

## 2-5 非惯性系 惯性力

### 1. 惯性系是牛顿定律成立的参考系

- a) 凡相对于惯性系作匀速直线运动的参考系都是惯性系。
- b) 对于不同惯性系，牛顿力学的规律都具有相同的形式，与惯性系的运动无关。

### 2. 谁是惯性系只能由实验确定

- a) 太阳系可以认为是惯性系；
- b) 地球参考系可以近似地看成惯性系；
- c) 在地面上作匀速直线运动的物体也可以近似地看作是惯性系。



### 一、问题的提出

由前几节，牛顿第二定律必须在惯性系中使用；  
是质点力学的基础定律。

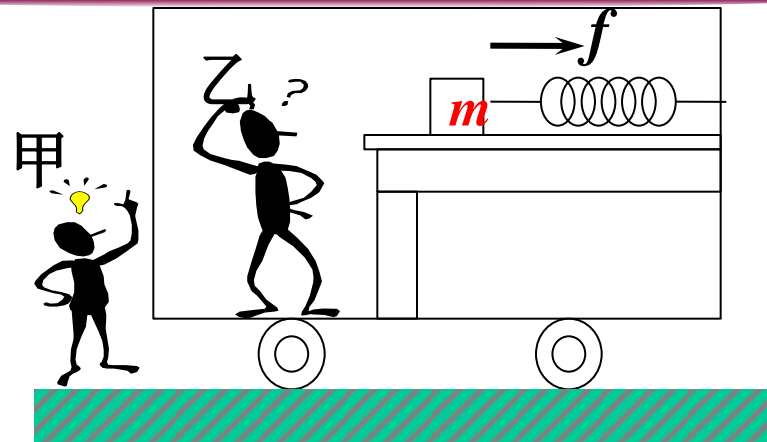
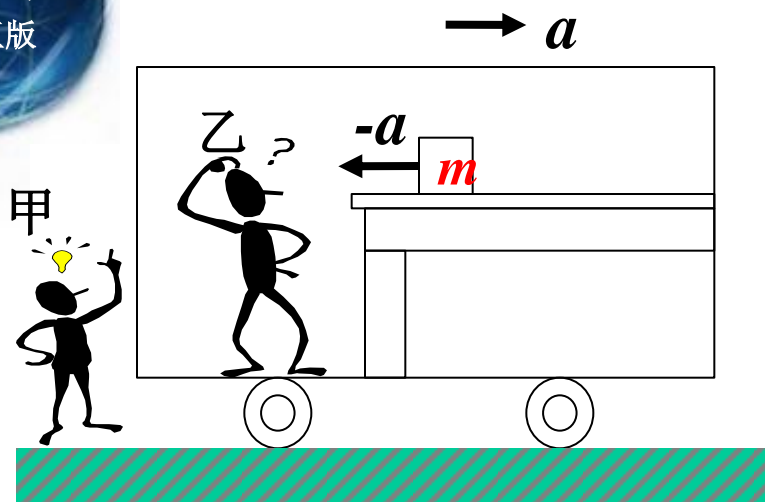
但有些实际问题只能在非惯性系中解决，

怎么方便地使用牛顿第二定律？

办法是：在分析受力时，只需加上某种  
“虚拟”的力（称为惯性力）



## 2-5 非惯性系 惯性力



**甲：** 物体水平方向不受力，所以静止在原处。

**甲：** 物体水平方向受拉力，所以随小车加速前进。

**乙：** 物体水平方向不受力，为何产生了加速度？

**乙：** 物体水平方向受拉力，为什么静止在原处？

牛顿定律在加速平动的参照系中不再成立。

加速平动的参照系是非惯性系。



## 惯性力 (*Inertial force*) 2-5 非惯性系 惯性力

非惯性系中牛顿运动定律不成立，不能直接用牛顿运动定律处理力学问题。若仍希望能用牛顿运动定律处理这些问题，则必须引入一种作用于物体上的惯性力。惯性力不同于前面所说的外力，因为惯性力既没有施力物体，也不存在它的反作用力。

