第四册

·高等学校教学用书·

大学物理学

四川大学等七所高等院校编

四川大学出版社

等学校教学用书

大学物理学

第四册

四川大学等七所高等院校合编

四川大学出版社

（川）新登字014 号
责任编辑：杨守智　周明松
封面设计：冯先洁
技术设计：杨守智

大　学　物　理　学
第四册
四川大学等七所高等院校合编
四川大学出版社出版发行　　（四川大学校内）
四川省新华书店经销　　成都市郫县犀浦印刷厂印刷
787×1092mm32 开本　　14.5625 印张　　310 千字
1995 年7 月第一版　　1995 年7 月第一次印刷
印数：0001—5000 册
ISBN7-5614-1080-8/O・98　　（全套共四册）定价32.50 元

编者的话

《大学物理学》是高等院校理工科各类专业的一门重要基础课程。一套既能满足各类专业及高科技发展要求、符合教学大纲规定，又能使教师好用学生好学的教材，是教学改革中教材建设的一个重要课题。我们想从“横向联合”方面来探索这个课题，为此，联合了理科大学、工科大学、师范大学等多所高等院校的物理教师，在交流与综合各类院校教学经验的基础上，合作编写了这套《大学物理学》。

编写《大学物理学》的依据是委颁大学本科非物理类专业的教学大纲。编写的主要考虑是：(1)在注意与中学物理衔接的基础上，突出大学物理的教学内容。在力学部份作了结构的调整，在讲清物理思想与物理概念的同时，增强了高等数学的应用；(2)在保持各分支学科纵向深度适当的同时，注意各学科间的横向联系与渗透的广度，特别注意在联系近代高科技应用方面“开口子”、“找接口”。书中这方面内容用 * 号标记，供教师选讲或学生阅读之用；(3)为利于教与学两个方面，书中增加了讲授例题的数量与类型。精选了习题的层次与类型，并在每部分末附有与标准化试题类似的综合练习题；(4)为配合《大学物理学》的使用，我们还编写了全部习题与综合练习题的解答。

《大学物理学》分为四册，第一册内容为力学与热学；第二册内容为电磁学；第三册内容为光学与近代物理学；第四册内容为习题及综合练习题解答。

全书习题与综合练习题由四川大学、解放军后勤工程学院、贵州师范大学、武汉大学提供。参加第四册解题与校核题解的人员为：杨自觉、祁玉平、杨 莹、谭建平、$\boxed{\text{齐鸾亭}}$、刘宏清、赵有伦、徐斌富、马 莉、张少平、周光武、$\boxed{\text{张仕成}}$。第四册由四川大学杨自觉定稿。

我们对支持和关心本书编写和出版的所有同仁和单位表示诚挚的感谢。书中不足不妥之处，欢迎批评指正。

编　者

1995 年3 月于成都

目　录

第四编　波动光学题解

第五编　近代物理学题解

第一编　力学题解

第一章　运动学

1—1　试说明以下各对物理量的区别和联系：

(1) $|\Delta \boldsymbol{r}|$和Δr；　(2) $\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$和$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$　(3) $\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|$和$\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}$

解　(1) $|\Delta \boldsymbol{r}|=|\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1|$表示两位置矢量之差的绝对值。$|\Delta r|=|r_2|-|r_1|$表示两位置矢量的绝对值之差，一般情况下，$|\Delta \boldsymbol{r}|$与$\Delta r$并不相等。

(2) $\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|$表示瞬时速度的大小。而$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$则表示$r$对$t$的一段导数，无物理意义。

(3) $\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}\right|$表示加速度的大小，而$\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}$则表示$r$对$t$的二阶导数，无物理意义。

1—2　一物体从某点出发，经一任意曲折路径回到出发点，用时Δt。若出发时初速度与回到出发点时的末速度相同，则物体在Δt内的以下各量中，哪些为零？

位移；　路程；　平速速度；　平均速率；　平均加速度。

解　位移$\Delta \boldsymbol{r}=0$

路程$S\neq 0$

平均速度$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t}=0$

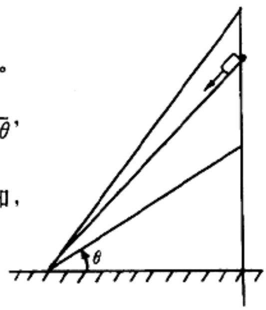
平均速率$\bar{v}=\frac{\Delta S}{\Delta t}\neq 0$

