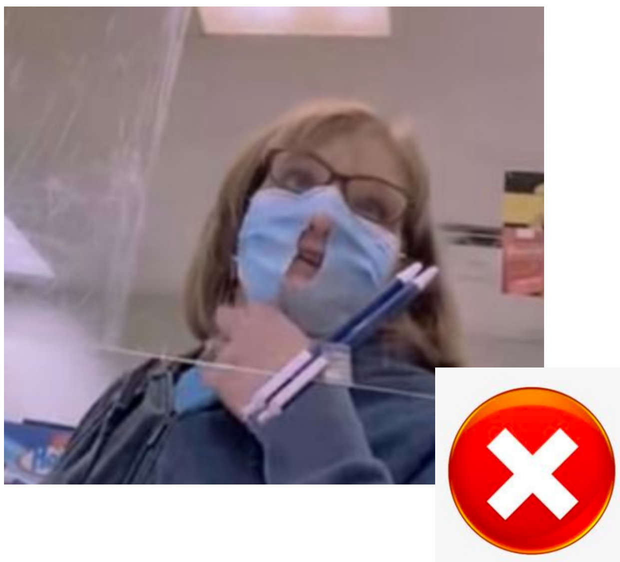
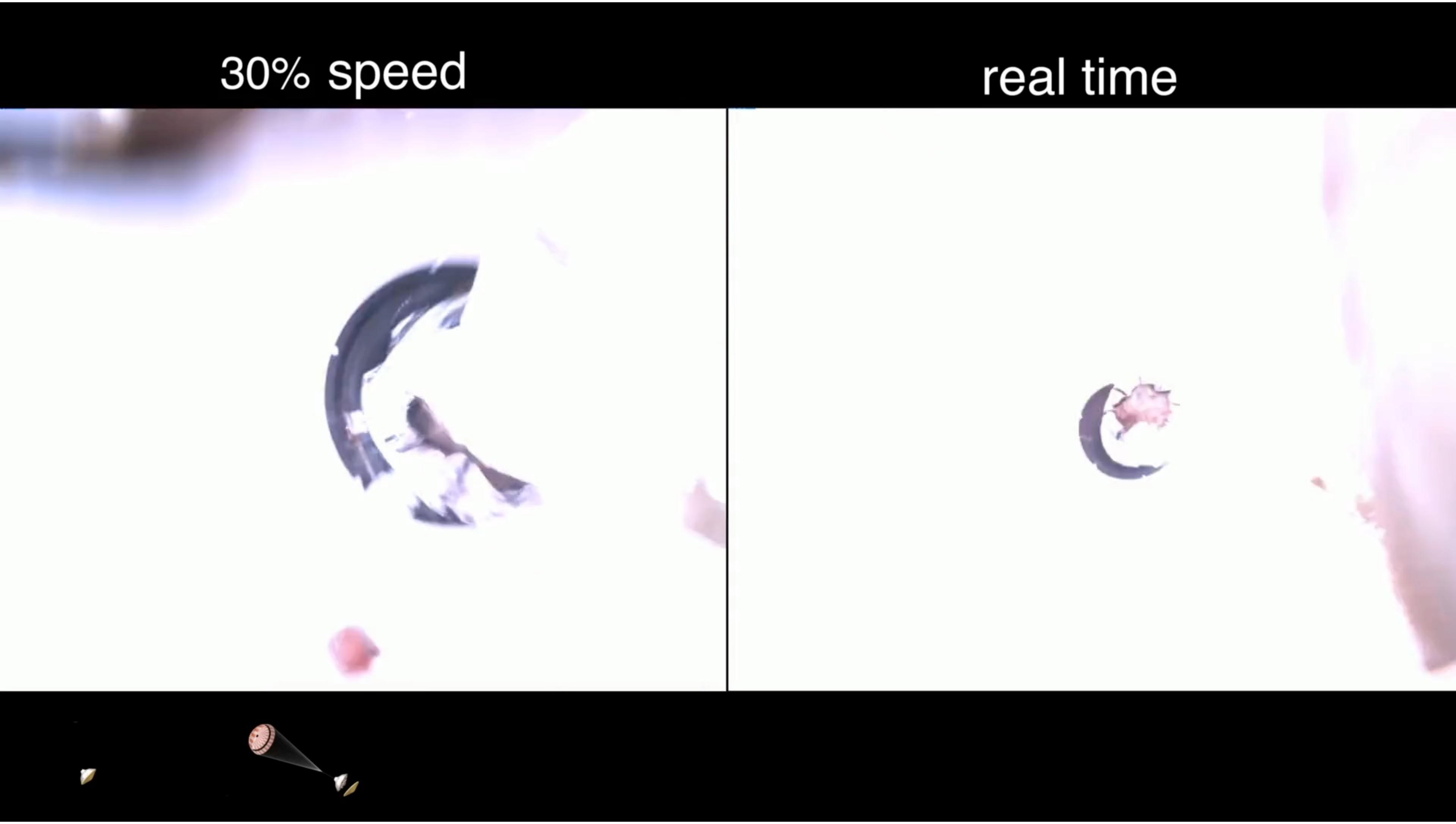
大学物理 B(1)



In memory of Covid19 (2020-2022)


30% speed
real time

力学（Mechanics）

力学：研究物体机械运动的规律

运动学：描述物体的运动

动力学：物体运动变化的原因

第一章　质点运动学

§ **1.1 质点的运动函数**

§ **1.2 位移和速度**

§ **1.3 加速度**

§ **1.4 二维平面运动**

§ **1.5 相对运动和加速参考系**

主观题 2分 设置

你驾船以5m/s的静水速度，在流速3m/s的河中逆流而上，书包不慎落入水中顺水漂流，半小时后你发现书包丢失，立刻调头追赶，多长时间能追到？

作答

§1.1 质点的运动函数

参考系：

运动的相对性

地面参考系，
实验室参考系，
地心参考系，
太阳参考系

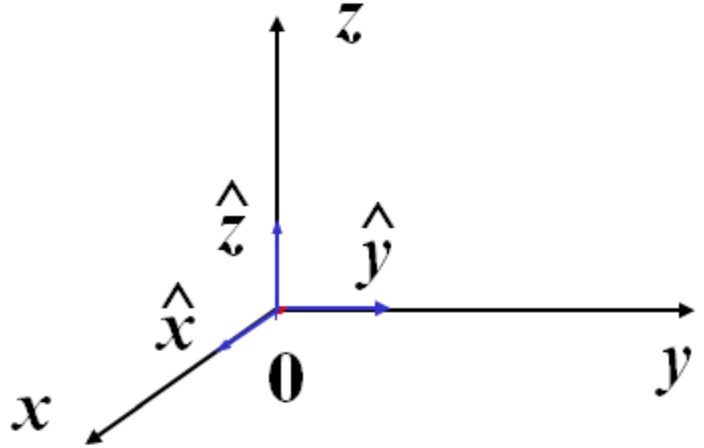
参考物和固结在其上的坐标系，以及一套固结于参考物所在空间各处的同步时钟构成一个参考系

§1.1 质点的运动函数

常用坐标系：

直角坐标系，
球极坐标系，
柱坐标系，
自然坐标系

直角坐标系（笛卡尔坐标系）：



单位矢量

$$|\hat{x}| = |\hat{y}| = |\hat{z}| = 1$$

$$|\vec{i}| = |\vec{j}| = |\vec{k}| = 1$$

单选题 1分

设置

我们每天看日出日落，是以什么作为参考系观察到的.