### 1. 直线加速参考系中的惯性力

在直线加速参考系中，惯性力的方向与非惯性系相对于惯性系的加速度的方向相反，大小等于所研究物体的质量与加速度的乘积。



## 2-5 非惯性系 惯性力

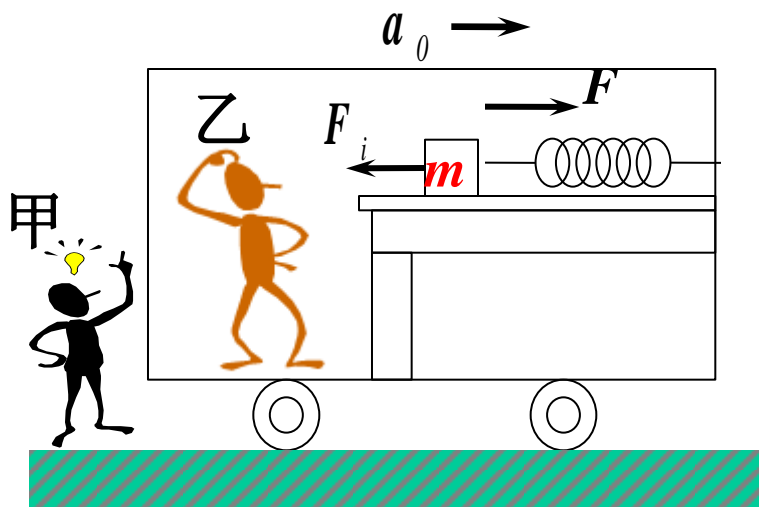
惯性力：大小等于运动质点的质量与非惯性系加速度的乘积；方向与非惯性系加速度的方向相反。惯性力不是物体间的相互作用，没有施力物体，所以不存在反作用力。但有真实的效果。 ~~$\vec{F}_i = m\vec{a}$~~   
惯性力是参考系加速运动引起的附加力，本质上是物体惯性的体现。

在非惯性系中应用牛顿定律时，计算力要计入真实力和假想的惯性力，加速度要用相对加速度。

这时牛顿定律的形式为： ~~$\vec{F} = m\vec{a}$~~



## 2-5 非惯性系 惯性力



**甲：** 物体水平方向受拉力，  
所以随小车加速前进

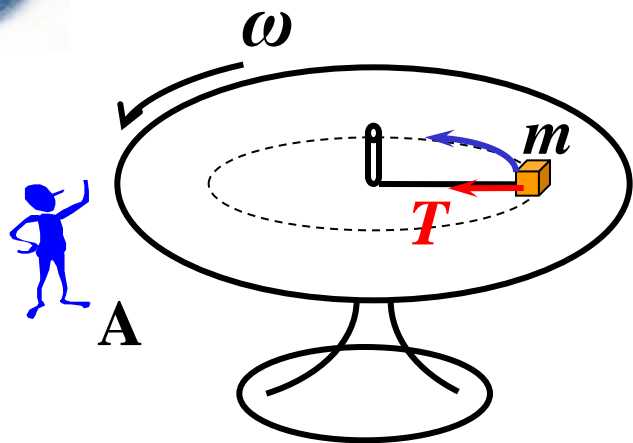
$$F = ma_0$$

**乙：** 物体水平方向受拉力和  
惯性力，合力为0，静止

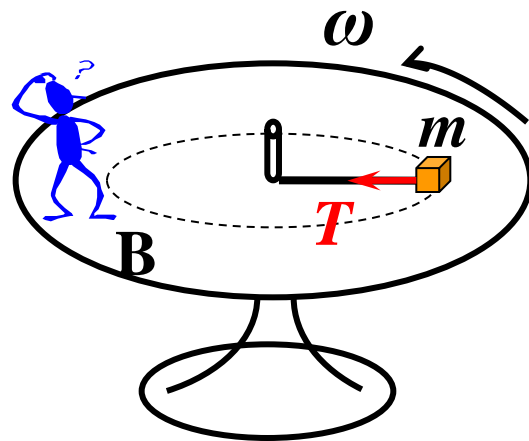
$$\begin{cases} F + F_i = 0 \\ F_i = -ma_0 \end{cases}$$



