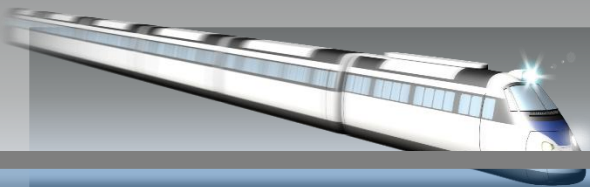


第一章 机械运动的描述

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





第一章 机械运动的描述

教学内容

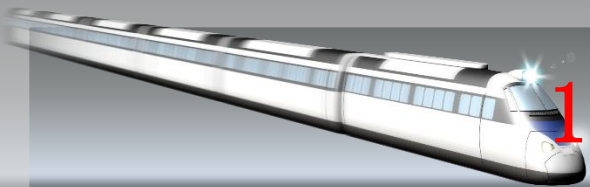
1.1 运动的描述方法

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

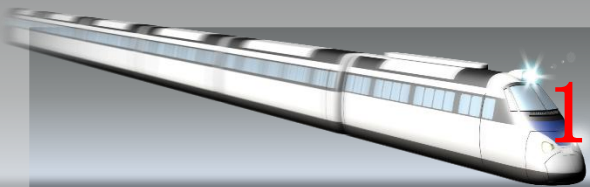
机械运动：空间位置变化(最简单、最基本)

