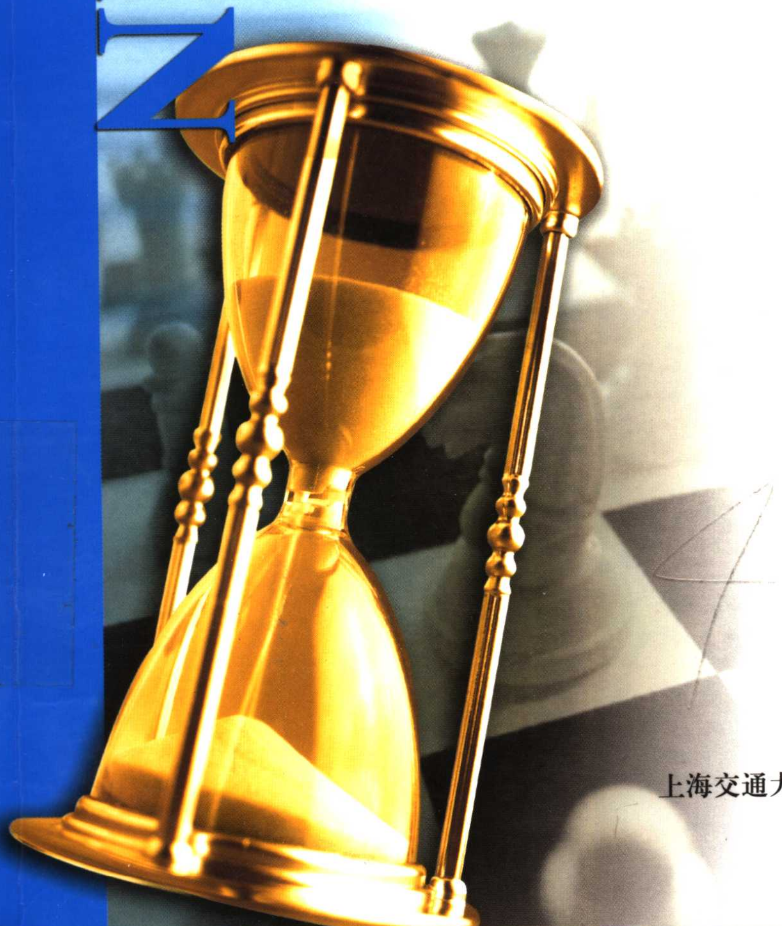
TIDIAN

大学物理题典

胡盘新 主编

（第二版）



上海交通大学出版社

大学物理题典

（第二版）

胡盘新　主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书已出版5个年头，深受读者欢迎。在这次修订（第二版）中，除纠错外，对每章题目都加以分类，以便于查阅。书中对所给题目不仅给出了详尽的解答，更重要的是讲清解题思路与解题技巧，对个别较难题还给出了多种解法，以开阔读者视野。本书选题适当，有基本题，也有较难题，以适应不同读者需要。

本书可作为理工科大学本科与专科学习大学物理的学生学习辅导之用，也可作为物理教师教学参考用书，对广大自学者也是必备的一本好书。

图书在版编目（CIP）数据

大学物理题典 / 胡盘新主编. —2版. —上海：上海交通大学出版社，2007

ISBN 978-7-313-02615-6

I. 大… II. 胡… III. 物理学—高等学校—解题 IV. O4-44

中国版本图书馆CIP数据核字（2007）第021749号

大 学 物 理 题 典

（第二版）

胡盘新　主编

上海交通大学出版社出版发行

（上海市番禺路877号　邮政编码200030）

电话：64071208　出版人：韩建民

上海崇明南海印刷厂印刷　全国新华书店经销

开本：880mm×1230mm 1/32　印张：25.375　字数：725千字

2001年5月第1版　2007年4月第2版　2007年4月第5次印刷

印数：3050

ISBN978-7-313-02615-6/O·131　定价：37.00元

要勤奋地去做练习，只有这样，你才会发现，哪些你理解了，哪些你还没有。

索末菲写信告诫
他的学生海森堡

前　　言

大学物理是理工科大学生必修的一门重要基础课。解题是物理教学中的一个重要环节，它对于正确地、深入地理解基本内容，培养分析问题和解决问题的能力，以及从中汲取广博的实际知识等等具有不可替代的重要作用。

本题典的选题在内容上根据教学基本要求尽量覆盖大学物理教学内容，包括力学、振动和波、热学、电磁学、波动光学、相对论、量子物理和原子核物理等内容，按通常的分章节顺序进行编排。