## 2. 匀速转动参考系中的惯性力 非惯性系 惯性力



A: 质点受绳子的拉力提供的向心力，所以作匀速圆周运动。



B: 质点受绳子的拉力，为什么静止？

在匀速转动的非惯性系中，设想小球受到一个**惯性离心力** $F_i$ 的作用，大小与绳子的拉力相等，方向与之相反，所以小球处于静止的平衡状态。

$$F_i = m\omega^2 r$$

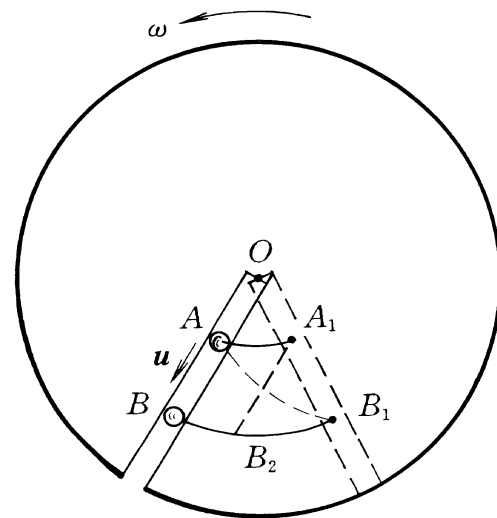
$$T = F_i$$



### \*3. 科里奥利力

物体相对于匀速转动参考系运动时，物体受到惯性离心力和另一种称为科里奥利力的惯性力作用。

设想，一个带有径向光滑沟槽的圆盘，以匀角速度  $\omega$  绕通过盘心并垂直于盘面的固定竖直轴  $O$  转动，处于沟槽中的质量为  $m$  的小球以速度  $u$  沿沟槽相对于圆盘作匀速运动，如图



$$\vec{F}_C = 2m\vec{\omega} \times \vec{v}$$





## 2-5 非惯性系 惯性力

下面介绍一些现实生活中受科里奥利力影响形成的现象：

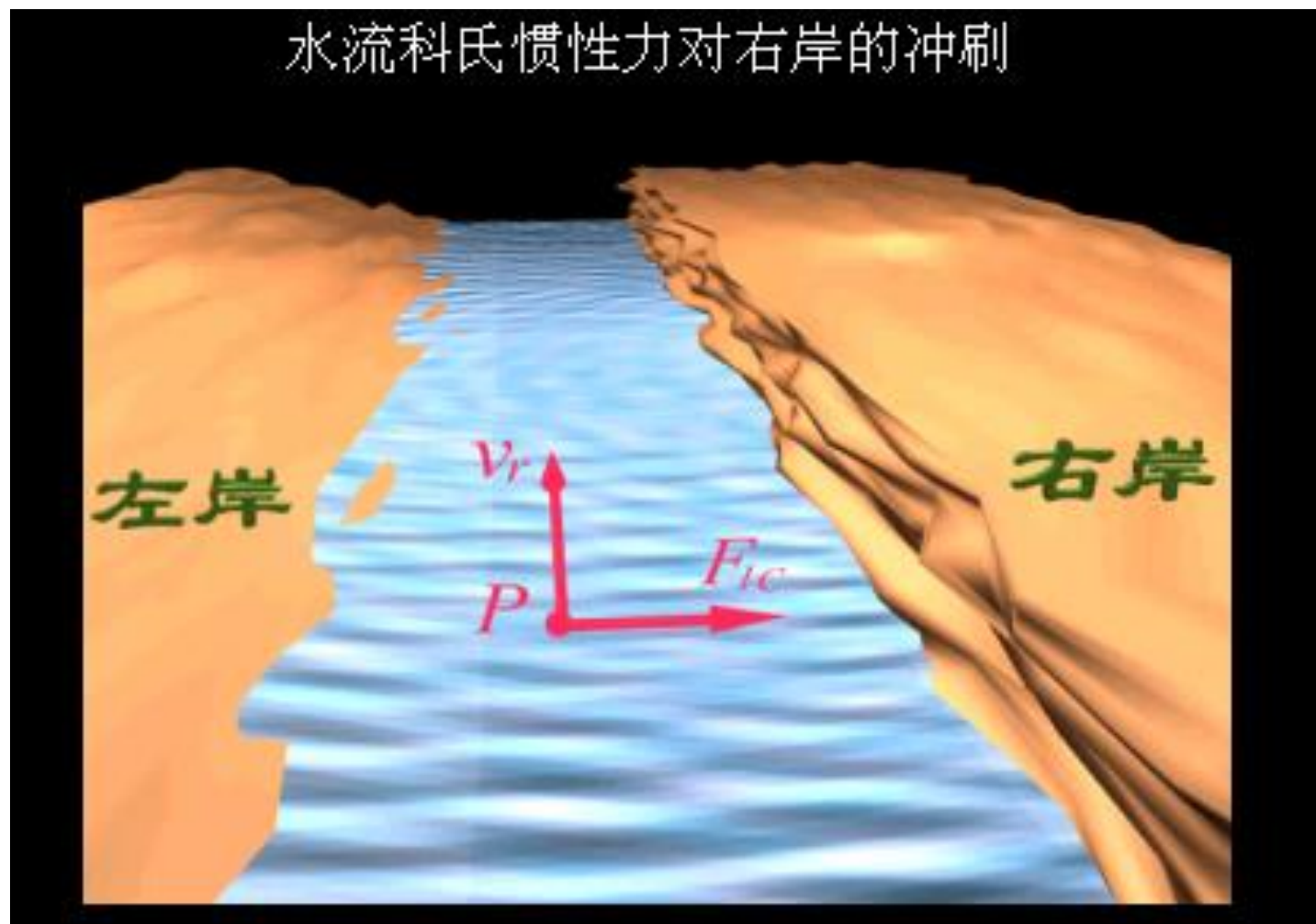
我国地处北半球，物体在地面上运动，受地转偏向力作用而自行向右偏转，这种现象在日常生活中还从来没有观察到。人在走路时，也从来不会不自觉地偏到右边去。这完全是因为地转偏向力很小，其效应被其他作用力的效应所掩盖。地转偏向力的效应只有在长时间累积的条件下，才容易察觉。

