第二章　　质点动力学
（§2.1-§2.3）

牛顿，I.

质点动力学研究的是质点运动与力的关系。本章学习的基本规律是牛顿定律以及由此推出的三个质点运动定理：动量定理、动能定理和角动量定理。重点学习这些基本规律的应用。

一、牛顿运动定律

1、牛顿第一定律

任何物体都要保持其静止或匀速直线运动状态，直到外力迫使它改变运动状态为止．

★ $\vec{F}=0$ 时， $\vec{v}=$恒矢量

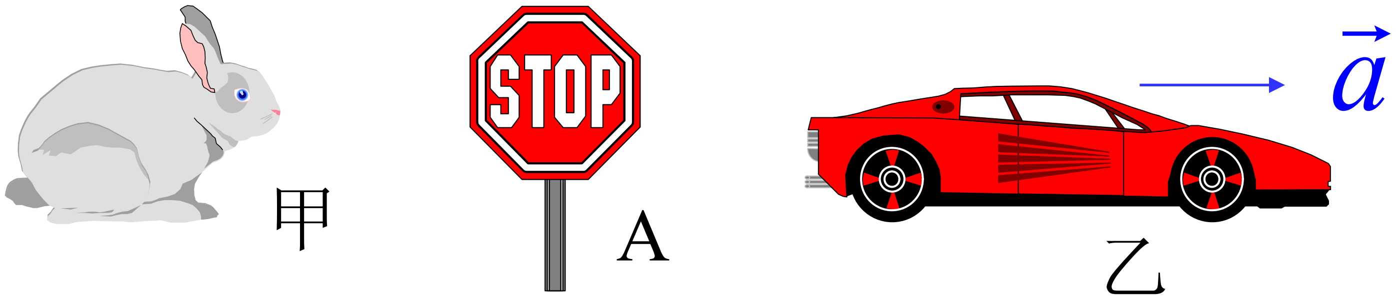
说明：

✦ 牛顿第一定律 指明了任何物体都具有保持其原有运动状态不变的特性——惯性，因此又称第一定律为惯性定律。实际上第一定律所描述的是力处于平衡时物体的运动规律。

✦ 它定性地阐明了力的涵义，力是改变物体运动状态的原因。

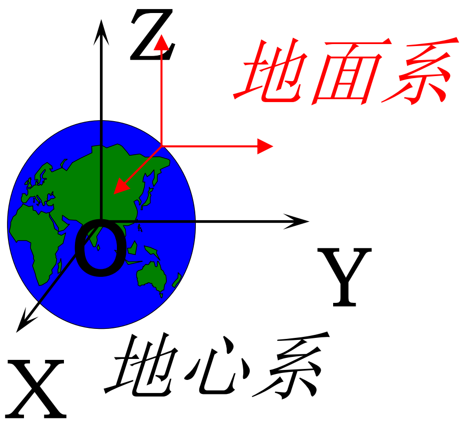
第一定律定义了一类重要的参照系－惯性系

- 惯性系：　满足牛顿第一定律的参照系
- 非惯性系：牛顿第一定律不成立的参照系



- **甲看A:满足第一定律**
- **乙看A:不满足第一定律**

$\Rightarrow$ 甲是惯性系，乙是非惯性系



一、牛顿运动定律

2、牛顿第二定律

一个物体的动量为 $\vec{p}$ ，在合外力 $\vec{F}$ 的作用下运动，则物体所受的合外力 $\vec{F}$ 等于物体的动量随时间的变化率.

★ $\vec{F}(t)=\dfrac{\mathrm{d}\vec{p}(t)}{\mathrm{d}t}$， $\vec{p}(t)=m\vec{v}(t)$

★ 当 $v<<c$ 时，m 为常量 $\boxed{\vec{F}(t)=m\vec{a}(t)}$

注意

1. 上式是一个瞬时关系式，即等式两边的各物理量都是同一时刻的物理量。

注意

2. $\vec{F}$ 是作用在质点上各力的矢量和。

迭加性： $\vec{F}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+\cdots+\vec{F}_N=\sum_{N=1}^{i}F_i$

