University Physics

大学物理

大学
物理

复习： 运动学的两类基本问题

一. 已知质点运动方程，求任一时刻的速度、加速度（微分法）；

$$\vec{r}(t) \to \vec{v},\quad \vec{a}\quad ；\quad \theta(t) \to \omega,\quad \beta$$

二. 已知加速度(或速度)及初始条件，求质点任一时刻的速度和运动方程(积分法)。

$$\vec{a}(t), (t=0\text{时}\ \vec{r}_0, \vec{v}_0) \to \vec{v}(t), \vec{r}(t)$$

三、相对运动：

$$\vec{r}_{AO} = \vec{r}_{AB} + \vec{r}_{BC} + \vec{r}_{CD} + \vec{r}_{DO}$$

$$\vec{v}_{AO} = \vec{v}_{AB} + \vec{v}_{BC} + \vec{v}_{CD} + \vec{v}_{DO}$$

运动的描述（第三章）

运动的度量

第四章：　动量　动量守恒定律

第五章：　角动量　角动量守恒定律

第六章：　能量　能量守恒定律

§ 4.1 动量 动量的时间变化率

一. 质点

1. 质点的动量 $\vec{p} = m\vec{v}$

量度质点机械运动的强度

2. 质点动量的时间变化率

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}(m\vec{v})}{\mathrm{d}t} = m\frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = m\vec{a} = \vec{F} \qquad (v << c)$$

质点动量的时间变化率是质点所受的合力

牛顿第二定律的一般形式

$$\vec{F} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} \xrightarrow{\text{特例}} \vec{F} = m\vec{a} \quad (v << c)$$

二. 质点系

1. 质点系的动量

N个质量分别为 $m_1, m_2, \cdots, m_N$，动量分别为 $\vec{p}_1, \vec{p}_2, \cdots, \vec{p}_N$ 的质点组成质点系，其总动量：

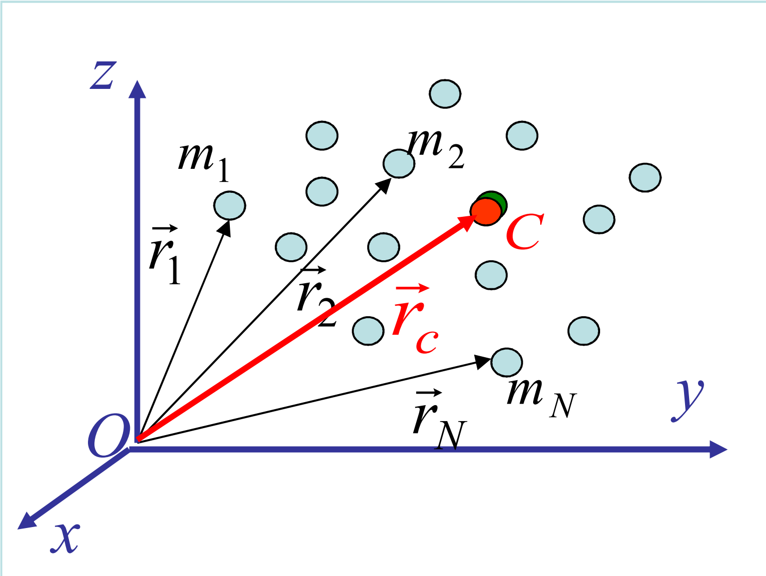
$$\begin{aligned}\vec{p} &= \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \cdots + \vec{p}_N \\ &= m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \cdots + m_N\vec{v}_N \\ &= \sum_i m_i\vec{v}_i\end{aligned}$$

$$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \frac{\mathrm{d}\vec{r}_i}{\mathrm{d}t} = M\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\sum_i \frac{m_i\vec{r}_i}{M}\right) = M\frac{d\vec{r}_c}{dt} = M\vec{v}_c$$

2. 质心

质心位矢： $$\vec{r}_c = \sum_i \frac{m_i \vec{r}_i}{M} = \underbrace{\frac{m_1}{M}}_{\text{权重}} \vec{r}_1 + \frac{m_2}{M} \vec{r}_2 + \cdots + \frac{m_N}{M} \vec{r}_N$$

质心位矢是各质点位矢的加权平均



注意：质心不一定是几何中心，有可能不在物体上。

直角坐标系中，质心的位置：

分立的质点系

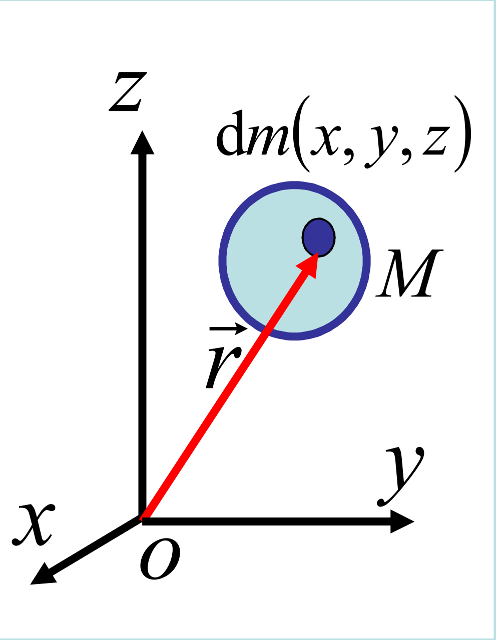
$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_i \vec{r}_i}{M}$$

$$\begin{cases} x_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{N} m_i x_i}{M} \\ y_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{N} m_i y_i}{M} \\ z_c = \dfrac{\sum_{i=1}^{N} m_i z_i}{M} \end{cases}$$

质量连续分布的质点系

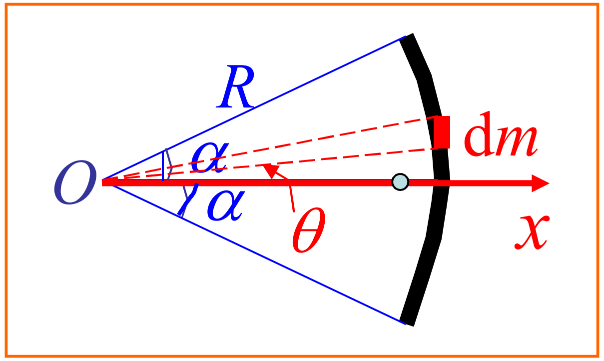
$$\vec{r}_c = \frac{\int \vec{r}\,\mathrm{d}m}{M}$$

$$\begin{cases} x_c = \dfrac{\int x\,\mathrm{d}m}{M} \\ y_c = \dfrac{\int y\,\mathrm{d}m}{M} \\ z_c = \dfrac{\int z\,\mathrm{d}m}{M} \end{cases}$$



[例1]