A 地心参考系

B 地面参考系

提交

多选题 1分

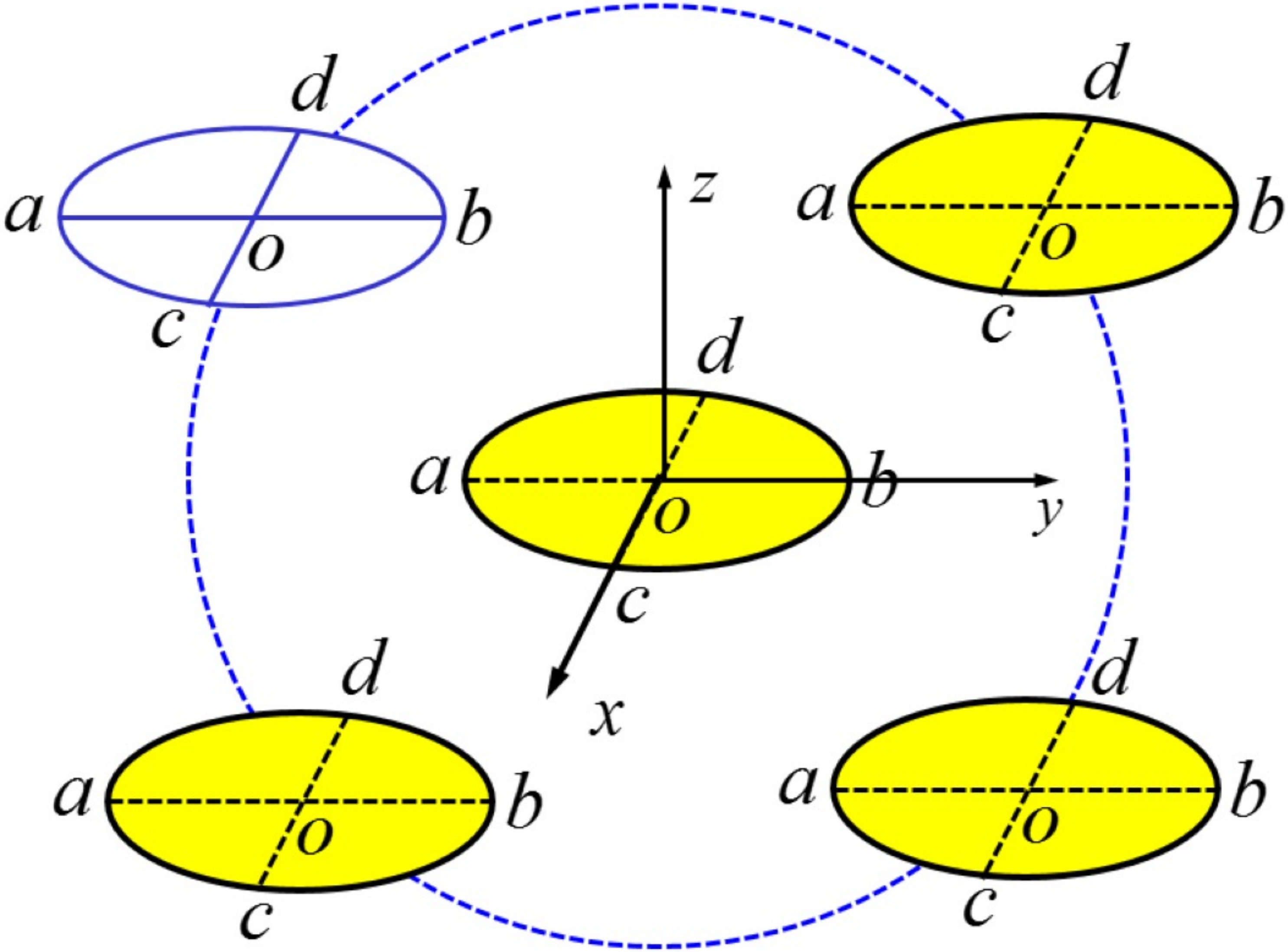
设置

从下面的参考系中选出平动参考系。

- A 太阳参考系
- B 地心参考系
- C 地面参考系
- D 质心参考系

提交

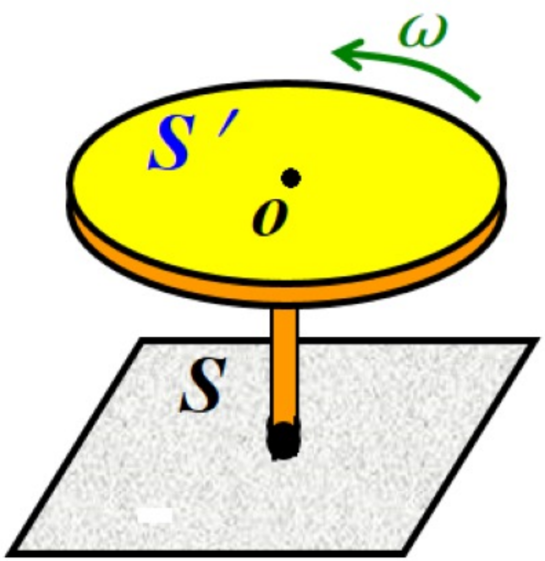
平动参考系



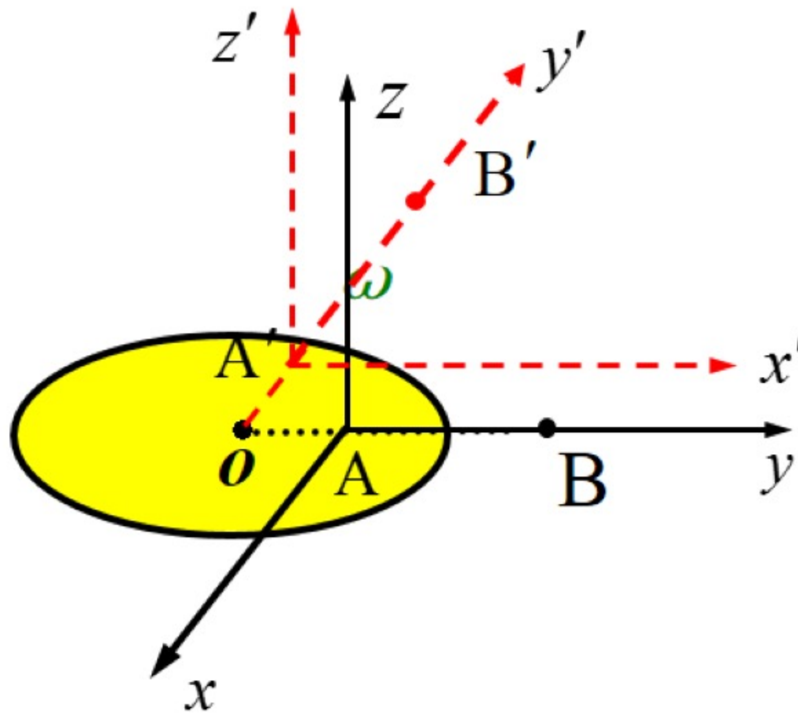
ob方向不变

转动参考系

OA方向改变



地面参考系S



“平动+转动”参考系

常用参考系

- 太阳参考系（太阳-恒星参考系）
  – 太阳中心为原点，指向空间固定方向为坐标轴
- 地心参考系（地心-恒星参考系）
  – 地心为坐标原点，指向空间固定方向为坐标轴
- 地面参考系或者实验室参考系
  – 由于地球自转，是转动参考系
- 质心参考系
  – 物体系的质心在其中静止的平动参考系