3. 在一般情况下力 $\vec{F}$是一个变力

4. 第二定律是矢量式, 使用时可用分量式

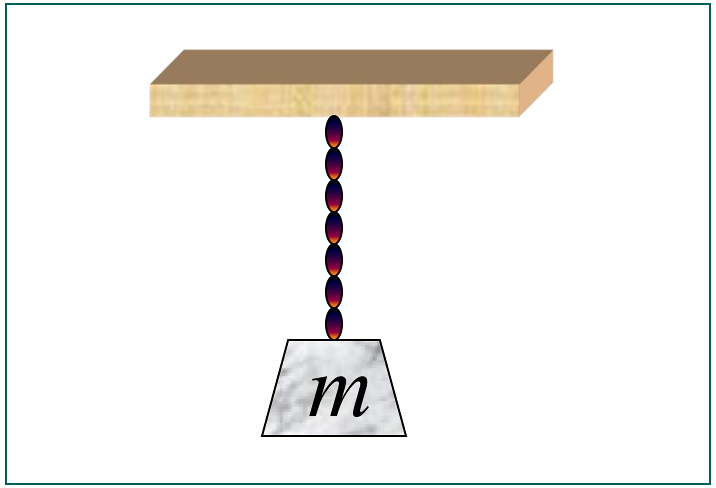
直角坐标系中： $\begin{cases} F_x=ma_x=m\dfrac{d\upsilon_x}{dt} \\ F_y=ma_y=m\dfrac{d\upsilon_y}{dt} \\ F_z=ma_z=m\dfrac{d\upsilon_z}{dt} \end{cases}$

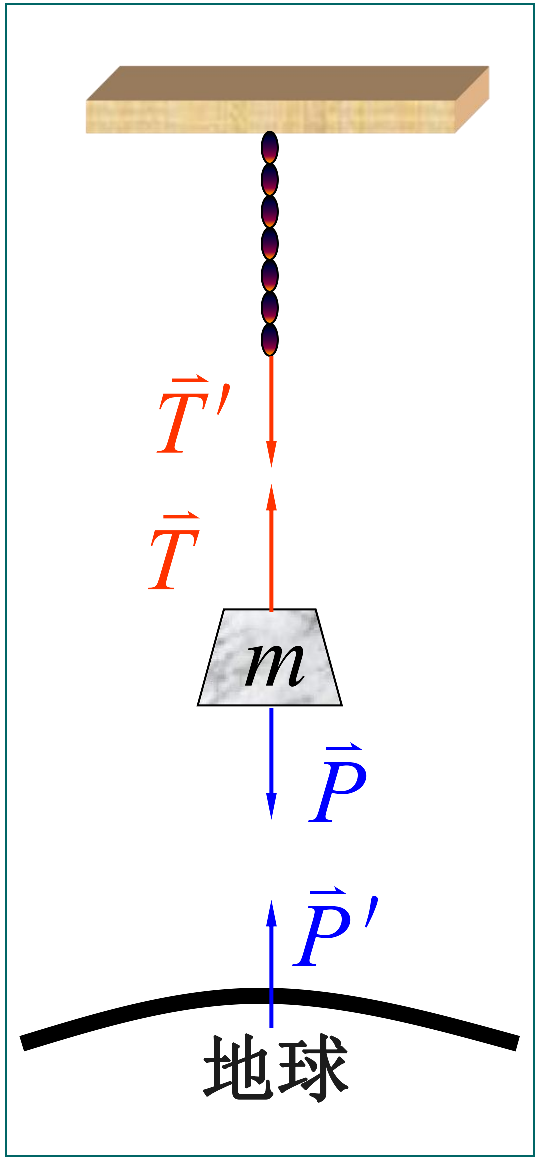
5. 质量是物体惯性的量度，称为惯性质量。

3、牛顿第三定律

两个物体之间作用力和反作用力，大小相等，方向相反，作用 在同一直线上.

★ $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$





★ 说明：

- 指出了力的本质：力是物体间的相互作用。

- 作用力与反作用力：同时产生, 同时存在, 同时消失, 永不抵消 （瞬时性）.