设以半径为R顶角为2α的均匀圆弧，求其质心位置。



[解]　由对称性分析其质心在对称轴上如图建立极坐标轴

设圆弧线密度为λ，则$\mathrm{d}m = \lambda \mathrm{d}l$

$$x_{com} = \frac{\int x\,\mathrm{d}m}{\int \mathrm{d}m} = \frac{\int_{-\alpha}^{\alpha} x\lambda\,\mathrm{d}l}{\int_{-\alpha}^{\alpha} \lambda\,\mathrm{d}l} = \frac{\int_{-\alpha}^{\alpha} \lambda R\cos\theta R\,\mathrm{d}\theta}{\int_{-\alpha}^{\alpha} \lambda R\,\mathrm{d}\theta} = \frac{R\sin\alpha}{\alpha} \boxed{\leq R}$$

质心位置并不在圆弧上！

质心的速度与加速度：

$$\vec{v}_c=\frac{\mathrm{d}\vec{r}_c}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sum_i\frac{m_i\vec{r}_i}{M}=\sum\frac{m_i}{M}\frac{\mathrm{d}\vec{r}_i}{\mathrm{d}t}=\frac{\sum_i m_i\vec{v}_i}{M}\quad\text{或}\quad\frac{\int\vec{v}\,\mathrm{d}m}{M}$$

质心速度是各质点速度的加权平均

同理：

$$\vec{a}_c=\frac{\mathrm{d}v_c}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\vec{r}_c}{\mathrm{d}t^2}=\frac{\sum_i m_i\vec{a}_i}{M}\qquad\text{或}\qquad\frac{\int\vec{a}\,\mathrm{d}m}{M}$$

质心加速度是各质点加速度的加权平均

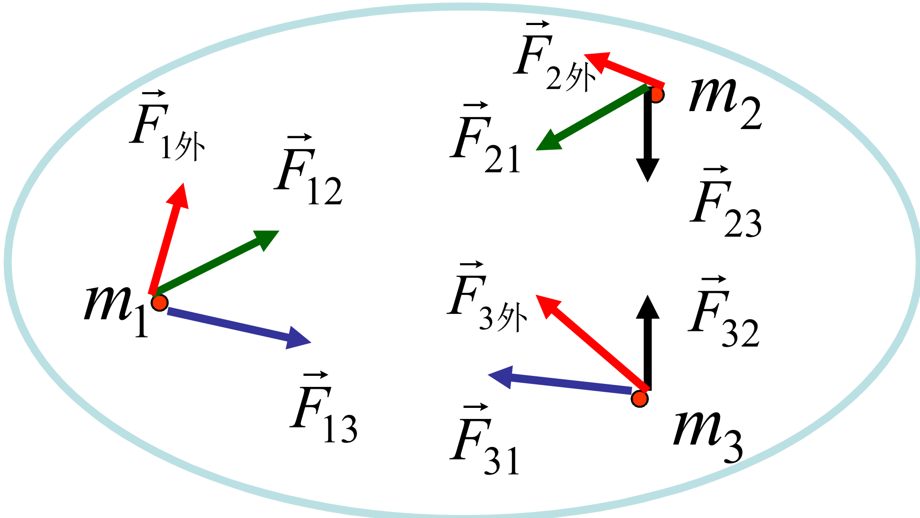
$\vec{v}_c\ ,\vec{a}_c$　也可以写成分量式。

3.质点系动量的时间变化率 质心运动定理

内力和外力： 内力——质点系内质点间的相互作用力

外力——质点系外的物体对系内任一质点的作用力

$$\vec{F}_{外} = \sum_i \vec{F}_{i外}$$



质点系内质点间的内力总是成对出现，因此必有

$$\vec{F}_{内} = \sum_i \vec{F}_{i内} \equiv 0$$

同一力对某一系统为外力，而对另一系统则可能为内力

N个质量分别为 $m_1, m_2, \cdots, m_N$ 动量分别为$\vec{p}_1, \vec{p}_2, \cdots, \vec{p}_N$ 的质点组成一个质点系，各质点所受的合力分别为

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{1外} + \vec{F}_{1内} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}_1}{dt}$$

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{2外} + \vec{F}_{2内} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}_2}{dt}$$

$\cdots \ \cdots \ \cdots$

$$\vec{F}_N = \vec{F}_{N外} + \vec{F}_{N内} = \frac{\mathrm{d}\vec{p}_N}{dt}$$

将以上各式相加，并考虑到 $\vec{F}_{内}=\sum_{i=1}^{N}\vec{F}_{i内}=0$ 得：

$$\vec{F}_{1外}+\vec{F}_{2外}+\cdots+\vec{F}_{N外}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(\vec{p}_1+\vec{p}_2+\cdots+\vec{p}_N)$$

即
$$\vec{F}_{外}=\sum_{i=1}^{N}\vec{F}_{i外}=\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t}$$

结论：质点系所受外力的矢量和等于质点系的总动量的时间变化率。

即 $$\vec{F}_{外} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{i外} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

将 $\vec{p} = M\vec{v}_c$ 代入上式得

$$\vec{F}_{外} = \frac{d(M\vec{v}_c)}{dt} = M\frac{d\vec{v}_c}{dt} = M\vec{a}_c$$ ——质心运动定理

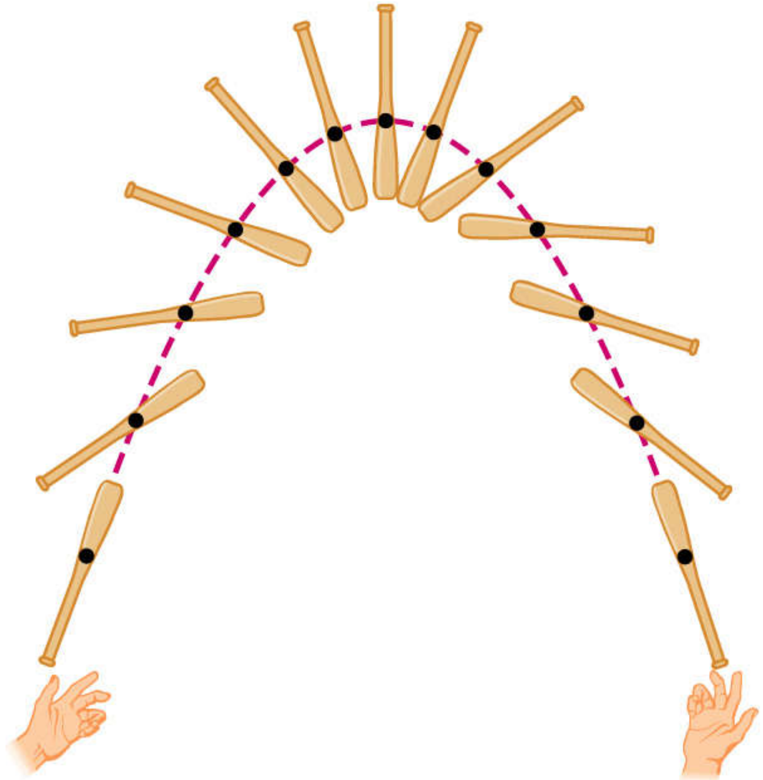
质心的运动～质点 $\begin{cases} 位于 \ \vec{r}_c \\ 质量 \ M \\ 受力 \ \vec{F}_{外} \end{cases}$

