DAXUEWULIXUEXIZHIDAO

陈国庆
陈　健　等编

# 大学物理学习指导

苏州大学出版社

# 大学物理学习指导

陈国庆　陈健 等　编

苏州大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

大学物理学习指导/陈国庆等编.—苏州：苏州大学出版社,2002.1
ISBN 7-81037-933-X

Ⅰ.大… Ⅱ.陈… 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(2002)第 001733 号

**大学物理学习指导**

陈国庆 陈健 等 编

责任编辑 周建兰

苏州大学出版社出版发行
(地址：苏州市干将东路 200 号 邮编：215021)
宜兴文化印刷厂印装
(地址：宜兴南漕镇 邮编：214217)

开本 787×1092 1/16 印张 10.5 字数 265 千
2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷
印数 1-10100 册
ISBN 7-81037-933-X/O·42 定价：15.50 元

# 前　言

大学物理是大学非物理类专业的一门重要的基础课,它对学生知识结构的形成、科学素质的提高及创新能力的培养等,都起着十分重要的作用。为了帮助读者在学习过程中深刻理解物理概念,熟练掌握物理规律,抓住重点、难点,掌握解题的思路和方法,训练科学思维,提高分析问题和解决问题的能力,我们总结了多年来的教学实践,根据大学物理课程教学的基本要求,在原有讲义的基础上,编写了这本学习指导书。

本书作为学习大学物理课程的辅助教材,与教学内容重点相配合,全书共分十八章,每一章均包括:基本要求、主要内容、典型例题和练习题四部分内容。

"基本要求"分掌握、理解、了解等层次,指出了学习该章后必须达到的教学目的。在学习该章时,参阅"基本要求",便可做到心中有数。

"主要内容"概括和总结了该章的基本内容和要点,是学习该章内容的基本线索。

"典型例题"通过对典型题目的分析、解答,帮助读者灵活运用物理概念和规律,分析和解决具体问题,有利于拓宽读者的解题思路,提高分析问题和解决问题的能力。

"练习题"分选择题、填空题、计算题、问答题、证明题等类型,所选习题紧扣教学基本要求,注重思维训练。通过练习,有利于帮助读者复习、巩固所学知识,培养灵活运用物理知识解决问题的能力。

本书由江南大学物理教研室组织编写。参加本书编写工作的有:朱静萍(第一、二章)、何跃娟(第三、四、五章)、贾利群(第六、七章)、王晓(第八、九章)、高瞻(第十、十一章)、陈健(第十二、十三章)、陈国庆(第十四、十五、十六章)、黄松波(第十七章)、孙海金(第十八章)。全书由陈国庆、陈健进行统稿和审定。

在本书的编写过程中,衷心感谢惠汉文、苏才良、赵义庭、王芝元、邓家佩、江保钦等教师为本书的编写所做的前期工作;感谢朱拓、屠志淳、钱维莹、谢广喜、王廷志、阙立志、杜莉伟、陈学清、龚公维、高光华等教师为本书的出版所做的许多有益的工作;同时感谢苏州大学出版社陈孝康、周建兰同志为本书的顺利出版所付出的辛勤劳动。

由于编者水平有限,而时间又较局促,书中肯定有许多不足和错误,敬请读者批评、指正。

编　者

2001 年 10 月

# 目　录

# 第一章　质点运动学

## 第一节　基本要求

1. 熟练掌握描述质点运动的四个物理量——位置矢量、位移、速度和加速度.会处理两类问题:(1) 已知运动方程求速度和加速度;(2) 已知加速度和初始条件求速度和运动方程.

2. 熟练掌握曲线运动的自然坐标表示法,会计算切向加速度和法向加速度.

3. 熟练掌握运动叠加原理,并能用它来处理抛体等问题.

## 第二节　主要内容

### 一、描述质点运动的四个物理量

1. 四个物理量.

(1) 位置矢量 $\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k}$.

物体运动时,$\boldsymbol{r}$ 随时间而变,即 $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)$,此式称为运动方程;

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

称为参数方程.

(2) 位移 $\Delta\boldsymbol{r}=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k}$.

而路程则用 $\Delta s$ 表示.

(3) 速度 $\boldsymbol{v}$.

平均速度 $\bar{\boldsymbol{v}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$,瞬时速度(简称速度) $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$.

平均速率 $\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$,瞬时速率(简称速率) $v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$.