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

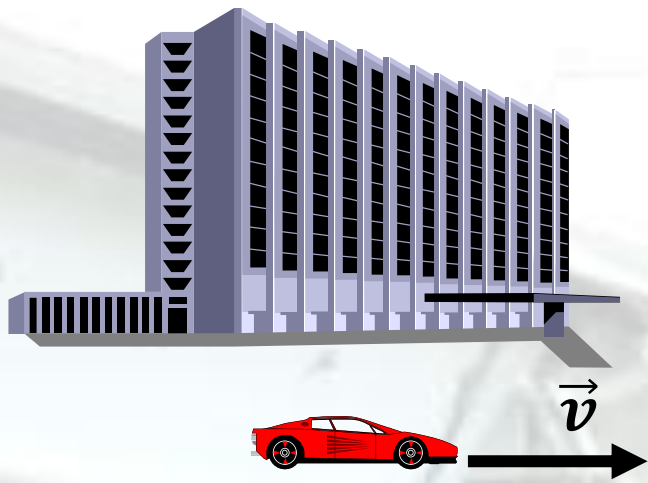
社会运动：人类社会的有意识活动



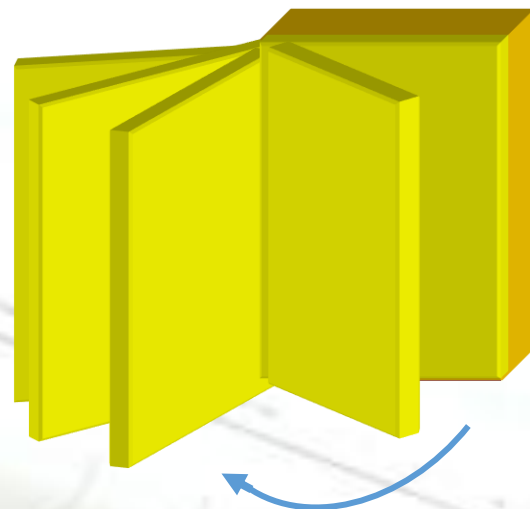
1.1 运动的描述方法

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。**

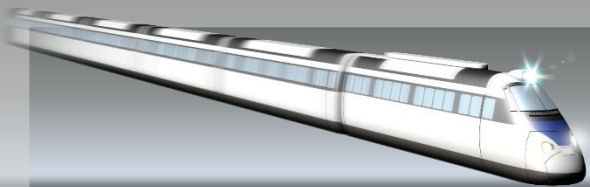


平动



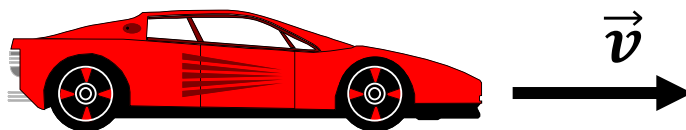
转动

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



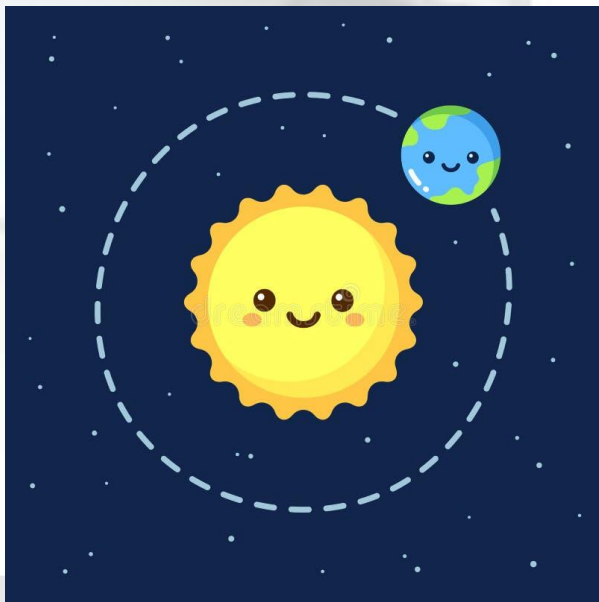
1.1.1 质点

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？

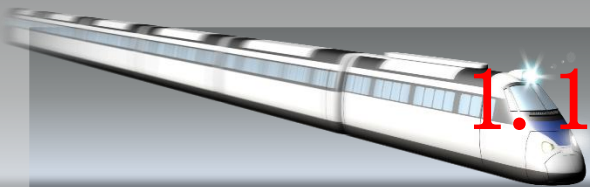


质点：若物体大小、形状对研究物体运动产生的影响忽略不计，则物体可以用一个**点**的运动代替。

在任何情况下都可以将物体看作质点吗？



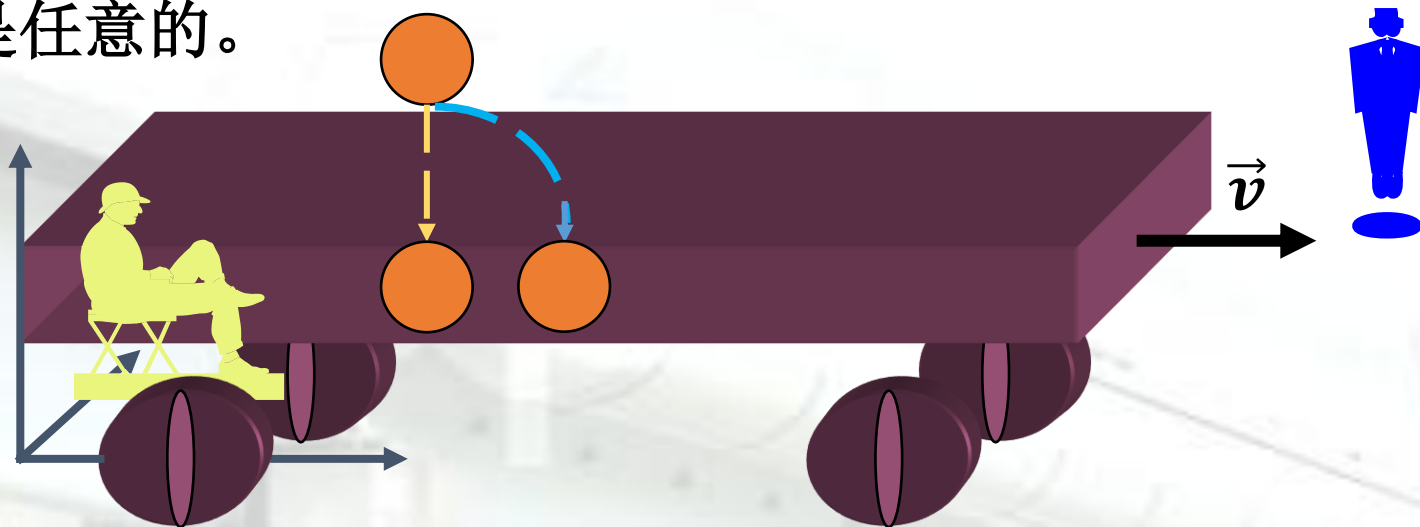
[返回目录](#)