其运动与系统内质点相互作用无关

小结

***质心**

特殊点—— 质量中心（质心）



特点

1、运动中，好像物体的所有质量都集中在该点；

2、作用在物体上的力好像都作用在该点。

3、质心的运动反映物体整体的运动情况！

小结：

质点：$\vec{p} = m\vec{v}$

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}$$

质点系：$\vec{p} = \sum_i \vec{p}_i = M\vec{v}_c$

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}_{外}$$

$$\xrightarrow{v \ll c}$$

$$\boxed{\begin{aligned}\vec{F} &= m\vec{a} \\ \vec{F}_{外} &= M\vec{a}_c\end{aligned}}$$

基本方法：用质心作为物体（质点系）的代表，描述质点系整体的平动。

刚体或柔体

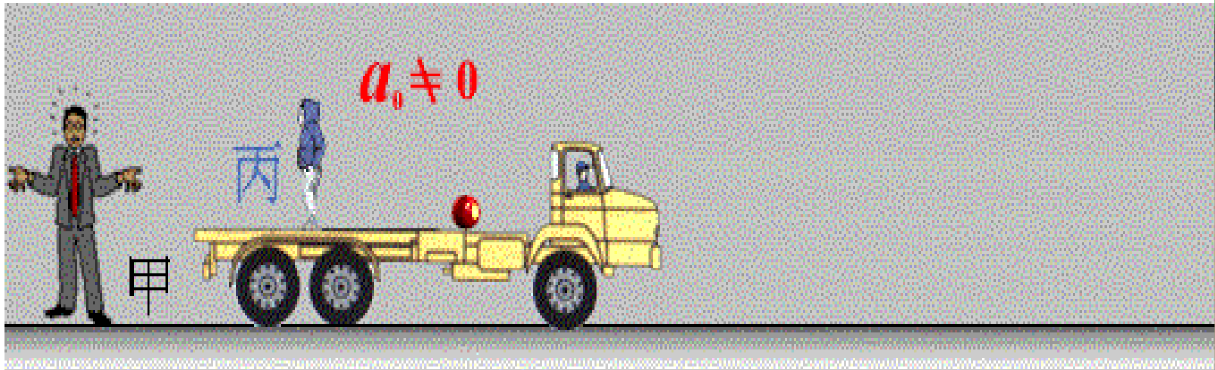
§4.2　运动定律的应用

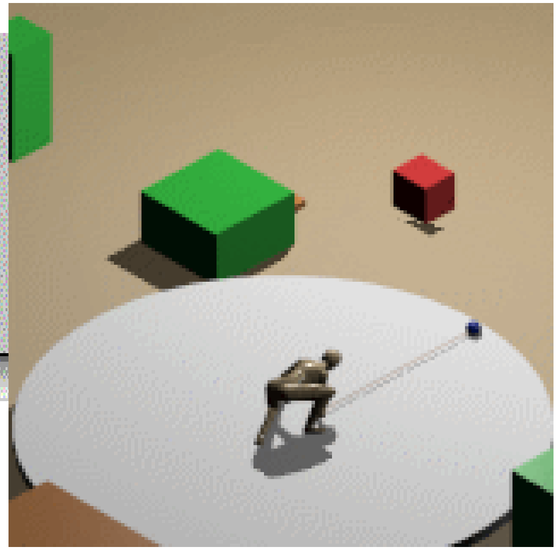
一. 惯性系和非惯性系

惯性系：惯性定律在其中成立的参考系，即其中不受外力作用的物体（自由粒子）永远保持静止或匀速直线运动的状态。

相对已知惯性系静止或匀速直线运动的参考系是惯性系；相对已知惯性系加速运动的参考系是非惯性系。

惯性系是参考系中的理想模型，其存在是牛顿力学的基础和前提。





实际生活中存在大量非惯性系，分为两类：

$\left.\begin{array}{l}\text{加速平动参考系}\\\text{转动参考系}\end{array}\right\}$ 其中牛顿运动定律不成立

分别讨论惯性系和非惯性系中的力学定律

二.惯性系中的力学定律

十六字诀

隔离物体 ——明确研究对象

具体分析 ——研究对象的运动情况和受力情况

选定坐标 ——参考系、坐标系、正方向

建立方程 ——分量式

$$\begin{cases} F_x = \dfrac{\mathrm{d}p_x}{\mathrm{d}t} = ma_x \\ F_y = \dfrac{\mathrm{d}p_y}{\mathrm{d}t} = ma_y \\ F_z = \dfrac{\mathrm{d}p_z}{\mathrm{d}t} = ma_z \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_\tau = m\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = ma_\tau \\ F_n = m\dfrac{v^2}{R} = ma_n \end{cases}$$

与质点运动学相似，质点动力学问题大体可分为两类问题。

一. 微分问题

已知运动状态，求质点受到的合力 $\vec{F}$

例 已知一物体的质量为 m ，运动方程为

$$\vec{r} = A\cos\omega t\,\vec{i} + B\sin\omega t\,\vec{j}$$

求 物体受到的力

解 $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} = \dfrac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2} = -A\omega^2\cos\omega\,\vec{i} - B\omega^2\sin\omega\,\vec{j} = -\omega^2\vec{r}$

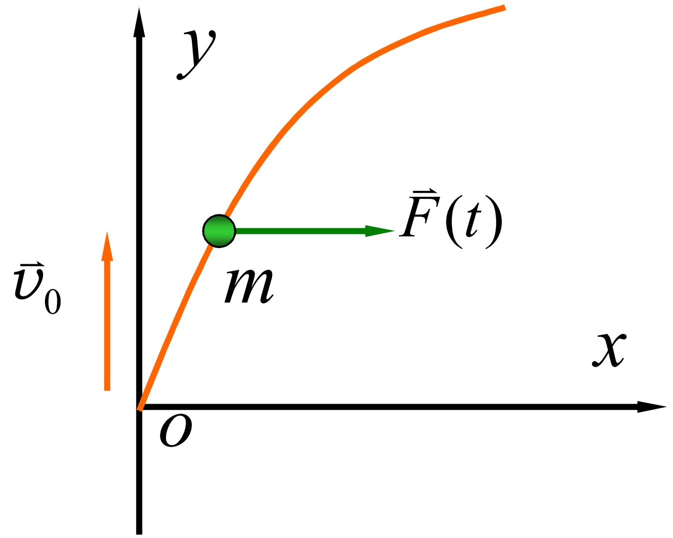
$$\vec{F} = m\vec{a} = -\omega^2 m\vec{r}$$