(4) 加速度 $\boldsymbol{a}$.

平均加速度 $\bar{\boldsymbol{a}}=\dfrac{\Delta\boldsymbol{v}}{\Delta t}$,瞬时加速度(简称加速度) $\boldsymbol{a}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}$.

(5) 四个物理量的共同特性:矢量性和相对性.

参照系 S′ 相对于参照系 S 的速度为 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{S'S}}$,若同一物体 A 在两参照系中的速度分别为 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{AS'}}$ 和 $\boldsymbol{v}_{\mathrm{AS}}$,则有如下关系:

$$\boldsymbol{v}_{\mathrm{AS}}=\boldsymbol{v}_{\mathrm{AS'}}+\boldsymbol{v}_{\mathrm{S'S}},$$

此式称为速度合成定理.

同样加速度之间也存在如下关系:

$$\boldsymbol{a}_{\mathrm{AS}}=\boldsymbol{a}_{\mathrm{AS'}}+\boldsymbol{a}_{\mathrm{S'S}}.$$

2．两类问题．

（1）已知 $\boldsymbol{r}(t)$，求$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{a}$——求导．

（2）已知 $\boldsymbol{a}(t)$及初始条件 $\boldsymbol{r}_0$、$\boldsymbol{v}_0$，求$\boldsymbol{v}$、$\boldsymbol{r}(t)$——积分．

**二、运动叠加原理、抛体运动**

1．运动叠加原理：一个运动可看成几个各自独立进行的运动的合成．

2．根据运动叠加原理处理抛体运动．

抛体运动可看成是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的匀变速直线运动的合成．

取坐标 $x$ 和 $y$ 分别沿水平方向和竖直方向，且设 $t=0$ 时，$x=y=0$，初速度为$\boldsymbol{v}_0$，如图1-1所示，则速度公式为

$$\begin{cases} v_x=v_0\cos\theta_0, \\ v_y=v_0\sin\theta_0-gt. \end{cases}$$

运动方程为

$$\begin{cases} x=v_0\cos\theta_0 t, \\ y=v_0\sin\theta_0 t-\dfrac{1}{2}gt^2. \end{cases}$$

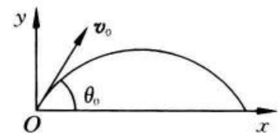

图 1-1

**三、曲线运动的自然坐标表述、圆周运动**

1．切向加速度和法向加速度：

$$\boldsymbol{a}=a_\tau\boldsymbol{e}_\tau+a_n\boldsymbol{e}_n.$$

对圆周运动，有

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t},a_n=\frac{v^2}{R},$$

$$|\boldsymbol{a}|=\sqrt{a_\tau^2+a_n^2},\tan\theta=\frac{a_n}{a_\tau}.$$

2．圆周运动的角量表示，线量和角量的关系：

$$\omega=\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t},\beta=\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t},v=R\omega,a_\tau=R\beta,a_n=R\omega^2.$$

# 第三节　典型例题

**例 1**　一质点 $P$ 从 $O$ 点出发以匀速率 1cm/s 作顺时针转向的圆周运动，如图 1-2 所示，圆的半径为 1m．试求：

（1）经过$\dfrac{2}{3}$圆周时走过的路程 $\Delta s$；

（2）这段时间内平均速度的大小$|\bar{\boldsymbol{v}}|$和方向．

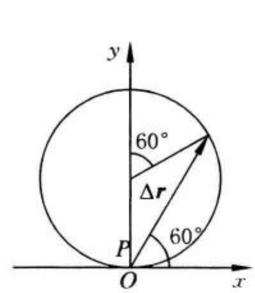

图 1-2

**解**　（1）$\Delta s=\dfrac{2}{3}\times 2\pi R=4.19\mathrm{m}$.

（2）$|\Delta\boldsymbol{r}|=2R\sin 60°=\sqrt{3}\ \mathrm{m}$.

由 $v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，有

$$\Delta t=\frac{\Delta s}{v}=4.19\times10^{2}\mathrm{s},$$

$$|\bar{\boldsymbol{v}}|=\frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}=\frac{\sqrt{3}}{4.19\times10^{2}}=4.13\times10^{-3}(\mathrm{m/s}).$$

由图可知，$\bar{\boldsymbol{v}}$与 $x$ 轴正方向的夹角为 60°.