- 作用力与反作用力大小相等，方向相反，分别作用在两个不同的物体上，而且属于同一性质的力。

- 作用力和反作用力不能求和。理由是作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上，各自产生的作用效果不同。

二、基本的自然力

在目前的宇宙中，存在着四类基本的相互作用，所有的运动现象的原因都逃不出这四类基本的力,各式各样的力只不过是这四类基本力在不同情况下的不同表现.

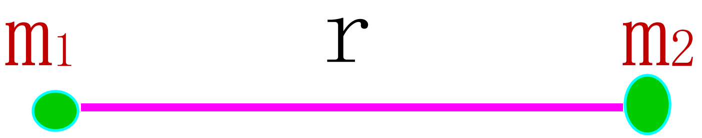
四种基本相互作用

力的种类	相互作用的物体	力的强度	力　　程
万有引力	一切质点	10^{-34}N	无限远
电磁力	电荷	10^{2}N	无限远
弱力	大多数粒子	10^{-9}N	小于10^{-18}m
强力	核子、介子等	10^{4}N	小于10^{-15}m

三、力学中常见的几种力

1. 万有引力和重力

万有引力：存在于任何两个物体之间的吸引力。



$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

引力常量

$$G = 6.67\times10^{-11}\,\mathrm{N\cdot m^2\cdot kg^{-2}}$$

重力:地球对表面物体的万有引力mg

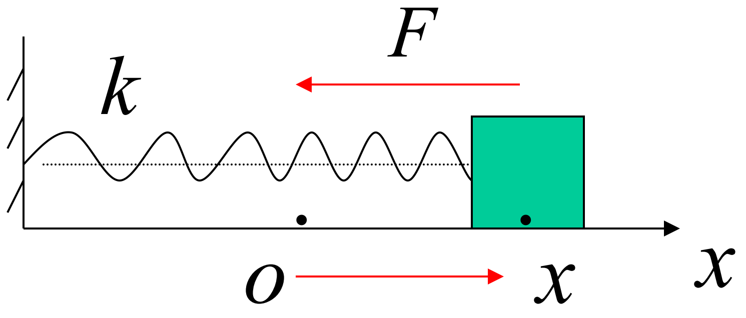
三、力学中常见的几种力

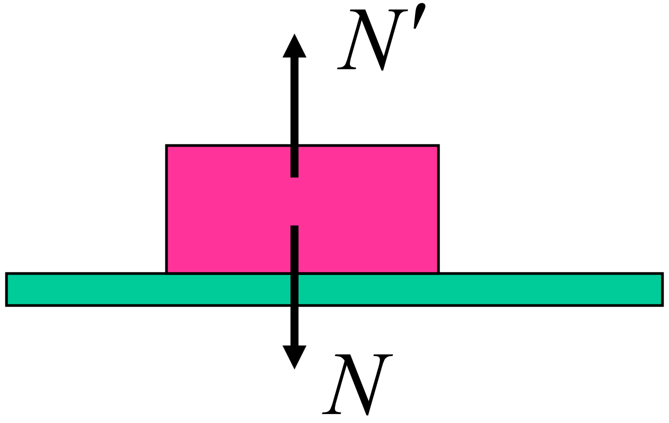
2. 弹性力 （弹簧力、正压力、支持力、绳张力）

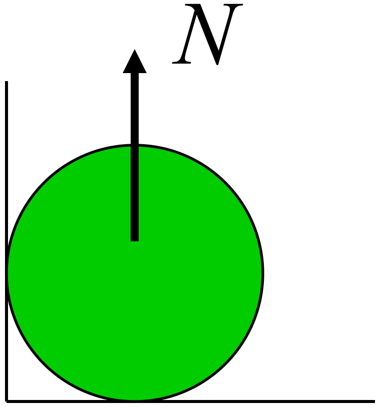
相互接触的物体因彼此形变而产生欲使物体恢复其原来形状的力.

