

$\mathbf{r}$或其分量关于时间t的函数式

$$\mathbf{r}=\mathbf{r}(t) \quad \text{或} \quad \begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$

称为质点的运动方程。

2. 描述质点运动的物理量

位移 $\mathbf{AB}=\mathbf{r}_B-\mathbf{r}_A=\Delta\mathbf{r}$

称为质点由A到B的位移。实验证明，质点同时参加的各种运动的位移，是彼此独立的，合位移为各分位移的矢量和。这个规律叫做运动的独立性原理或运动叠加原理。

速度和速率 $\mathbf{v}=\dfrac{d\mathbf{r}}{dt}$, $v=\dfrac{ds}{dt}$ $(|\mathbf{v}|=v)$

加速度 $\mathbf{a}=\dfrac{d\mathbf{v}}{dt}=\dfrac{d^2\mathbf{r}}{dt^2}$

位移、速度和加速度可以用分量表示：

$$\begin{cases} d\mathbf{r}=dx\mathbf{i}+dy\mathbf{j}+dz\mathbf{k} \\ \mathbf{v}=\dfrac{dx}{dt}\mathbf{i}+\dfrac{dy}{dt}\mathbf{j}+\dfrac{dz}{dt}\mathbf{k} \\ \mathbf{a}=\dfrac{dv_x}{dt}\mathbf{i}+\dfrac{dv_y}{dt}\mathbf{j}+\dfrac{dv_z}{dt}\mathbf{k} \\ \quad =\dfrac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i}+\dfrac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j}+\dfrac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k} \\ \mathbf{a}=\mathbf{a}_n+\mathbf{a}_t=\dfrac{v^2}{\rho}\mathbf{n}^0+\dfrac{dv}{dt}\tau^0 \end{cases}$$

对于各坐标方向的分运动，v、a同号的为加速运动，v、a反号的为减速运动。

圆运动的角运动量 角位置：θ，角速度：$\omega=\dfrac{d\theta}{dt}$，角加

速度：$\beta=\frac{d\omega}{dt}=\frac{d^2\theta}{dt^2}$。它们和线运动量的关系为$v=\omega R$，$a_t=\beta R$，$a_n=\omega^2 R$，$R$是圆运动半径。

3． 两类运动学问题

（1）已知运动方程通过微分由定义求速度和加速度。

（2）已知加速度$\mathbf{a}$和初始条件$\mathbf{v}_0$、$\mathbf{r}_0$求速度和运动方程，一般应该求解微分方程，在$\mathbf{a}=\mathbf{a}(t)$的简单情况下，可以通过积分求解：

$$\mathbf{v}=\mathbf{v}_0+\int_0^t \mathbf{a}(t)dt,\quad \mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\int_0^t \mathbf{v}(t)dt$$

4． 相对运动

用$\mathbf{v}_{AC}$、$\mathbf{v}_{AB}$和$\mathbf{v}_{BC}$分别表示A物体相对于参照物C、A物体相对于参照物B和B物体相对于参照物C的运动速度，则有

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

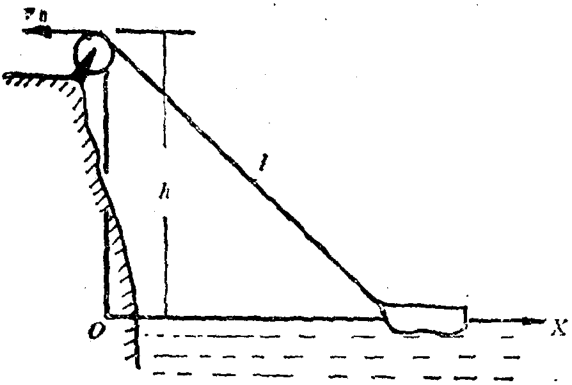
两式是等价的，但前式常理解为同时参加的两种独立运动的速度合成，后式则又被理解为相对同一参照系运动的两运动物体间的相对速度公式。

三、解 题 示 例

例1-1-1 在离水面高h的河岸上，有人通过定滑轮用绳拉船靠岸。设开始时定滑轮到船头的绳长为l_0，收绳速率v_0为常量。1）求船在任意时刻和任意位置时的速度；2）求任意位置时的加速度，说明船运动是加速还是减速。

解 船靠岸的运动为直线运动。为了描述船的运动，选择图示的坐标系，并以x表示船头与滑轮的水平距离，用l表示船头与滑轮之间的实际距离。

1）由图中几何关系$x=\sqrt{l^2-h^2}$，且依题意，在船靠岸



图例1-1-1

过程中，绳长l将以v_0的速率变短，即$l=l_0-v_0t$，可得船的

运动方程 $$x=\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}$$

则船速 $$v=\frac{dx}{dt}=-\frac{(l_0-v_0t)v_0}{\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}}$$