**例 2** 一质点在平面上运动，已知位置矢量的表达式为 $\boldsymbol{r}=at^2\boldsymbol{i}+bt^2\boldsymbol{j}$（其中 $a$、$b$ 为常量），则该质点作何运动？

**解** 因为$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=2at\boldsymbol{i}+2bt\boldsymbol{j}$ 与时间有关，故质点作变速运动；而 $\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=2a\boldsymbol{i}+2b\boldsymbol{j}$ 与时间无关，故质点作匀变速运动.

由题意知

$$\begin{cases}x=at^2,\\ y=bt^2.\end{cases}$$

消去 $t$，得 $y=\frac{b}{a}x$，轨迹是直线. 故该质点作匀变速直线运动.

**例 3** 一物体悬挂在弹簧上作竖直振动，其加速度 $a=-ky$，式中 $k$ 为常量，$y$ 是以平衡位置为原点所测得的坐标，假定振动的物体在坐标 $y_0$处的速度为 $v_0$，试求速度 $v$ 与坐标 $y$ 的函数关系式.

**解** 因为 $a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-ky$，作变换$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y}\cdot\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$，有

$$v\cdot\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}y}=-ky,$$

得

$$v\mathrm{d}v=-ky\mathrm{d}y.$$

根据初始条件，积分上式有

$$\int_{v_0}^{v}v\mathrm{d}v=-\int_{y_0}^{y}ky\mathrm{d}y,$$

得 $v^2-v_0{}^2=-k(y^2-y_0{}^2)$，即 $v^2=v_0{}^2-k(y^2-y_0{}^2)$.

**例 4** 飞机相对于空气以恒速率 $v$ 沿正方形轨道飞行，如图 1-3 所示，在无风天气其运动周期为 $T$. 若有恒定小风沿平行于正方形的一对边吹来，风速为 $v_{风}=kv(k\ll1)$. 求飞机沿原正方形（对地）飞行的周期的增加量.

**解** 设正方形边长为 $a$，则 $T=4a/v$.

有风时，飞机对地的速度为$\boldsymbol{v}$，则根据速度合成定理，有

$$\boldsymbol{v}'=\boldsymbol{v}+\boldsymbol{v}_{风}.$$

设正方形为 $abcd$，且风平行于 $ab$ 和 $cd$ 而来，如图 1-3 所示，

$ab$ 段：$v'=v-v_{风}=(1-k)v$.

$cd$ 段：$v'=v+v_{风}=(1+k)v$.

$da$ 和 $bc$ 段：$v'=\sqrt{v^2-v_{风}{}^2}=v\sqrt{1-k^2}$.

有风时飞机的运动周期为

$$T'=\frac{a}{v(1-k)}+\frac{a}{v(1+k)}+\frac{2a}{v\sqrt{1-k^2}}=\frac{2a}{v}\left(\frac{1}{1-k^2}+\frac{1}{\sqrt{1-k^2}}\right).$$

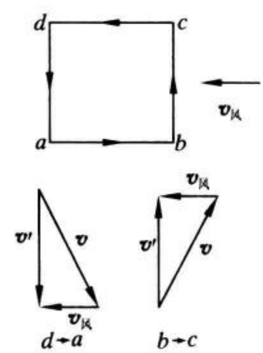


图 1-3

因为 $k\ll 1$,故$(1-k^2)^{-1}\approx 1+k^2$,$(1-k^2)^{-\frac{1}{2}}\approx 1+\frac{k^2}{2}$. 代入上式,即得

$$T'=\frac{2a}{v}\left(2+\frac{3}{2}k^2\right)=\frac{4a}{v}\left(1+\frac{3}{4}k^2\right)=T\left(1+\frac{3}{4}k^2\right).$$

故周期增加量为

$$\Delta T=T'-T=\frac{3}{4}k^2T.$$

**例 5** 飞轮作加速转动时,轮边缘上一点的运动方程为 $s=0.1t^3$(SI 单位). 飞轮半径为 2m,当此点的速率 $v=30\mathrm{m/s}$ 时,其切向加速度为多大? 法向加速度为多大?

**解** $v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=0.3t^2$,当 $v=30\mathrm{m/s}$ 时,$t=\sqrt{\frac{v}{0.3}}=10\mathrm{s}$.