平均加速度$\bar{\boldsymbol{a}}=\frac{\boldsymbol{v}-\boldsymbol{v}_0}{\Delta t}=0$

1—3 如题1—3图示，物体从具有共同底边，但倾角不同的若干光滑斜面顶端由静止开始自由下滑。若要求物体滑至底端的时间最短，则倾角θ应为

(1)$\theta=30°$　　(2)$\theta=45°$

(3)$\theta=60°$　　(4)$\theta=68.5°$



题1—3图

解 由题知：斜面长$S=\frac{L}{\cos\theta}$，式中L表底边长度。

对物体m进行受力分析后知，其下滑加速度a为

$$a = g\sin\theta$$

按题条件列关系式

$$S=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}g\sin\theta t^2=\frac{L}{\cos\theta}$$

有
$$\sin 2\theta=\frac{4L}{gt^2}$$

若t最小，则$\sin 2\theta$应最大，即$\sin 2\theta=1$

$$2\theta = 90° \qquad \theta = 45°$$

所以，应选答案②。

1—4 一质点在XY平面内运动，其运动方程为

$$x = 5t + 7, \qquad y = \frac{1}{2}t^2 + 3t - 4$$

([SI])制单位，则质点任意时刻的位置矢量$a=$ ________；第2秒初的速度矢量为$v=$ ________；第2 秒末距坐标原点距离$r=$ ________。

解 $r=xi+yj=(5t+7)i+(\frac{1}{2}t^2+3t-4)j$ [SI]

$$a=\frac{d^2r}{dt^2}=\frac{d^2[(5t+7)i+(\frac{1}{2}t^2+3t-4)j]}{dt^2}$$

$$=1j \quad [m\cdot s^{-2}]$$

$$\because \quad v=\frac{dr}{dt}=\frac{d[(5t+7)i+(\frac{1}{2}t^2+3t-4)j]}{dt}$$

$$=5i+(t+3)j$$

将第二秒初($t=1s$)代入，则

$$v=5i+(1+3)j=5i+4j[m\cdot s^{-1}]$$

将第二秒末($t=2s$)代入，则

$$r_2=17i+(2+6-4)j=17i+4j$$

所以 $r_2=\sqrt{17^2+4^2}=\sqrt{305}\approx 17.46(m)$

1—5 下列四种情况分别表示质点作什么运动：

(1)$a_\tau \leqq 0$ (2)$a_n \leqq 0$

(3)$a \leqq 0$ (4)$a_\tau \leqq 0, a_n=$恒量

解 (1)$a_\tau \leqq 0$，质点作匀速直线运动或匀速率曲线运动；

(2)$a_n \leqq 0$，质点作匀速或变速直线运动；

(3)$a \leqq 0$，质点作匀速直线运动；

(4)$a_\tau \leqq 0, a_n=$恒量，质点作匀速率圆周运动。

1—6 对于物体作曲线运动有下面两种说法：

(1)物体作曲线运动时，必有加速度，加速度的法向分量

一定不等于零；

(2)物体作曲线运动时，速度方向一定在运动轨道切线方向，法向速度恒等于零，因此其法向加速度也一定等于零。

你认为上述两种说法哪种正确，为什么？

解 第一种说法正确。因为加速度的法向分量是描述速度方向的变化的，只要速度的方向有变化，就一定有加速度的法向分量(称法向加速度)。曲线运动中，速度方向不断改变，所以加速度的法向分量一定不会为零。

第二种说法是错误的，是由于未弄清楚加速度法向分量的上述物理实质而引起的。

1—7 质点作斜上抛运动，试问在抛射点与最高点之间：(a)哪一点的切向加速度最大？哪一点最小？(b)哪一点的法向加速度最大？哪一点最小？(c)哪一点速率最大？哪一点最小。

答 应用斜抛运动特征可回答。(a)抛射点的切向加速度数值最大；最高点的切向加速度数值最小，等于零。

(b)最高点法向加速度数值最大，等于重力加速度g；抛射点的法向加速度数值最小。

(c)抛射点的速率为v_0，数值最大；最高点的速率为$v_0\cos\alpha$，数值最小。

1—8 举例说明下列情况是否可能。

(1)物体的加速度方向与物体运动方向相反。

(2)物体的加速度大小恒定，而其运动方向不断改变。

(3)物体的加速度不变，但其运动方向在不断改变。

解 (1)可能。匀减速直线运动即为此情况，如竖直上抛运动的上升阶段。

(2)可能。匀速率圆周运动与抛体运动即为此种情况。

(3)可能。当加速度与速率成一角度时，可能出现这种情况。如抛射体运动，加速度$\boldsymbol{g}$就是一不变量。

1—9　一质点在X—Y平面内运动，运动方程为$x=2t$，$y=19-2t^2$，〔SI〕制单位。

(1)求质点运动的轨迹方程；

(2)计算$t=1\text{s}$和$t=2\text{s}$时的速度和加速度；

(3)什么时候位置矢量与速度矢量垂直，并写出该时刻的位置矢量；

(4)质点何时离坐标原点最近，并求出相应的距离r。

解　(1)从已知坐标分量式$x=2t$，$y=19-2t^2$中消去t，得$y=19-\dfrac{x^2}{2}$，此即质点运动的轨迹方程，判知其轨迹为抛物线。

