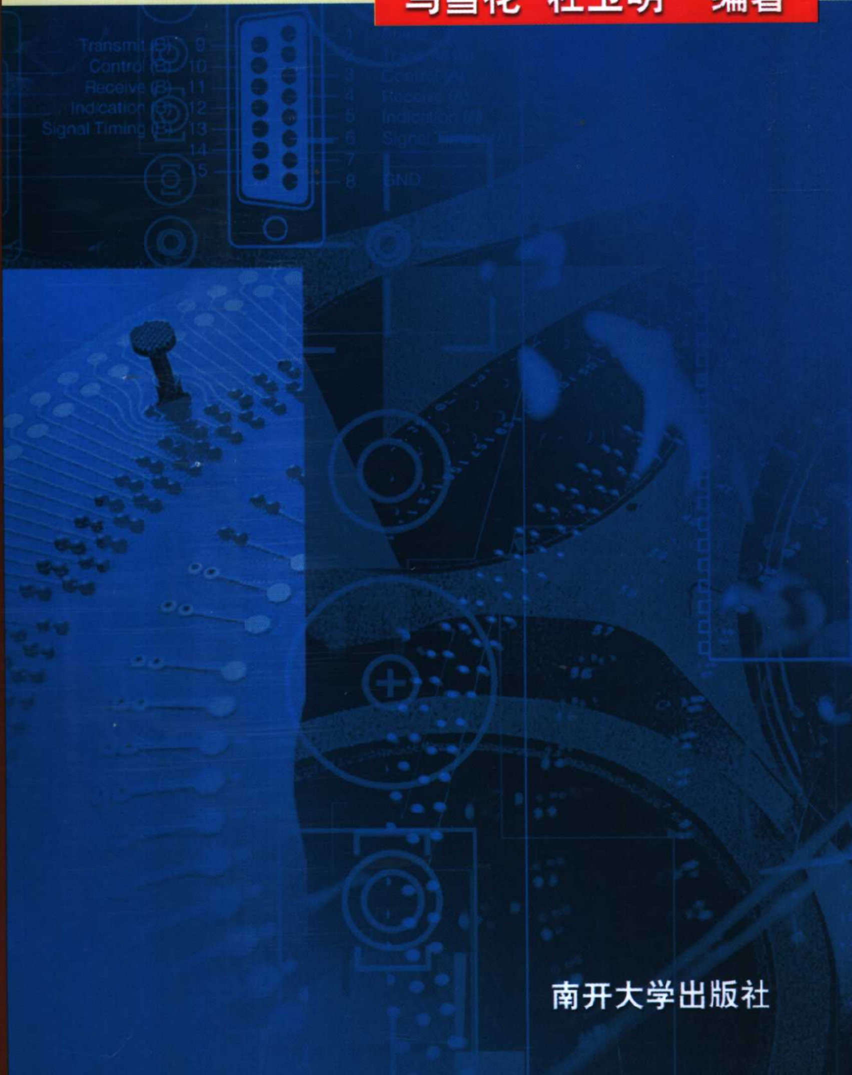
DAXUEWULIXUE XUEXI ZHIDAO

大学物理学学习指导

马雪花 杜卫明 编著



南开大学出版社

大学物理学学习指导

马雪花　杜卫明　编著

南开大学出版社
天　津

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学学习指导 / 马雪花,杜卫明编著. —天津:南开大学出版社,2004.4
ISBN 7-310-02059-6

Ⅰ.大… Ⅱ.①马…②杜… Ⅲ.物理学—高等学校—教学参考资料 Ⅳ.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001841 号

出版发行 南开大学出版社
地址:天津市南开区卫津路 94 号 邮编:300071
营销部电话:(022)23508339 23500755
营销部传真:(022)23508542
邮购部电话:(022)23502200

出版人 肖占鹏
承　印 河北昌黎人民胶印厂印刷
经　销 全国各地新华书店
版　次 2004 年 4 月第 1 版
印　次 2004 年 4 月第 1 次印刷
开　本 880mm×1230mm 1/32
印　张 7.75
字　数 218 千字
印　数 1—6000
定　价 18.00 元

前　言

本书为大学物理的辅导教材，主要内容包括力学、热学、电磁学、波动与光学和量子物理基础五编。各章提出了教学基本要求，重点、难点指导，思考题解析及例题分析。每编都配有自我检测题。本书是与清华大学出版的张三慧主编的《大学物理学》教材配套使用的指导书。本书对教材中较难的思考题和作业题进行了分析，全部自我检测题均选自清华大学试题库。本书是学生学习物理的良师益友，也可作为教师教学用参考书。