故切向加速度和法向加速度分别为

$$a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=0.6t=0.6\times 10=6(\mathrm{m/s^2}),$$

$$a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{30^2}{2}=450(\mathrm{m/s^2}).$$

**例 6** 质点在重力场中作斜上抛运动,初速度的大小为 $v_0$,与水平方向成 $\alpha$ 角. 求质点到达与抛出处同一高度时的切向加速度、法向加速度以及该时刻质点所在处其轨迹的曲率半径.

**解** 斜抛的特点是 $\boldsymbol{a}=-g\boldsymbol{j}$,据此,将 $\boldsymbol{a}$ 分解成 $\boldsymbol{a}_\tau$ 及 $\boldsymbol{a}_n$,由图 1-4 关系,可得

$$a_\tau=-g\sin\theta,\ a_n=g\cos\theta,$$

$$\tan\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{v_0\sin\alpha-gt}{v_0\cos\alpha}.$$

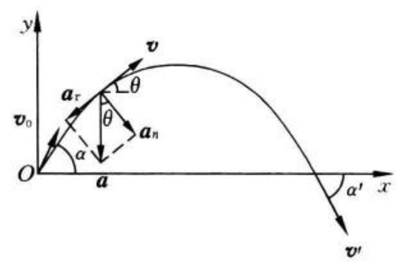

图 1-4

本题要求与抛出处同一高度时的 $a_\tau$、$a_n$ 和 $\rho$,由对称性可知,$v'=v_0$,$\alpha'=-\alpha$. 故

$$a_\tau=-g\sin\alpha'=g\sin\alpha,\ a_n=g\cos\alpha'=g\cos\alpha,$$

$$\rho=\frac{v'^2}{a_n}=\frac{v_0^2}{g\cos\alpha}.$$

## 第四节 练 习 题

### 一、选择题

1. 某质点的运动方程为 $x=3t-5t^3+6$(SI 单位),则该点作 ( )

(A) 匀加速直线运动,加速度沿 $x$ 轴正方向

(B) 匀加速直线运动,加速度沿 $x$ 轴负方向

(C) 变加速直线运动,加速度沿 $x$ 轴正方向

(D) 变加速直线运动,加速度沿 $x$ 轴负方向

2. 一小球沿斜面向上运动,其运动方程为 $s=5+4t-t^2$(SI 单位),则小球运动到最高点的时刻是 ( )

(A) $t=4\mathrm{s}$ (B) $t=2\mathrm{s}$ (C) $t=8\mathrm{s}$ (D) $t=5\mathrm{s}$

3. 一质点作直线运动，某时刻的瞬时速度 $v=2\mathrm{m/s}$，瞬时加速度 $a=-2\mathrm{m/s^2}$. 则 1s 后质点的速度 ( )

(A) 等于零 (B) 等于 $-2\mathrm{m/s}$ (C) 等于 $2\mathrm{m/s}$ (D) 不能确定

4. 下列说法中正确的是 ( )

(A) 一质点在某时刻的瞬时速度是 2m/s，说明它在此后 1s 内一定要经过 2m 的路程

(B) 斜向上抛的物体，在最高点处的速度最小，加速度最大

(C) 物体作曲线运动时，有可能在某时刻的法向加速度为零

(D) 物体加速度越大，则速度越大

5. 一运动质点在某瞬时位于矢径 $\boldsymbol{r}(x,y)$ 的端点处，其速度大小为 ( )

(A) $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ (B) $\dfrac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t}$ (C) $\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$ (D) $\sqrt{\left(\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\right)^2}$

6. 一质点在平面上作一般曲线运动，其瞬时速度为 $\boldsymbol{v}$，瞬时速率为 $v$，某一段时间内的平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}$，平均速率为 $\bar{v}$，它们之间的关系必定有 ( )

(A) $|\boldsymbol{v}|=v,|\bar{\boldsymbol{v}}|=\bar{v}$ (B) $|\boldsymbol{v}|\neq v,|\bar{\boldsymbol{v}}|=\bar{v}$

(C) $|\boldsymbol{v}|\neq v,|\bar{\boldsymbol{v}}|\neq\bar{v}$ (D) $|\boldsymbol{v}|=v,|\bar{\boldsymbol{v}}|\neq\bar{v}$

7. 下列说法中正确的是 ( )