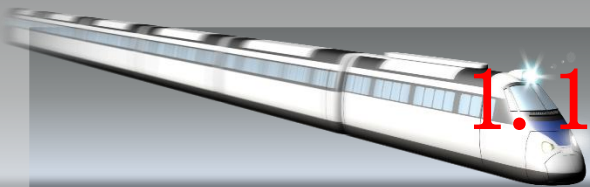
1.1.2 参考系与坐标系

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。

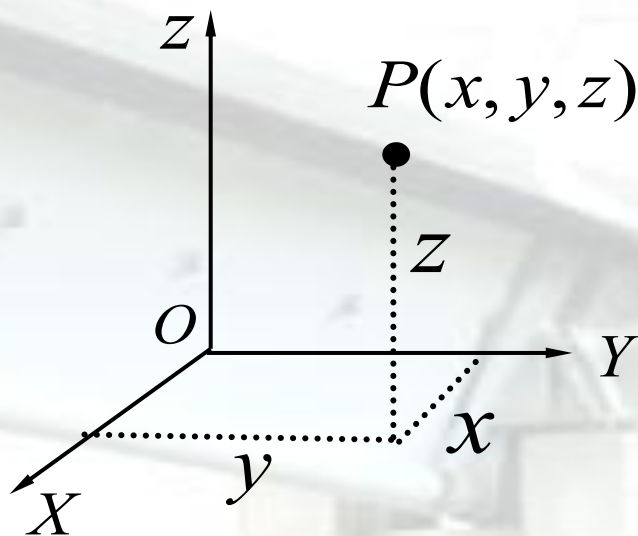


例如，在匀速直线运动的火车上所作的自由落体运动时，
火车上的观察者：物体作匀变速直线运动；
地面上的观察者：物体作平抛运动。

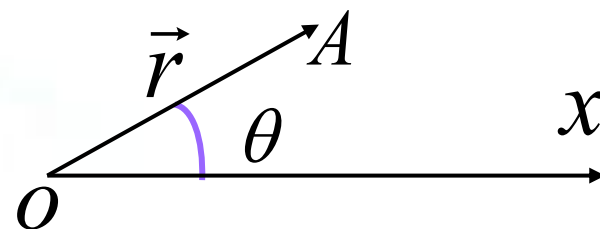


1.1.2 参考系与坐标系

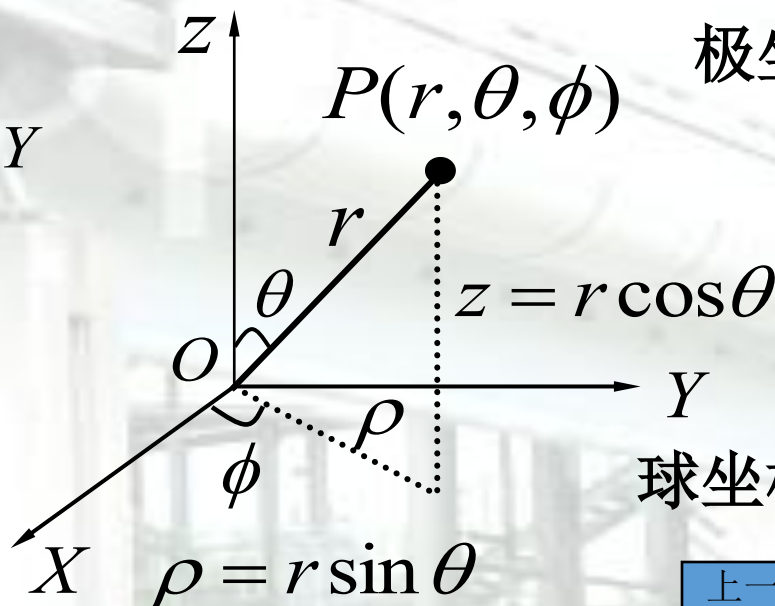
为定量地描述物体位置而引入，需要在参考系上建立坐标系。坐标系的选取具有任意性，但以研究问题方便为原则选取坐标系。常用的坐标系有：



