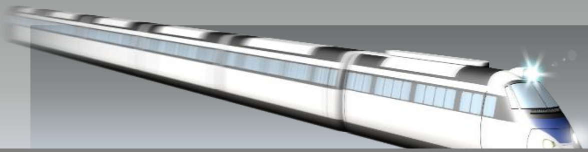
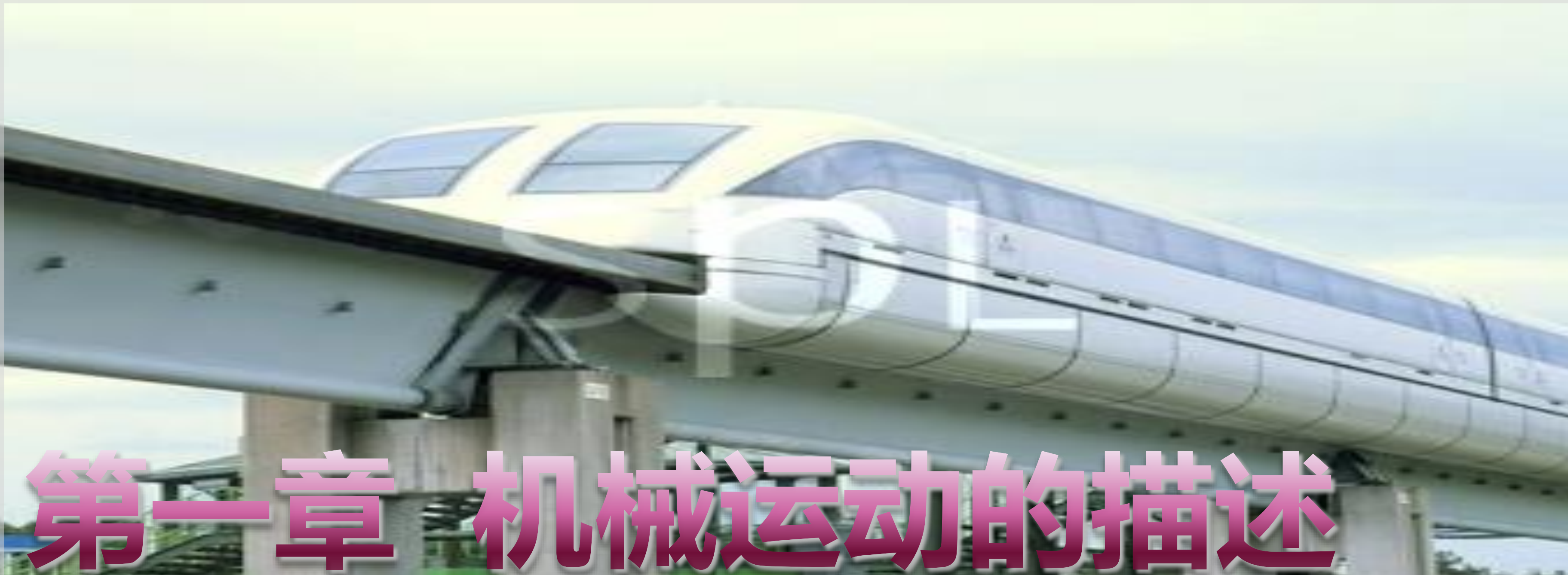
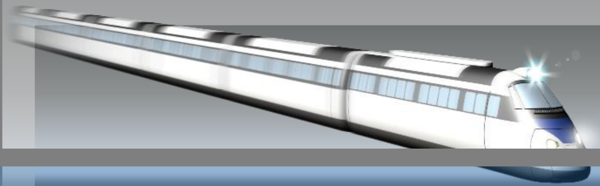