马雪花编写了力学、热学、波动与光学和量子物理四编的内容，杜卫明编写了电磁学部分的内容。

由于编者水平有限，难免有错误或不妥之处，敬请读者不吝指正。

编者

2003.9

目　　录

第一编　力学

第二编　热　学

第三编　电磁学

第四编　波动与光学

第五编　量子物理基础

第一编 力 学

第一章 质点运动学

一、教学要求

1. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度四个描述质点运动的物理量。理解其矢量性、相对性和瞬时性。

2. 掌握运动学问题的两大类问题，即已知运动方程，微分求速度、加速度；已知加速度（或速度）及初始条件，积分求运动方程。

3. 理解运动的相对性，会用伽利略速度变换解决相对运动问题。

二、重点、难点指导

重点：位置矢量、位移、速度、加速度。

难点：曲线运动的切向加速度，法向加速度，相对运动的速度变换。

1. 位置矢量与运动方程

位置矢量：表示质点在某时刻所在空间位置的物理量。

直角坐标系：$\vec{r}=x\vec{i}+y\vec{j}+z\vec{k}$。

特点：矢量性、瞬时性、相对性，位置矢量与参照系和参考点（坐标原点）的选择有关。

运动方程：位置矢量用时间 t 表示的函数式 $\vec{r}=\vec{r}(t)$。

质点作一维直线运动：$\vec{r}=x(t)\vec{i}$。

质点作二维平面运动：$\vec{r}=x(t)\vec{i}+y(t)\vec{j}$。

质点作三维空间曲线运动：$\vec{r}=x(t)\vec{i}+y(t)\vec{j}+z(t)\vec{k}$。

运动方程的参数式：

$$\begin{cases} x=x(t) \\ y=y(t) \\ z=z(t) \end{cases}$$

从参数式中消去时间 t，得到质点运动的轨迹方程。

2. 位移与路程

位移：表示质点位置变动的大小和方向的物理量，即$\Delta\vec{r}=\vec{r}_2-\vec{r}_1$。图 1-1中有向线段$\overrightarrow{AB}$表示位移。

路程表示质点运动轨迹的长度，是标量。图 1-1 中$\overset{\frown}{AB}$表示路程 S。

$$S=\int dS=\int_{x_0}^{x}\sqrt{1+y'^2}\,dx$$

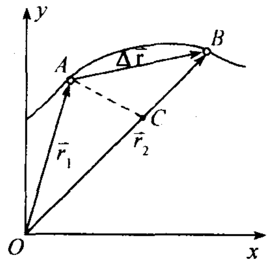


图 1-1

注意：

①在矢量运算中，$|\Delta\vec{r}|\neq\Delta|\vec{r}|$。$|\Delta\vec{r}|=|\vec{r}_2-\vec{r}_1|$是两矢量差值的绝对值。$\Delta|\vec{r}|=|\vec{r}_2|-|\vec{r}_1|$是两矢量绝对值的差值。图 1-1 中，$AB$ 有向线段的长度表示$|\Delta\vec{r}|$、CB 的长度为$|\vec{r}_2|$和$|\vec{r}_1|$的长度之差，表示的正是$\Delta|\vec{r}|$。显然$|\Delta\vec{r}|\neq\Delta|\vec{r}|$。

②位移具有矢量性和相对性。

3. 速度和速率

速度：描述质点位置变动的快慢程度和方向的物理量。

平均速度：$\bar{\vec{v}}=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$，即位移与所用时间的比，其方向与位移方向相同。

瞬时速度：$\vec{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}$，即运动方程对时间的一阶导数。

直角坐标系：$\vec{v}=\dfrac{dx}{dt}\vec{i}+\dfrac{dy}{dt}\vec{j}+\dfrac{dz}{dt}\vec{k}$。

自然坐标系：$\vec{v}=v\,\vec{\tau}$，v 表示速度的大小；$\vec{\tau}$表示单位切向量。一般 v，$\vec{\tau}$是时间 t 的函数。

速率：质点运动的速度的大小，是标量。

平均速率：$\bar{v}=\dfrac{\Delta S}{\Delta t}$。

瞬时速率：$v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta S}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}$，即路程对时间的变化率。

注意：

①平均速度的大小一般不等于平均速率。只有物体作直线直进运动时，平均速度的大小与平均速率才相等。

②瞬时速度的大小等于瞬时速率：$\left|\dfrac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}\right|=\dfrac{\mathrm{d}S}{\mathrm{d}t}$。