胡克定律

$$\boxed{F = -kx}$$







三、力学中常见的几种力

3. 摩擦力

物体与物体相互接触时，沿接触面两物体相互施以阻止相对滑动的作用力。

摩擦力

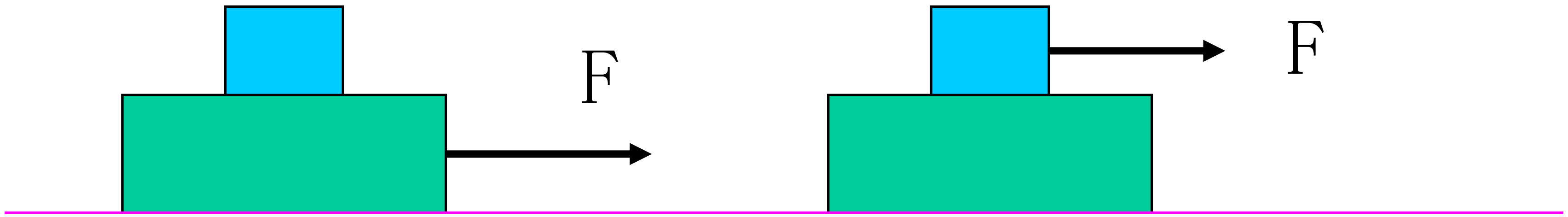
静摩擦力：$\boxed{0 \le f_0 \le \mu_0 N}$

方向：与物体相对滑动趋势的方向相反

滑动摩擦力：$\boxed{f_\mu = \mu N}$

方向：与物体相对运动的方向相反

判断下列情况中的摩擦力的方向：



四、牛顿运动定律的应用

1、动力学的两大类问题

（1）已知运动求力：

$$\vec{r}=\vec{r}(t)\rightarrow\vec{v}(t)=\frac{d\vec{r}}{dt}\rightarrow\vec{a}(t)=\frac{d\vec{v}}{dt}\rightarrow\vec{F}=m\vec{a}$$

（2）已知力求运动：

$$\vec{F}=m\vec{a}\rightarrow\vec{v}=\int\vec{a}dt\rightarrow\vec{r}=\int\vec{v}dt=\vec{r}(t)$$

<u>力是牛顿力学的核心概念。质点动力学问题的求解，关键是力</u>.

2、解题步骤：

（1）明确题意，确定研究对象和参照系。
（2）隔离物体，受力分析，画受力图。
（3）选取坐标系，列出分量方程式。
（4）解方程，先用文字符号求解，后代入数据计算结果
（5）讨论。