本题典汇萃了国内外著名教材及习题集上具有典型意义的题目，以及部分重点院校的试题和物理竞赛题。富有代表性和典型性。按题目的难度不同，分为基本题、较难题和难题三类，后两者分别用星号*和**标记以示区别，可供不同要求的读者选用。

本题典共精选600多题，其中基本题约占70%，较难题约占20%，难题约占10%。

我们的解题重在分析和研究题中涉及的物理现象、物理过程以及题中所给的条件，从中找出这些现象和过程所遵循的规律，分析在各种条件下可能出现的结果或变化以及导致这些结果或变化的原因，有些题目我们采用不同方法进行了求解，对其结果还进行了讨论。因此，希望读者本着培养和锻炼自己能力这个目的来使用本题典，力图根除解题时乱套公式、拼凑答案、不求甚解的不良习惯。

本题典编写中得到了上海交通大学朱诠春教授、张馥宝教授、东华大学汤毓骏教授等大力支持和帮助，在此特致谢意。编者特别要对本书中题目出处的作者表示衷心的感谢。

本题典由胡盘新、顾希知、张炽伟、陶宗瑜、高景、张馥宝等共同编

写，最后由胡盘新审定整理。限于编者水平，错误和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编　者

2001 年元月

于上海交通大学

再版前言

本题典自出版以来，已经五个年头，深受读者的青睐。读者反映的意见是(1)选题适当，既有基本题，也有较难题，可以进一步加深认识物理规律，可以培养分析问题和解决问题的能力；(2)解题着重在分析，指导读者如何解题。读者在使用过程中还提出了许多其他宝贵的意见，并指出其中某些解题上的错误及印刷上的错误。本着对读者负责的态度，在此次修订过程中，除了纠错外，适当调整了一些题目，以满足不同读者的要求。同时，将每章的题目加以分类，便于读者查阅。虽然编者认真加以修订，但由于编者的学识和经验所限，有不当甚至错误之处，恳请广大读者给予指正。

编　者

2006年1月

目　　录

第一章　质点运动学

1. 运动学方程

1-1　一质点沿 Ox 轴作直线运动，其运动学方程为

$$x = 5.0 + 4.5t^2 - 2.0t^3$$

式中 x 的单位为 m，t 的单位为 s。

(1) 试描述该质点的运动情况；

(2) 试求 1.0～2.0 s 内质点的平均速度和平均速率。

解　(1) 由已知的运动学方程对时间求导即可得质点运动的速度和加速度

$$v = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 9.0t - 6.0t^2 \tag{1}$$

$$a = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 9.0 - 12.0t \tag{2}$$

由式(1)、式(2)得 $t=0\,\mathrm{s}$ 和 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 时 $v=0$；$t=0.75\,\mathrm{s}$ 时，$a=0$，即

$$v = 9.0t - 6.0t^2 \begin{cases} > 0 & (0\,\mathrm{s} < t < 1.5\,\mathrm{s}) \\ = 0 & (t = 1.5\,\mathrm{s}) \\ < 0 & (t > 1.5\,\mathrm{s}) \end{cases}$$

$$a = 9.0 - 12.0t \begin{cases} > 0 & (0\,\mathrm{s} < t < 0.75\,\mathrm{s}) \\ = 0 & (t = 0.75\,\mathrm{s}) \\ < 0 & (t > 0.75\,\mathrm{s}) \end{cases}$$

由此可知质点的运动情况如下：

① 在 $0\,\mathrm{s}<t<0.75\,\mathrm{s}$ 内，$v>0$，$a>0$。质点从初始位置 $x_0=5.0\,\mathrm{m}$ 处以初速 $v_0=0$ 向 x 轴正方向作加速运动，速率增加，但增加得越来越慢。在 $t=0.75\,\mathrm{s}$ 时，质点的加速度 $a=0$，此时质点的速率不再增加，质点以 $v=3.4\,\mathrm{m/s}$ 的速率沿 x 轴正方向运动。

② 在 $0.75\,\mathrm{s}<t<1.5\,\mathrm{s}$ 内，$v>0$，$a<0$，质点继续沿 x 轴正方向作减速运动，其速率减得越来越快。

③ 在 $t>1.5\,\mathrm{s}$ 后，$v<0$，$a<0$，质点已从 $x=1.9\,\mathrm{m}$ 处回头沿 x 轴负方向作加速运动。

(2) 质点在 1.0～2.0 s 内的位移

$$
\begin{aligned}
\Delta x &= x_{2.0}-x_{1.0}\\
&=[5.0+4.5\times(2.0)^2-2\times(2.0)^3]\\
&\quad-[5.0+4.5\times(1.0)^2-2\times(1.0)^3]\\
&=-0.5\,\mathrm{m}
\end{aligned}
$$