由于 $$l_0-v_0t=l=\sqrt{x^2+h^2}，可得$$

$$\sqrt{(l_0-v_0t)^2-h^2}=\sqrt{l^2-h^2}=x,$$

改用位置坐标x作变量，即得

$$v=-\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0$$

负号表示船运动方向沿X轴反方向，即向岸壁靠拢。

2） 由 $v=-\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}v_0$求导，可得加速度

$$a=\frac{dv}{dt}=-v_0\frac{d}{dt}\left(\frac{\sqrt{x^2+h^2}}{x}\right)$$

$$= -v_0 \frac{\dfrac{x^2}{\sqrt{x^2+h^2}} - \sqrt{x^2+h^2}}{x^2} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$= -\frac{v_0 h^2 v}{x^2\sqrt{x^2+h^2}} = -\frac{v_0{}^2 h^2}{x^3}$$

负号表示加速度的方向也沿X轴反方向。由于v与a的方向相同，船在靠岸过程中的速度将越来越快。

例1-1-2 一质点在平面上按 $x = A\cos\omega t$，$y = B\sin\omega t$ 的规律运动，A、B和ω均为大于零的常数。1）求质点的轨道方程，并判断运动方向；2）求质点的速度和加速度。

解 1） 由$x = A\cos\omega t$，$y = B\sin\omega t$，$\left(\dfrac{x}{A}\right)^2 + \left(\dfrac{y}{B}\right)^2 = \cos^2\omega t + \sin^2\omega t = 1$，表明质点的运动轨道为椭圆。

设质点所在处的矢径与x轴的夹角为θ，由 $\mathrm{tg}\theta = \dfrac{y}{x} = \dfrac{B}{A}\mathrm{tg}\omega t$ 知θ随时间增大，质点在椭圆轨道上沿逆时针方向运动。

2）
$$v_x = \frac{dx}{dt} = -\omega A\sin\omega t,\quad v_y = \frac{dy}{dt} = \omega B\cos\omega t$$

故
$$\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} = -\omega A\sin\omega t\,\mathbf{i} + \omega B\cos\omega t\,\mathbf{j}$$

$$v = \sqrt{v_x{}^2 + v_y{}^2} = \omega\sqrt{A^2\sin^2\omega t + B^2\cos^2\omega t},\ \mathrm{tg}\alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

$$= -\frac{B}{A}\mathrm{ctg}\omega t$$

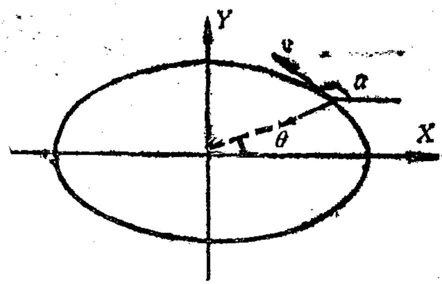
α为v与x轴正向的夹角。

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=-\omega^2 A\cos\omega t,\quad a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=-\omega^2 B\sin\omega t$$

故 $\mathbf{a}=a_x\mathbf{i}+a_y\mathbf{j}=-\omega^2(A\cos\omega t\mathbf{i}+B\sin\omega t\mathbf{j})=-\omega^2(x\mathbf{i}+y\mathbf{j})=-\omega^2\mathbf{r}$

$\mathbf{r}$为任意时刻质点所在位置的矢径，表明$\mathbf{a}$与$\mathbf{r}$反向，加速度永远指向椭圆中心，且

$$a=\omega^2 r=\omega^2\sqrt{A^2\cos^2\omega t+B^2\sin^2\omega t}$$



图例1-1-2

讨论 (1) 根据质点的运动规律或运动方程，通过坐标量对时间求导，按定义求出质点运动的速度和加速度，是质点运动学的一类基本问题。对于比较复杂的平面运动和空间运动，就其中的每一个分运动而言，都可以独立地运用。

(2) 位置矢量$\mathbf{r}$、速度$\mathbf{v}$和加速度$\mathbf{a}$在每一个坐标方向的分量，其正负都是反映对应分矢量的方向：正值与坐标正向同向；负值与坐标正向反向。就其速率变化而言，加速度分量与速度分量同号的分运动为加速运动，加速度分量与速度分量异号的分运动为减速运动。