(A) 加速度恒定不变时，物体运动方向也不变

(B) 平均速率等于平均速度的大小

(C) 不管加速度如何，平均速率表达式总可以写成 $\bar{v}=\dfrac{(v_1+v_2)}{2}$

(D) 运动物体速率不变时，速度可以变化

8. 质点作半径为 $R$ 的变速圆周运动时的加速度大小为($v$ 表示任一时刻质点的速率) ( )

(A) $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$ (B) $\dfrac{v^2}{R}$ (C) $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}+\dfrac{v^2}{R}$ (D) $\left[\left(\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\right)^2+\left(\dfrac{v^4}{R^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$

9. 在相对地面静止的坐标系内，A、B 两船都以 2m/s 的速率匀速行驶，A 船沿 $x$ 轴正方向，B 船沿 $y$ 轴正方向，今在 A 船上设置与静止坐标系方向相同的坐标系($x$、$y$ 方向单位矢量用 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 表示)，那么在 A 船上的坐标系中，B 船的速度(以 m/s 为单位)为 ( )

(A) $2\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}$ (B) $-2\boldsymbol{i}+2\boldsymbol{j}$ (C) $-2\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$ (D) $2\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$

10. 某人骑自行车以速率 $v$ 向正西方行驶，遇到由北向南刮的风(设风速大小也为 $v$)，则他感到风是从 ( )

(A) 东北方向吹来 (B) 东南方向吹来 (C) 西北方向吹来 (D) 西南方向吹来

## 二、填空题

1. 在表达式 $\boldsymbol{v}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$ 中，位置矢量是________；位移矢量是________.

2. 一质点的运动方程为 $x=6t-t^2$(SI 单位)，则在 $t$ 由 0 至 4s 的时间间隔内，质点的位移大小为________，在 $t$ 由 0 到 4s 的时间间隔内质点走过的路程为________.

3. 一人自原点出发，25s 内向东走 30m，又在 10s 内向南走 10m，再经过 15s 向正西北

走 18m，则在第 50s 末的位置矢量为________________；在这 50s 内的平均速度的大小为__________，方向为________，平均速率的大小为___________.

4. 一质点沿半径为 0.10m 的圆周运动，其角位移 $\theta$ 可用下式表示：$\theta=2+4t^3$(SI 单位).(1) 当 $t=2\text{s}$ 时，切向加速度 $a_\tau=$________________；(2) 当 $\boldsymbol{a}_\tau$的大小恰为总加速度 $\boldsymbol{a}$ 的大小的一半时，$\theta=$______________.

5. 一物体作如图 1-5 所示的斜抛运动，测得在轨道 $A$ 点处速度$\boldsymbol{v}$ 的大小为 $v$，其方向与水平方向夹角成 30°. 则物体在 $A$ 点的切向加速度 $a_\tau=$______________，轨道的曲率半径 $\rho=$__________.

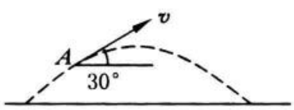

图 1-5

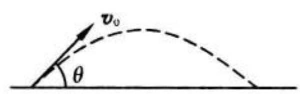

图 1-6

6. 一物体作斜抛运动，初速度为$\boldsymbol{v}_0$，与水平方向夹角为 $\theta$，如图 1-6 所示，则物体到达最高点处的曲率半径 $\rho$ 为________.

7. 试说明质点作何种运动时，将出现下列各种情况($v\neq0$)：

(1) $a_\tau\neq0, a_n\neq0$：______________________；

(2) $a_\tau\neq0, a_n=0$：______________________.

8. 小船从岸边 $A$ 点出发渡河，如果它保持与河岸垂直向前划，则经过时间 $t_1$到达对岸下游 $C$ 点；如果小船以同样速率划行，但垂直河岸横渡到正对岸 $B$ 点，则需与 $A$、$B$ 两点连线成 $\alpha$ 角逆流划行，经过时间 $t_2$到达 $B$ 点，若 $B$、$C$ 两点间距离为 $s$，则

(1) 此河宽度 $d=$______________________；

(2) $\alpha=$______________________.

