Part One Mechanics
力学

物质 ⟷ 运动

机械运动：物体相对位置或自身各部分的相对位置发生变化的运动。

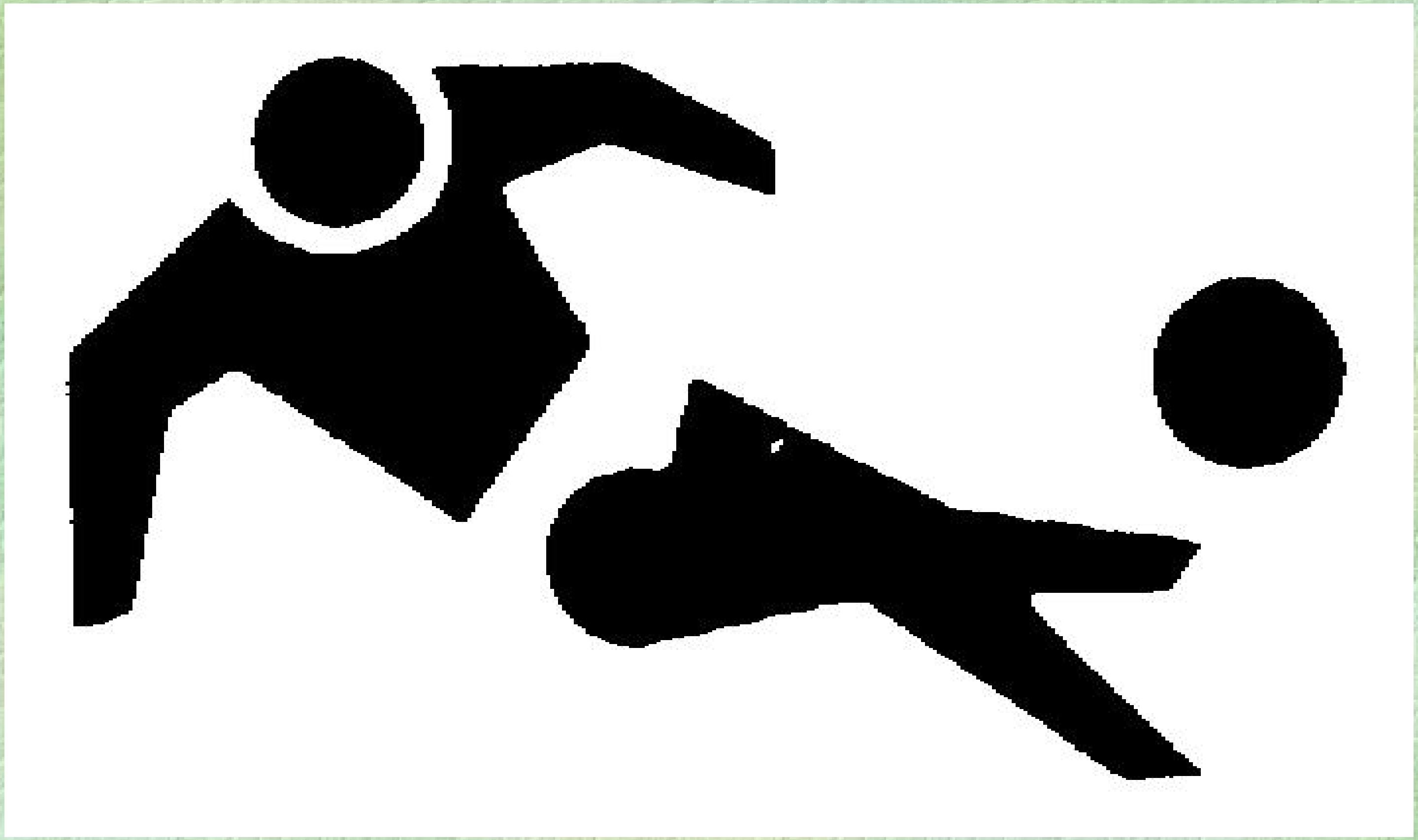
力学：研究物体机械运动及其规律的学科。

运动学：研究物体在空间的位置随时间的变化规律以及运动的轨道问题。

动力学：以牛顿运动定律为基础，研究物体运动状态发生变化时所遵循的规律。

Chapter 1 Kinematics

运动学（质点运动学）



第一章　质点运动学(Kinematics)