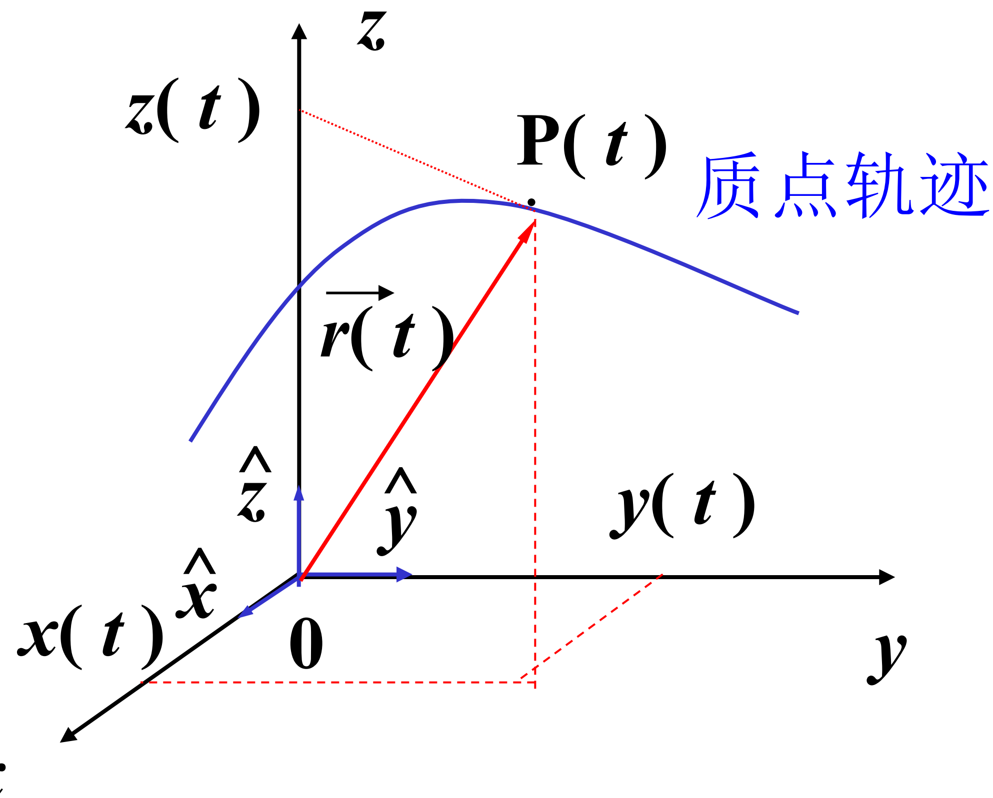
质点—数学模型

质点运动学：描述质点（或物体）的位置随时间的变化。

> 质点的位置和速度确定其运动状态。

质点位置随时间 t 变化

质点运动学：描述质点（或物体）的位置随时间的变化。



质点的位置和速度确定其运动状态。

(x, y, z)

位置矢量（或矢径、径矢）$\vec{r} = \vec{r}(t)$

轨迹方程

$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{x} + y(t)\hat{y} + z(t)\hat{z}$$

单选题 1分

设置

一只苍蝇迎头撞上一列高速前进的火车并粘在火车上。在碰撞前后，苍蝇的速度方向发生改变，因此存在某个瞬间苍蝇的速度为0，又因为苍蝇粘在火车上，因此火车在该时刻速度也为0。
这个说法有道理吗？

A 分析过程严谨合理，说法很有道理

B 火车不可能被撞停，上述说法错误

提交

单选题 1分

设置

“描述小物体运动时，用质点模型是好的近似，而相对大的物体，用质点模型就不合适了. ”这句话是否正确.

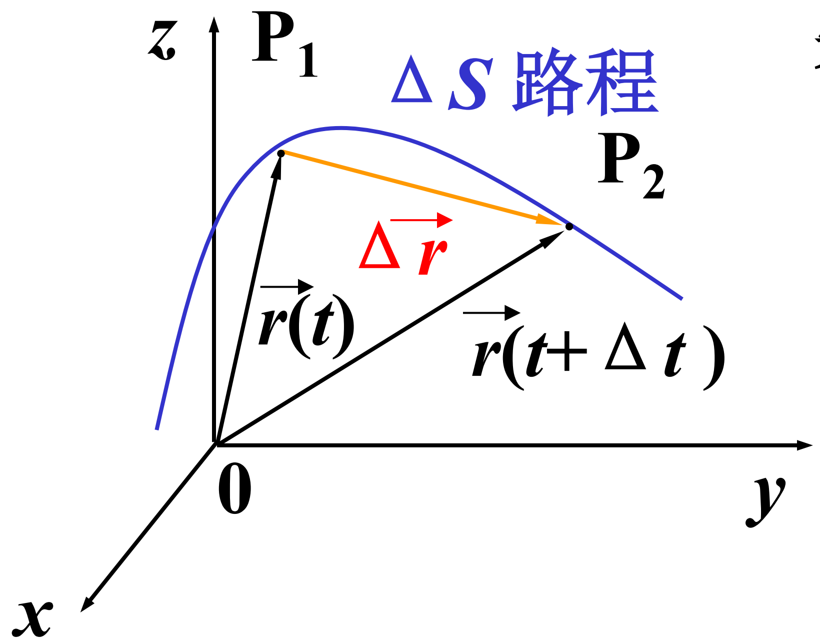
A 是

B 否

提交

§ 1.2 位移和速度

位移



矢量差

位移的方向

位移的大小

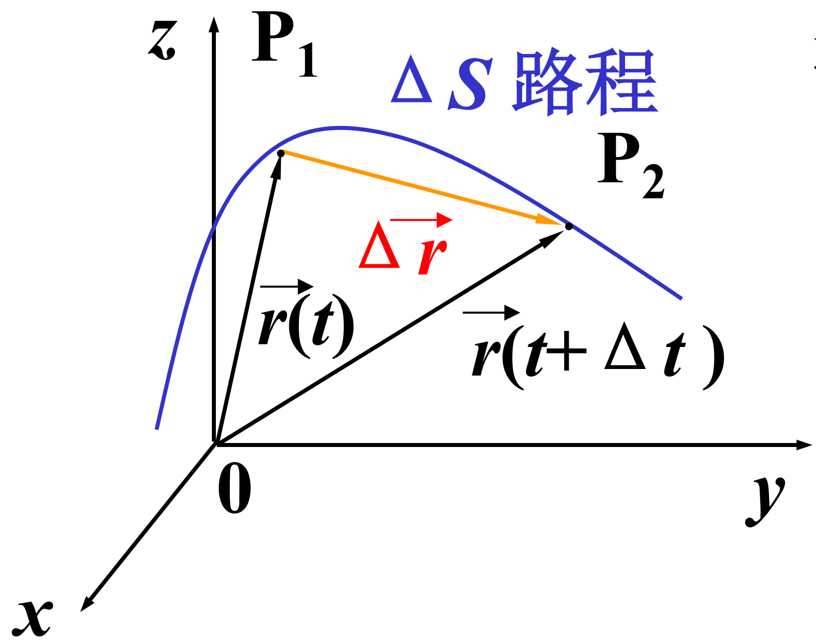
$|\Delta\vec{r}|$

$|\vec{r}| = r$

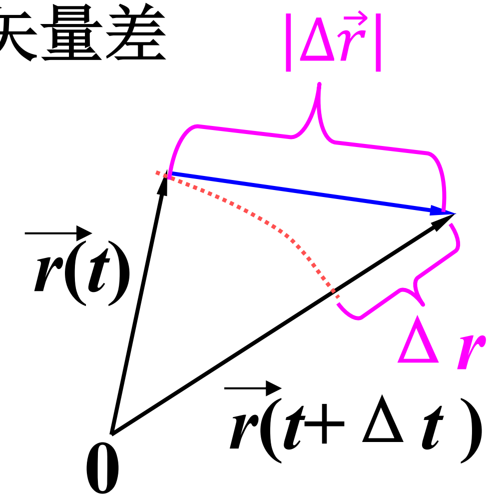
$|\Delta\vec{r}| = \Delta r$?