例1-1-3 一质点在X轴上作加速运动，开始时$x=x_0$，$v=v_0$。1）$a=kt+c$，求任意时刻的速度和加速度，其中k、c为常量；2）$a=-kv$，求任意时刻的速度和位置；(3) $a=kx$，求任意位置的速度。

解 1）由$\mathbf{v}=\mathbf{v}_0+\int_0^t\mathbf{a}(t)\mathrm{d}t$ 和 $\mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\int_0^t\mathbf{v}(t)\mathrm{d}t$

可依次得

$$v=v_0+\int_0^t(kt+c)\mathrm{d}t=v_0+\frac{1}{2}kt^2+ct$$

$$x=x_0+\int_0^t\left(v_0+ct+\frac{1}{2}kt^2\right)\mathrm{d}t=x_0+v_0t+\frac{1}{2}ct^2$$

$$+\frac{1}{6}kt^3.$$

2）由$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv$ 可得 $\frac{\mathrm{d}v}{v}=-k\mathrm{d}t$，两边积分有$\int_{v_0}^{v}\frac{\mathrm{d}v}{v}=\int_0^t-k\mathrm{d}t$，$\ln\frac{v}{v_0}=-kt$，可得

$$v=v_0e^{-kt}$$

再由 $v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$可得

$\mathrm{d}x=v\mathrm{d}t=v_0e^{-kt}\mathrm{d}t$，两边积分有$\int_{x_0}^{x}\mathrm{d}x=\int_0^t v_0e^{-kt}\mathrm{d}t$，

$x-x_0=-\frac{v_0}{k}(e^{-kt}-1)$得

$$x=x_0+\frac{v_0}{k}(1-e^{-kt})$$

3）由于 $\mathrm{d}t=\frac{\mathrm{d}x}{v}$，可将加速度改写成 $a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$

$=\frac{v\mathrm{d}v}{\mathrm{d}x}$，于是

$$v\mathrm{d}v=a\mathrm{d}x$$

根据题设 $a=kx$，可得 $v\mathrm{d}v=kx\mathrm{d}x$ 两边积分有

$\int_{v_0}^{v}v\mathrm{d}v=\int_{x_0}^{x}kx\mathrm{d}x$，$\frac{1}{2}(v^2-v_0^2)=\frac{1}{2}k(x^2-x_0^2)$，故

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

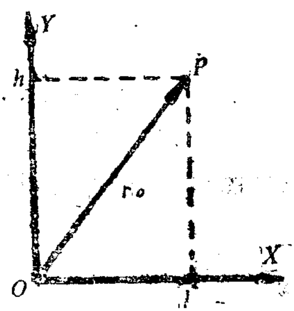
最后即得 $$v = \sqrt{v_0^2 + k(x^2 - x_0^2)}$$

讨论 (1) 对于$a=a(t)$和$a=a(v)$类型的加速度，在求出$v=v(t)$和$x=x(t)$后，原则上也可以通过它们建立起质点的速度-位置，即v-x的关系；同样，对于$a=a(x)$类型的加速度，在求出$v=v(x)$后，还可以进一步根据$v=\frac{dx}{dt}=v(x)$，

由$\int_{x_0}^{x}\frac{dx}{v(x)}=\int_0^t dt$求出$x=x(t)$。再通过$v=v(x)$和$x=x(t)$原则上也可以建立起质点的$v$-$t$关系。可见，不管给出那种类型的加速度，在已知初始条件的情况下，在x、v和a三个运动量中，都有可能找到其中两个量之间的关系。

(2) 题目中所涉及的直线运动，可以视为质点所作复杂运动中的一个分运动。也就是说，对于任何复杂的质点运动，都可根据运动叠加原理，将其分解为几个独立的分运动，分别进行讨论。

例1-1-4 在射击运动员枪口的斜上方，高度为h，水平距离为l的P点有一活动靶，正由静止状态开始自由下落。为了击中目标，如在靶开始下落时开枪，问射击运动员应该向哪个方向瞄准？设子弹初速为v_0，问击中时子弹飞行了多长时间？空气阻力不计。



图例1-1-4

解 以枪口所在处o为坐标原点，建立图示的坐标系，并用r_P表示靶开始时所在位置的矢径。

由于子弹和靶的运动都是重力作用下的匀加速度运动，它们的运动方程具有相同的矢量形式

$$\mathbf{r}=\mathbf{r}_0+\mathbf{v}_0 t+\frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$$

式中$\mathbf{a}=\mathbf{g}$为重力加速度。由于子弹$\mathbf{r}_0=0$，$\mathbf{v}_0=\mathbf{v}_0$，靶$\mathbf{r}_0=\mathbf{r}_P$，$\mathbf{v}_0=0$，对它们可以分别得到：