§1-1 参考系 质点 **Frame of Reference Particle**

§1-2 位置矢量 位移 **Position Vector and Displacement**

§1-3 速度 加速度 **Velocity and Acceleration**

§1-4 两类运动学问题 **Two types of Problems**

§1-5 圆周运动及其描述 **Circular Motion**

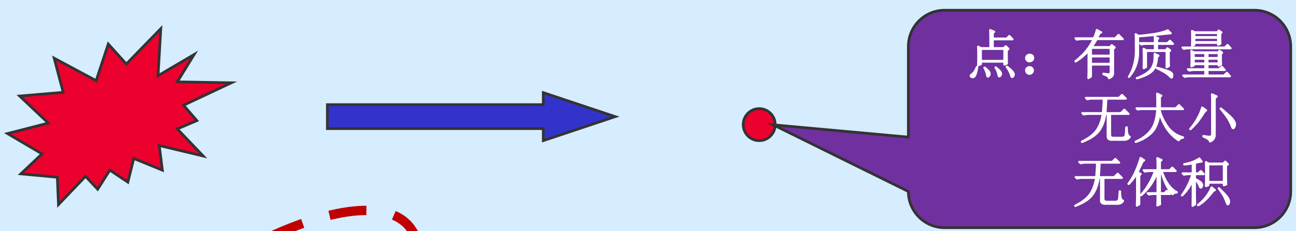
教 学 基 本 要 求

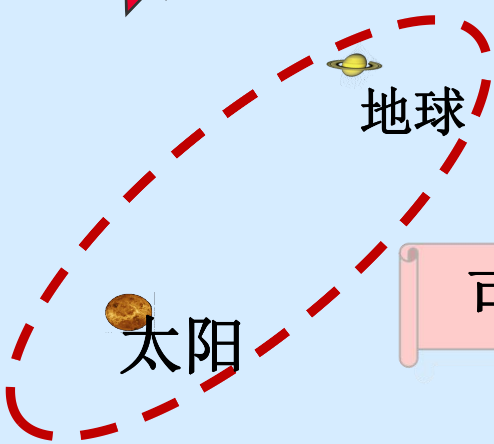
1. 理解描述质点运动物理量的定义及其矢量性、相对性和瞬时性；
2. 掌握运动方程的物理意义，会用微积分方法求解运动学两类问题；
3. 掌握平面抛体运动和圆周运动的规律。

§1-1 质点、参考系、坐标系

1.质点：Particles 具有一定质量的几何点

Particle(质点） is an ideal model（模型），in some circumstances（情况、形势）. We can treat a body as a particle, and concentrate on（集中） its translational motion(平动） and ignore（忽略） all the other motions.