质点在 1.0～2.0 s 内的平均速度

$$|\boldsymbol{v}|=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{-0.5}{2.0-1.0}=-0.5\,\mathrm{m/s}.$$

由于在 $t=1.5\,\mathrm{s}$ 时质点的速度开始转变方向，所以质点在 1.0～2.0 s 内的路程

$$
\begin{aligned}
\Delta s &= |x_{1.5}-x_{1.0}|+|x_{2.0}-x_{1.5}|\\
&=|8.4-7.5|+|7.0-8.4|=2.3\,\mathrm{m}
\end{aligned}
$$

质点在 1.0～2.0 s 内的平均速率

$$v=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{2.3}{2.0-1.0}=2.3\,\mathrm{m/s}$$

注意 速度和加速度的正负仅说明它们的方向与运动方向 x 轴是否一致。$a>0$，并不表示质点作加速运动；$a<0$ 也并不是减速运动。只有当 v 与 a 同号，即 $\boldsymbol{v}$ 与 $\boldsymbol{a}$ 同方向，才为加速运动。当 v 与 a 异号时，即 $\boldsymbol{v}$ 与 $\boldsymbol{a}$ 反向，质点作减速运动。计算平均速率和平均速度时，要区分路程和位移两个不同的概念。

1-2 已知质点的位矢方程

$$\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(6-2t^2)\boldsymbol{j}$$

式中 $\boldsymbol{r}$ 的单位是 m，t 的单位是 s。

(1) 求质点的轨道方程，并画出轨迹图；

(2) 求 $t_1=1\,\mathrm{s}$ 和 $t=2\,\mathrm{s}$ 之间的 $\Delta\boldsymbol{r}$、Δr 和平均速度；

(3) 求 $t_1=1\,\mathrm{s}$ 和 $t=2\,\mathrm{s}$ 两时刻质点的瞬时速度和瞬时加速度；

(4) 在什么时刻质点的位矢与其速度矢量恰好垂直？求这时它的坐标；

(5) 在什么时刻质点离原点最近，其距离多大？

(6) 求 $t=1\,\mathrm{s}$ 时质点的切向加速度和法向加速度的大小，并求在此时质点所在处的曲率半径。

解　(1) 按题意，质点在 xOy 平面内运动，其运动学方程为

$$x=2t,\quad y=6-2t^2$$

消去 t，得质点的轨道方程

$$y=6-\frac{x^2}{2}$$

其轨迹为抛物线，如图 1-1 所示。

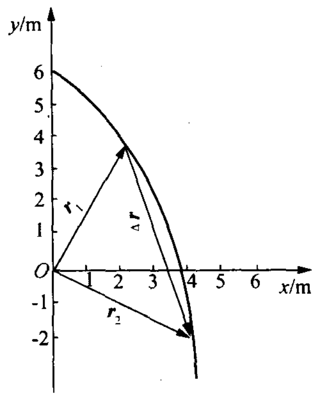


图 1-1

(2) 质点在 $t_1=1\,\mathrm{s}$ 和 $t_2=2\,\mathrm{s}$ 时的位矢

$$\boldsymbol{r}_1=2\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{r}_2=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$$

所以

$$\begin{aligned}\Delta\boldsymbol{r}&=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1\\&=(4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j})-(2\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j})\\&=2\boldsymbol{i}-6\boldsymbol{j}\end{aligned}$$

其大小和方向（与 x 轴正方向间的夹角）可表示为

$$|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{(\Delta x)^2+(\Delta y)^2}=\sqrt{2^2+6^2}=6.32\,\mathrm{m}$$

$$\theta=\arctan\frac{\Delta y}{\Delta x}=\arctan\frac{-6}{2}=-71^\circ34'$$

而

$$\begin{aligned}\Delta r&=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|=\sqrt{x_2^2+y_2^2}-\sqrt{x_1^2+y_1^2}\\&=\sqrt{4^2+(-2)^2}-\sqrt{2^2+4^2}=0\end{aligned}$$

(3) 根据瞬时速度和瞬时加速度的定义，可得

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=2\boldsymbol{i}-4t\boldsymbol{j}$$

$$a = -\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = -4\boldsymbol{j}$$