1. 柏而定律：该定律是自然地理中一条著名的、从实际观察总结出来的规律，即北半球河流右岸比较陡削，南半球则左岸比较陡削。这可以由地转偏向力得到说明，北半球河水在地转偏向力作用下，对右岸冲刷甚于左岸，长期积累的结果，右岸比较陡峭。



## 2-5 非惯性系 惯性力

地球自转引起水流的科氏惯性力，水流的科氏惯性力冲刷河流右岸（北半球）。

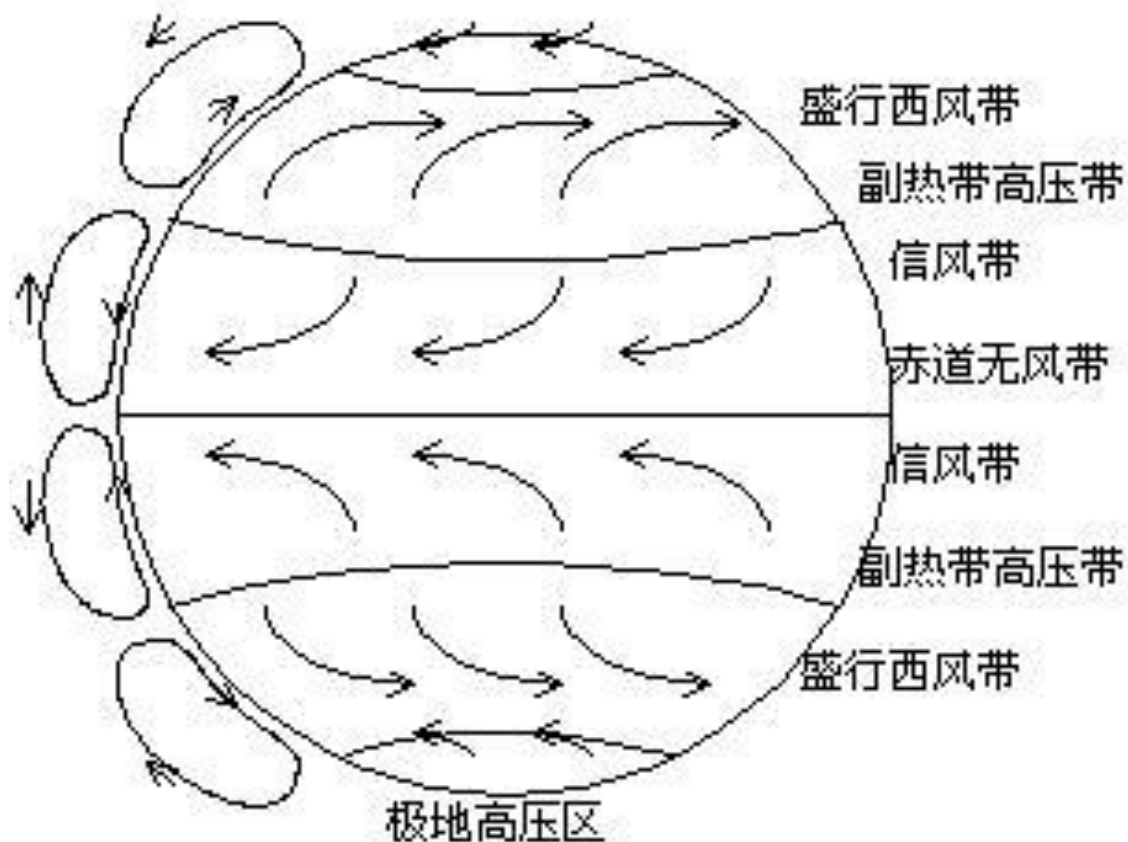


2.大气环流：大气运动的能量来源于太阳辐射，气压梯度力是大气运动的源动力。全球共有赤道低压带，南、北半球纬度 $30^\circ$ 附近的副热带高压带，南、北半球纬度 $60^\circ$ 附近的副极地低压带，南、北半球的极地高压带等七个气压带。气压带之间在气压梯度力和地转偏向力的作用下形成了低纬环流圈、中纬环流圈和高纬环流圈。由于受地转偏向力的作用，南北向的气流却发生了东西向的偏转。北半球地面附近自北向南的气流，有朝西的偏向。在气压带之间形成了六个风带，即南、北半球的低纬信风带，南、北半球的中纬西风带，南、北半球的极地东风带。