二. 积分问题

已知质点受到的合力 $\vec{F}$ ，求运动状态。

例 设一高速运动的带电粒子沿竖直方向以 v_0 向上运动，从时刻 $t=0$ 开始粒子受到 $F=F_0 t$ 水平力的作用，F_0 为常量，粒子质量为 m 。

求 粒子的运动轨迹。



解 水平方向有 $F_x = F_0 t = m a_x$

$$a_x = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} \Rightarrow \int_0^{v_x} \mathrm{d}v_x = \int_0^t \frac{F_0 t}{m}\mathrm{d}t$$

$$v_x = \frac{F_0 t^2}{2m} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \Rightarrow \int_0^x \mathrm{d}x = \int_0^t \frac{F_0 t^2}{2m}\mathrm{d}t \Rightarrow x = \frac{F_0}{6m}t^3$$

竖直方向有 $F_y = m a_y = 0$ $\qquad y = v_0 t$

运动轨迹为 $x = \dfrac{F_0}{6m v_0^3} y^3$

力学中常见的几种力

补充

一. 万有引力

质量为 m_1、m_2，相距为 r 的两质点间的万有引力大小为

m_1 $\vec{F}_{12}$ $\vec{F}_{21}$ m_2

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad G = 6.67\times10^{-11}\,\mathrm{m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}}$$

用矢量表示为 $\vec{F}_{21} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\overrightarrow{r^0}$

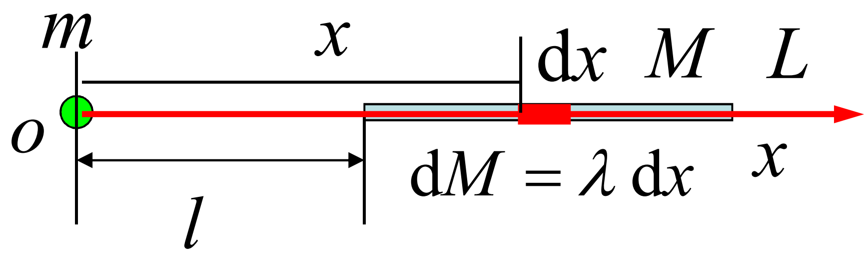
说明

(1) 依据万有引力定律定义的质量叫引力质量，常见的用天平称量物体的质量，实际上就是测引力质量；依据牛顿第二定律定义的质量叫惯性质量。实验表明：对同一物体来说，两种质量总是相等。

(2) 万有引力定律只直接适用于两质点间的相互作用

例 如图所示，一质点m 旁边放一长度为L 、质量为M 的杆，杆离质点近端距离为l 。

求 该系统的万有引力大小。



解 $|F| = GmM/l^2$ ？

质点与质量元间的万有引力大小为

$$\mathrm{d}f = G\frac{m\mathrm{d}M}{x^2} = G\frac{mM\mathrm{d}x}{Lx^2}$$

杆与质点间的万有引力大小为

$$f = \int_l^{l+L}\mathrm{d}f = \int_l^{l+L} G\frac{mM}{Lx^2}\mathrm{d}x = G\frac{mM}{L}\int_l^{l+L}\frac{\mathrm{d}x}{x^2} = G\frac{mM}{l(l+L)}$$

当 $l \gg L$ 时 $G\dfrac{mM}{l(l+L)} \to G\dfrac{mM}{l^2}$

(3) 重力是地球对其表面附近物体万有引力的分力

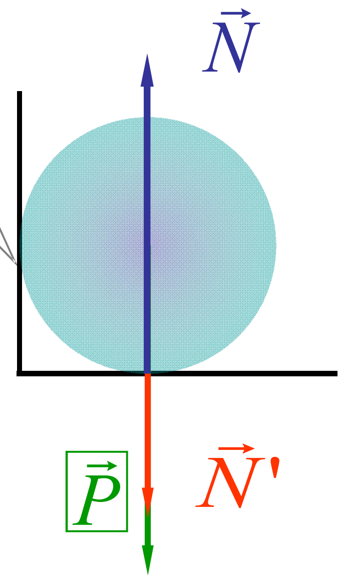
设地球半经为R，质量为M，物体质量为m，考虑地球自转后物体重力为

为物体所处的地理纬度角

$$P = G\frac{Mm}{R^2}(1-0.0035\cos^2\varphi)$$

二. 弹性力

无形变，无弹性力



- 当两宏观物体有接触且发生微小形变时，形变的物体对与它接触的物体会产生力的作用，这种力叫弹性力。
- 在形变不超过一定限度内，弹簧的弹性力 遵从胡克定律

$$\vec{f} = -kx\,\vec{i}$$

- 绳子在受到拉伸时，其内部也同样出现弹性张力。

三. 摩擦力

1. 静摩擦力

当两相互接触的物体彼此之间保持相对静止，且沿接触面有相对运动趋势时，在接触面之间会产生一对阻止上述运动趋势的力，称为静摩擦力。

说明

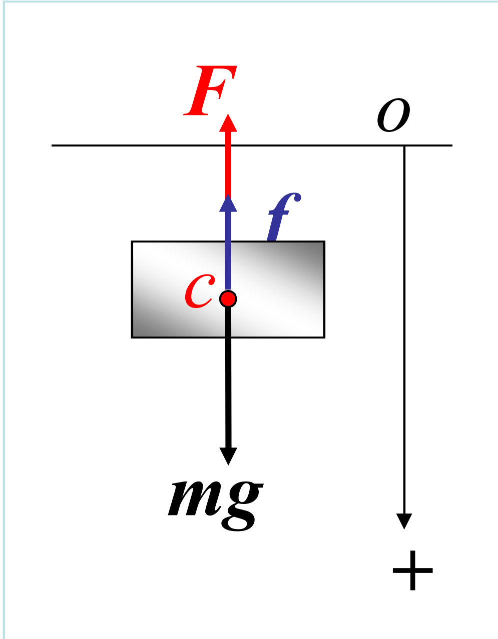
静摩擦力的大小随引起相对运动趋势的外力而变化。最大静摩擦力为 $f_{max}=\mu_0 N$ (μ_0 为最大静摩擦系数，N 为正压力)

2. 滑动摩擦力

两物体相互接触，并有相对滑动时，在两物体接触处出现的相互作用的摩擦力，称为滑动摩擦力。

$$f=\mu N$$ (μ 为滑动摩擦系数)

例题1： 一艘质量为 m 的潜水艇，全部浸没水中，并由静止开始下沉。设浮力为F ，水的阻力 $f = kAv$ ，式中 A 为潜水艇水平投影面积，k 为常数。求潜水艇下沉速度与时间的关系。