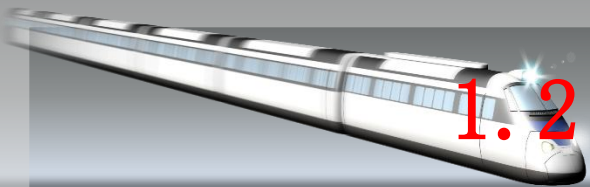
直角坐标系



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}

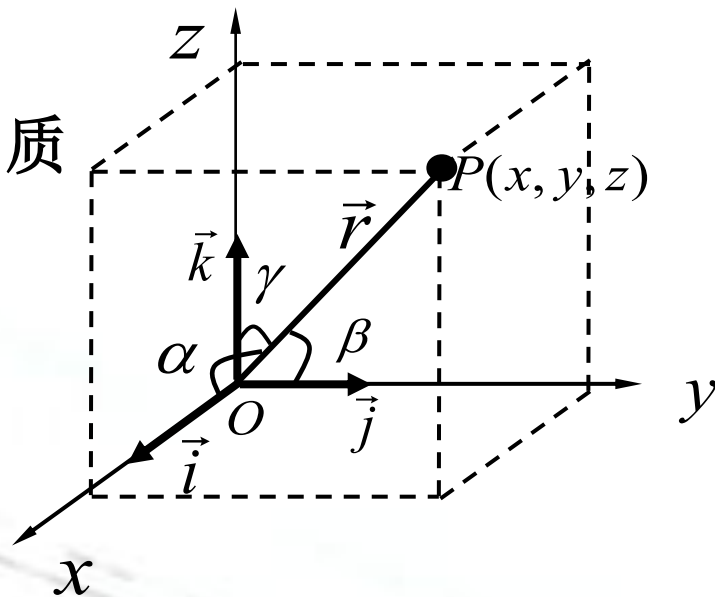
$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

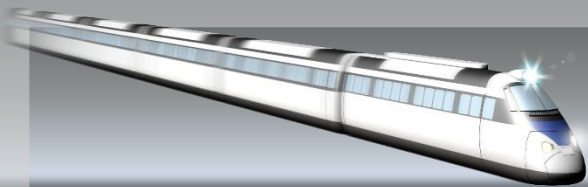
$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