可以把地球绕太阳的运动看作质点的运动。

2.参考系：Frame of Reference

- 物质的运动具有绝对性
- 描述物质运动具有相对性

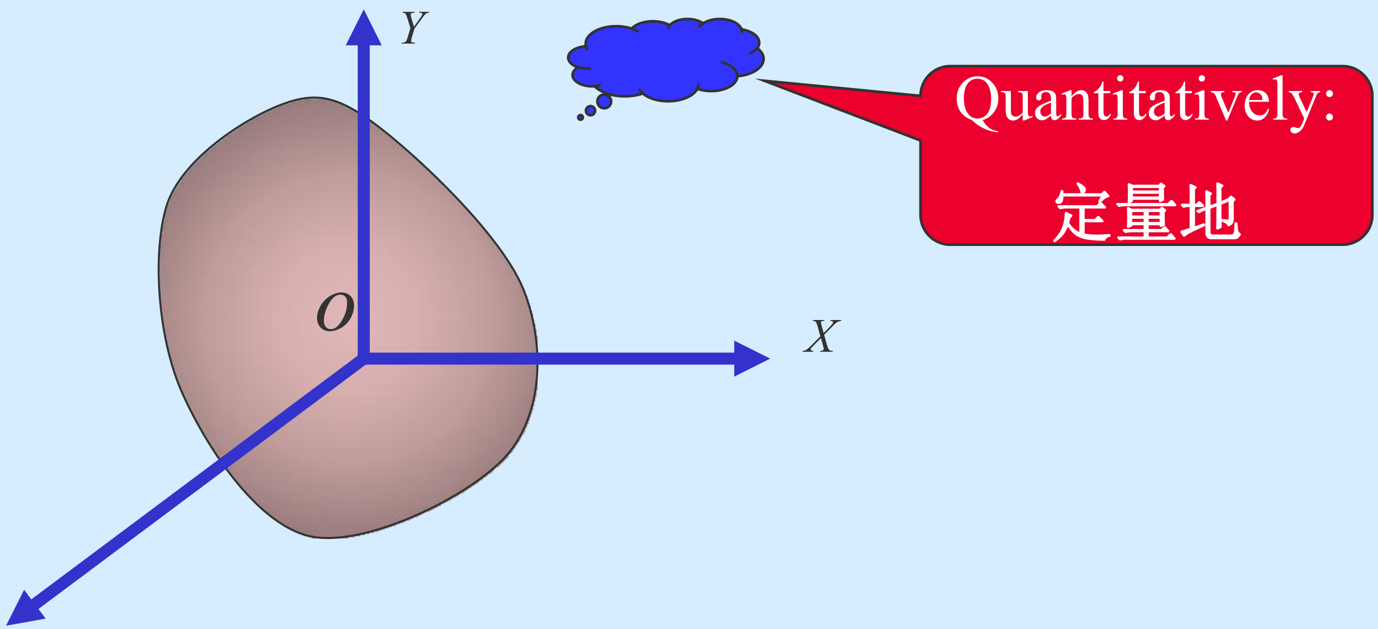
参考系：为描述物体的运动而选取的参考物体。

If we choose different objects as the reference frames to describe（描述） the motion of a given body, the indications（结果） will be different.