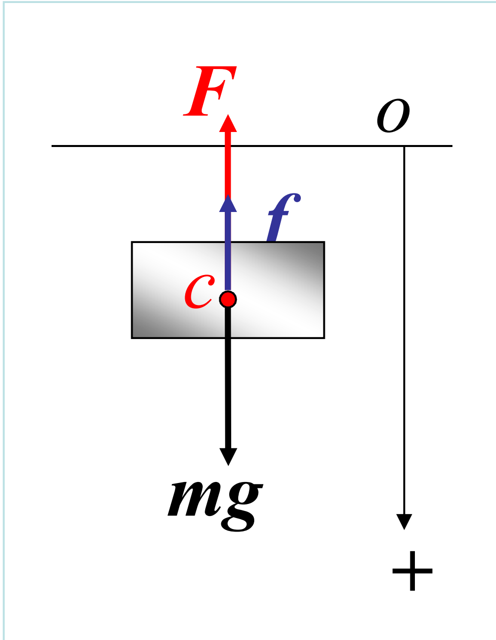
解： 以潜艇为研究对象，受力如图：

在地球系中建立如图坐标

由牛顿第二定律：

$$mg - F - kAv = m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

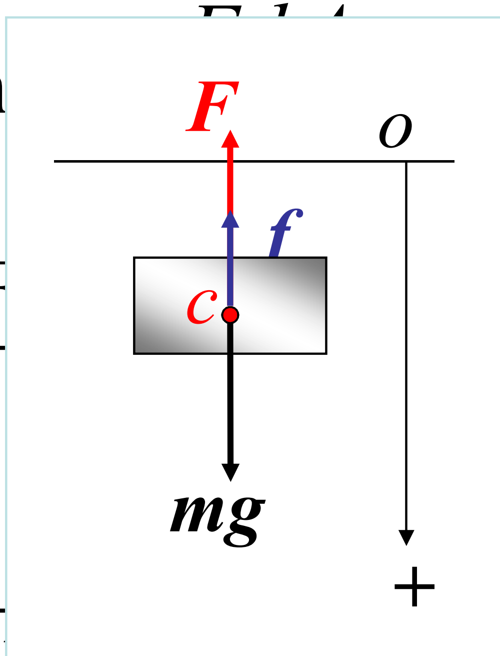
$$\int_0^v \frac{m\mathrm{d}v}{mg - F - kAv} = \int_0^t \mathrm{d}t$$

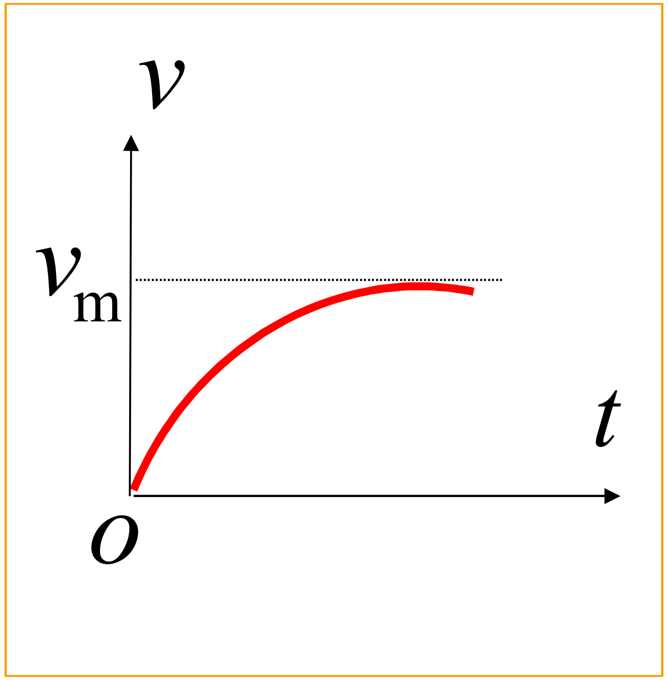


$$-\frac{m}{kA}\ln \cdots = t$$

$$\frac{mg - F \cdots}{mg} \cdots e^{-\frac{kA}{m}t}$$

$$v = \frac{mg \cdots}{kA}\left(\cdots e^{-\frac{kA}{m}t} \right)$$





讨论潜艇运动情况：

$$t = 0 \quad v = 0, \qquad t \uparrow \quad v \uparrow \quad \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \downarrow,$$

$$t \to \infty \quad v = v_{\max} = \frac{mg - F}{kA} = \text{恒量}$$

极限速率（终极速率）

类似处理：跳伞运动员下落， 有阻力的抛体运动

小球在粘滞流体中下落……

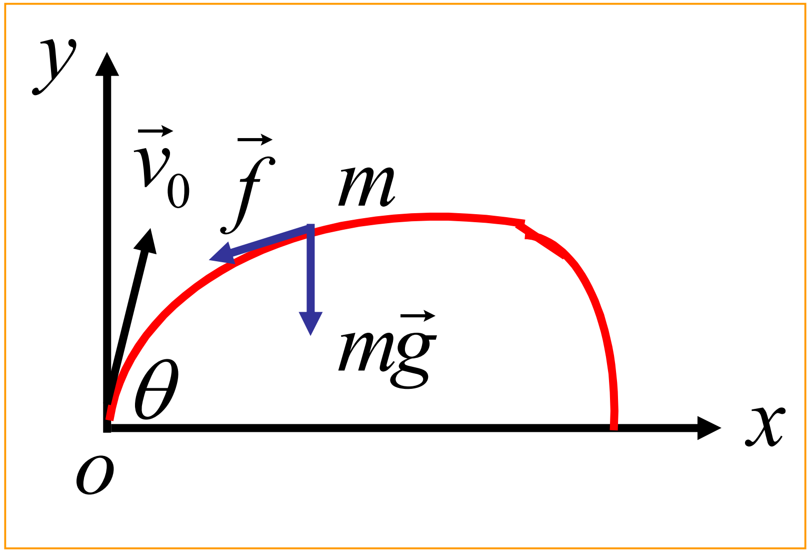
练习：一物体作有阻力的抛体运动

已知：$m, \quad v_0, \quad \theta, \quad f = -kmv$ 　求：　轨道方程

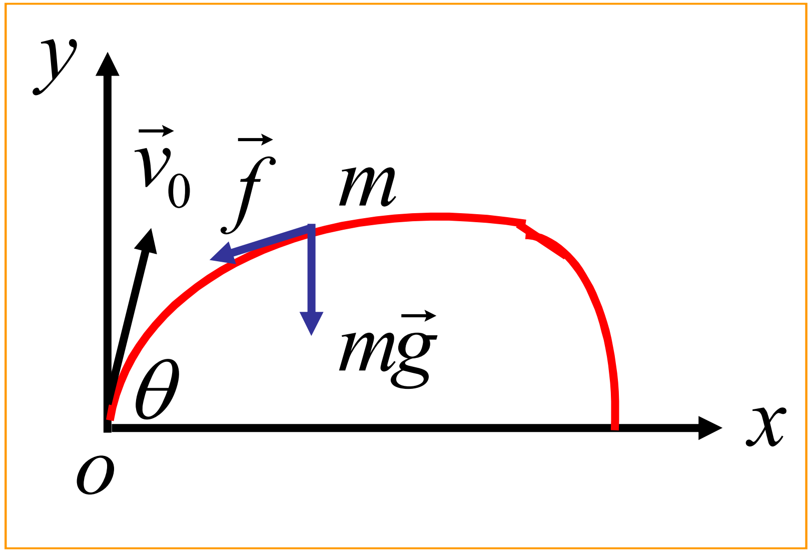
解：　先建立 **x**，**y** 方向的运动微分方程，

受力情况如图：

$$\begin{cases} -kmv_x = m\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} \\ -kmv_y - mg = m\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$