子弹 $$\mathbf{r}=\mathbf{v}_0 t+\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2,$$

靶 $$\mathbf{r}'=\mathbf{r}_P+\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$$

子弹击中靶时，两者的位置应当重合，$\mathbf{r}=\mathbf{r}'$。因此，击中的条件是

$$\mathbf{v}_0 t+\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2=\mathbf{r}_p+\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$$

即 $$\mathbf{v}_0 t=\mathbf{r}_p$$

所以，$\mathbf{v}_0$ 应沿着$\mathbf{r}_p$的方向，即瞄准靶开始下落时的位置。并且，子弹的飞行时间为

$$t=\frac{r_p}{v_0}=\frac{\sqrt{l^2+h^2}}{v_0}$$

类似题目更为普遍的解法，是采用分量形式的运动方程。在本题目中，子弹和靶的分运动运动方程分别是：

子弹 $x=v_0\cos\theta\cdot t$，$y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$

靶 $x'=l$，$y'=h-\frac{1}{2}gt^2$

子弹击中靶时$x=x'$，$y=y'$，所以

$$v_0\cos\theta\cdot t=l,\qquad v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2=h-\frac{1}{2}gt^2$$

由此即解得

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{h}{l},$$

$$t = \frac{l}{v_0\cos\theta} = \frac{l}{v_0}\frac{\sqrt{l^2+h^2}}{l} = \frac{\sqrt{l^2+h^2}}{v_0}$$

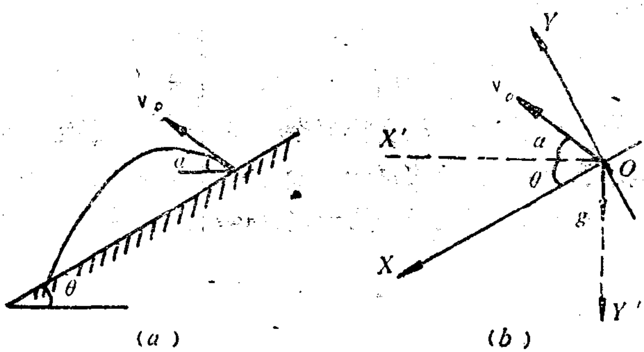
讨论 (1) 每个公式都有一定的适用范围。$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$和$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t$及其分量式只能用于匀加速运动或匀加速的分运动。例如，例1-1-3所讨论的变加速运动，就不能用这些公式进行计算。这一点，对于刚学习大学物理而且对匀加速运动已经熟练掌握的同学来说，尤其值得注意。

(2) 题目中子弹作斜抛运动，而靶是自由落体运动，它们的运动情况不同，但都是加速度为$\mathbf{g}$的匀加速运动，因此，可以用同样形式的运动方程$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2}\mathbf{g}t^2$和同样的速度表达式$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{g}t$来描述它们的运动。对于子弹的竖直分运动，尽管有上升和下降两个不同的阶段，但由于它们都是加速度$\mathbf{g}$向下的匀加速运动，可以统一用$y = y_0\sin\theta\cdot t - \frac{1}{2}gt^2$来描述，没有必要分阶段进行讨论。

例1-1-5 在倾角为θ的斜坡上，沿与水平成仰角α的方向从上往下抛出一物体，如图所示。设物体的初速为v_0，求它落在斜坡上时所需的时间。

解 物体抛出后，在重力作用下作匀加速运动，以抛出点为原点，运动方程为

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



(a)

图例1-1-5

在图（b）所示的XOY坐标系中，上述方程在Y轴方向的分量是

$$y=v_0t\sin(\alpha+\theta)-\frac{1}{2}gt^2\cos\theta$$

根据运动叠加原理，物体在y方向的运动是独立的，当物体落在斜坡上时，$y=0$，即

$$v_0t\sin(\alpha+\theta)-\frac{1}{2}gt^2\cos\theta=0$$

由此即得物体落在斜坡上的时间

$$t_1=\frac{2v_0\sin(\alpha+\theta)}{g\cos\theta},\quad t_2=0$$

其中$t_2=0$为开始抛出时刻，不合题意，应去掉。

讨论 本题的一种更为常见的解法，是将物体的运动在图（b）所示的$X'OY'$坐标系中，分解为X'、Y'两个坐标方向的分运动：

$$x'=v_0t\cos\alpha,\qquad y'=-v_0t\sin\alpha+\frac{1}{2}gt^2$$

再根据落地点坐标量x、y之间的几何关系，建立辅助方程