当 $t_1=1\,\mathrm{s}$ 和 $t_2=2\,\mathrm{s}$ 时

$$\boldsymbol{v}_1 = 2\boldsymbol{i} - 4\boldsymbol{j}, \quad \boldsymbol{a}_1 = -4\boldsymbol{j}$$
$$\boldsymbol{v}_2 = 2\boldsymbol{i} - 8\boldsymbol{j}, \quad \boldsymbol{a}_2 = -4\boldsymbol{j}$$

其大小和方向分别为

$$v_1 = \sqrt{v_{1x}^2 + v_{1y}^2} = \sqrt{2^2 + (-4)^2} = 4.47\,\mathrm{m/s}$$
$$\theta_1 = \arctan\left(\frac{v_{y1}}{v_{x1}}\right) = \arctan\left(\frac{-4}{2}\right) = -63°26'$$
$$v_2 = \sqrt{v_{2x}^2 + v_{2y}^2} = \sqrt{2^2 + (-8)^2} = 8.25\,\mathrm{m/s}$$
$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{v_{y2}}{v_{x2}}\right) = \arctan\left(\frac{-8}{2}\right) = -75°58'$$
$$a_1 = a_2 = 4\,\mathrm{m/s^2}$$

方向指向 y 轴负向。

(4) 当 $\boldsymbol{r}$ 与 $\boldsymbol{v}$ 恰好垂直时，则 $\boldsymbol{r}\cdot\boldsymbol{v}=0$，即

$$[2t\boldsymbol{i} + (6-2t^2)\boldsymbol{j}]\cdot(2\boldsymbol{i} - 4t\boldsymbol{j}) = 0$$

得

$$4t(7-2t^2) = 0$$
$$t = 0, \quad t = \sqrt{\frac{7}{2}} = 1.87\,\mathrm{s}, \quad t = -\sqrt{\frac{7}{2}} = -1.87\,\mathrm{s}(\text{舍去})$$

当 $t=0$ 时

$$x = 0, \quad y = 6\,\mathrm{m}$$

当 $t=1.87\,\mathrm{s}$ 时

$$x = 3.74\,\mathrm{m}, \quad y = -1.0\,\mathrm{m}$$

(5) 质点离原点的距离就是位矢的量值，即

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(2t)^2 + (6-2t^2)^2}$$

取极值，使 $\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}=0$，得

$$\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{2}\,\frac{8t + 2(6-2t^2)(-4t)}{\sqrt{(2t)^2 + (6-2t^2)^2}} = \frac{4t(2t^2-5)}{\sqrt{(2t)^2 + (6-2t^2)^2}} = 0$$

$$4t(2t^2-5)=0$$

$$t=0, t=\sqrt{\frac{5}{2}}=1.58\,\text{s}, t=-\sqrt{\frac{5}{2}}=-1.58\,\text{s}(\text{舍去})$$

当 $t=0$ 时，$r_0=6\,\text{m}$

当 $t=1.58\,\text{s}$ 时，$r_1=\sqrt{\left(4\times\frac{5}{2}\right)+\left[6-2\times\left(\frac{5}{2}\right)\right]^2}=3.3\,\text{m}$

显然 $r_0>r_1$，所以当 $t=1.58\,\text{s}$ 时，质点的位置为(3.16 m，1.00 m)离原点最近，其距离为 3.3 m。

(6) 由于

$$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{4+16t^2}$$

$$a_t=\frac{dv}{dt}=\frac{16t}{\sqrt{4+16t^2}}$$

当 $t=1\,\text{s}$ 时

$$a_t=\frac{16}{\sqrt{20}}=3.58\,\text{m/s}^2$$

又

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=4\,\text{m/s}^2$$

而

$$a=\sqrt{a_t^2+a_n^2}$$

所以，$t=1\,\text{s}$ 时的法向加速度

$$a_n=\sqrt{a^2-a_t^2}=\sqrt{(4)^2-(3.58)^2}=1.79\,\text{m/s}^2$$

由 $a_n=\dfrac{v^2}{\rho}$ 可求得曲率半径，在 $t=1\,\text{s}$ 时质点所在处轨道的曲率半径

$$\rho_1=\frac{v_1^2}{a_n}=\frac{(4.47)^2}{1.79}=11.2\,\text{m}$$

a_n 和 ρ 也可以由下面的方法求出。根据高等数学中曲率半径公式 $\rho=\left|\dfrac{(1+y')^{3/2}}{y''}\right|$ 求出 ρ，然后由 $a_n=\dfrac{v^2}{\rho}$ 求出 a_n。

1-3　如图1-2(a)所示，雷达站探测飞机的方位，在某一时刻测得