③速度具有矢量性、相对性、瞬时性。

4. 加速度、切向加速度、法加速度

加速度：描述质点速度变化的快慢和方向的物理量。

平均加速度：$\overline{\vec{a}}=\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$。

瞬时加速度：$\vec{a}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$，即速度对时间的变化率。

直角坐标系：$\vec{a}=\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}\vec{i}+\dfrac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2}\vec{j}+\dfrac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2}\vec{k}$。

自然坐标系下的 a_τ，a_n。

以平面曲线运动为例：

$$\vec{v}=v(t)\vec{\tau}(t)$$

$$\vec{a}=\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{\tau}+v\frac{\mathrm{d}\vec{\tau}}{\mathrm{d}t}$$

$$\vec{a}_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{\tau},\qquad \vec{a}_n=v\frac{\mathrm{d}\vec{\tau}}{\mathrm{d}t}$$

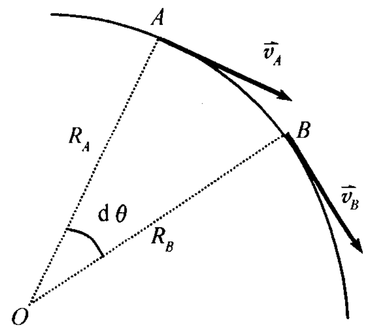


图 1-2

可以证明，当 A、B 无限接近时

$$R_A=R_B=R$$

$$v\frac{\mathrm{d}\vec{\tau}}{\mathrm{d}t}=\frac{v^2}{R}\vec{n}$$

$$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_\tau,\qquad |\vec{a}|=\sqrt{a_n^2+a_\tau^2}$$

注意：

①对一般平面曲线运动求 a_n，a_τ 时，为了避免求曲率半径的复杂

过程，常常是先求出总加速$\vec{a}$，再计算出切向加速度，用$a_n=\sqrt{a^2-a_\tau^2}$求出法向加速度。

②$a_\tau=\dfrac{dv}{dt}$，　v 是速率，　$v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$。

$a_n=\dfrac{v^2}{R}$，v 也是指速率，R 是质点所在处轨迹的曲率半径。

5. 相对运动

S 系和 S' 系是有相对运动的两参照系。S 和 S' 系间相对运动速度$\vec{v}_{S-S'}$，质点 P 相对 S 系的运动速度为$\vec{v}_{P-S}$，相对 S' 系的运动速度为$\vec{v}_{P-S'}$。

$$\vec{v}_{P-S'}=\vec{v}_{P-S}+\vec{v}_{S-S'}$$

再对 t 求导：$\vec{a}_{P-S'}=\vec{a}_{P-S}+\vec{a}_{S-S'}$。

当 S 与 S' 系间无相对加速度$\vec{a}_{S-S'}=0$ 时，则$\vec{a}_{P-S}=\vec{a}_{P-S'}$加速度的变换对惯性系具有不变性。

三、思考题解析

1. 回答下列问题，并举出实例。

①物体能否有一不变的速率，而有变化的速度？

答：能。如匀速率圆周运动。

②速度为零的时刻，加速度是否一定为零？加速度为零的时刻，速度是否一定为零？

答：不一定。速度为零，其导数不一定为零。导数为零时，其原函数不一定为零。例如质点作简谐振动，在最大位移处速度为零，加速度却最大。在平衡位置时，加速度为零，速度却最大。

③当物体具有大小、方向不变的加速度时，物体速度的方向是否会改变？

答：会改变。如匀减速直线运动。

2. 根据开普勒第一定律，行星绕太阳的运行轨道为椭圆。已知任一时刻行星的加速度方向指向太阳。分析行星通过图 1-3中 M、N 两点位置时，它的速率分别是增大还是减小？

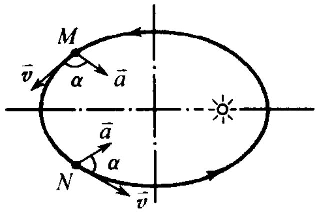


图 1-3

答:行星在 M 点速度$\vec{v}$与总加速度$\vec{a}$的夹角 $\alpha>\frac{\pi}{2}$,说明切向加速度与 v 方向相反,故为减速,在 N 点 $\alpha<\frac{\pi}{2}$,正在加速。