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

α, β, γ 分别是 \vec{r} 与坐标轴 x, y, z 正方向的夹角

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





1.2.2 运动学方程

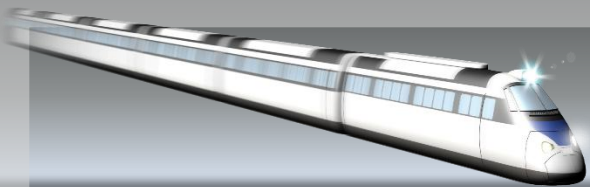
位矢随时间的变化规律称为**运动学方程**，简称运动方程。
表现形式如下

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

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

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。

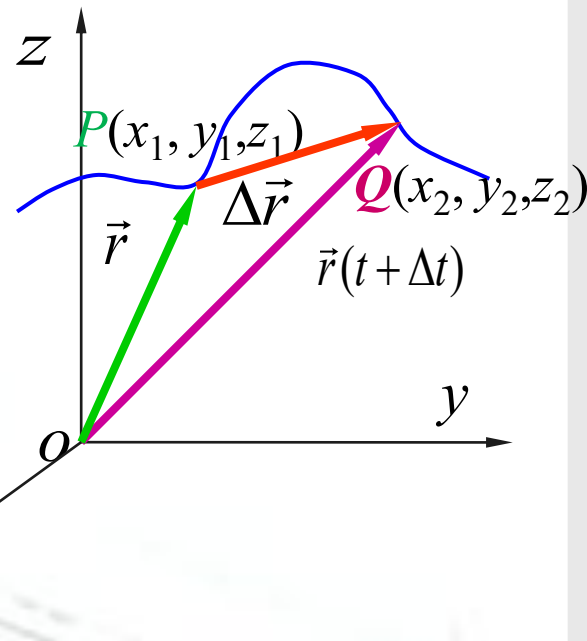
例1.1 一质点的运动学方程为 $\vec{r} = 2t\vec{i} + 5t^2\vec{j}$ ，其中 r 单位为m， t 的单位为s。求该质点的轨道方程。