# 第一章 机械运动的描述

https://shuailiu1990.github.io/teaching/general-physics



# 第一章 机械运动的描述

教学内容

- 1.1 运动的描述方法
- 1.2 描述质点运动的物理量
- 1.3 直线运动
- 1.4 曲线运动
- 1.5 质点运动的两类基本问题

# 1.1 运动的描述方法

**思考题：** 物质有哪些运动形式？

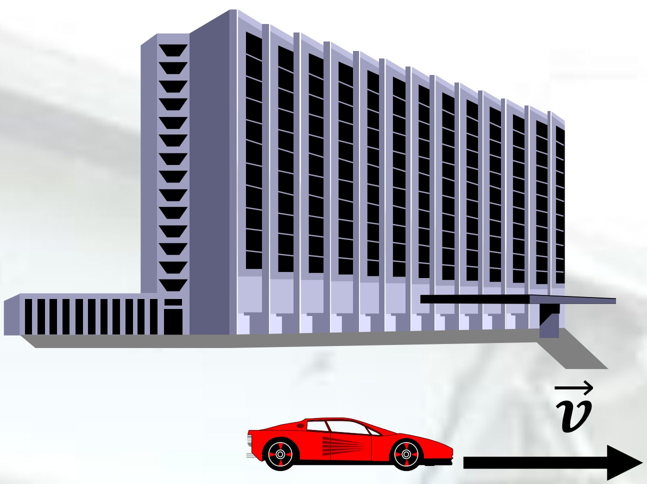
物质的运动形式

- 机械运动：空间位置变化（最简单、最基本）
- 物理运动：能量、热、电磁等变化
- 化学运动：分子、原子重组
- 生物运动：生命变化
- 社会运动：人类社会的有意识活动