$$\begin{cases} -kmv_x = m\dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} \\ -kmv_y - mg = m\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} \end{cases}$$



用积分法求解：

$$\begin{cases} v_x = ? \\ v_y = ? \end{cases} \qquad \begin{cases} x = ? \\ y = ? \end{cases}$$

消去 t，得轨道方程

$$y = \frac{x}{v_0\cos\theta}\left(v_0\sin\theta + g/k\right) + \frac{g}{k^2}\ln\left(1 - \frac{kx}{v_0\cos\theta}\right)$$

讨论：

小雨点儿和大雨点儿相比，在空气中哪个降落的比较快？

当流体（空气）与物体之间有相对运动，物体会受到阻碍相对运动的曳力，曳力的方向指向流体相对物体流动的方向。

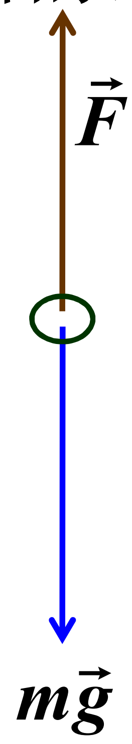
$$F = \frac{1}{2} C\rho A v^2$$

式中：ρ 为空气密度，A 为物体的有效横截面积，

C 曳引系数，通常随速率变化。

讨论：

小雨点儿和大雨点儿相比，在空气中哪个降落的比较快？



由 $$F=\frac{1}{2}C\rho Av^2$$

达到终极速率时 $$F-mg=\frac{1}{2}C\rho Av_t^2-mg=0$$

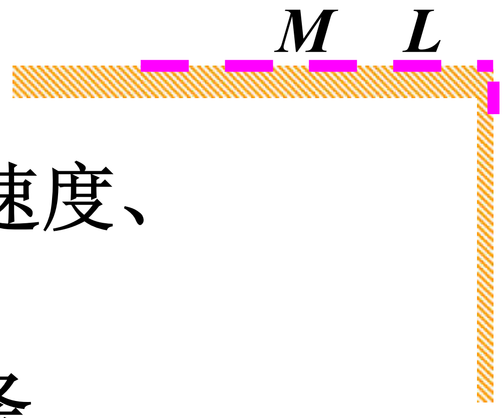
可解得：$$v_t=\sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$

将 $A=\pi r^2$， $m=4\pi r^3\rho_{水}/3$ 代入上式

得 $$v_t=\sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}=\sqrt{\frac{8\rho_{水}r}{3\rho C}}\propto\sqrt{r}$$

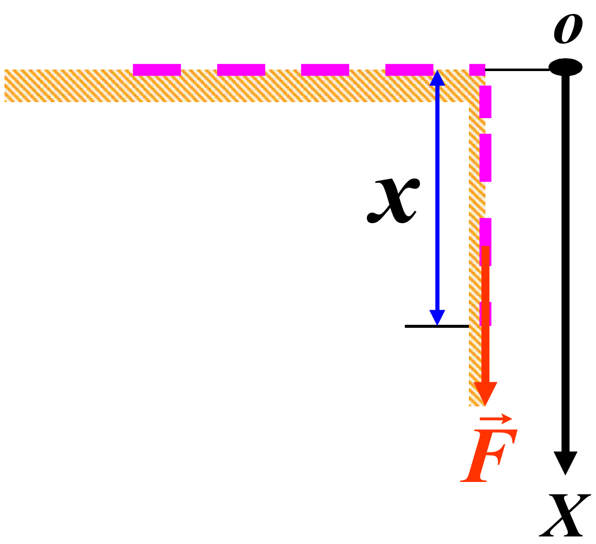
大雨点儿落得快！

例3.一条质量为 M 长为 L 的均匀链条，放在一光滑的水平桌面上，链子的一端有极小的一段长度被推出桌子的边缘在重力作用下开始下落，试求在下列两种情况下链条刚刚离开桌面时的速度：



（1）在刚刚下落时，链条为一直线形式

解：（1）链条在运动过程中，各部分的速度、加速度都相同。



研究对象：整条链条

建立坐标：如图

受力分析： $\vec{F}\ \left(=\frac{M}{L}x\vec{g}\right)$

运动方程： $\frac{\cancel{M}}{L}xg = \cancel{M}\frac{dv}{dt}$

$$\frac{g}{L}x=\frac{dv}{dt}$$

$$\boxed{\frac{g}{L}x = \frac{dv}{dt}}$$

$$\frac{g}{L}x = \frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt}$$

$$\frac{g}{L}x = v\frac{dv}{dx}$$

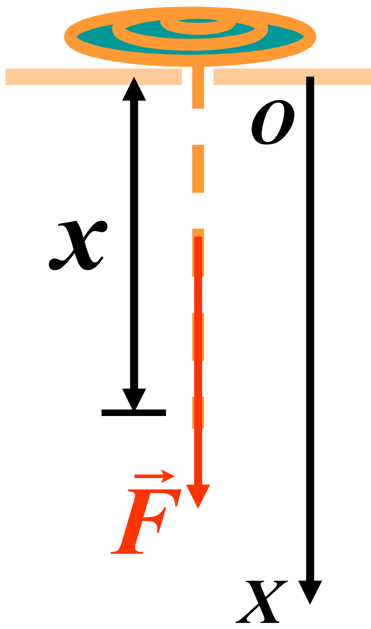
$$\int_0^L \frac{g}{L}x\,dx = \int_0^v v\,dv$$

$$\frac{g}{\cancel{L}}\frac{L^{\cancel{2}}}{\cancel{2}} = \frac{1}{\cancel{2}}v^2$$