§ 1.2 位移和速度

位移



矢量差



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

位移的方向

位移的大小

$|\Delta\vec{r}|$

$|\vec{r}| = r$

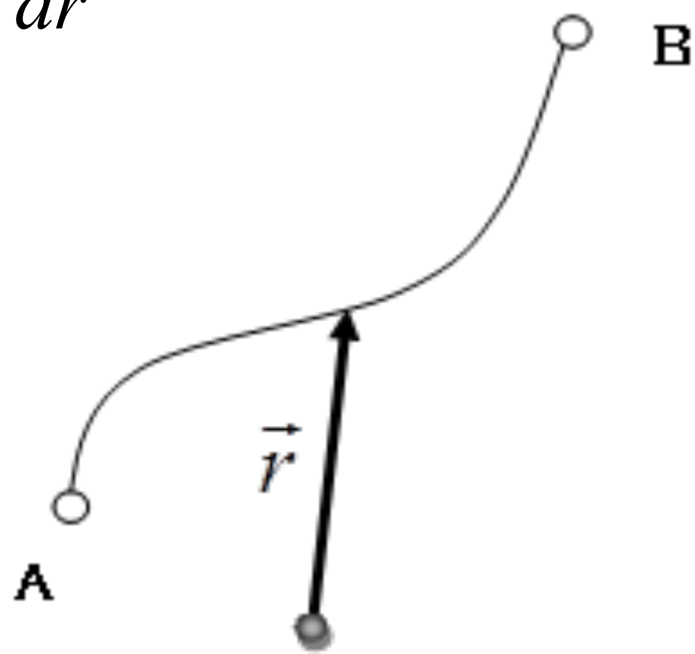
$|\Delta\vec{r}| = \Delta r$?

单选题 1分

设置

如图所示，质点沿曲线运动，由A→B，设 $\vec{r}$表示位矢，则下列哪个式代表A到B的直线距离？

$$\left|\int_A^B d\vec{r}\right|,\quad \int_A^B |d\vec{r}|,\quad \int_A^B dr$$



A 第一个

B 第二个

C 第三个

D 三个都不是

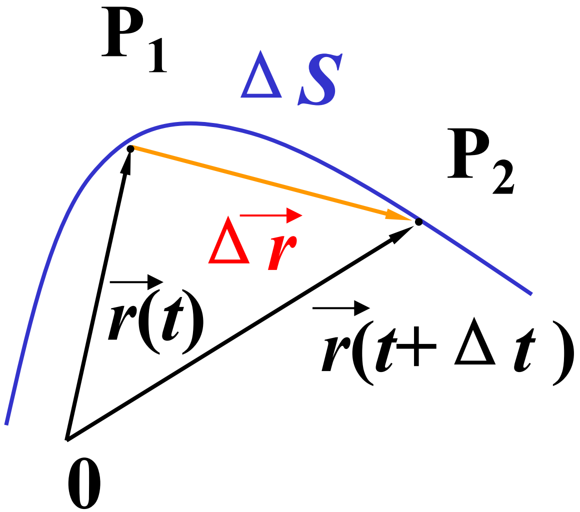
提交

§ 1.2 位移和速度

位移

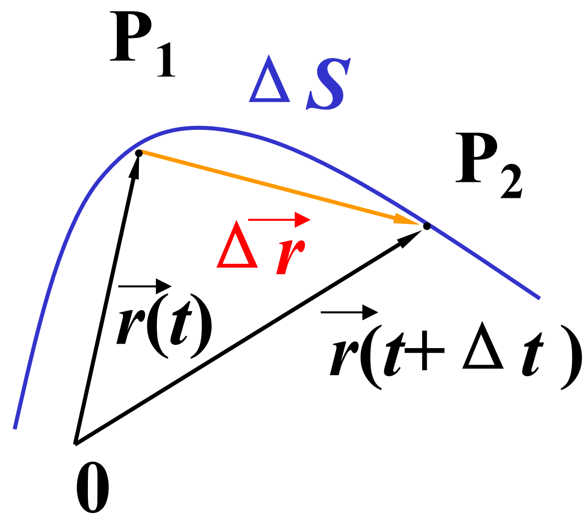
平均速度

$$\boxed{\langle\vec{\upsilon}\rangle=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}}$$



§ 1.2 位移和速度

位移



平均速度

$$\boxed{\langle\vec{\upsilon}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}}$$

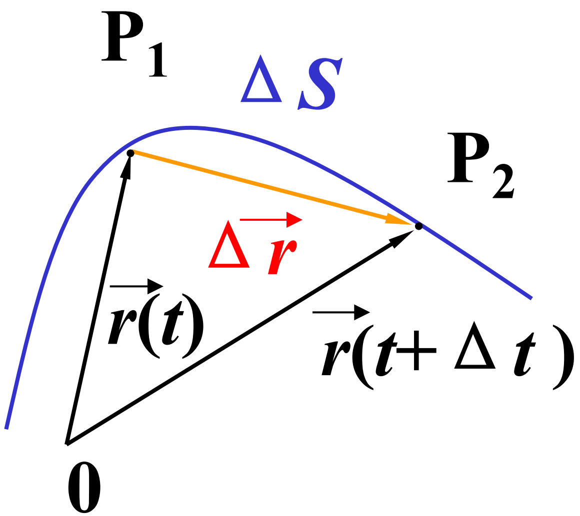
(瞬时)速度

$$\vec{\upsilon} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\vec{r}(t+\Delta t)-\vec{r}(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

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

§ 1.2 位移和速度

位移



平均速度

$$\boxed{\langle \vec{\upsilon} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}}$$

(瞬时)速度

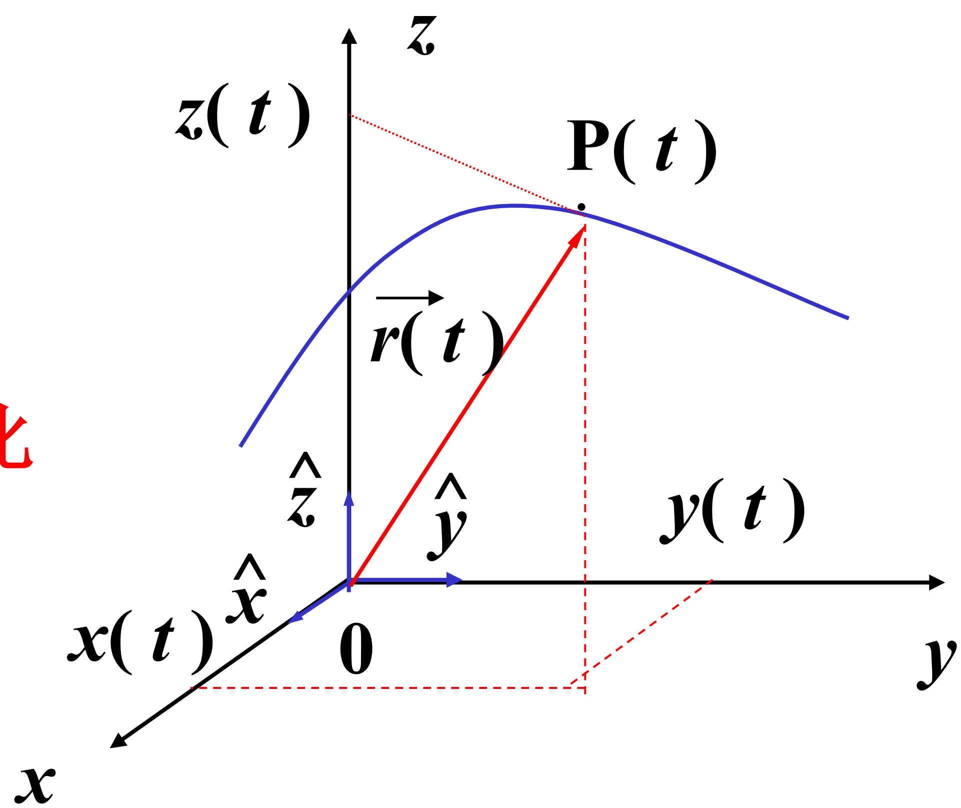
$$\vec{\upsilon} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\vec{r}(t+\Delta t) - \vec{r}(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

切线方向

速率 $\upsilon = |\vec{\upsilon}| = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{\Delta s}{\Delta t}$

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

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



直角坐标系中，

单位矢量不随时间变化

$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$$

$$\vec{\upsilon} = \frac{dx}{dt}\hat{x} + \frac{dy}{dt}\hat{y} + \frac{dz}{dt}\hat{z} = \upsilon_x\hat{x} + \upsilon_y\hat{y} + \upsilon_z\hat{z}$$

$$\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \qquad \upsilon_y = \dot{y} \qquad \upsilon_z = \dot{z}$$

$$\vec{\upsilon} = \dot{x}\hat{x} + \dot{y}\hat{y} + \dot{z}\hat{z}$$

运动的叠加（或合成）原理　或运动的独立性

速度的叠加：速度是各分速度之矢量和

$$\upsilon_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \qquad \upsilon_y = \dot{y} \qquad \upsilon_z = \dot{z}$$

$$\vec{\upsilon} = \dot{x}\hat{x} + \dot{y}\hat{y} + \dot{z}\hat{z}$$

运动的叠加（或合成）原理　或运动的独立性

速度的叠加：速度是各分速度之矢量和

速率　$\upsilon = |\vec{\upsilon}| = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2}$

速率量级（见张三慧编力学教材）

单选题 1分

设置

$\dot{\vec{r}} = \dot{r}\hat{r}$ 这个式子

A 对

B 错

C 不会做

提交

单选题 1分

设置

极坐标中描述方向的两个单位矢量$\hat{r},\hat{\theta}$,它们时间变化率的大小都是$\dot{\theta}$.