3.坐标系：Coordinate system

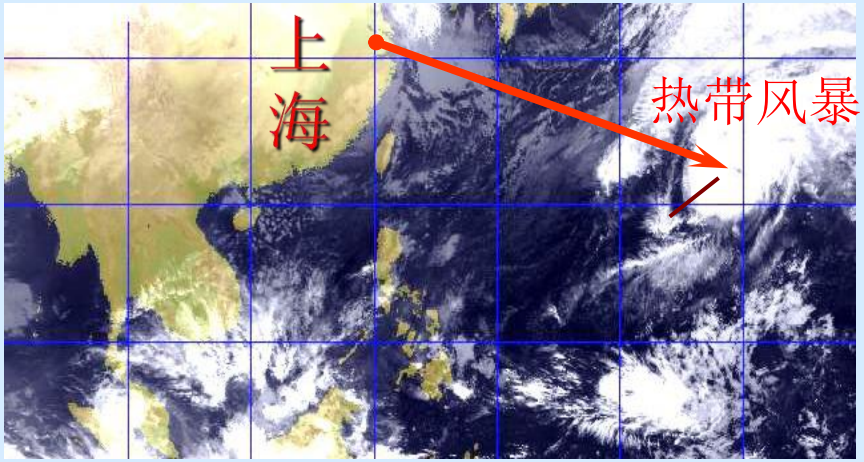
为定量的标定物体的空间位置而设置的坐标系统。

直角坐标系 Cartesian Coordinate system、球坐标系、柱坐标系、自然坐标系



§ 1-2 描述质点运动的物理量

1-2-1 位置矢量与运动方程Position Vector and Motion equation

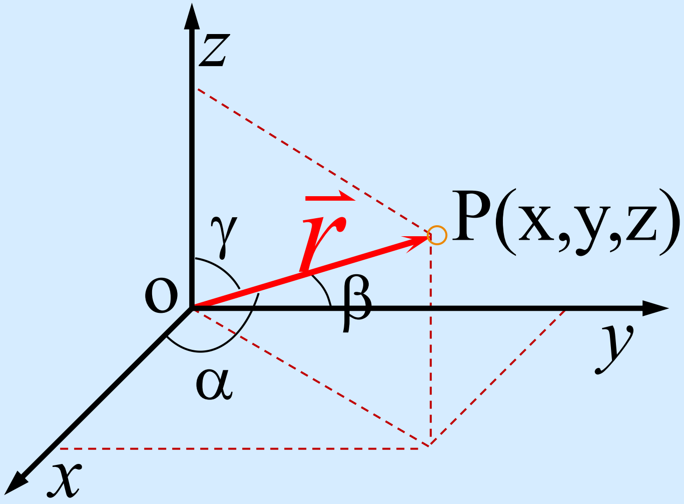


位置矢量 （位矢）
Position Vector

从坐标原点o出发，指向质点所在位置P的一有向线段。

位矢在直角坐标系中表示为：

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

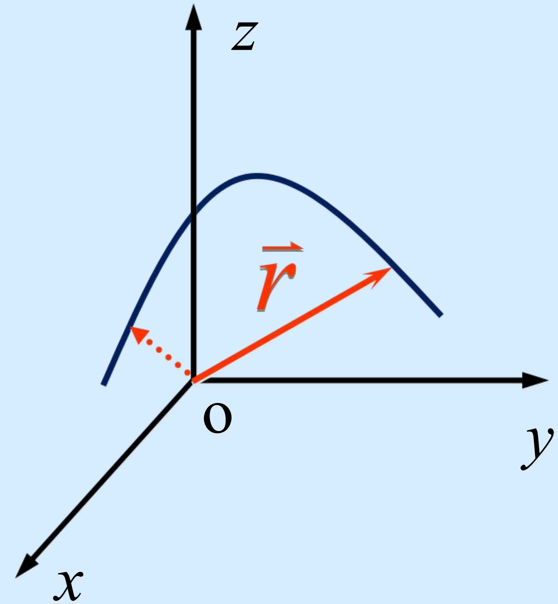


位矢的大小：$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

位矢的方向：$\cos\alpha = \dfrac{x}{r} \quad \cos\beta = \dfrac{y}{r} \quad \cos\gamma = \dfrac{z}{r}$