1.2.3 位移

经过时间间隔 Δt 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**。

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



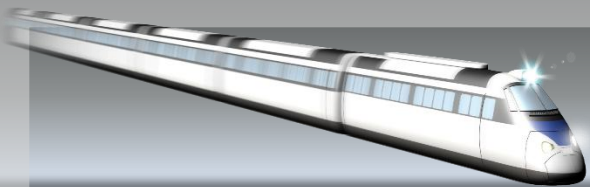
位移的大小为

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

P 到 Q 的**路程** Δs 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

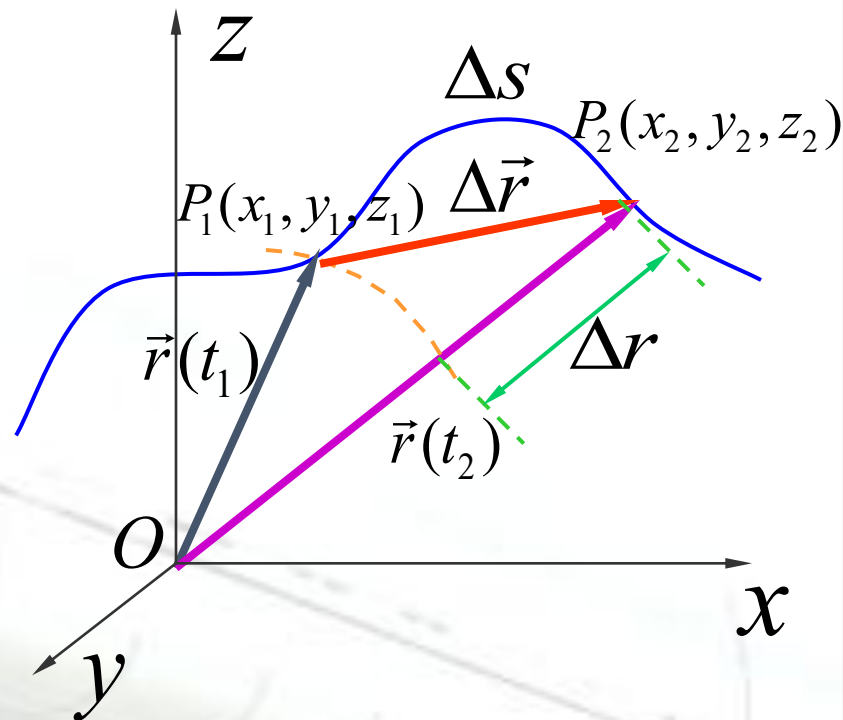
位移的物理意义

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

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

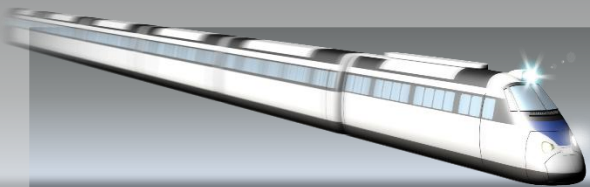
位矢长度的变化

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

上一页

下一页

返回目录



1.2.3 位移

讨论

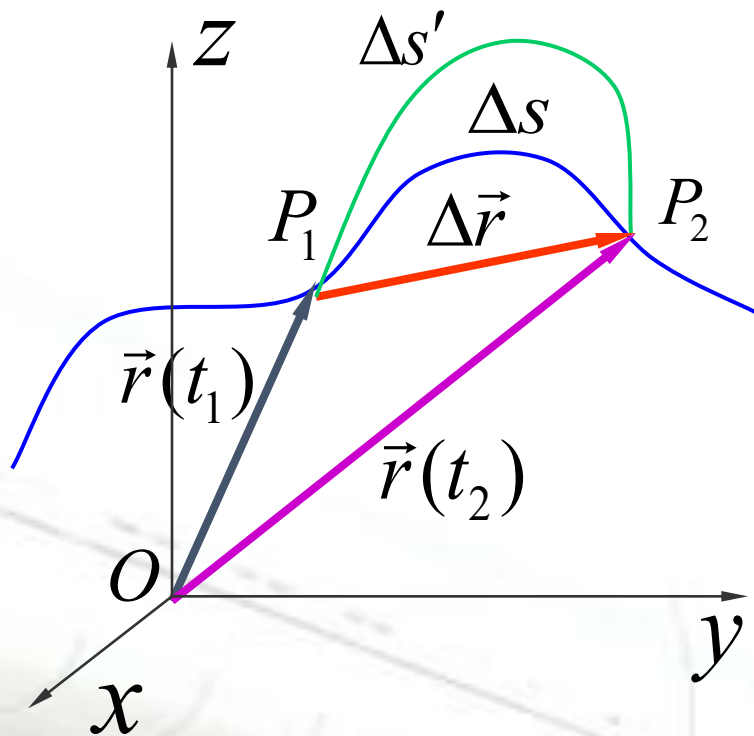
位移与路程

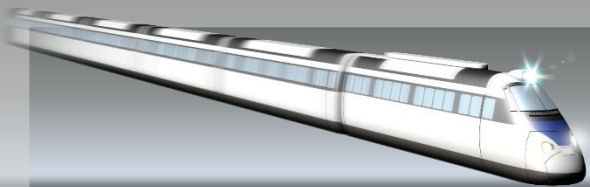
(A) P_1P_2 两点间的路程是不唯一的，可以是 Δs 或 $\Delta s'$ 而位移 $\Delta \vec{r}$ 是唯一的

(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 Δt 时间内，质点从点 A 运动到点 B ，其位移为

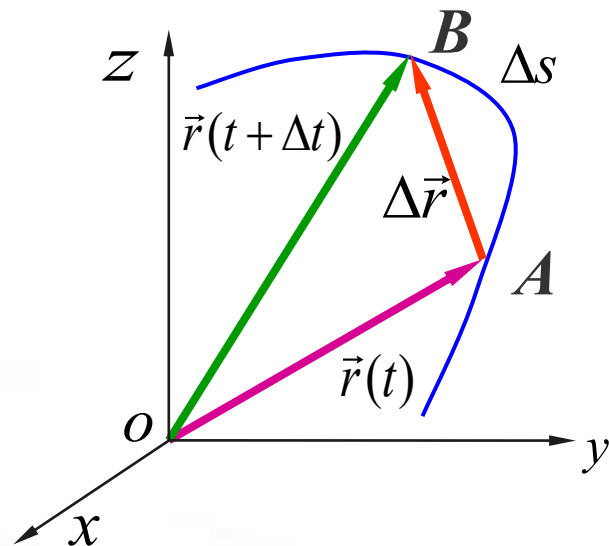
$$\Delta \vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$$