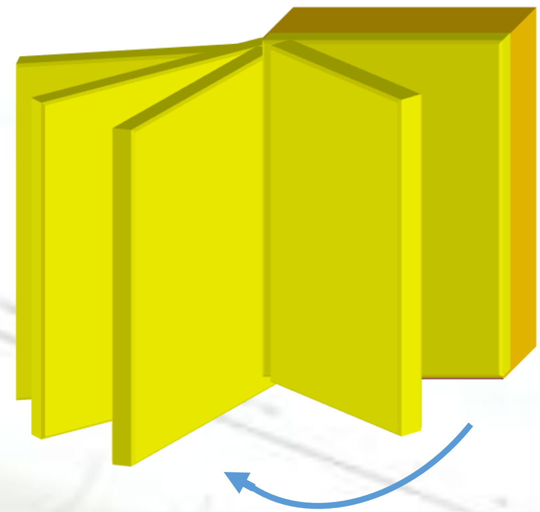
# 1.1 运动的描述方法

机械运动：是指一个物体相对于另一物体（或物体的这一部分相对于另一部分）的位置随时间的变化。

力学的研究对象：机械运动。




平动



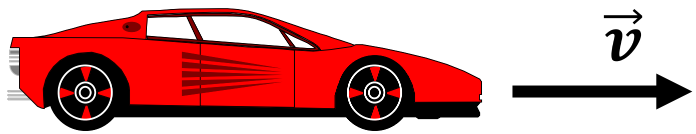
转动

平动：物体内各点的位置没有相对变化，各点移动的路径完全相同，则可用物体上任一点的运动来代替整个物体的运动

上一页 下一页 返回目录

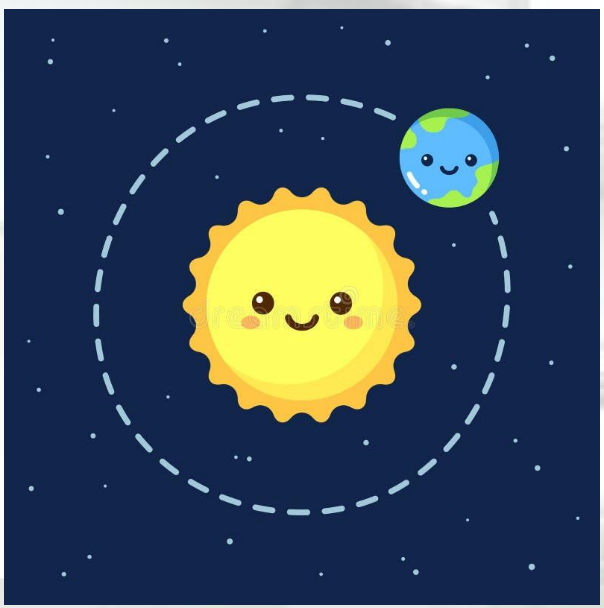
# 1.1.1 质点

**思考题：** 汽车大小或者形状是否影响对其在公路整体运动的研究？




**质点：** 若物体大小、形状对研究物体运动产生的影响忽略不计，则物体可以用一个**点**的运动代替。

**在任何情况下都可以将物体看作质点吗？**

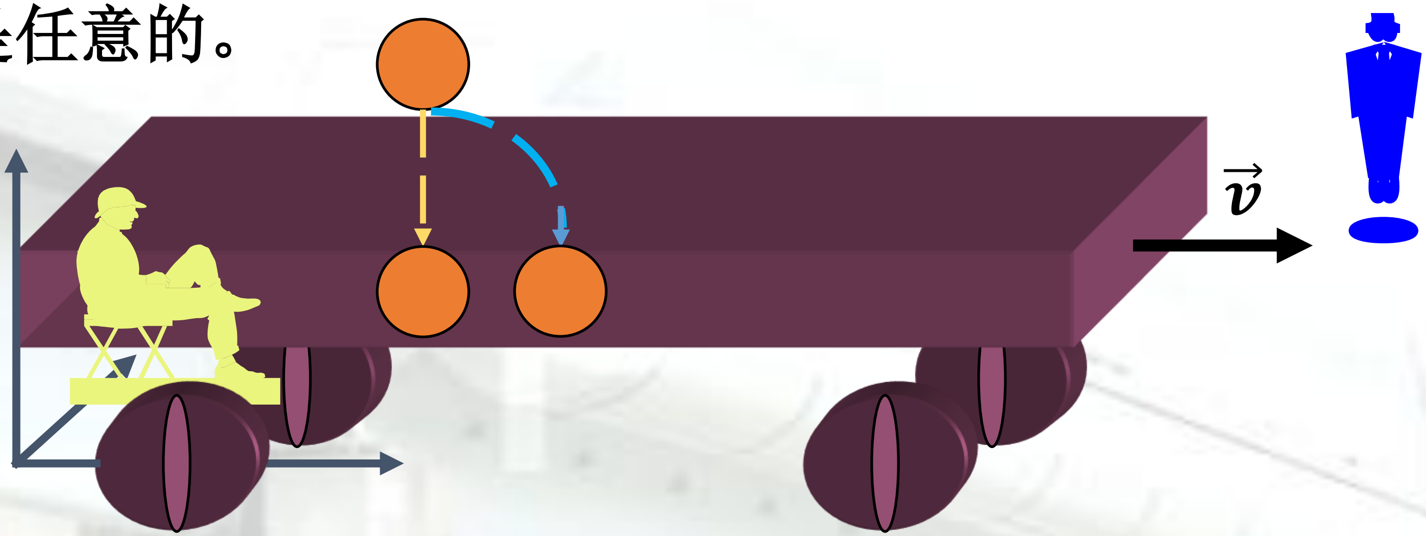