运动方程： Motion equation

$$\boxed{\vec{r} = \vec{r}(t)}$$



直角坐标系下矢量形式：

$$\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

分量形式：

$$x = x(t)$$
$$y = y(t)$$
$$z = z(t)$$

轨道方程： Path equation

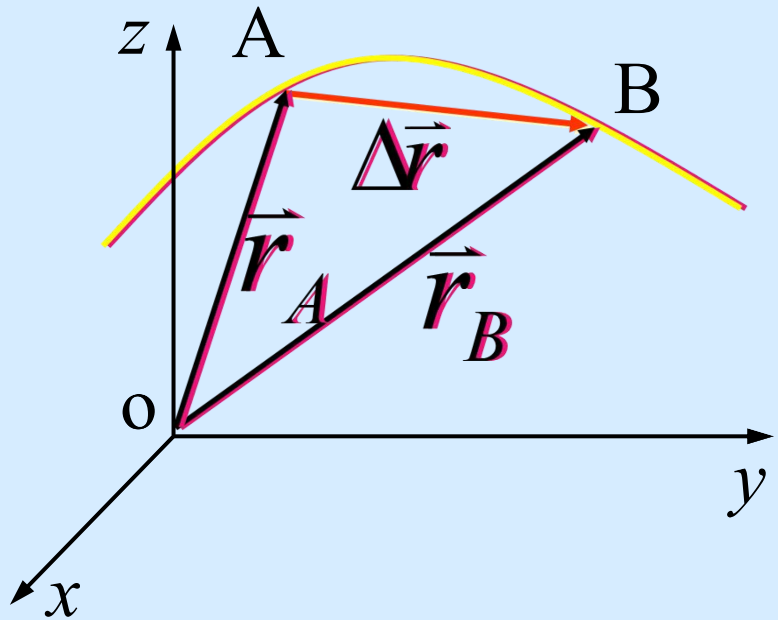
$$F(x,y,z)=0$$

练习1. 已知运动学方程 $\vec{r} = R\cos t\vec{i} + R\sin t\vec{j}$

求轨道方程。 $x^2 + y^2 = R^2$

1-2-2 位移与路程

Displacement and path



设质点作曲线运动

t时刻位于A点，位矢 $\vec{r}_A$

$t+\Delta t$时刻位于B点，位矢$\vec{r}_B$

位移矢量： Displacement

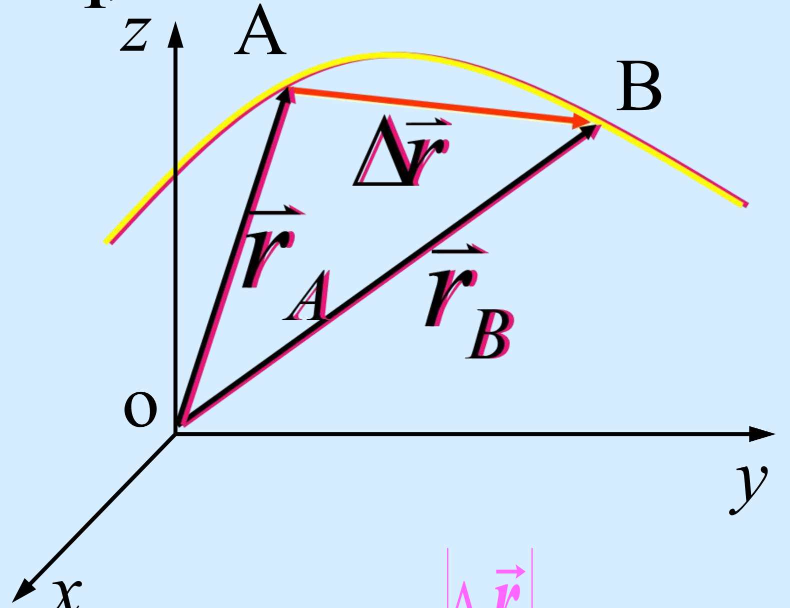
在Δt时间内，*A*到*B*的有向线段，简称位移。

由矢量三角形OAB ⟶ $\Delta\vec{r}=\vec{r}_B-\vec{r}_A = \overrightarrow{AB}$

在直角坐标系中：

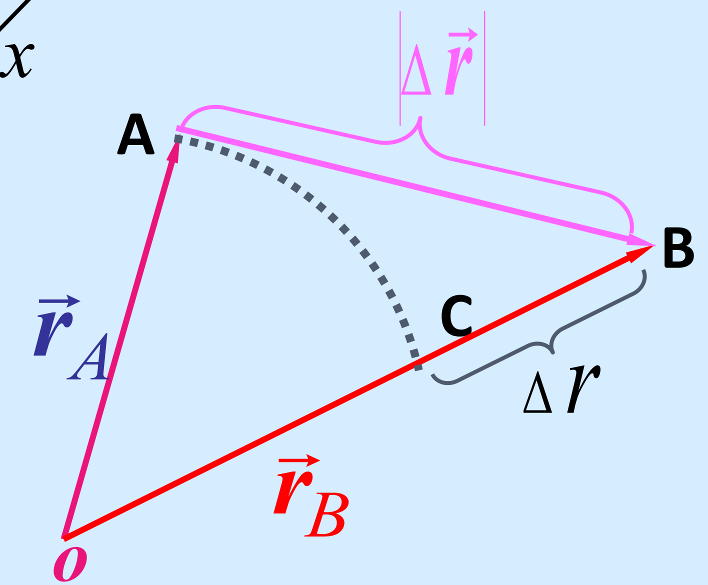
$$\Delta\vec{r}=(x_2-x_1)\vec{i}+(y_2-y_1)\vec{j}+(z_2-z_1)\vec{k}$$
$$=\Delta x\vec{i}+\Delta y\vec{j}+\Delta z\vec{k}$$