(2)由题条件知，属运动学第一类基本问题，应用微分方法可解。

$$\begin{cases} v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 2 \\ v_y = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -4t \end{cases} \qquad \begin{cases} a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = 0 \\ a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2} = -4 \end{cases}$$

$$\because \quad \boldsymbol{v} = v_x\boldsymbol{i} + v_y\boldsymbol{j} \qquad \boldsymbol{a} = a_x\boldsymbol{i} + a_y\boldsymbol{j}$$

$$\therefore \quad \boldsymbol{v}_{t=1} = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j} \qquad \boldsymbol{v}_{t=2} = 2\boldsymbol{i} - 8\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{a}_{t=1} = \boldsymbol{a}_{t=2} = -4\boldsymbol{j}$$

(3)由题条件知，位置矢量$\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(19-2t^2)\boldsymbol{j}$

由(2)知：$\boldsymbol{v}=2\boldsymbol{i}-4t\boldsymbol{j}$

当$\boldsymbol{r}\perp\boldsymbol{v}$时，应满足$\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v}=0$，因为$\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v}=r\,v\cos\angle(\boldsymbol{r},\boldsymbol{v})=0$，表示$\angle(\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v})=\dfrac{\pi}{2}$，所以

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v} &= [2t\boldsymbol{i} + (19 - 2t^2)\boldsymbol{j}]\cdot[2\boldsymbol{i} - 4t\boldsymbol{j}] \\
&= 2t\cdot 2\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i} - 2t\cdot 4t\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j} + 2(19 - 2t^2)\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j} \\
&\quad - 4t(19 - 2t^2)\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j} \\
&= 4t - 4t(19 - 2t^2) \\
&= 4t[2t^2 - 18] = 0
\end{aligned}
$$

即$t=0$时，$\boldsymbol{r}=19\boldsymbol{j}$；($t=3\text{s}$，$\boldsymbol{r}=6\boldsymbol{i}+\boldsymbol{j}$；为所求的结果。($t=-3\text{s}$舍去)。

(4)质点在任意时刻距坐标原点的距离为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{4t^2 + (19 - 2t^2)^2}$$

应用微分学知识：令$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=0$与$\frac{\mathrm{d}^2r}{\mathrm{d}t^2}>0$，则可求出何时距原点最近，且最小值$r_{\min}$多大。

$$
\begin{aligned}
\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} &= \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\sqrt{4t^2 + 361 + 4t^4 - 76t^2}] \\
&= \frac{1}{2}\frac{16t^3 - 144t}{\sqrt{4t^4 - 72t^2 + 361}}
\end{aligned}
$$

必须$16t(t^2-9)=0$　解出$t=0$，$t=3\text{s}$与$t=-3\text{s}$(舍去)。代回r表达式中，得$r_0=19(\text{m})$，$r_3=6.08(\text{m})$，所以，在$t=3\text{s}$时，质点与坐标原点最近，其值为$r_3=6.08\text{m}$。

1—10　一辆汽车向北行驶，在125m的距离内，速率由$30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$均匀地下降到$20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，求：(1)加速度的大小和方向；(2)求经过的时间；(3)假定加速度不变，则汽车从$20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$减速到停止，还要经过多少距离？

解　由题设条件知：汽车作匀变速直线运动，设向北方为x轴正方向，则

(1)由$v^2-v_0^2=2ax$　解出

$$a=\frac{v^2-v_0^2}{2x}=\frac{20^2-30^2}{2\times125}=-2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

负号表示a的方向向南。

(2)由$v=v_0+at$得

$$t=\frac{v-v_0}{a}=\frac{20-30}{(-2)}=5\text{s}$$

再应用$v'^2-v^2=2ax'$　解出

$$x'=\frac{v'^2-v^2}{2a}=\frac{0-20^2}{2\times(-2)}=100\text{m}$$

1—11　汽车在速度$v=10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$时开始刹车，如果将汽车的运动看作匀速运动，且知其加速度为$a=-0.2\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$，求在刹车后1分钟时，汽车离开刹车点的距离。

解　先计算从刹车到静止所需的时间。

由$v=v_0+at$解出

$$t=\frac{v-v_0}{a}=\frac{0-10}{-0.2}=50\text{s}$$

再计算这段时间内移动的位移。

由$x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$解出

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

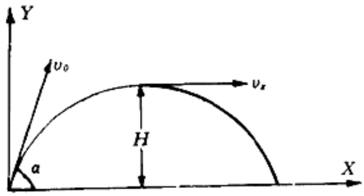
$$=10\times50+\frac{1}{2}\times(0.2)\times50^2=250\text{m}$$