## 2-5 非惯性系 惯性力

大气环流



## 2-5 非惯性系 惯性力

在非惯性系下的力学系统, 无论处于什么状态, ( 静止、运动 ) 必存在着惯性力. 这些惯性力所产生的力学效应, 可以通过相关的仪器测出, 或可以通过人的感官感觉到.

公共汽车在转弯的时候对车上的物体作用有离心惯性力, 这已是常识. 还有一些感觉是一般人体不会不到的.

飞机加速上升, 使人身上的血往下流, 脑中失血, 眼睛失明 — 这就是飞行中的‘黑晕’现象.

飞机加速下降, 使人身上的血往上流, 脑中充血, 眼睛红视 — 这就是飞行中的‘红视’现象.

地球本身就是一非惯性系, 而且是一有转动的非惯性系. 所以, 严格地讲, 以地球作为参照系的上力学现象中, 应有牵连惯性力和科氏惯性力的效应.

如果考察地球上局部空间内的力学现象, 把地球的这一部分运动空间视为‘匀速直线平动’, 则许多力学现象的分析与计算结果是可用的.

但是, 对于一些精确的力学问题, 以及大尺度的力学问题, 必须考虑相应的惯性力.

对于地球上的许多大尺寸的运动学问题, 科氏惯性力的影响不容忽视. 下面, 我们来研究地球上物体的运动与科氏惯性力.



### 二战中的小故事:

美Tinosa号潜艇携带16枚鱼雷，在太平洋离敌舰4000码斜向攻击，发射4枚，使敌舰停航。

但离敌舰875码垂直攻击发射11枚，均未爆炸。

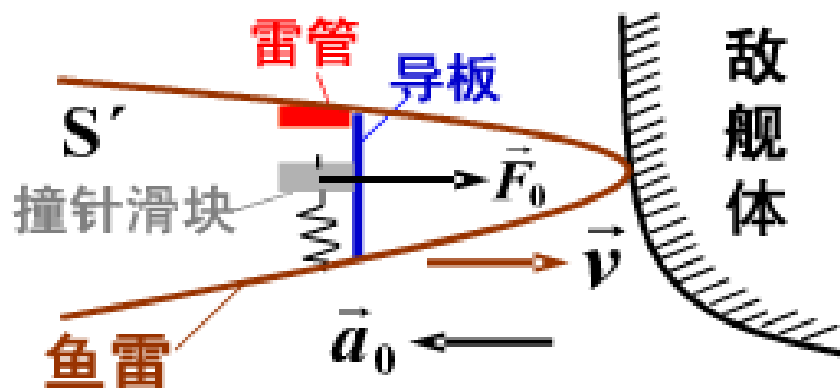
问题出在惯性力上!

近距离、垂直攻击

→  $a_0$  大 →  $F_0$  大

→ 滑块受摩擦力大

→ 雷管不能被触发!





## 超重与失重

一质量为60kg的人，站在电梯中的磅秤上，当电梯以 $0.5\text{m/s}^2$ 的加速度匀加速上升时，磅秤上指示的读数是多少？试用惯性力的方法求解。

解 取电梯为参考系。已知这个非惯性系以 $a=0.5\text{m/s}^2$ 的加速度对地面参考系运动，与之相应的惯性力

$$\vec{F}_{\text{惯}} = m\vec{a}$$

从电梯这个非惯性系来看，人除受重力 $G$ （方向向下）和磅秤对它的支持力 $N$ （方向向上）之外，还要另加一个 惯性力  $\vec{F}_{\text{惯}}$ 。此人相对于电梯是静止的，则以上三个力必须恰好平衡。





## 2-5 非惯性系 惯性力

即 
$$N - G - F_{\text{惯}} = 0$$

于是 
$$N = G + F_{\text{惯}} = m(g + a) = 618\text{N}$$

由此可见，磅秤上的读数（根据牛顿第三定律，它读的是人对秤的正压力，而正压力和N是一对大小相等的相互作用）不等于物体所受的重力G。当加速上升时， $N > G$ ；加速下降时， $N < G$ 。前一种情况叫做“**超重**”，后一种情况叫做“**失重**”。尤其在电梯以重力加速度下降时，失重严重，磅秤上的读数将为0