$$|\Delta\vec{r}|=\sqrt{\Delta x^2+\Delta y^2+\Delta z^2}$$



方向：$A\rightarrow B$

注意区分：$|\Delta\vec{r}|$、Δr

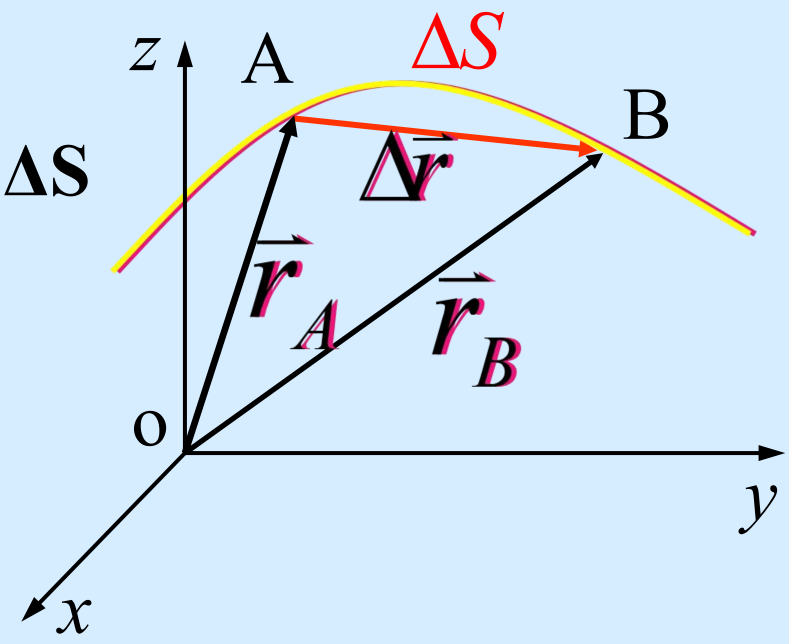


令$OC=OA$

则线段CB是Δr 是位矢模的增量

路程path：

质点在轨道上所经过的曲线长度ΔS



注意

位移： $\Delta\vec{r}$ 矢量

路程： ΔS 标量

$$\mathrm{d}s = \left|\mathrm{d}\vec{r}\right|$$

练习2、质点作曲线运动，下列说法的正确的是（）。

A $\left|\Delta\vec{r}\right| = \Delta r$

B $\Delta\left|\vec{r}\right| = \Delta r$

C $\Delta s = \Delta r$

D $\Delta s = \left|\Delta\vec{r}\right|$

E $\Delta s = \Delta\left|\vec{r}\right|$

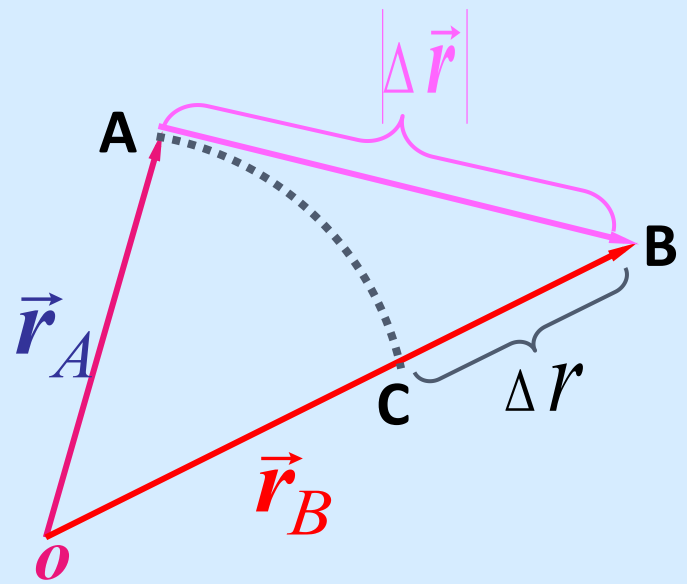
$\vec{r}$ $\quad |\vec{r}|$ $\quad r$ $\quad \vec{r}(t)$