## 三、计算题

1. 如图 1-7 所示，在离水面高为 $h$ 的岸边，有人用绳拉船靠岸，船在离岸边 $s$ 处，当人以 $v_0$的速率收绳时，试求船的速度和加速度的大小各为多少？

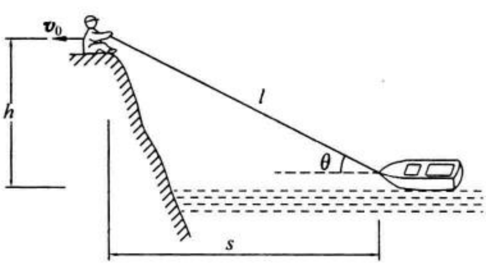

图 1-7

2. 一质点从静止开始作直线运动，开始时加速度为 $a$，此后加速度随时间均匀增加，经过时间 $\tau$ 后，加速度为 $2a$，经过时间 $2\tau$ 后，加速度为 $3a$…… 求经过时间 $n\tau$ 后，该质点的加速度、速度和走过的距离. $\left[\text{提示：} a_t=\left(\dfrac{a}{\tau}t+a\right).\right]$

3. (1) 对于在 $xOy$ 平面内，以原点 $O$ 为圆心作匀速圆周运动的质点，试用半径 $r$、角速度 $\omega$ 和单位矢量 $\boldsymbol{i}$、$\boldsymbol{j}$ 表示其 $t$ 时刻的位置矢量. 已知在 $t=0$ 时，$y=0$，$x=r$，角速度 $\omega$ 如图

1-8所示；

(2) 由(1)导出速度$\boldsymbol{v}$与加速度$\boldsymbol{a}$的矢量表示式；

(3) 试证加速度指向圆心.

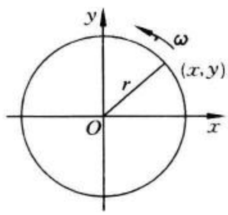


图 1-8

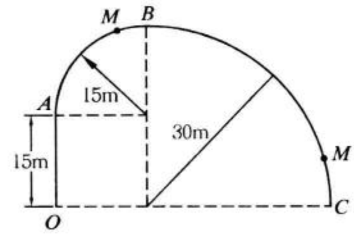


图 1-9

4. 质点 $M$ 在水平面内运动轨迹如图 1-9 所示，$OA$ 段为直线，$AB$、$BC$ 段分别为不同半径的两个$\frac{1}{4}$圆周. 设 $t=0$ 时，$M$ 在 $O$ 点，已知运动方程为 $s=30t+5t^2$(SI 单位)，求 $t=2\text{s}$ 时刻，质点 $M$ 的切向加速度和法向加速度.

## 四、证明题

1. 一艘正在沿直线行驶的电艇，在发动机关闭后，其加速度方向与速度方向相反，大小与速度大小的平方成正比，即$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-kv^2$，式中 $k$ 为常数，试证明电艇在关闭发动机后又行驶 $x$ 距离时的速率 $v=v_0\mathrm{e}^{-kx}$，其中 $v_0$是发动机关闭时的速率.

2. 已知质点在 $x$ 轴上作直线运动，其运动速度$\boldsymbol{v}$ 的大小随坐标 $x$ 的关系由 $v$-$x$ 曲线(图 1-10)给出. 过曲线上任一点$P(v,x)$分别作纵轴 $v$ 的平行线和曲线 $v$-$x$ 的法线，它们与 $x$ 轴交于 $x$ 和 $x'$两点，试证明两交点间的距离 $l=x'-x$ 代表质点在 $P(v,x)$状态的加速度.

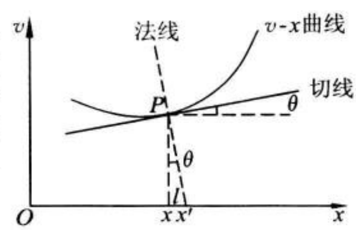


图 1-10

## 五、问答题

1. 如图 1-11 所示，质点作曲线运动，其加速度 $\boldsymbol{a}$ 是恒矢量($\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{a}_2=\boldsymbol{a}_3=\boldsymbol{a}$). 试问质点能否作匀变速率运动？简述理由.［提示：匀变速率运动时 $a_\tau$=恒量.］

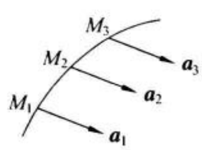


图 1-11

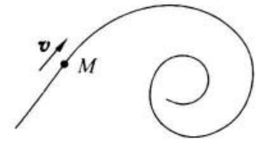


图 1-12

2. 一质点沿螺旋线自外向内运动，如图 1-12 所示，已知其走过的弧长与时间的一次方成正比. 试问该质点加速度的大小是越来越大，还是越来越小(已知法向加速度 $a_n=\frac{v^2}{\rho}$，其中 $\rho$ 为曲线的曲率半径)？