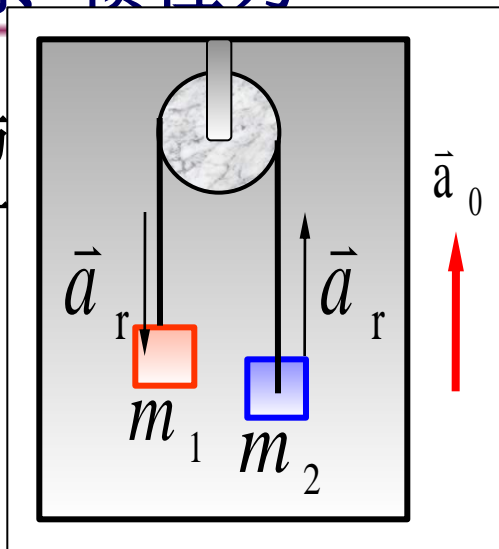
## 2-5 非惯性系 惯性力

宇宙飞船中的失重



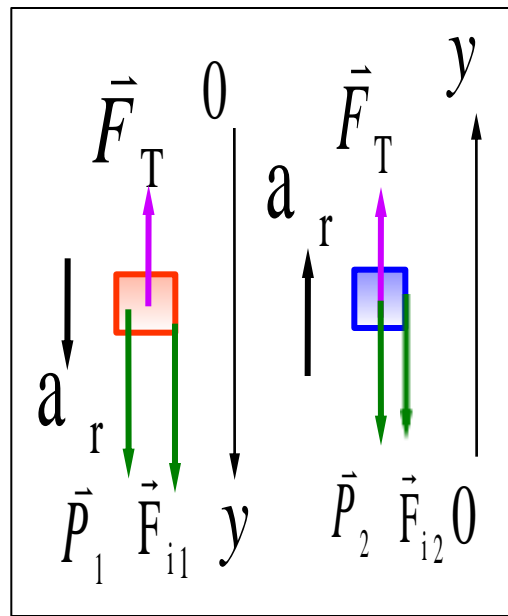
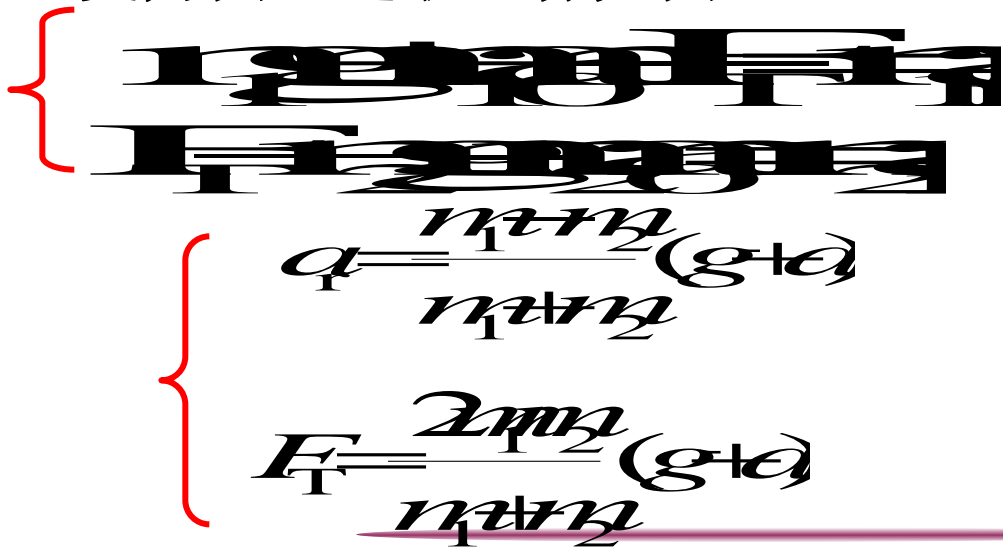
## 例 阿特伍德机

如图所示滑轮和绳子的质量均不计，滑轮与绳间的摩擦力以及滑轮与轴间的摩擦力均不计且  $m_1 > m_2$  . 若将此装置置于电梯顶部，当电梯以加速度  $a$  相对地面向上运动时，求两物体相对电梯的加速度和绳的张力.