A 是

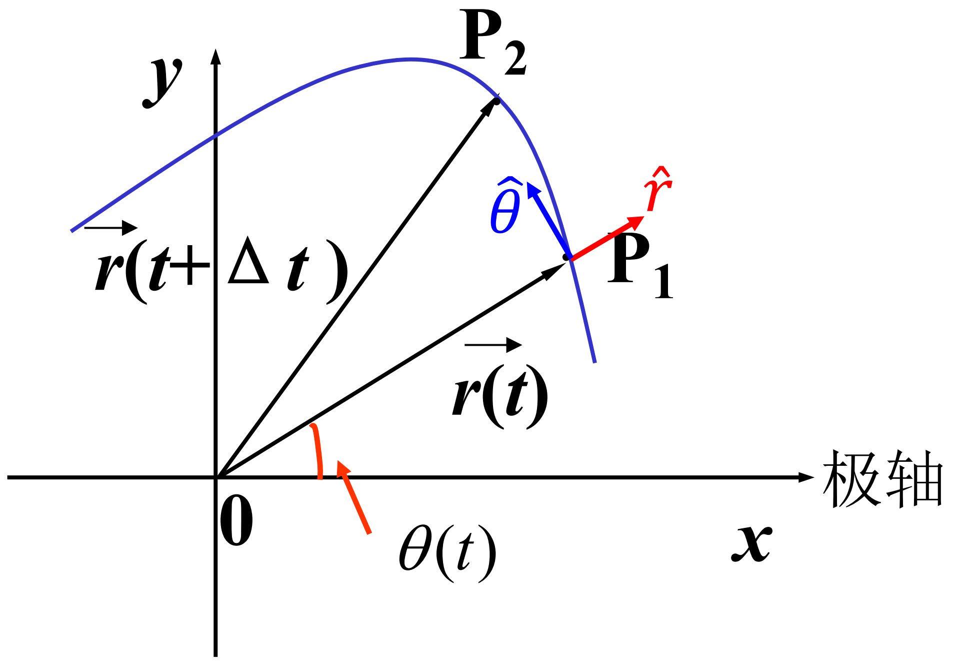
B 否

提交

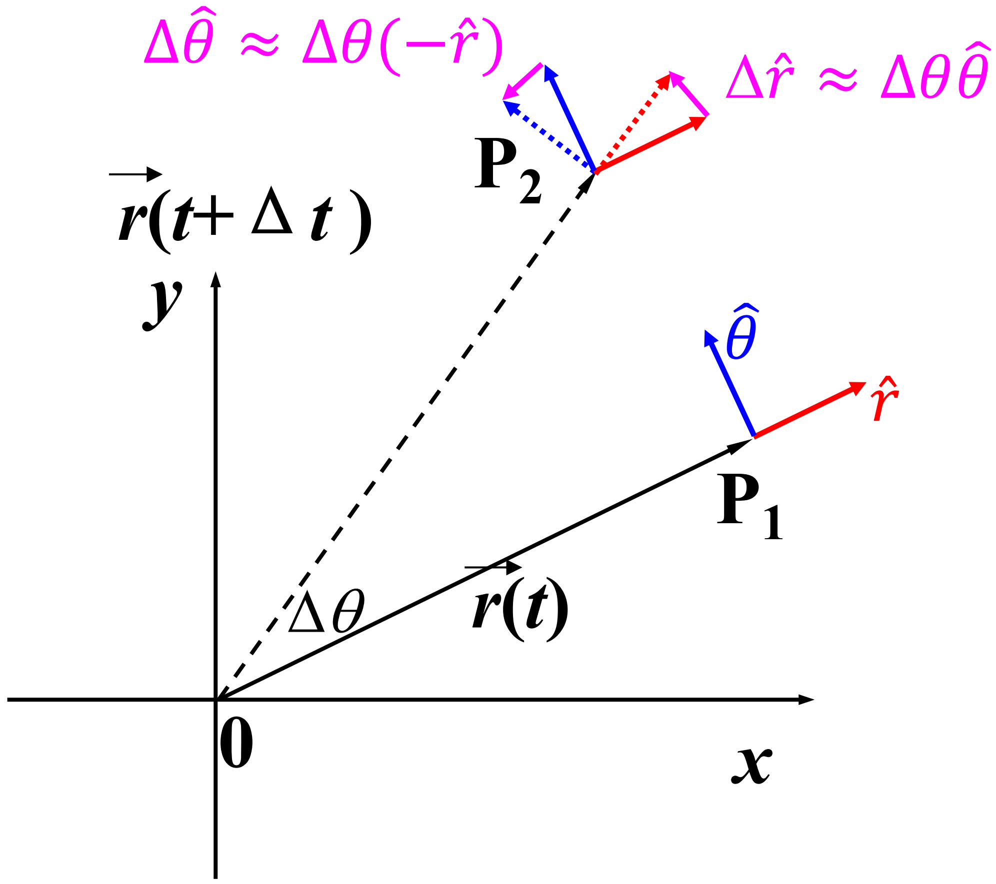
极坐标

$(x, y) \to (r, \theta)$　　　$\vec{r}(t) = x(t)\hat{x} + y(t)\hat{y}$

径向、横向单位矢量 $\hat{r}$，$\hat{\theta}$　　　$\vec{r}(t) = r(t)\hat{r}(t)$



两个单位矢量是如何随时间变化?