$$v = \sqrt{gL}$$

（2）在刚刚下落时，链条盘在桌子边缘

研究对象：链条的落下部分



建立坐标：如图

受力分析：$\vec{F}$

$$\left(= \frac{M}{L}x\,\vec{g}\right)$$

m

运动方程：

$$\cancel{F = m\frac{dv}{dt}} \quad ?$$

$$\cancel{F = M\frac{dv}{dt}} \quad ?$$

$$F=\frac{d\vec{P}}{dt}=\frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

所以，运动方程为：

$$\cancel{\frac{M}{L}}x\ g=\frac{d}{dt}(\cancel{\frac{M}{L}}x\ v)$$

$$xgdt=d(xv)$$

两边同乘 $x\,v$ ：

$$\boxed{x^2vg\cdot dt=\frac{1}{2}d(x^2v^2)}$$

$$\int_0^x x^2g\cdot dx=\int_0^{(xv)^2}\frac{1}{2}d(x^2v^2)$$

$$\frac{1}{3}gx^3=\frac{1}{2}x^2v^2$$

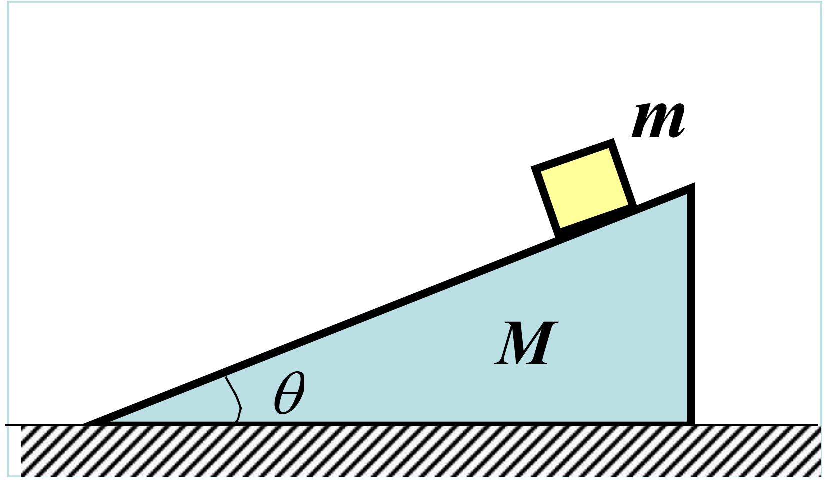
$$v^2=\frac{2}{3}g\ x$$

当 $x=\mathrm{L}$ 时 $v=\sqrt{\frac{2}{3}g\mathrm{L}}$

（3）解释上述两种速度不同的原因。第（1）问速度是：

$$\boxed{v=\sqrt{gL}}$$

例题4：



已知：　$m\,,\quad M\,,\quad \theta\,,\quad \mu=0$

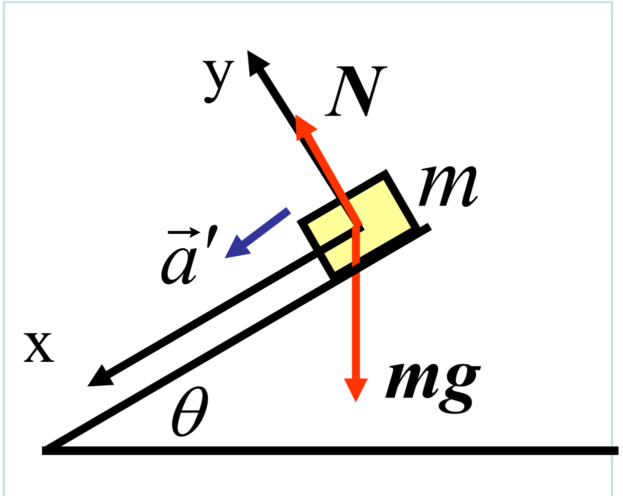
求：m 对 M 的正压力 N

m 对 M 的加速度 a'

解：　$N = mg\cos\theta \qquad a' = g\sin\theta$　　对不对？

此结果是以M为参考系得出的

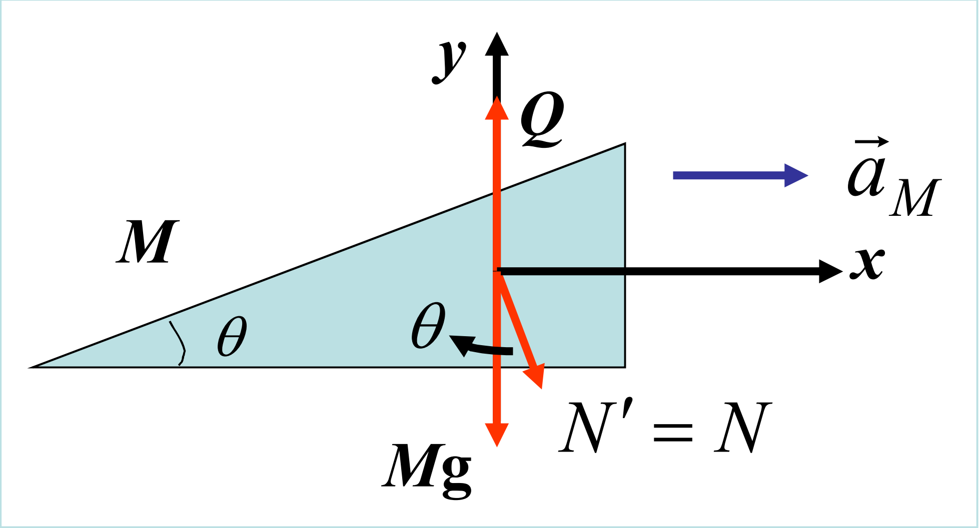
$$\begin{cases} F_x = mg\sin\theta = ma' \\ F_y = N - mg\cos\theta = 0 \end{cases} \qquad \begin{aligned} a' &= g\sin\theta \\ N &= mg\cos\theta \end{aligned}$$



能否在M系中用牛顿定律列方程？M是否惯性系？

以地面为参考系, 列 ***M*** 的运动方程:

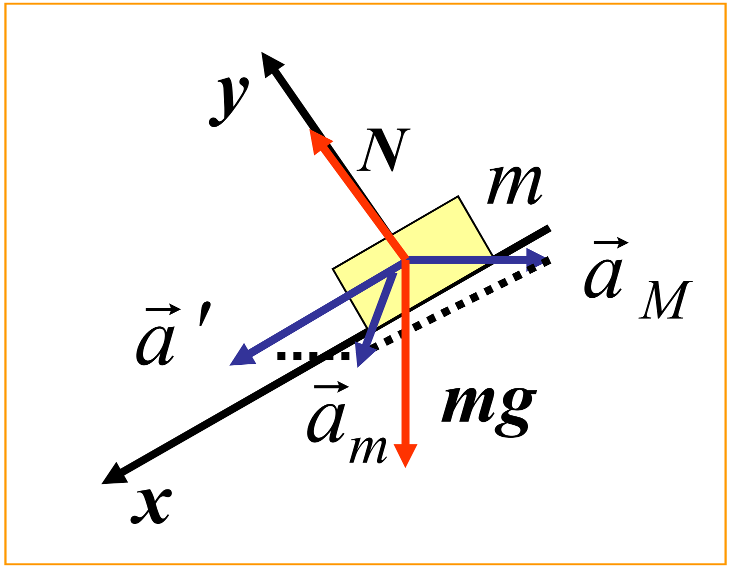
受力情况如图:



$$\begin{cases} F_x = N\sin\theta = Ma_M & (1) \\ F_y = Q - Mg - N\cos\theta = 0 & (2) \end{cases}$$