**解** 以电梯为参考系

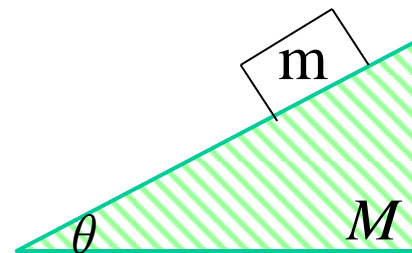
### 画受力图、选取坐标如图



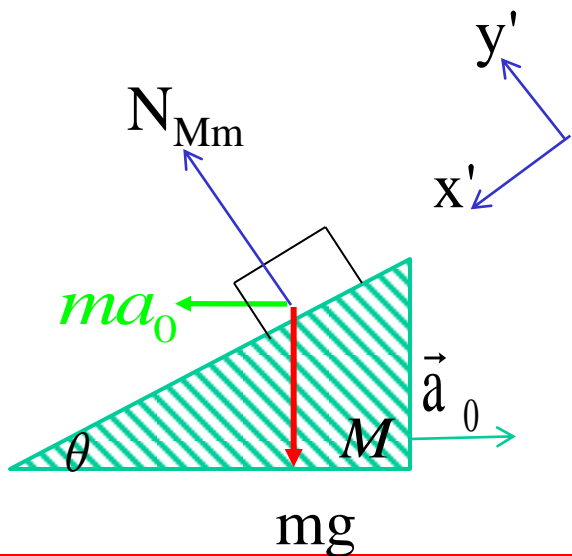
## 2-5 非惯性系 惯性力

**例** 如图  $m$  与  $M$  保持接触 各接触面处处光滑

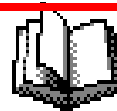
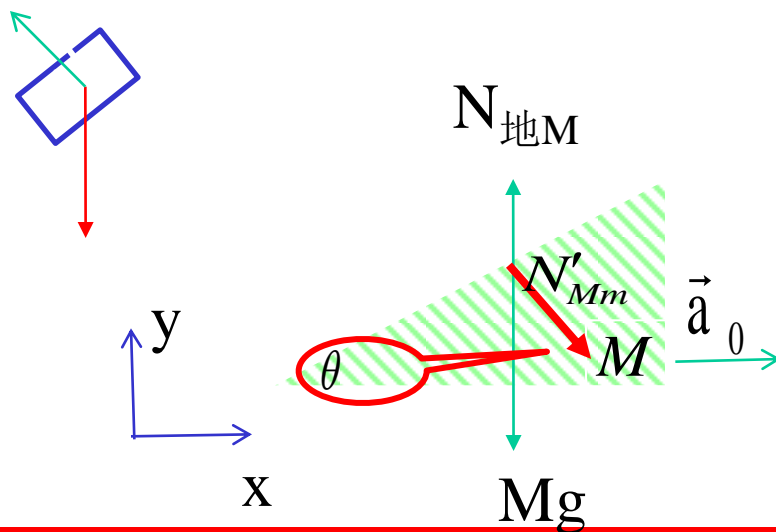
求:  $m$  下滑过程中, 相对  $M$  的加速度  $a_{mM}$ 。