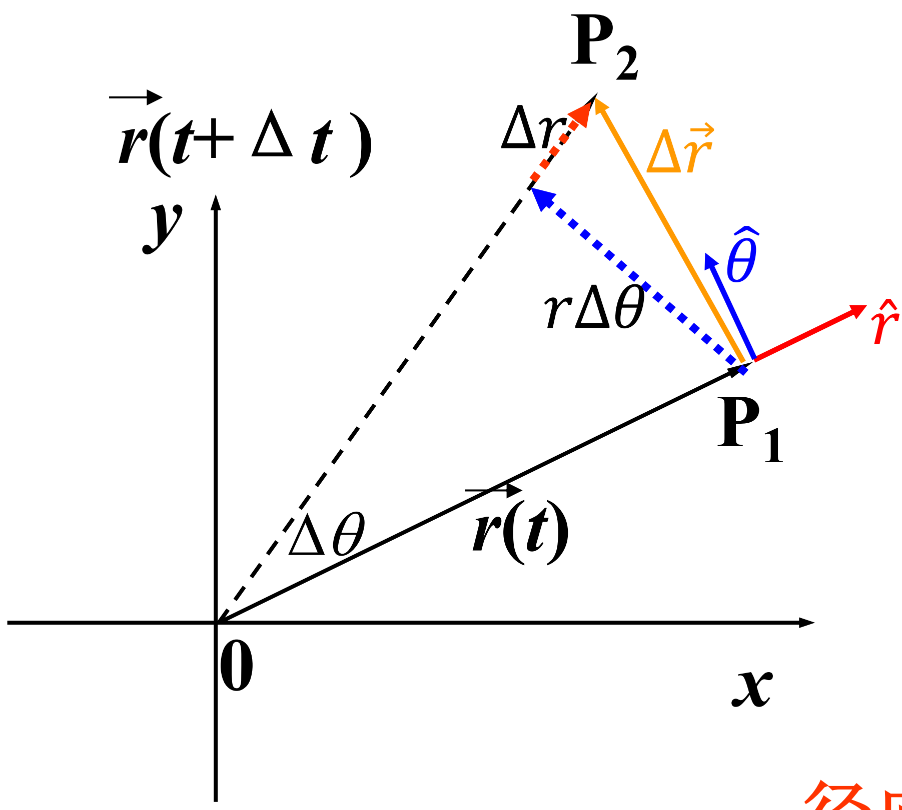
除以Δt并取极限：

$$\frac{d\hat{\theta}}{dt} = -\dot{\theta}\hat{r}$$

$$\frac{d\hat{r}}{dt} = \dot{\theta}\hat{\theta}$$

极坐标中两个单位矢量随时间的变化率的大小都是$\dot{\theta}$

位移、速度在极坐标下的形式



小位移

$$\Delta\vec{r} \approx \Delta r\hat{r} + r\Delta\theta\hat{\theta}$$

位移→速度

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta r}{\Delta t}\hat{r} + \lim_{\Delta t\to 0} r\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\hat{\theta}$$

径向速度　　横向速度

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dr}{dt}\hat{r} + r\frac{d\theta}{dt}\hat{\theta} \quad \to \quad \vec{\upsilon} = \dot{\vec{r}} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}$$

另一种方法: 位置矢量（矢径）→速度

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

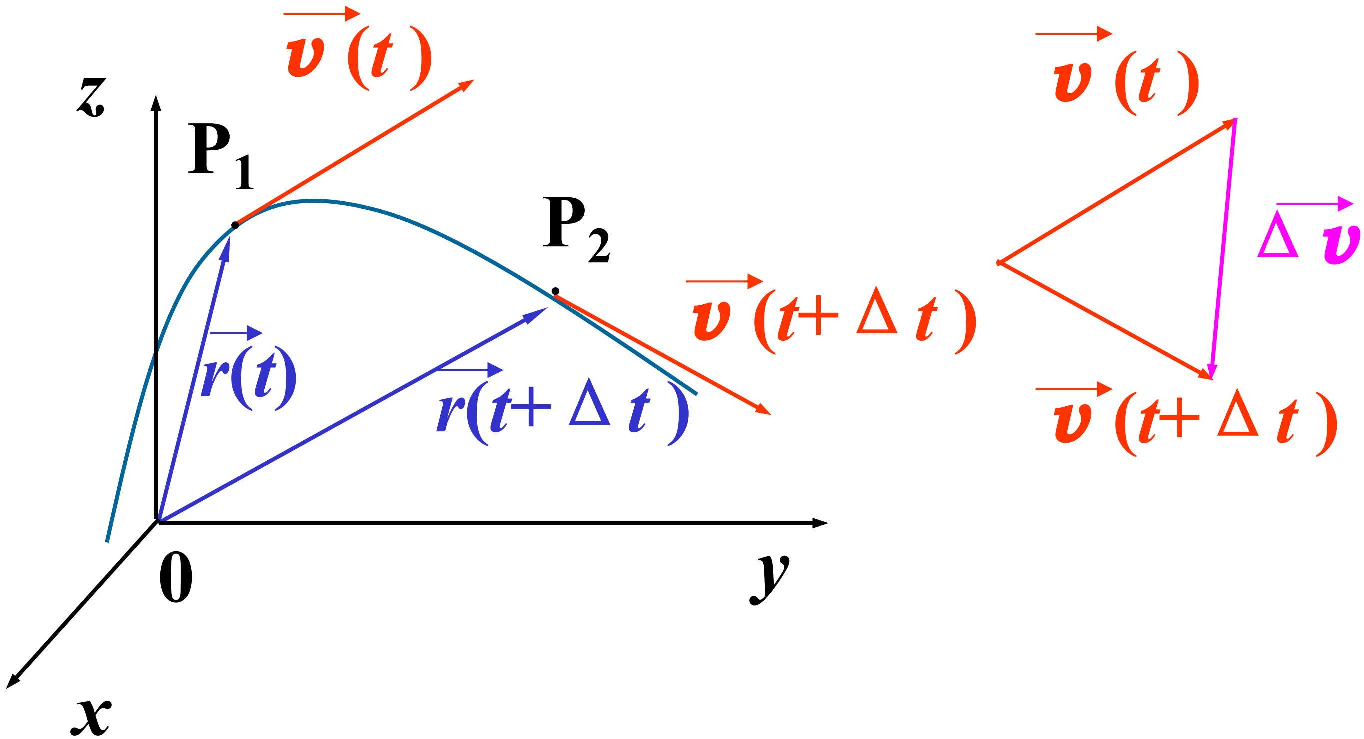
$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \frac{dr(t)}{dt}\hat{r}(t) + r(t)\frac{d\hat{r}(t)}{dt} = \dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta}$$

$\approx$ 哪里去了？

$$\frac{d\hat{r}}{dt} = \dot{\theta}\hat{\theta}$$

§ 1.3 加速度

是联系运动学和动力学的物理量

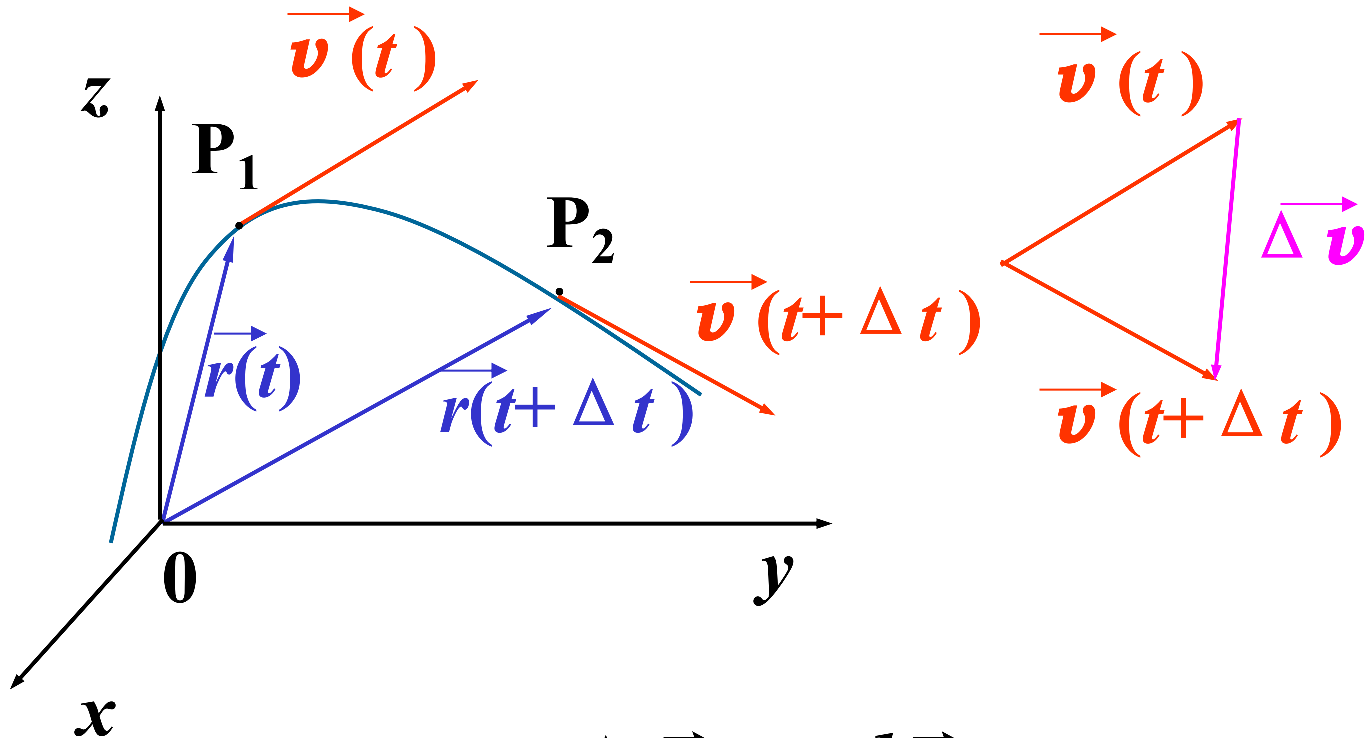


§ 1.3 加速度

是联系运动学和动力学的物理量

平均加速度

$$\langle\vec{a}\rangle=\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}$$