返回目录

# 1.1.2 参考系与坐标系

物体的运动是绝对的，但是运动的描述是相对的。

描述物体运动时被选作参考（标准）的物体或物体群称为参考系。选不同的参考系，运动的描述是不同的。参考系的选择是任意的。



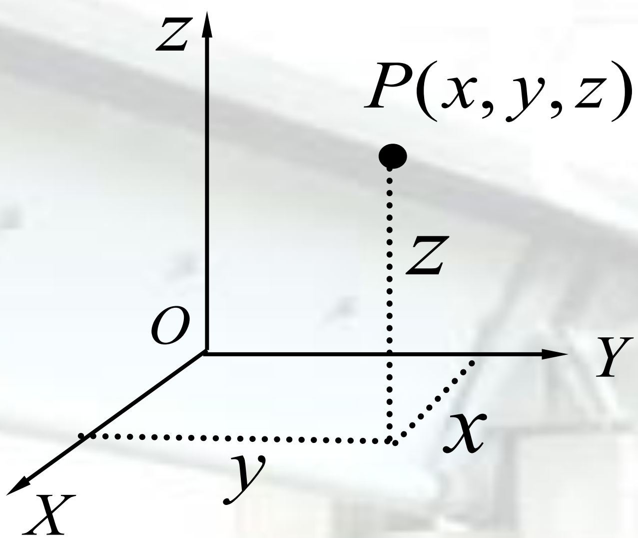

例如，在匀速直线运动的火车上所作的自由落体运动时，

火车上的观察者：物体作匀变速直线运动；

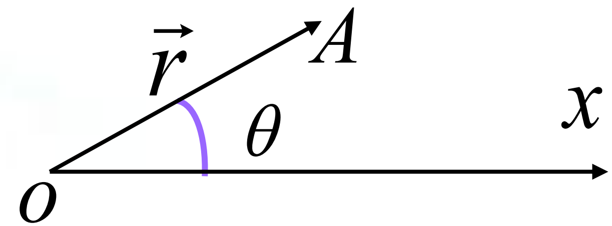
地面上的观察者：物体作平抛运动。

# 1.1.2 参考系与坐标系

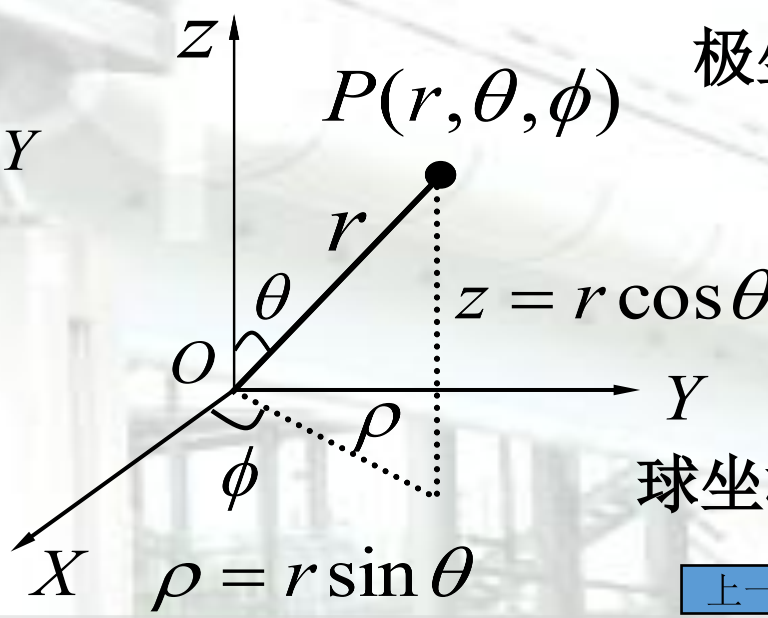
为定量地描述物体位置而引入，需要在参考系上建立坐标系。坐标系的选取具有任意性，但以研究问题方便为原则选取坐标系。常用的坐标系有：