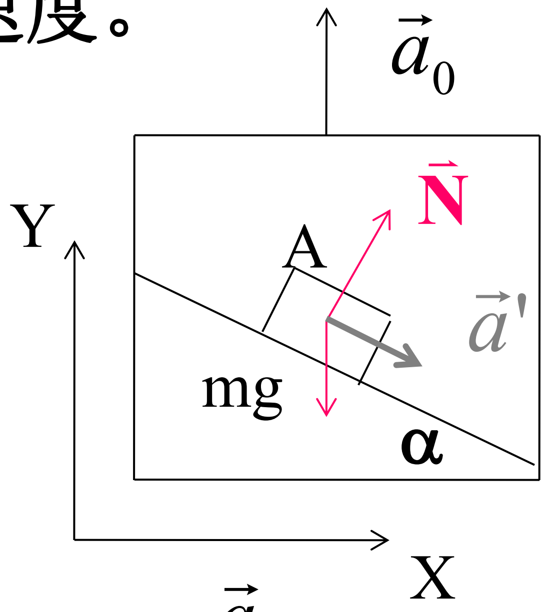
直角坐标系：

$$F_x = ma_x = m\frac{dv_x}{dt}, \quad F_y = ma_y = m\frac{dv_y}{dt}$$

自然坐标系：

$$F_\tau = ma_\tau = m\frac{dv}{dt}, \quad F_n = ma_n = m\frac{v^2}{\rho}$$

例2-1：升降机内有一固定光滑斜面，倾角为α，如图所示。当升降机以匀加速 $\vec{a}_0$ 上升时，质量为*m*的物体A沿斜面滑下，求A对地面的加速度。

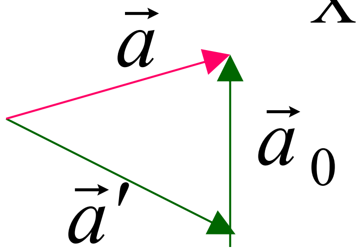


解：设A相对于斜面的加速度为 $\vec{a}'$

A对地的加速度为 $\vec{a}=\vec{a}'+\vec{a}_0$

$$a_x = a'_x = a'\cos\alpha$$

$$a_y = a'_y + a_0 = a_0 - a'\sin\alpha$$



根据牛顿第二定律，有

$$N\sin\alpha = ma'\cos\alpha$$

$$N\cos\alpha - mg = m(a_0 - a'\sin\alpha)$$

得：

$$a' = (g+a_0)\sin\alpha$$

$$a_x = (g+a_0)\sin\alpha\cos\alpha$$

$$a_y = a_0\cos^2\alpha - g\sin^2\alpha$$

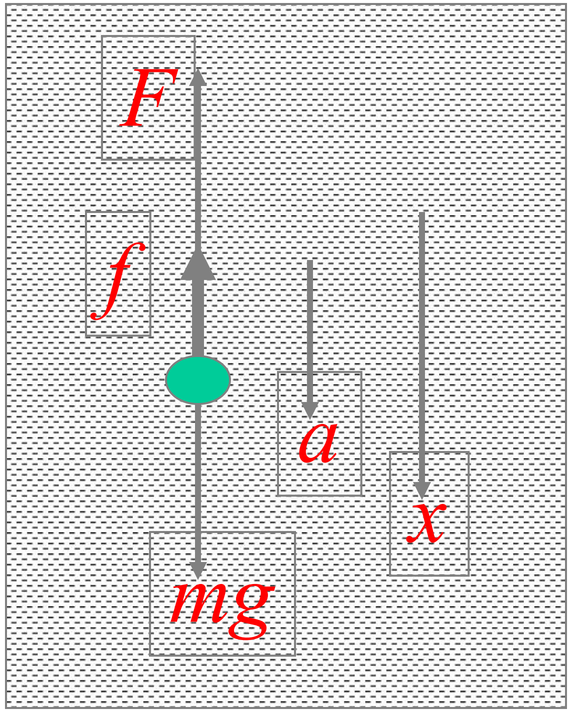
$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_Y\vec{j}$$

例2-2：质量为m的小球，在水中受的浮力为常力F，当它从静止开始沉降时，受到水的粘滞阻力为$f=kv$(k为常数），证明小球在水中竖直沉降的速度v与时间t的关系为