$\vec{v}$ $\quad |\vec{v}|$ $\quad v$

$\Delta\vec{r}$ $\quad |\Delta\vec{r}|$

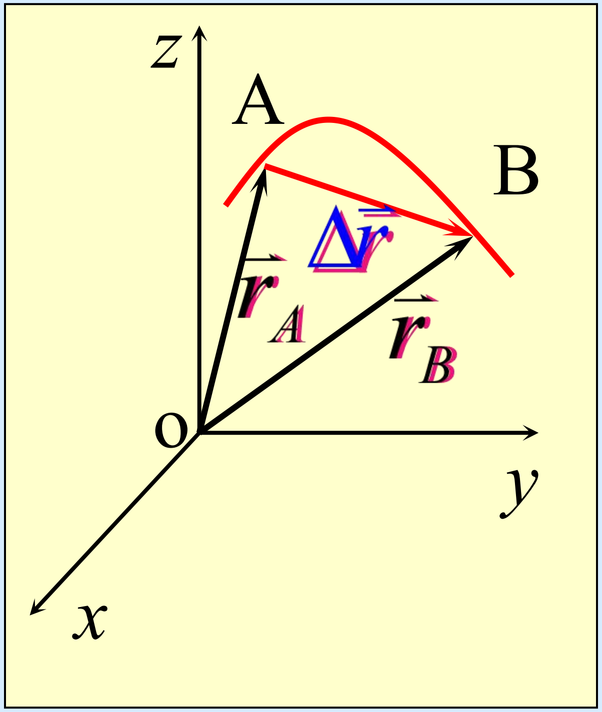
$\Delta|\vec{r}|$ $\quad \Delta r$

s $\quad \Delta s$



1-2-3 速度Velocity

速度是反映质点运动的快慢和方向的物理量



设质点作一般曲线运动

t_A时刻位于A点，t_B时刻位于B点

在Δt时间内发生位移：$\Delta\vec{r}=\vec{r}_B-\vec{r}_A$

- 平均速度Average velocity：

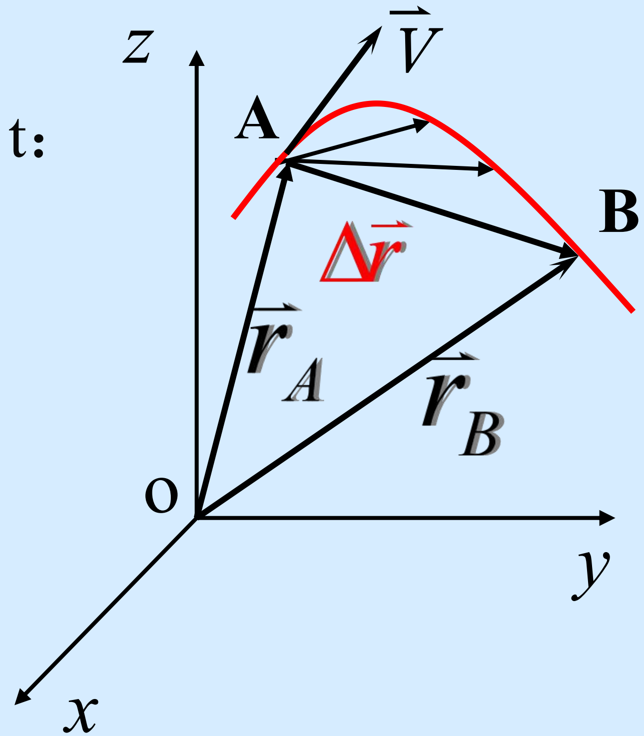
$$\overline{\vec{v}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}\quad \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

平均速度的方向与Δt时间内位移的方向一致

- **瞬时速度：（简称速度）**

（Instantaneous 瞬时） velocity at time t：

质点在某一时刻所具有的速度



$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}\ m.s^{-1}$$

速度的矢量式：

$$\vec{v}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}+v_z\vec{k}$$

速度的三个坐标分量：$v_x=\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$，$v_y=\dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}$，$v_z=\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$

速度的大小：$v=\left|\vec{v}\right|=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$