四、例题分析

例 1 质点作直线运动,运动方程为 $x=5+4t-2t^2$ m。求:①$t=1$ s 速度、加速度。②0～2 s 内位移、路程、平均速度、平均速率。

解 $v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=4-4t$ m/s, $a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-4$ m/s^2,将 $t=1$ s 代入得:$v=0$, $a=-4$ m/s^2。

0～2 s 内位移 $\Delta x=x_2-x_0$。

$\Delta x=5+4t-2t^2|_{t=2}-5=0$,

平均速度 $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=0$。

0～2 s 内路程 $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=0$, $t=1$ s。

0～1 s 内 $\Delta x_1=5+4t-2t^2|_0^1=2$ m。

1～2 s 内 $\Delta x_2=5+4t-2t^2|_1^2=-2$ m。

$\Delta x=\Delta x_1+|\Delta x_2|=4$ m,

平均速率 $\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=2$ m/s。

例 2 质点作平面曲线运动:$x=5t$, $y=20-5t^2$。求:①$t=1$ s 末 $\vec{v}=?\vec{a}=?$ ②0～1 s 内的位移,如图 1-4 所示。③$t=1$ s 末的切向加速度、法向加速度。

解 $\vec{v}=\frac{d\vec{r}}{dt}$,

$\vec{r}=5t\vec{i}+(20-5t^2)\vec{j}$,

$\vec{v}=5\vec{i}-10t\vec{j}\,|_{t=1}$

$=5\vec{i}-10\vec{j}\,\text{m/s}$,

$\vec{a}=-10\vec{j}\ \text{m/s}^2$,

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

$=(x_2-x_1)\vec{i}+(y_2-y_1)\vec{j}$

$=5\vec{i}-5\vec{j}\ \text{m}$。

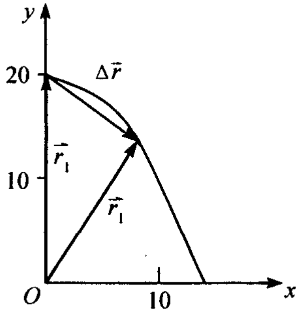


图 1-4

图 1-4 中 $\Delta\vec{r}$ 为位移。

$$a_\tau=\frac{dv}{dt},\qquad v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{25+100t^2},$$

$$a_\tau=\frac{d\sqrt{25+100t^2}}{dt}=\frac{100t}{\sqrt{25+100t^2}}\bigg|_{t=1}\doteq 8.93\ \text{m/s}^2,$$

$$a_n=\sqrt{a^2-a_\tau^2}=\sqrt{100-8.93^2}\doteq 4.51\ \text{m/s}^2。$$

例 3 在离船高度为 h 的岸边,绞车以恒定速率 v_0 收绳,求当船头与岸的水平距离为 x 时,船的速度、加速度。

解 如图 1-5 所示,$s^2=x^2+h^2$, $x=\sqrt{s^2-h^2}$。

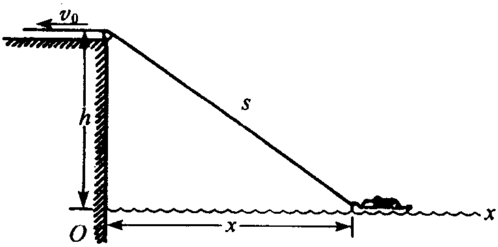


图 1-5

人收绳,s,x 都随 t 减小,$\frac{ds}{dt}=-v$。

船速：$\vec{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\vec{i}=\frac{\mathrm{d}\sqrt{s^2-h^2}}{\mathrm{d}t}\vec{i}=-\frac{s}{x}v_0\vec{i}$，

加速度：$\vec{a}=\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}=-\frac{h^2v_0^2}{x^3}\vec{i}$，变加速度运动。

例 4 一气球以速率 v_0 从地面升起，由于风的影响，气球水平分速度 $v_x=by$，y 从地面算起，求：①气球运动方程；②气球水平飘移的距离与高度的关系；③任一时刻 a_n、a_τ。

解 $v_y=v_0$，$\quad \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=v_0$，$\quad \int_0^y \mathrm{d}y=\int_0^t v_0\mathrm{d}t$，$\quad$ 故 $y=v_0t$。

$v_x=by$，$\quad \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=by$，$\quad \int_0^x \mathrm{d}x=\int_0^t bv_0t\mathrm{d}t$，$\quad$ 故 $x=\frac{1}{2}bv_0t^2$。