可见，汽车从刹车到静止需时50s，移动距离为250m，以后一直停止在该处。所以，1分钟后汽车离开刹车点的距离亦为250m。

1—12　将一物体与水平成α角抛出，已知物体在最高点的速率为$12.25\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$，落地点距原点水平距离为38.2m，忽

略空气阻力，求：(1)抛出时的初速度；(2)它所达到的最大高度。

解 以抛出点为坐标原点，建立直角坐标系，如题1—12 图。



题1—12 图

按题意列物体运动的分量关系式

$$v_x = v_0\cos\alpha = 12.25 \quad ①$$

$$x_{max} = v_0\cos\alpha \cdot 2t = 38.2 \quad ②$$

$$v_y = v_0\sin\alpha - gt = 0 \quad ③$$

$$H = v_0\sin\alpha \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \quad ④$$

联立①、②，解出

$$t = \frac{38.2}{2 \times 12.25} = 1.56\text{s}$$

代入③并与①联立，得

$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = (\frac{12.25}{v_0})^2 + (\frac{1.56 \times 9.8}{v_0})^2 = 1$$

解得

$$v_0 = \sqrt{12.25^2 + 15.29^2} = \sqrt{383.78} = 19.6\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\alpha = \arccos\frac{12.25}{19.6} = 51°19'$$

代入④式，得

$$H = v\sin\alpha t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$=1.96\times0.78\times1.56-\frac{1}{2}9.8\times1.56^2=11.9\text{m}$$

1—13　一小球以初速度v_0，抛射角θ斜上抛运动。若不计空气阻力，则小球达最高点时，其切向加速度$a_\tau=$ ______；法向加速度$a_n=$ ______；轨迹曲率半径$\rho=$ ______。

解　由题条件知，最高点处，小球的$a_\tau=0$，$a_n=g$。

再应用斜抛运动相应规律：

$$a_n=\frac{v^2}{\rho}\quad 与 \quad v_x=v_0\cos\theta$$

解得
$$\rho=\frac{v_x^2}{a_n}=\frac{v_0^2\cos^2\theta}{g}$$

1—14　设从某一点，以同样的速率，沿着同一铅直平面内各个不同方向，同时抛出几个物体，试证：在任一时刻，这几个体总是散落在某一圆周上。

证明　按已知条件知，各个质点均应遵从抛体运动规律。选以抛出点为坐标原点，Y轴向上的同一直角坐标系中，有

$$\begin{cases} x=v_0\cos\theta\cdot t \\ y=v_0\sin\theta\cdot t-\frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

消去参量θ，则得

$$\left(\frac{x}{v_0t}\right)^2+\left(\frac{y-\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}\right)^2=1$$

或
$$x^2+\left(y-\frac{1}{2}gt^2\right)^2=v_0^2t^2$$

表示沿任意方向抛出的质点，任意时刻t均在以$[0,-\frac{1}{2}gt^2]$为圆心，以v_0t为半径的同一圆周轨迹上。即结论得证。

1—15　如题1—15 图示，小桌高$h=1.0\text{m}$，宽$a=2.0\text{m}$，在桌面一边斜抛一小球，要求小球能从桌面另一边切过，并掉在离该边水平距离$b=0.5\text{m}$ 处，求小球初速度v_0 与抛射角θ。

解　按题条件，将小球运动视为二部分：斜上抛运动（水平运动距离a），与斜下抛运动（高度h，水平距离b）。应用抛体运动规律列出下列关系式：（选向上为y 轴正方向）

斜上抛运动关系

$$\begin{cases} a = 2v_x t = 2v_0\cos\theta \cdot t & ① \\ v_y = v_0\sin\theta - gt = 0 & ② \end{cases}$$

斜下抛运动关系

$$\begin{cases} b = v_0\cos\theta \cdot t' & ③ \\ h = -v_0\sin\theta \cdot t' - \dfrac{1}{2}gt'^2 & ④ \end{cases}$$

式中t 为斜上抛运动过程中到达最高点所属时间；t'为斜下抛运动所用时间。

将已知　$a=2.0\text{m}$，$b=2.0\text{m}$，$h=2.0\text{m}$ 代入并联立①、②、③、④式解得

$$\theta = 69°26' \qquad v_0 = 5.46\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

1—16　绕定轴转动的飞轮均匀地减速，$t=0$ 时$\omega_0=5\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$，$t=20\text{s}$ 时$\omega_0=4\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$，，则飞轮的角加速度$\beta=$______；在$t=0$ 到$t=100\text{s}$ 的时间间隔内飞轮所转过的角度$\theta=$______。

解　应用定轴转动运动学相应规律可解。

由 $\omega = \omega_0 + \int_0^t \beta \mathrm{d}t$　解出

$$\omega_{20} - \omega_0 = \int_0^t \beta \mathrm{d}t$$