# 第二章　牛顿运动定律

## 第一节　基本要求

1．了解惯性参照系及非惯性参照系的定义，了解牛顿运动定律的适用范围．

2．掌握几种常见的力：重力、弹性力和摩擦力．

3．熟练掌握运用牛顿运动定律分析问题的基本思路和研究方法．正确理解力的概念，能用微积分方法求解一维变力作用下的简单质点动力学问题．

## 第二节　主要内容

### 一、力学中常见的三种力

1．万有引力．在两个相距为 $r$，质量分别为 $m_1$、$m_2$ 的质点间有万有引力，其方向沿着它们的连线，数学表达式为

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}.$$

式中，$G=6.67\times10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$，称万有引力恒量．

在不考虑地球自转时，地球对地球表面附近物体的吸引力即重力为

$$F=G\frac{Mm}{r^2}=mg,$$

其中，$g=G\dfrac{M}{r^2}=9.80\text{m/s}^2$．

2．弹性力．物体因形变而产生的欲使物体恢复其原来形状的力，可分为张力 $F_T$ 和压力 $F_N$．

3．摩擦力．相互接触的物体间，由于相对运动或相对运动趋势而产生的与相对运动或相对运动趋势方向相反的力，称为滑动摩擦力或静摩擦力．

滑动摩擦力大小 $F_f=\mu F_N$，其中，$\mu$ 为动摩擦因数．

最大静摩擦力大小 $F_{f_{max}}=\mu_s F_N$，其中，$\mu_s$ 为静摩擦因数．

### 二、牛顿运动定律及其应用

1．对牛顿运动定律，必须明确：力的作用是改变物体的运动状态；质量是物体平动惯性大小的量度；牛顿定律只适用于惯性系．

2．应用牛顿运动定律的解题步骤：确定研究对象；画示力图；选定坐标系，将力沿坐标轴分解；根据牛顿运动定律及其他条件列方程，解方程，得结果．

## 第三节　典型例题

**例 1**　质量为 $m$ 的木块放在木板上，当木板与水平面间的夹角 $\theta$ 由 0°变化到 90°的过程中，画出木块与木板之间的摩擦力 $F_f$ 随 $\theta$ 的变化曲线（设 $\theta$ 变化过程中摩擦系数 $\mu$ 不变）. 在图上标出木块开始滑动时木板与水平面间的夹角 $\theta_0$，并指出 $\theta_0$ 与 $\mu$ 的关系.

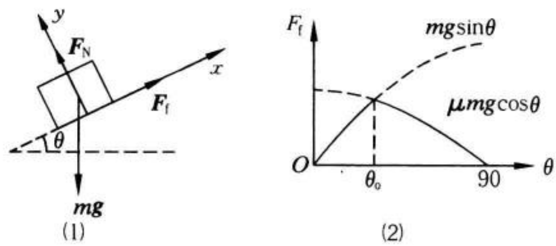


图 2-1

**解**　取木块为研究对象，画出其示力图. 选定如图 2-1(1)所示坐标系（$x$ 和 $y$ 分别与木板表面平行和垂直）. 将 $mg$ 沿坐标轴分解成 $mg\sin\theta$ 和 $mg\cos\theta$（图中未画出）.

(1) $\theta$ 较小时，木块静止，$\boldsymbol{a}=0$.

根据牛顿第二定律，有

$$\begin{cases} F_f - mg\sin\theta = 0, \\ F_N - mg\cos\theta = 0, \end{cases}$$

解得 $F_f = mg\sin\theta$.

(2) $\theta$ 较大时，木块滑动，有

$$F_f = \mu F_N = \mu mg\cos\theta.$$

(3) 两曲线的交点处，$\theta=\theta_0$，此点即为木块静止和开始滑动的临界点，故

$$mg\sin\theta_0 = \mu mg\cos\theta_0,$$

从而有 $\theta_0 = \arctan\mu$.

结论：$\theta$ 由 0°变化至 90°的过程中 $F_f$ 随 $\theta$ 的变化曲线如图 2-1(2)中实线所示.