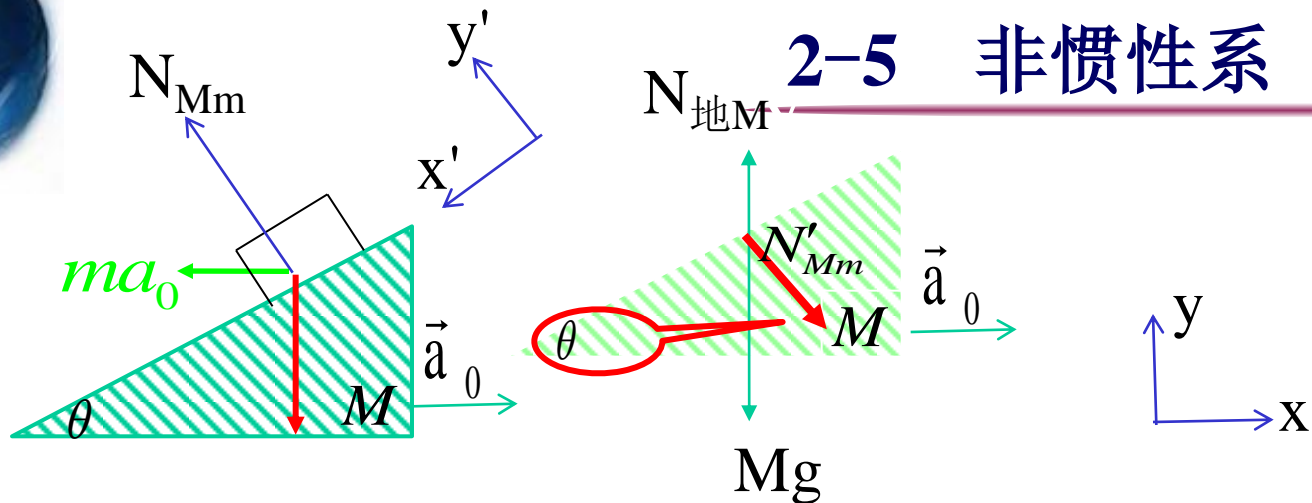
$M$  为参考系画  $m$  的受力图



以地面为参考系画  $M$  的受力图



## 2-5 非惯性系 惯性力



以地面为参考系对  $M$  列方程

以  $M$  为参考系（非惯性系）对  $m$  列方

联立求解得

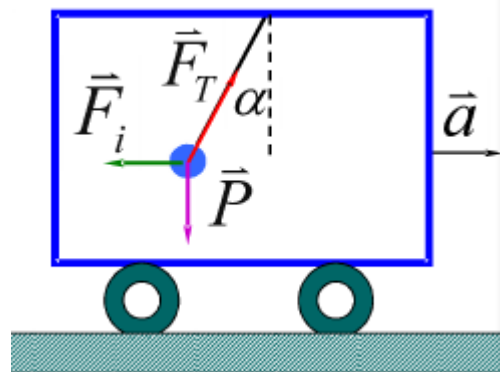
$$a_M = \frac{(M \sin \theta)}{m + M \sin^2 \theta} g$$



## 2-5 非惯性系 惯性力

**例** 动力摆可用来测定车辆的加速度。一根质量不计的细棒一端固定在车厢的顶部，另一端系一小球，当列车以加速度  $\vec{a}$  行驶时，细杆偏离竖直线成  $\alpha$  角，试求加速度  $\vec{a}$  与摆角  $\alpha$  的关系。

解：设以加速运动的车厢为参考系。在此非惯性系中的观察者认为，当细棒的摆角为  $\alpha$  角时，受到重力，拉力和惯性力的作用。由于小球处于平衡状态，所以



$$\vec{F}_T + \vec{P} + \vec{F}_i = 0$$

上式在水平和竖直轴上的分量式为

$$F_T \sin \alpha - P = 0$$

$$F_T \cos \alpha - F_i = 0$$

解得  $a = g \tan \alpha$



## 2-5 非惯性系 惯性力

例：一光滑斜面固定在升降机的底板上，如图所示，当升降机以匀加速度 $a_0$ 上升时，质量为 $m$ 的物体从斜面顶端开使下滑。求物体对斜面的压力和物体相对斜面的加速度。

解 方法一取地面为参考系

设物体的加速度为  $\vec{a}$   $\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_0$

x方向

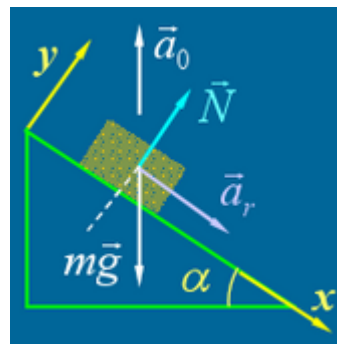
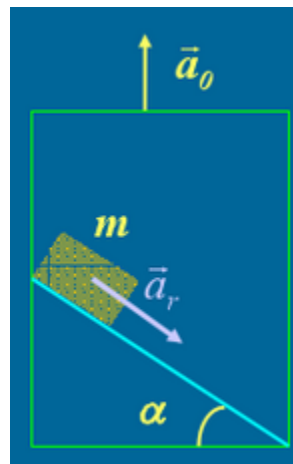
$$mg \sin \alpha = ma_x$$

$$N \cos \alpha = m(a_0 + a_r \cos \alpha)$$

y方向

$$N \sin \alpha - mg \cos \alpha = m(a_0 + a_r \sin \alpha)$$

$$\begin{cases} N \cos \alpha = m(a_0 + a_r \cos \alpha) \\ N \sin \alpha - mg \cos \alpha = m(a_0 + a_r \sin \alpha) \end{cases}$$



## 2-5 非惯性系 惯性力

方法二: 取升降机为参考系

惯性力  $\vec{F}_0 = -m\vec{a}_0$

$$\vec{F}_0 = -m\vec{a}_0$$

x方向

$$N \sin \alpha = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

y方向

$$N \cos \alpha - mg = m \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$\begin{cases} N \sin \alpha = m \frac{d^2 x}{dt^2} \\ N \cos \alpha - mg = m \frac{d^2 y}{dt^2} \end{cases}$$