$$v=\frac{mg-F}{k}\left(1-e^{-\frac{kt}{m}}\right)$$

式中t为从沉降开始计算的时间

证明：作受力图，取坐标。



根据牛顿第二定律，有

$$mg-kv-F=ma=m\frac{dv}{dt}$$

$$mg - kv - F = ma = m\frac{dv}{dt}$$

初始条件：t=0 时 v=0

$$\int_0^v \frac{dv}{(mg - kv - F)/m} = \int_0^t dt$$

$$-\frac{m}{k}\int_0^v \frac{d(mg - kv - F)}{(mg - kv - F)} = \int_0^t dt$$

$$ln(mg - kv - F)\Big|_0^v = -\frac{kt}{m}$$

$$v = \frac{mg - F}{k}(1 - e^{-\frac{kt}{m}})$$

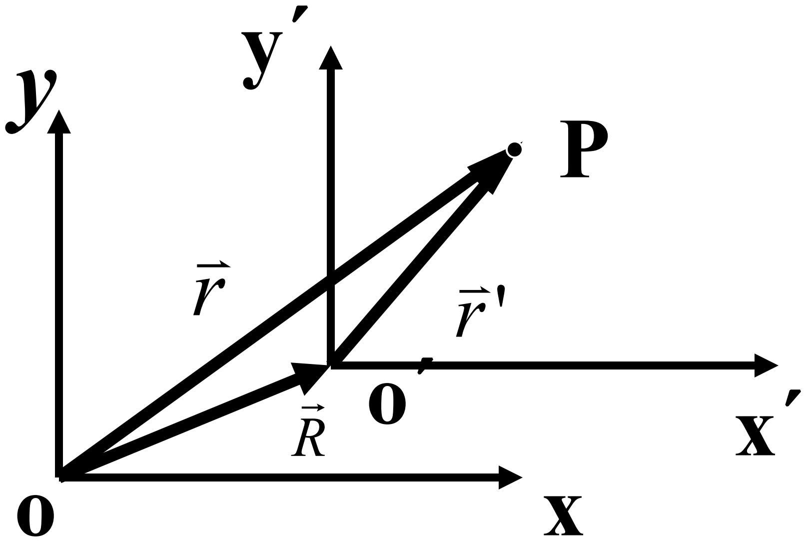
§ 2.3 力学相对性原理 非惯性系中的力学定律

1、力学相对性原理

$$\vec{v} = \vec{v}\,' + \vec{u}$$

$\vec{u}$ 为常量 $\quad \therefore \vec{a} = \vec{a}\,'$

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\vec{a}\,' = \vec{F}'$$



结论：

（1）相对于惯性系作匀速直线运动的一切参照系都是惯性系。

（2）对于不同惯性系，牛顿力学的规律都具有相同的形式，于惯性系的运动无关。

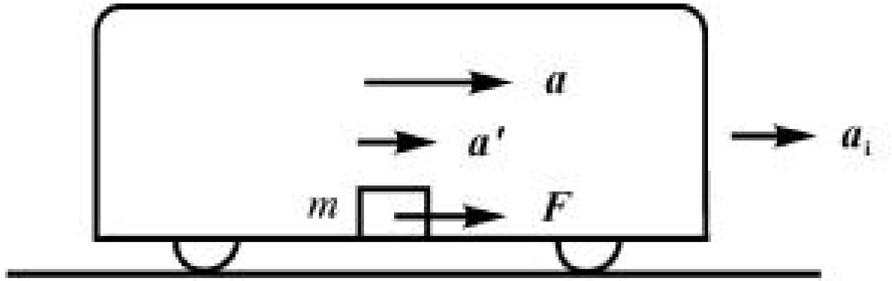
2、非惯性系中的力学定律

凡是牛顿定律不成立的参照系都是**非惯性系**。

例如：相对惯性系的加速平动或转动

（1）加速平动非惯性系

地面为惯性系，
车厢为非惯性系

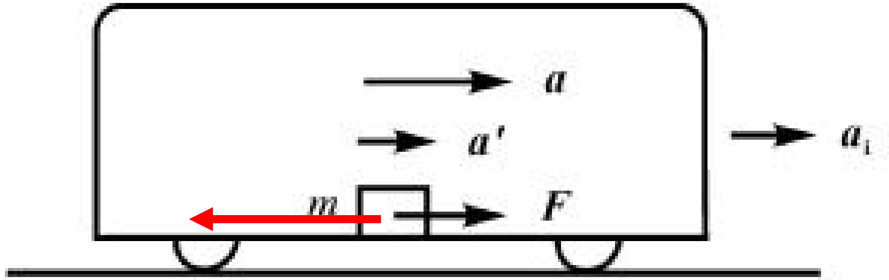


物体相对地面的加速度：

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0$$

$$\vec{F} = m(\vec{a}_0 + \vec{a}')$$

$$\vec{F} \neq m\vec{a}'$$



在加速平动的车厢内，牛顿定律不成立。

$$\because \vec{F} = m(\vec{a}_0 + \vec{a}'), \quad \therefore \vec{F} - m\vec{a}_0 = m\vec{a}'$$