瞬时加速度

令$\Delta t\longrightarrow 0$

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}=\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}=\dot{\vec{\upsilon}}=\ddot{\vec{r}}$$

加速度合成

$$\vec{a} = \frac{d\upsilon_x}{dt}\hat{x} + \frac{d\upsilon_y}{dt}\hat{y} + \frac{d\upsilon_z}{dt}\hat{z}$$

$$= \dot{\upsilon}_x\hat{x} + \dot{\upsilon}_y\hat{y} + \dot{\upsilon}_z\hat{z}$$

$$= \ddot{x}\hat{x} + \ddot{y}\hat{y} + \ddot{z}\hat{z}$$

$$\vec{a} = a_x\hat{x} + a_y\hat{y} + a_z\hat{z}$$

加速度与速度类似也有独立性原理,
这是矢量性质决定的

例: 地面上自由运动质点

$\downarrow \ \vec{g}$

铅直方向加速运动,
水平方向匀速运动

极坐标下的加速度

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \frac{d(\dot{r}\hat{r} + r\dot{\theta}\hat{\theta})}{dt}$$

$$= \ddot{r}\hat{r} + \dot{r}\frac{d\hat{r}}{dt} + \dot{r}\dot{\theta}\hat{\theta} + r\ddot{\theta}\hat{\theta} + r\dot{\theta}\frac{d\hat{\theta}}{dt}$$

$$\frac{d\hat{r}}{dt} = \dot{\theta}\hat{\theta}$$

$$\frac{d\hat{\theta}}{dt} = -\dot{\theta}\hat{r}$$

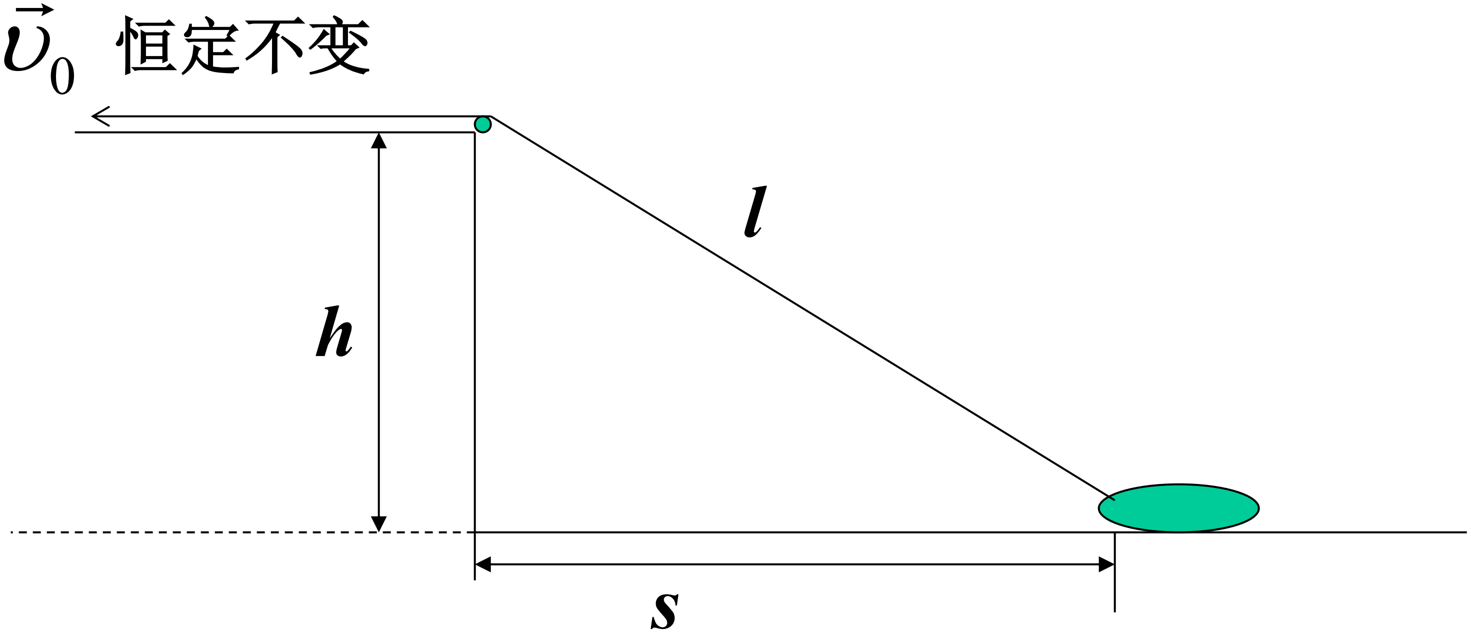
$$\vec{a} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\hat{r} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})\hat{\theta}$$

径向加速度$\overrightarrow{a_r}$　　横向加速度$\overrightarrow{a_\theta}$

$$\overrightarrow{a_r} \neq \frac{d\overrightarrow{v_r}}{dt}$$

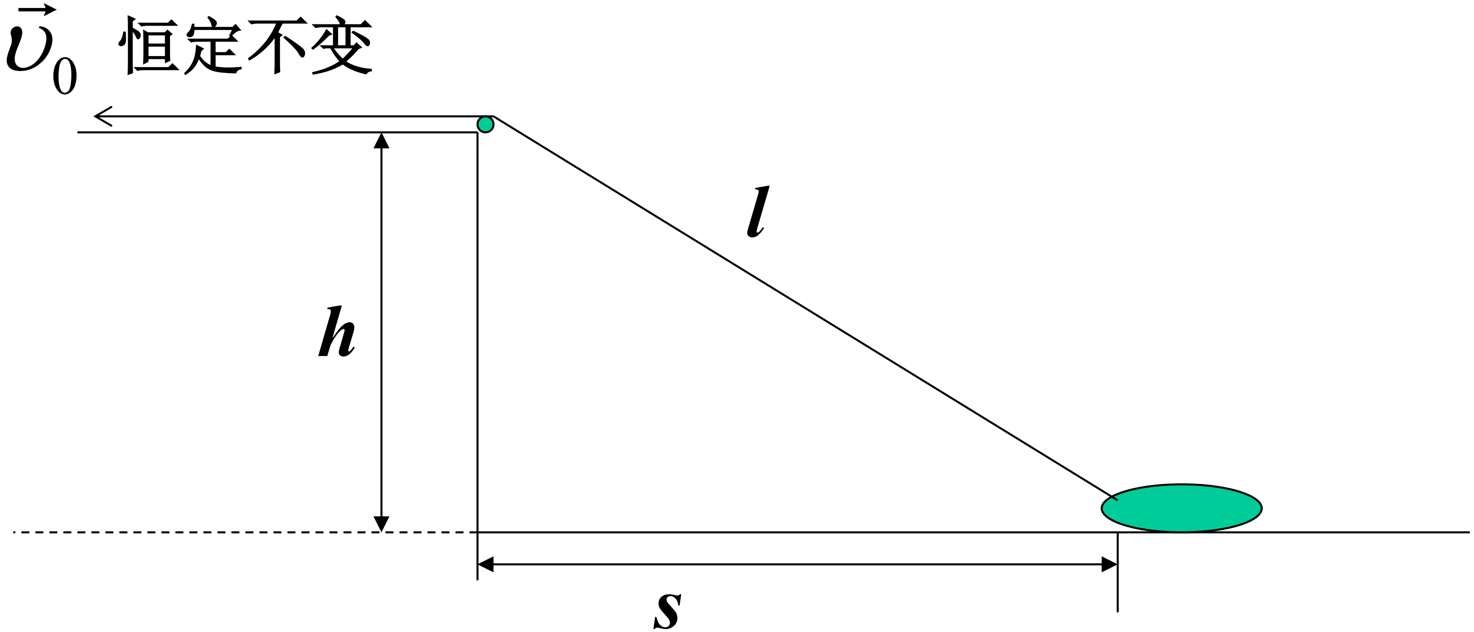
$$\overrightarrow{a_\theta} \neq \frac{d\overrightarrow{v_\theta}}{dt}$$