直角坐标系



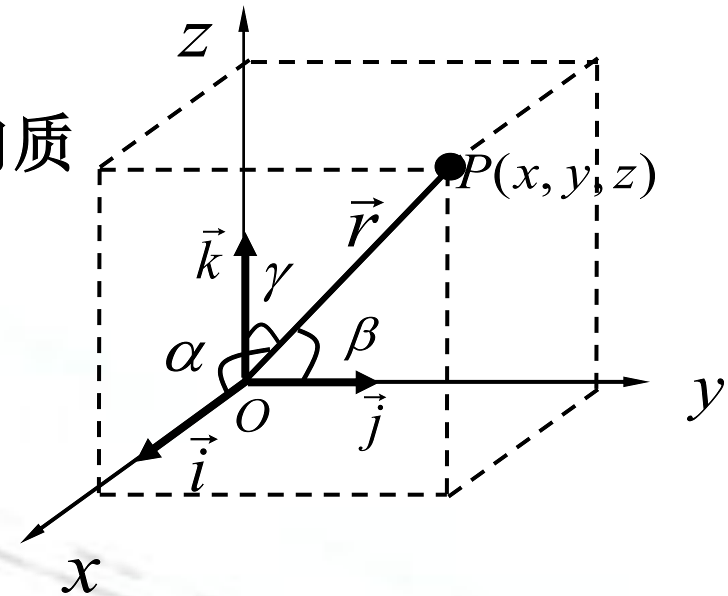

极坐标系




球坐标系

# 1.2 描述质点运动的物理量

## 1.2.1 位置矢量$\vec{r}$




位置矢量（位矢）：从参考点$O$指向质点$P$所在位置的有向线段$\vec{r}$

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

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

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

$\alpha, \beta, \gamma$分别是$\vec{r}$与坐标轴$x, y, z$正方向的夹角

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = ?$$

上一页 下一页 返回目录

# 1.2.2 运动学方程

位矢随时间的变化规律称为运动学方程，简称运动方程。表现形式如下

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

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

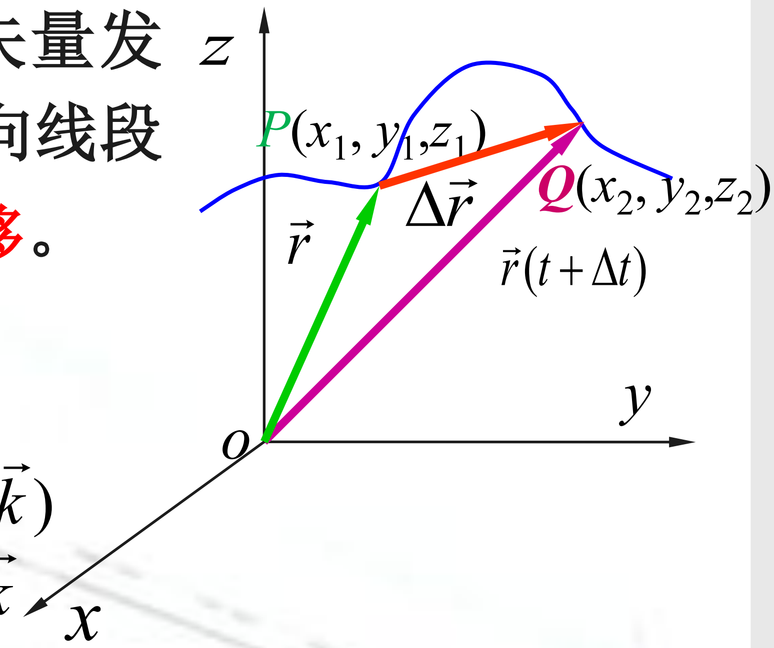
质点在空间所经过的路径称为轨道方程。从上式中消去$t$即可得到轨道方程。

例1.1 一质点的运动学方程为$\vec{r}=2t\vec{i}+5t^2\vec{j}$, 其中$r$单位为m，$t$的单位为s。求该质点的轨道方程。

上一页 下一页 返回目录

# 1.2.3 位移

经过时间间隔$\Delta t$后，质点位置矢量发生变化，把由始点 $P$指向终点$Q$的有向线段$\overrightarrow{PQ}$称为点$P$到$Q$的位移矢量，简称**位移**。




$$
\begin{aligned}
\overrightarrow{PQ} &= \Delta\vec{r} \\
&= \vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t) \\
&= (x_2\vec{i} + y_2\vec{j} + z_2\vec{k}) - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}) \\
&= (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k} \\
&= \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k}
\end{aligned}
$$

位移的大小为

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

$P$到$Q$的**路程**$\Delta s$为实际运动轨迹的长度

位移的方向与$x$，$y$，$z$轴正方向夹角的余弦为

$$\cos\alpha = \frac{\Delta x}{|\Delta\vec{r}|}, \cos\beta = \frac{\Delta y}{|\Delta\vec{r}|}, \cos\gamma = \frac{\Delta z}{|\Delta\vec{r}|}$$