如果车厢内的观察者设想物体受到一个假想的惯性力：

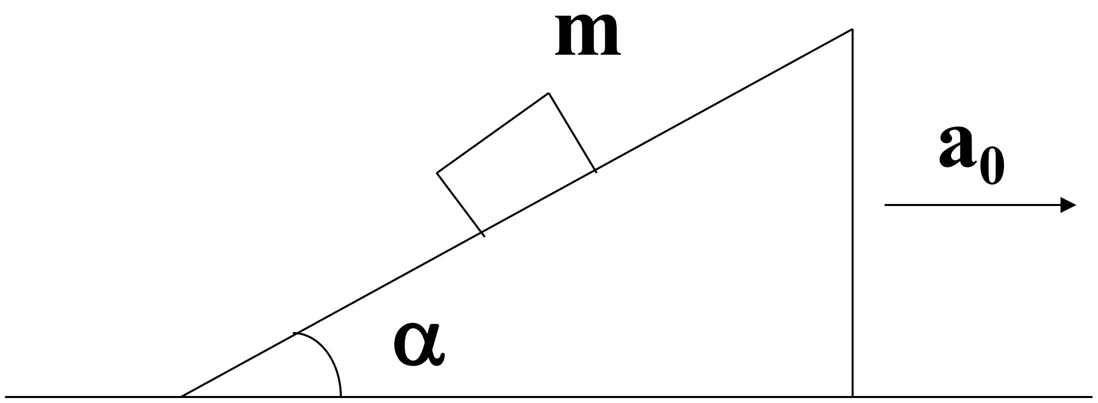
$$\vec{F}_i = -m\vec{a}_0$$

则：

$$\vec{F}' = \vec{F} + \vec{F}_i = \vec{F} - m\vec{a}_0 = m\vec{a}',$$

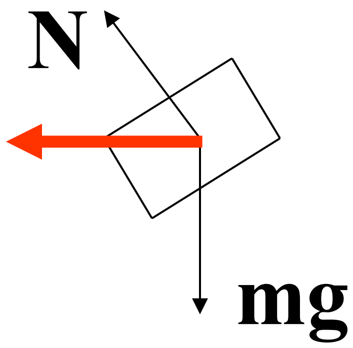
牛顿定律仍然可以应用

例2-3：倾角为α的斜面体以加速度a_0在水平地面上作匀加速直线运动，光滑的斜面上有一质量为m的物体，如下图所示。求斜面体对物体的作用力和物体相对斜面体的加速度。