例



求：船速靠岸的速率和加速度的大小

例



求：船速靠岸的速率和加速度的大小

解：$\upsilon = \dot{s}, \quad \dot{l} = -\upsilon_0 \qquad s^2 = l^2 - h^2$

$$\dot{s} = -\frac{l\upsilon_0}{s} \qquad \ddot{s} = -\frac{h^2\upsilon_0^2}{s^3}$$

§1.4 二维平面运动

直线运动： $\vec{a}$ 与 $\vec{v}_0$ 在同一方向 （一维）

抛体运动：典型的匀加速运动， $\vec{a}=\vec{g}$

运动平面在 $(\vec{v}_0,\vec{g})$ 内

圆周运动：质点相对某个固定点距离不变

匀加速或变加速

直线运动

$\vec{a}$ 与 $\vec{\upsilon}_0$ 在同一方向　　　　如自由落体

只用一维描述　　$\dot{\upsilon}\hat{x} = a\hat{x}$

$$\frac{d\upsilon}{dt} = a \qquad \int d\upsilon = \int a dt$$

$$= a\int dt$$

匀加速：

$$\upsilon = at + c$$

$$\upsilon(t=0) = \upsilon_0 \qquad \upsilon = \upsilon_0 + at$$

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = \upsilon_0 + at \quad \rightarrow \quad \int dx = \int (\upsilon_0 + at)dt$$

$$\int atdt = \frac{1}{2}at^2 + c$$

直线为x轴

$$x = \upsilon_0 t + \frac{1}{2}at^2 + c$$

$$x|_{t=0} = x_0 \qquad x = x_0 + \upsilon_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

如自由落体，竖直上抛

* 实际有些自由落体受空气阻力很大，如雨点最终匀速运动，此时速率称收尾速率（~**10m/s**）

一般匀加速运动

质点**非直线**运动

$\vec{a}$ 为常矢量

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}=\vec{a}$$

写分量式

$$\frac{dv_x}{dt}=a_x \qquad \frac{dv_y}{dt}=a_y \qquad \frac{dv_z}{dt}=a_z$$

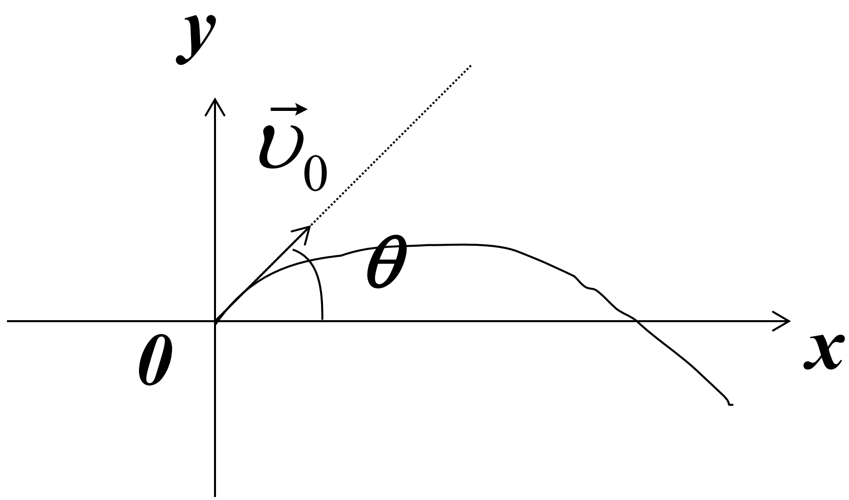
每个分量式与匀加速直线运动相同

分量式合在一起

$$\boxed{\begin{aligned}\vec{\upsilon}&=\vec{\upsilon}_0+\vec{a}t\\ \vec{r}&=\vec{r}_0+\vec{\upsilon}_0 t+\frac{1}{2}\vec{a}t^2\end{aligned}}$$

抛体运动

典型的一般匀加速运动， $\vec{a} = \vec{g}$



运动叠加和运动的独立性

运动平面在 $(\vec{\upsilon}_0, \vec{g})$ 内

$$a_x = 0 \qquad a_y = -g$$

$$x_0 = y_0 = 0$$

$$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\theta \qquad \upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin\theta$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{\upsilon}_0 t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$$

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t$$

水平方向

$$x = x_0 + \upsilon_{0x} t \qquad x = \upsilon_0 t \cos\theta$$

$$\upsilon_x = \upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\theta \qquad \text{匀速}$$

$$\vec{r}=\vec{r}_0+\vec{\upsilon}_0 t+\frac{1}{2}\vec{a}t^2$$

$$\vec{\upsilon}=\vec{\upsilon}_0+\vec{a}t$$

代入初始条件后，水平方向：

$$x=x_0+\upsilon_{0x}t \qquad x=\upsilon_0 t\cos\theta$$

$$\upsilon_x=\upsilon_{0x}=\upsilon_0\cos\theta$$ 匀速

竖直方向：

$$y=y_0+\upsilon_{0y}t-\frac{1}{2}gt^2 \qquad y=\upsilon_0 t\sin\theta-\frac{1}{2}gt^2$$

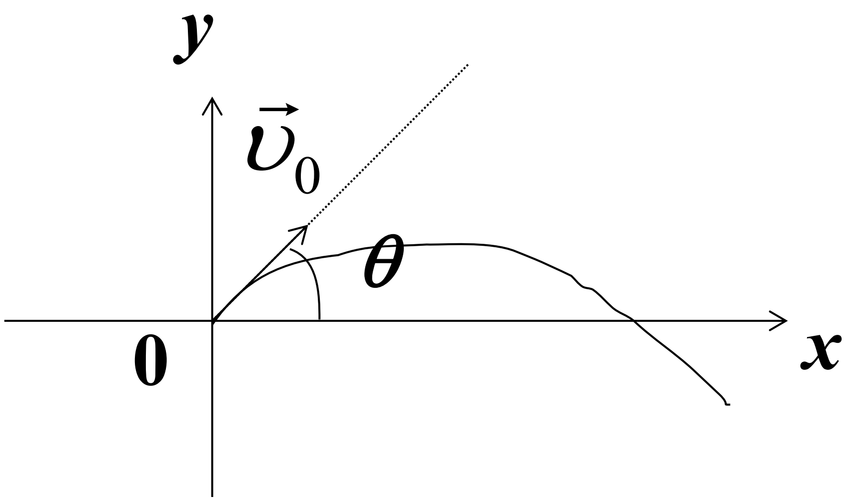
$$\upsilon_y=\upsilon_{0y}-gt \qquad \upsilon_y=\upsilon_0\sin\theta-gt$$

匀加速

最高点

$$\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\theta - gt \quad = 0$$

$$t = \frac{\upsilon_0 \sin\theta}{g}$$



$$y_{\max} = \frac{\upsilon_0^2 \sin^2\theta}{2g}$$

轨迹

$$y = x\tan\theta - \frac{gx^2}{2\upsilon_0^2\cos^2\theta}$$

* 实际子弹和炮弹受空气阻力很大，弹道导弹则在重力加速度变化的范围运动，但基础是以上的运动学。