Δt 时间内，质点的平均速度

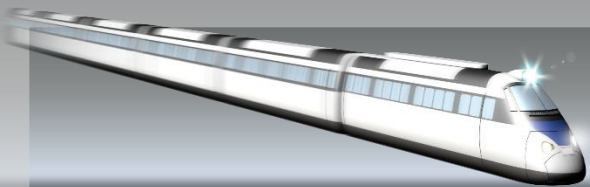
$$\begin{aligned}\bar{\vec{v}} &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\ &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \vec{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \vec{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t} \vec{k} \\ &= \bar{v}_x \vec{i} + \bar{v}_y \vec{j} + \bar{v}_z \vec{k}\end{aligned}$$

平均速度大小

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



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



1.2.4 速度

2 瞬时速度

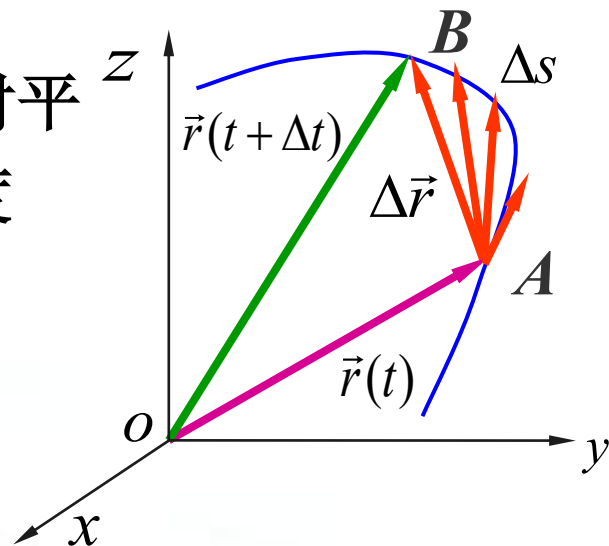
描述质点在某一时刻的运动情况，对平均速度取极限值，即**瞬时速度**，简称速度

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\ &= \frac{d\vec{r}}{dt} \\ &= \frac{dx}{dt} \vec{i} + \frac{dy}{dt} \vec{j} + \frac{dz}{dt} \vec{k} \\ &= v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}\end{aligned}$$

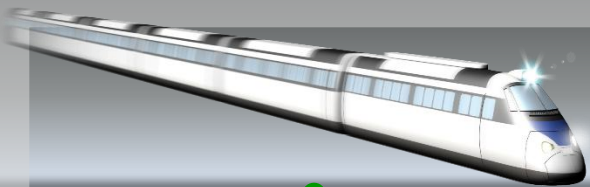
速度大小为

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

质点在某一点的速度方向就是沿该点曲线的**切线**方向



速度具有**相对性**，在不同参考系中，速度不同



1.2.4 速度

讨论

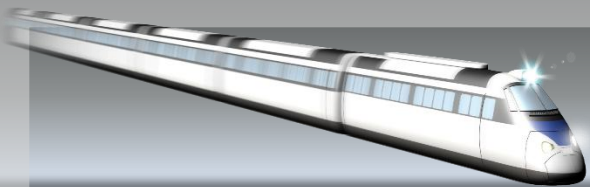
一运动质点在某瞬时位于矢径 $\vec{r}(x, y)$ 的端点处，其速度大小为

(A) $\frac{dr}{dt}$

(B) $\frac{d\vec{r}}{dt}$

(C) $\frac{d|\vec{r}|}{dt}$

★ (D) $\sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$



1.2.4 速度

3 速率

质点所经历的路程 Δs 与时间 Δt 的比值为质点在时间 Δt 内的**平均速率**

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

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

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