# 1.2.3 位移

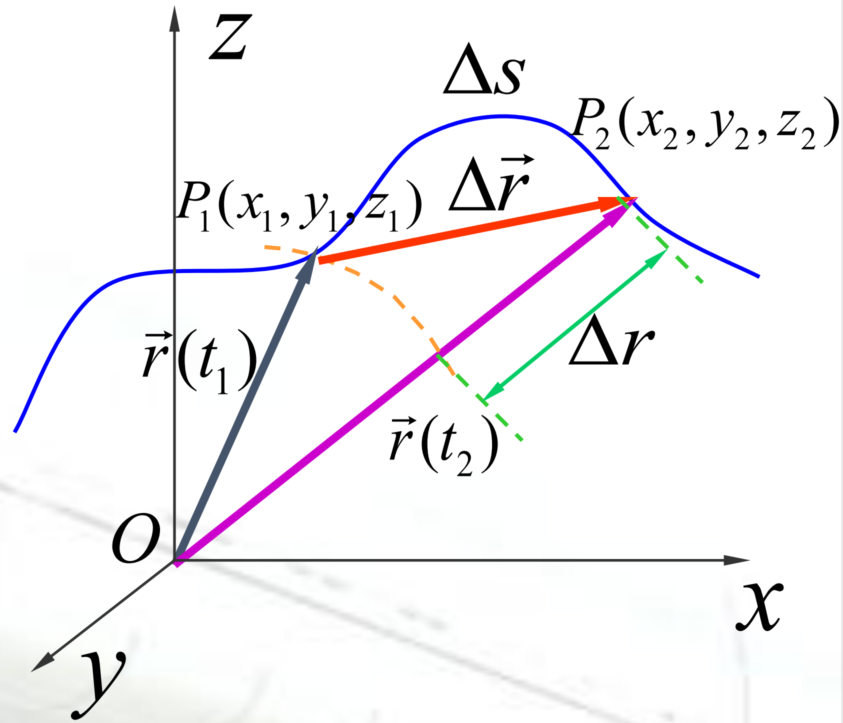
## 位移的物理意义

**A）** 确切反映物体在空间位置的变化，与路径无关，只决定于质点的始末位置

**B）** 反映了运动的矢量性和叠加性

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

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




注意

$$\left|\Delta\vec{r}\right| \neq \Delta r$$

位矢长度的变化

$$\Delta r = \sqrt{x_2^{\ 2} + y_2^{\ 2} + z_2^{\ 2}} - \sqrt{x_1^{\ 2} + y_1^{\ 2} + z_1^{\ 2}}$$