运动方程：$\vec{r}=\frac{1}{2}bv_0t^2\vec{i}+v_0t\vec{j}$。

水平距离与高度关系：$x=\frac{1}{2}bv_0t^2=\frac{1}{2}bv_0\frac{y^2}{v_0^2}=\frac{b}{2v_0}y^2$。

切向加速度：$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}\sqrt{(bv_0t)^2+v_0^2}}{\mathrm{d}t}=\frac{b^2v_0t}{\sqrt{b^2t^2+1}}$，

$$|\vec{a}|=\left[\left(\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\right)^2\right]^{1/2}=bv_0。$$

法向加速度：$a_n=\sqrt{a^2-a_\tau^2}=\frac{bv_0}{\sqrt{b^2t^2+1}}$。

例 5 树上有一只猴子，人用枪对准猴子，子弹以初速度 v_0 射出。同时，猴子从树上掉下，求：子弹相对于猴子的运动。

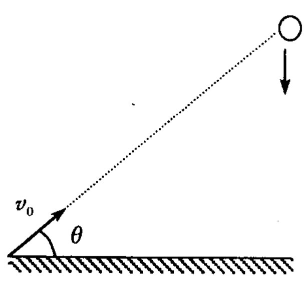


图 1-6

解　如图 1-6 所示，设 P 为猴子，Z 为子弹。$\vec{v}_{Z-P}=\vec{v}_{Z-地}+\vec{v}_{地-P}$，$\vec{v}_{地-P}=-\vec{v}_{P-地}$，$\vec{v}_{Z-地}=\vec{v}_0+\vec{g}t$，$\vec{v}_{P-地}=\vec{g}t$，$\vec{v}_{地-P}=-\vec{g}t$，

故　$\vec{v}_{Z-P}=\vec{v}_0+\vec{g}t-\vec{g}t$，

即　$\vec{v}_{Z-P}=\vec{v}_0$。

结论：子弹以相对于猴子的速度 v_0 作匀速直线运动。只要子弹与猴子下落地点的水平距离小于子弹的斜抛运动的最大射程，则子弹总可以打中猴子。

例 6　一人骑车以 5 m/s 速率向东行驶，看到雨滴垂直下落，当速度增为 10 m/s 时，看见雨滴与他前进方向成 120°角，求雨对地的速度。

解　如图 1-7 所示为两次不同骑车速度时的示意图。

$\vec{v}_{人-地}\longrightarrow 5\ \text{m/s}$

$\vec{v}_{雨-人}\ \downarrow$

$\vec{v}_{雨-地}=\vec{v}_{雨-人}+\vec{v}_{人-地}$

$|\vec{v}_{雨-地}|=10\ \text{m/s}$，与水平方向夹角 60°。

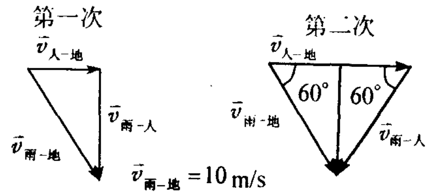


图 1-7

第二章　牛顿运动定律

一、教学要求

1. 掌握牛顿三定律的应用及适用条件。
2. 掌握单位制和量纲。
3. 掌握惯性系中牛顿运动定律的解题思路和方法。

二、重点、难点指导

重点：牛顿三定律的应用。

难点：物体系中有相对加速度问题的分析与求解。

1. 牛顿运动定律

动力学中用动量 $m\vec{v}$ 来描述物体的运动状态。

力的定义式：$\vec{F}=\dfrac{\mathrm{d}m\vec{v}}{\mathrm{d}t}$，即动量对时间的变化率。

当物体受力为零时，$\dfrac{\mathrm{d}m\vec{v}}{\mathrm{d}t}=0$，$m\vec{v}=$ 恒量。物体保持原有的运动状态——牛顿第一定律。牛顿第一定律指出，惯性是物体的固有属性，并定义了惯性参照系，即牛顿第一定律成立的参照系为惯性系。反之，则为非惯性系。

当物体受到外力的作用时，$\vec{F}=m\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}+\vec{v}\dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$。经典力学中，运动物体的质量不改变时，$\dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}=0$，$\vec{F}=m\vec{a}$，这是中学教材中的牛顿第二定律的形式。若物体是由质点系组成，当参与运动的质点组的质量不断地发生变化时，$\dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}\neq 0$，则 $\vec{F}=m\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}+\vec{v}\dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$。如喷气火箭的飞行，漏沙小车的运动等。

当物体高速运动时，由相对论知 $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$，此时，$\vec{F}=$