速度的方向：**轨道上质点所在处的切线，并指向质点运动前进的方向。**

速率： speed

单位时间内所经历的路程。速率是标量。

平均速率 $\overline{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

速率 $v=\dfrac{ds}{dt}$

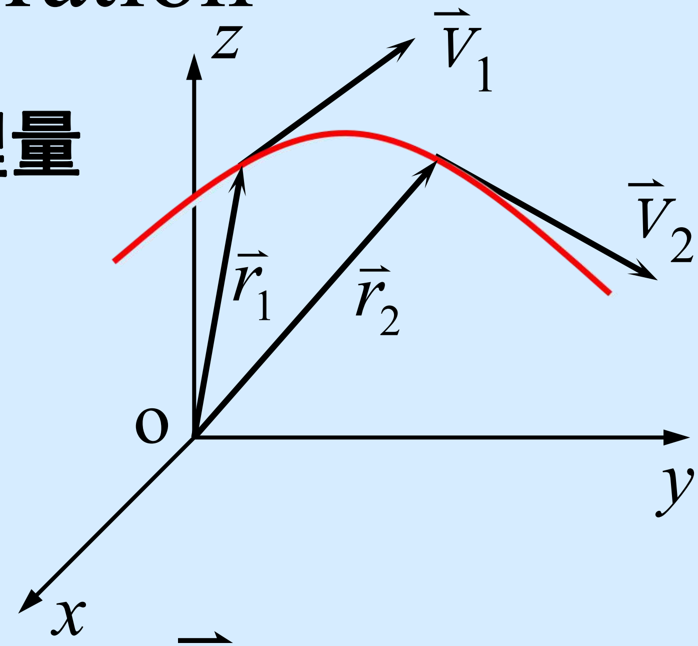
练习3. 一质点在5秒内环行了一个闭合的直径为10 米的圆形路径，求其平均速度与平均速率。

A $\vec{v} = 4$ $v = 6.3m/s$

B $\vec{v} = 0$ $v = 6.3m/s$

C $\vec{v} = 6.3$ $v = 0$

1-2-4　加速度Acceleration



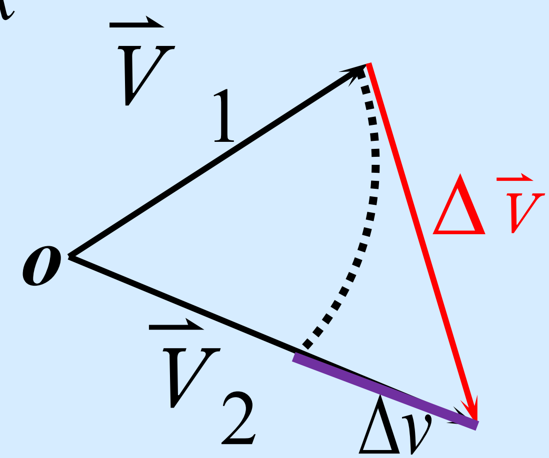
加速度是反映速度变化的物理量

t_1时刻，质点速度为 $\vec{V}_1$

t_2时刻，质点速度为 $\vec{V}_2$

Δt时间内，速度增量为：

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



平均加速度：
Average acceleration

$$\boxed{\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t}} \quad \mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

注意区分$|\Delta\vec{v}|$、Δv

当$\Delta t \to 0$时，平均加速度的极限即为瞬时加速度。

瞬时加速度：（简称加速度）

Instantaneous acceleration

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}\vec{V}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 \vec{r}}{\mathrm{d}t^2} \quad \mathrm{m \cdot s^{-2}}$$

加速度的矢量式：$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}$

$$a_x = \frac{d V_x}{dt} = \frac{\mathrm{d}^2 x}{\mathrm{d}t^2} \qquad a_y = \frac{\mathrm{d} V_y}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 y}{\mathrm{d}t^2} \qquad a_z = \frac{\mathrm{d} V_z}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 z}{\mathrm{d}t^2}$$

加速度的大小： $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

加速度的方向：

当Δt趋向零时，速度增量$\Delta \vec{V}$的极限方向

练习4、已知 $\vec{v}=15\vec{j}+10t\vec{k}(m/s)$ ，求加速度。

解： $\vec{a}=\frac{d\vec{v}}{dt}=10\vec{k}$　　$a=10m/s^2$

$$\alpha=90^\circ;\beta=90^\circ;\gamma=\arccos\frac{10}{10}=0$$

练习5、已知$\vec{r}=-10\vec{i}+15t\vec{j}+5t^2\vec{k}(m)$ ，求t=0, 1秒时的速度。

解： $\vec{v}=\dfrac{d\vec{r}}{dt}=15\vec{j}+10t\vec{k}$

$t=0$时， $\vec{v}=15\vec{j}$

$v=15\ m/s$，方向沿y轴方向。

$t=1$s时， $\vec{v}=15\vec{j}+10\vec{k}$

$$v=\sqrt{15^2+10^2}=18m/s$$

$$\alpha=90;\beta=\arccos\frac{15}{18}=33.7^\circ;\gamma=\arccos\frac{10}{18}=56.3^\circ$$