# 1.2.3 位移

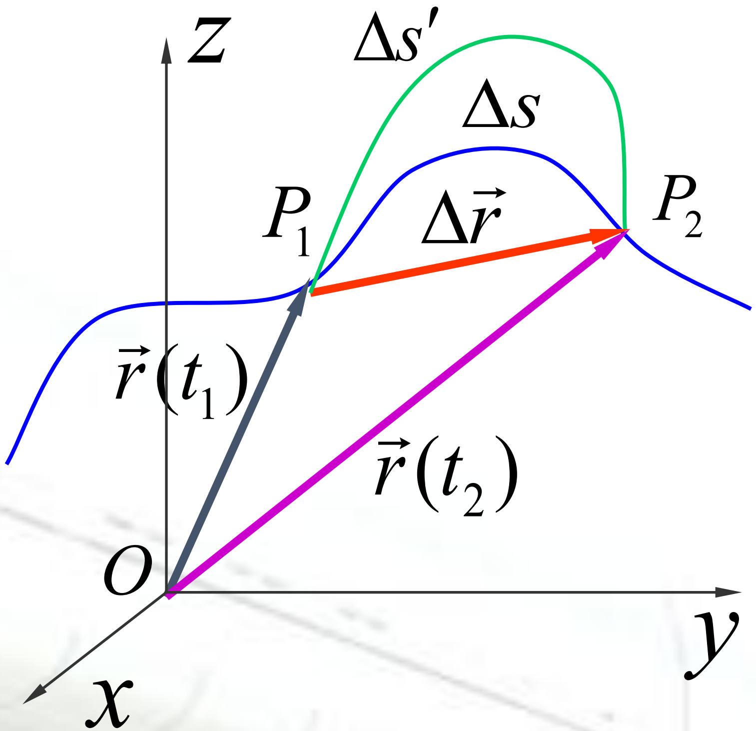
**讨论** 位移与路程

（**A**）$P_1P_2$两点间的路程是不唯一的，可以是$\Delta s$或$\Delta s'$而位移$\Delta\vec{r}$是唯一的

（**B**）一般情况，位移大小不等于路程$|\Delta\vec{r}| \neq \Delta s$

（**C**）什么情况$|\Delta\vec{r}| = \Delta s$。不改变方向的直线运动

（**D**）位移是矢量，路程是标量

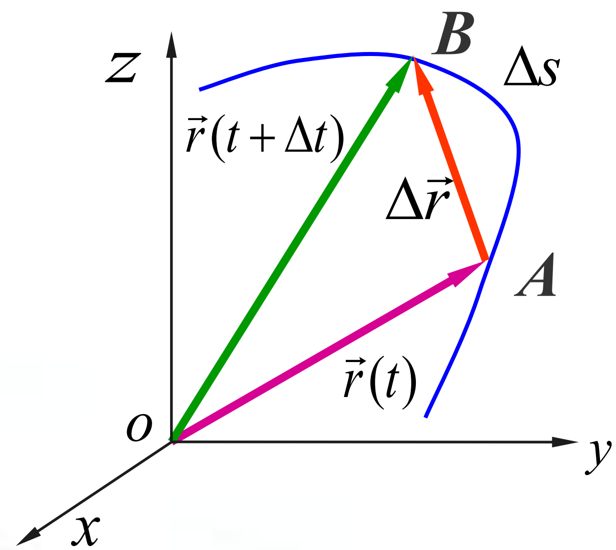


# 1.2.4 速度

## 1 平均速度

在$\Delta t$时间内，质点从点$A$运动到点$B$，其位移为

$$\Delta\vec{r}=\vec{r}(t+\Delta t)-\vec{r}(t)$$




$\Delta t$时间内，质点的平均速度

$$\bar{\vec{v}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

$$=\frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i}+\frac{\Delta y}{\Delta t}\vec{j}+\frac{\Delta z}{\Delta t}\vec{k}$$

$$=\bar{v}_x\vec{i}+\bar{v}_y\vec{j}+\bar{v}_z\vec{k}$$

平均速度大小

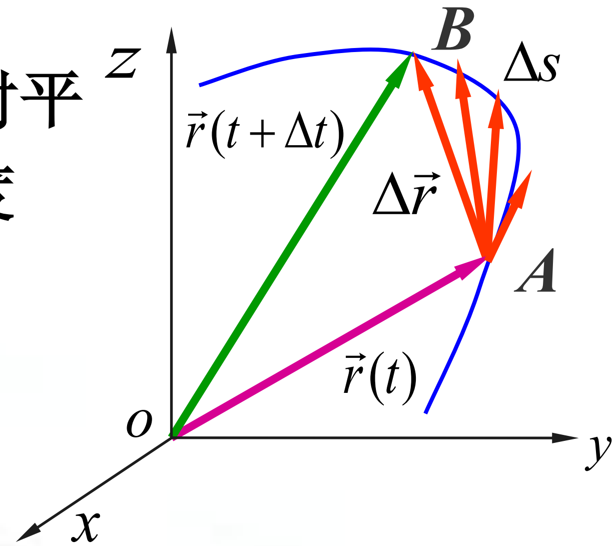
$$\left|\bar{\vec{v}}\right|=\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)^2+\left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)^2+\left(\frac{\Delta z}{\Delta t}\right)^2}$$

平均速度$\bar{\vec{v}}$与$\Delta\vec{r}$同方向

# 1.2.4 速度

## 2 瞬时速度

描述质点在某一时刻的运动情况，对平均速度取极限值，即瞬时速度，简称速度




$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

$$=\frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$=\frac{dx}{dt}\vec{i}+\frac{dy}{dt}\vec{j}+\frac{dz}{dt}\vec{k}$$

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

速度具有相对性，在不同参考系中，速度不同

速度大小为

$$|\vec{v}|=\sqrt{v_x^2+v_y^2+v_z^2}$$

质点在某一点的速度方向就是沿该点曲线的切线方向

上一页 下一页 返回目录

## 3 速率

质点所经历的路程$\Delta s$与时间$\Delta t$的比值为质点在时间$\Delta t$内的**平均速率**

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

把$\Delta t \to 0$时平均速率的极限称为时刻$t$的瞬时速率，简称速率

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

# 1.2.4 速度

讨论

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

（**A**）$\dfrac{dr}{dt}$　　（**B**）$\dfrac{d\vec{r}}{dt}$

（**C**）$\dfrac{d|\vec{r}|}{dt}$　　（**D**）$\sqrt{(\dfrac{dx}{dt})^2+(\dfrac{dy}{dt})^2}$