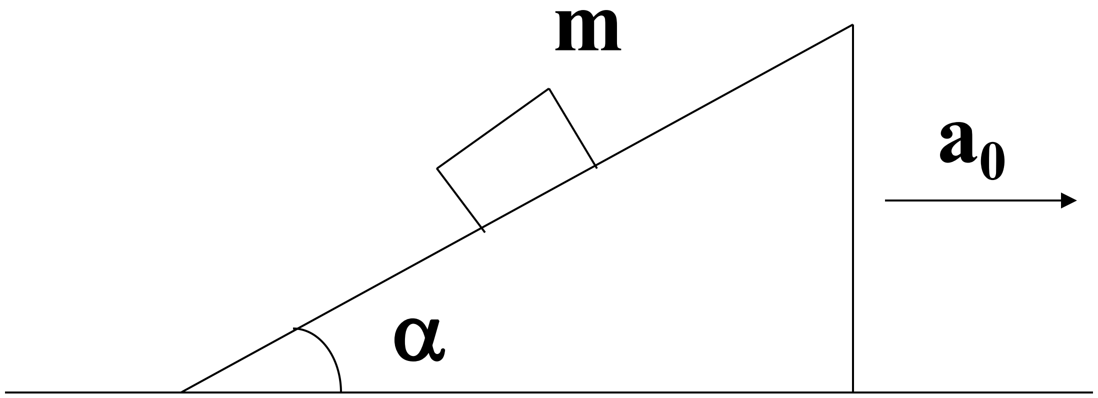


解：（1）以物体为研究对象，斜面为参照系。

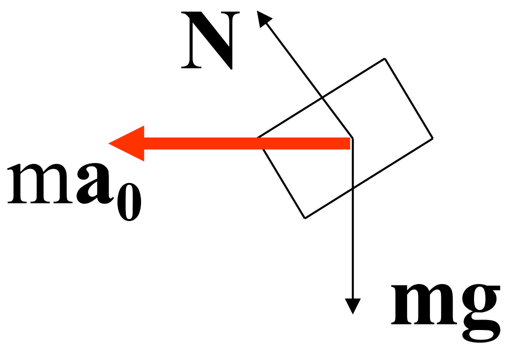
（2）分析受力，作受力图。

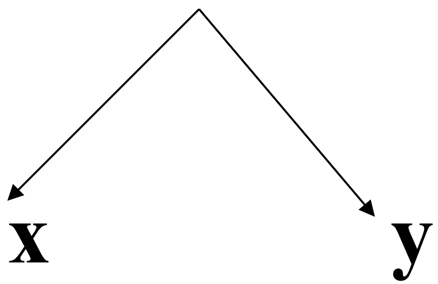


假设沿斜面的加速度为 $\vec{a}\,'$



（3）选坐标系，列方程。





X方向：$mg\sin\alpha + ma_0\cos\alpha = ma'$

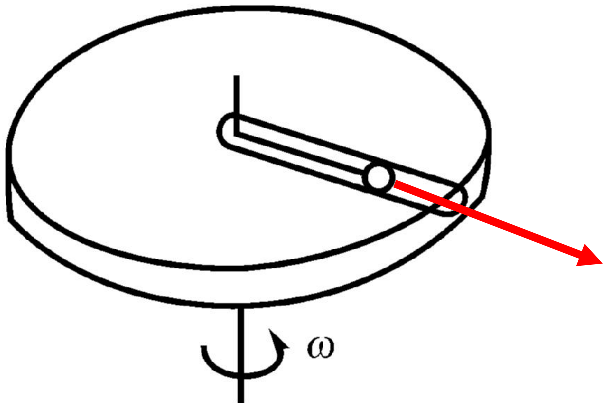
Y方向：$mg\cos\alpha - N - ma_0\sin\alpha = 0$

（4）求解方程。

$$N = m(g\cos\alpha - a_0\sin\alpha)$$

$$a' = g\sin\alpha + a_0\cos\alpha$$

（2）转动非惯性系



以地面为参照系：

$$\vec{a}_n = \omega^2 r\vec{e}_n$$

$$\vec{F}_T = m\omega^2 r\vec{e}_n$$

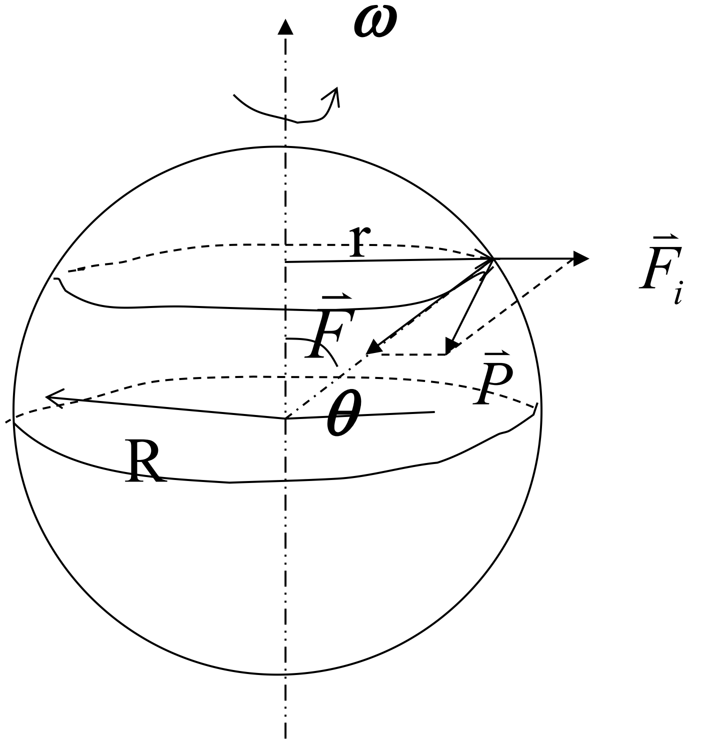
以转台为参照系：

$$\vec{F}_T + \vec{F}_i = 0 \qquad \vec{F}_i = -m\vec{a}_0 = -m\omega^2 r\vec{e}_n$$

惯性离心力

例2-4：由于地球的自转，故物体在地球表面所受的重力与物体所处的纬度有关，试找出它们之间的关系。

解：在地球纬度θ处，物体的重力 P 等于地球引力与自转效应的惯性离心力的矢量和，即：



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

$$\vec{F}_i = m\omega^2 r = m\omega^2 R\cos\theta$$

$$P \approx mg_0 - F_i\cos\theta$$

$$= mg_0(1-\omega^2 R\cos^2\theta / g_0) = mg_0(1-\frac{\cos^2\theta}{290})$$

物体的重力 P在两极最大，赤道最小。

作业：

2.3 2.18

2.19 2.20

2.21