**例 2**　一根细绳跨过一光滑的定滑轮，一端挂一质量为 $M$ 的物体，另一端被人用双手拉着，人的质量 $m=\frac{1}{2}M$，若人相对于绳以加速度 $a_0$ 向上爬，则人相对于地面的加速度（以竖直向上为正）是多少？

**解**　分别取物体和人为研究对象，画出示力图 2-2.

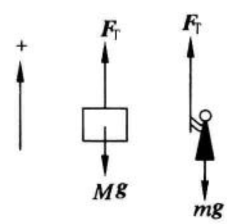


图 2-2

设物体相对于地面的加速度大小为 $a$，方向向上，则绳相对于地面的加速度大小也为 $a$，方向向上或向下. 人相对于地面的加速度为 $a_0-a$.

根据牛顿第二定律，有

$$F_T - Mg = Ma, \tag{1}$$

$$F_T - mg = m(a_0 - a). \tag{2}$$

两式相减，并以 $m=\frac{1}{2}M$ 代入，得 $a=\frac{a_0-g}{3}$. 故

$$a_0 - a = \frac{2a_0 + g}{3}.$$

**例 3** 一质量为 $M$ 的楔形物体 A 放在倾角为 $\alpha$ 的固定光滑斜面上，在此楔形物体的水平面上又放置一质量为 $m$ 的物体 B，如图 2-3(1)所示. 设 A 与 B 之间、A 与斜面间均光滑接触，开始时 A 与 B 均处于静止状态. 当 A 沿斜面下滑时，求 A、B 相对于地面的加速度.

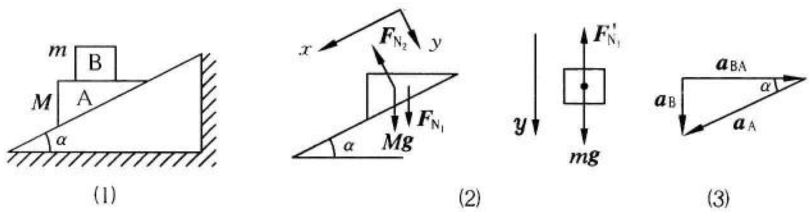


图 2-3

**解** 分别取 A 和 B 为研究对象，画出示力图 2-3(2). 取如图所示坐标，因 $F_{N_1} = F'_{N_1}$，根据牛顿第二定律列方程，有

A 的 $x$ 方向：$(Mg + F_{N_1})\sin\alpha = Ma_A$， (1)

B： $mg - F_{N_1} = ma_B$. (2)

共有三未知量 $F_{N_1}$、$a_A$ 和 $a_B$，但只有两方程，因此还缺一方程，通常可以从运动学方面再列出一补充方程. 本题中 $\boldsymbol{a}_A$、$\boldsymbol{a}_B$ 以及 B 对 A 的加速度 $\boldsymbol{a}_{BA}$ 之间存在如图 2-3(3)所示关系，于是，

$$a_B = a_A \sin\alpha. \tag{3}$$

联立(1)、(2)、(3)，解方程组，即得

$$a_A = \frac{(m+M)\sin\alpha}{M + m\sin^2\alpha},\quad a_B = \frac{(m+M)\sin^2\alpha}{M + m\sin^2\alpha}.$$

**例 4** 飞机降落时的着地速度大小 $v_0 = 90\text{km/h}$，方向与地面平行，飞机与地面间的摩擦系数 $\mu = 0.10$，迎面空气阻力为 $C_x v^2$，升力为 $C_y v^2$（$v$ 是飞机在跑道上的滑行速度，$C_x$ 和 $C_y$ 均为常数），已知飞机的升阻比 $k = \frac{C_y}{C_x} = 5$，求飞机从着地到停止这段时间所滑行的距离（设飞机刚着地时对地面无压力）.

**解** 飞机从着地到停止这段时间在水平方向共受两个力：空气阻力及摩擦力. 根据牛顿第二定律，有

$$-C_x v^2 - \mu(mg - C_y v^2) = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t},$$

其中，$mg = C_y v_0{}^2$.

将 $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = v$ 代入上式并分离变量，有

$$\frac{v\mathrm{d}v}{(\mu C_y - C_x)v^2 - \mu C_y v_0^2} = \frac{\mathrm{d}x}{m}.$$

两边积分，得

$$\int_{v_0}^{0} \frac{\mathrm{d}v^2}{v^2 - \dfrac{\mu C_y v_0^2}{\mu C_y - C_x}} = \int_0^x \frac{2(\mu C_y - C_x)}{m}\mathrm{d}x,$$