# 1.2.5 加速度

加速度描述速度在某一时刻速度大小和方向的变化

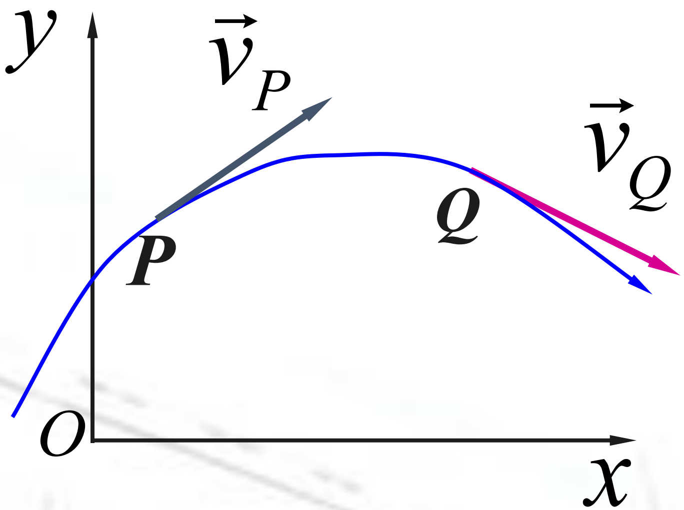
## 1 平均加速度

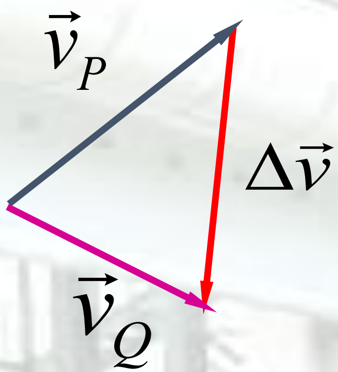
单位时间内的速度增量

即平均加速度

$$\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

$$= \frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{i} + \frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{j} + \frac{\Delta v_z}{\Delta t}\vec{k}$$




$\bar{\vec{a}}$与$\Delta\vec{v}$同方向

# 1.2.5 加速度

## 2 瞬时加速度

当$\Delta t \to 0$时，平均速度的极限值为瞬时加速度，简称加速度

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

$$= \frac{dv_x}{dt}\vec{i} + \frac{dv_y}{dt}\vec{j} + \frac{dv_z}{dt}\vec{k}$$

$$= \frac{d^2x}{dt^2}\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\vec{k}$$

$$= a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

加速度的大小为

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

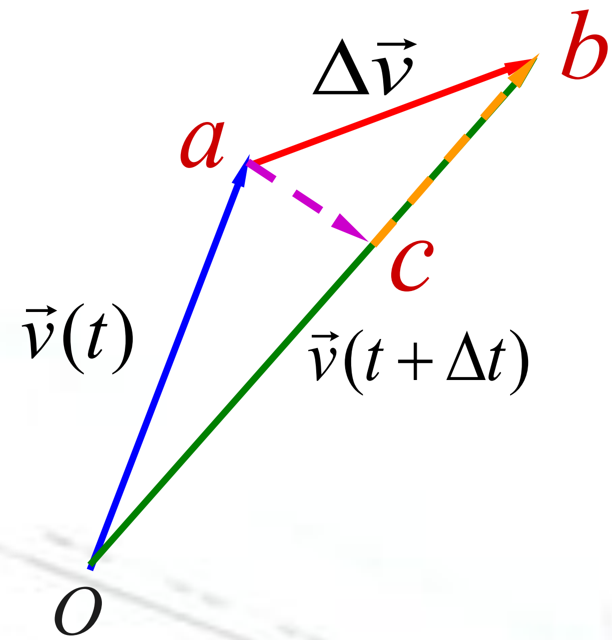
上一页 下一页 返回目录

# 1.2.5 加速度

**讨论** $|\Delta\vec{v}| \neq \Delta v$ ?

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}(t+\Delta t) - \vec{v}(t)$$

$$|\Delta\vec{v}| = |\vec{v}(t+\Delta t) - \vec{v}(t)|$$




在$\boldsymbol{Ob}$上截取$\overline{\boldsymbol{Oc}} = \overline{\boldsymbol{Oa}}$，有

$$\Delta v = cb$$

$$\Delta\vec{v} = \overrightarrow{ac} + \overrightarrow{cb}$$

$$= \Delta\vec{v}_n + \Delta\vec{v}_t$$

$$\begin{cases} \Delta\vec{v}_n = \overrightarrow{ac} \\ \Delta\vec{v}_t = \overrightarrow{cb} \end{cases}$$

速度方向变化

速度大小变化

上一页 下一页 返回目录

# 1.2.5 加速度

讨论 $|\vec{a}| = a\,?$

**例** 匀速率圆周运动

因为$v(t)=v(t+dt)$

$$\therefore a = \frac{dv}{dt} \equiv 0$$

而

$$|\vec{a}| = \left|\frac{d\vec{v}}{dt}\right| = \frac{|d\vec{v}|}{dt} \neq 0$$

$$\therefore |\vec{a}| \neq a$$