$a_M \neq 0$,　M不是惯性系。

以地面为参考系，列 $\boldsymbol{m}$ 的运动方程：



$$\vec{a}_{m地} = \vec{a}_{mM} + \vec{a}_{M地}$$

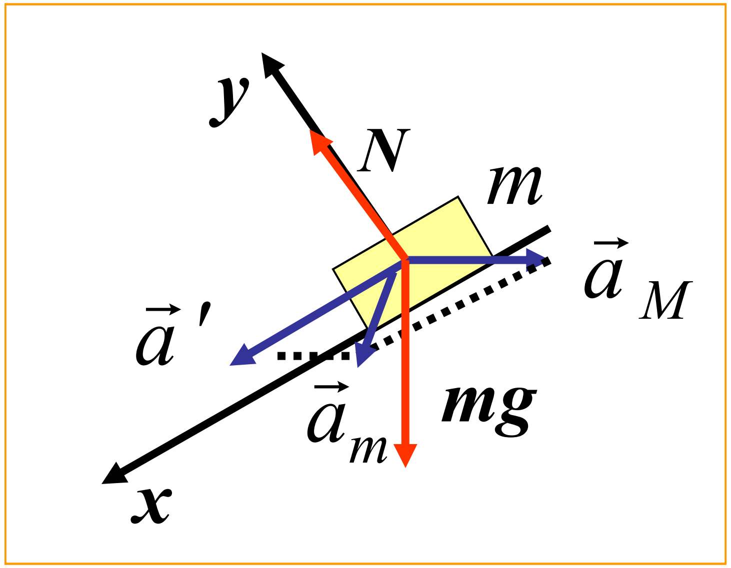
$$\vec{a}_m = \vec{a}\,' + \vec{a}_M$$

$$\begin{cases} a_{mx} = a' - a_M \cos\theta \\ a_{my} = -a_M \sin\theta \end{cases}$$

以地面为参考系列方程：

$$\begin{cases} F_x = mg\sin\theta = ma_{mx} = m(a' - a_M\cos\theta) & (3) \\ F_y = N - mg\cos\theta = ma_{my} = -ma_M\sin\theta & (4) \end{cases}$$

$$\begin{cases} N\sin\theta = Ma_M & (1) \\ F_x = mg\sin\theta = ma_{mx} = m(a' - a_M\cos\theta) & (3) \\ F_y = N - mg\cos\theta = ma_{my} = -ma_M\sin\theta & (4) \end{cases}$$



由(1)、(3)、(4) 解得：

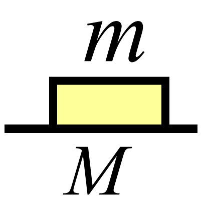
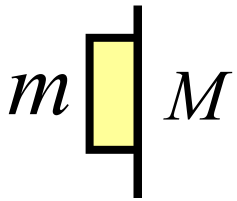
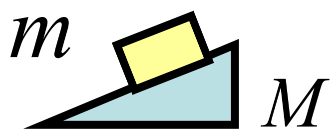
$$N = \frac{Mmg\cos\theta}{M + m\sin^2\theta}$$

$$a_M = \frac{mg\cos\theta\sin\theta}{M + m\sin^2\theta}$$

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

可用极限法检验：

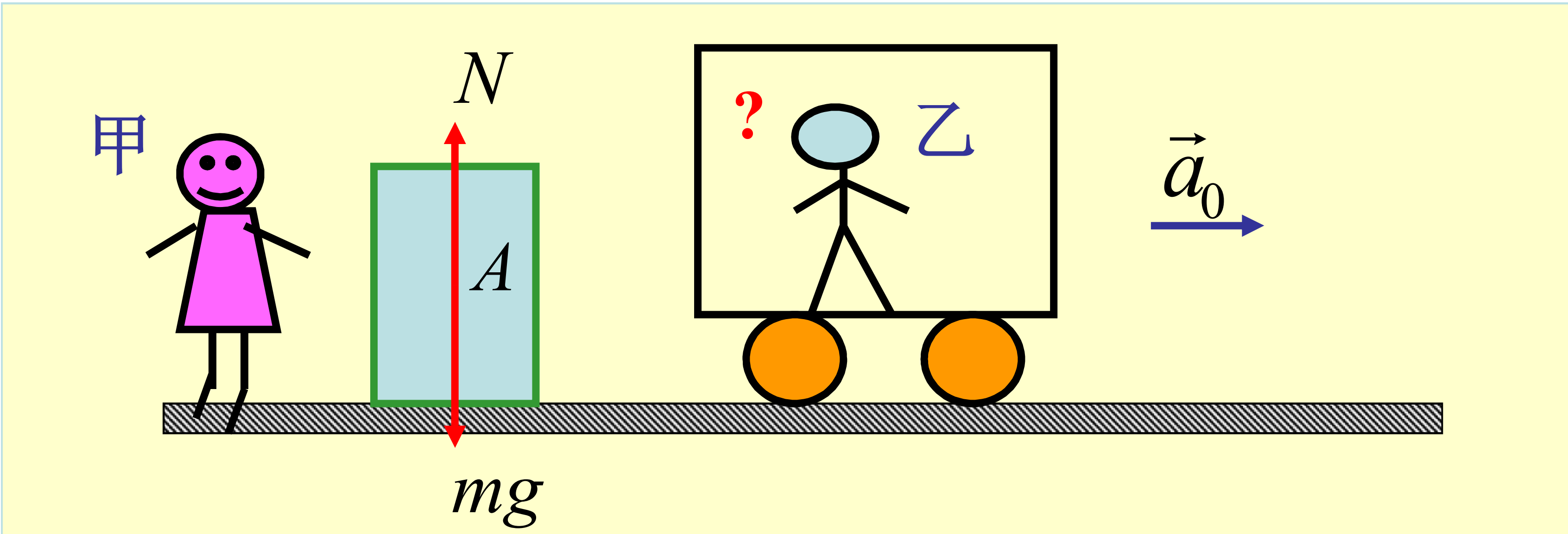
$$N=\frac{Mmg\cos\theta}{M+m\sin^2\theta};a_M=\frac{mg\cos\theta\sin\theta}{M+m\sin^2\theta};a'=\frac{(M+m)g\sin\theta}{M+m\sin^2\theta}$$

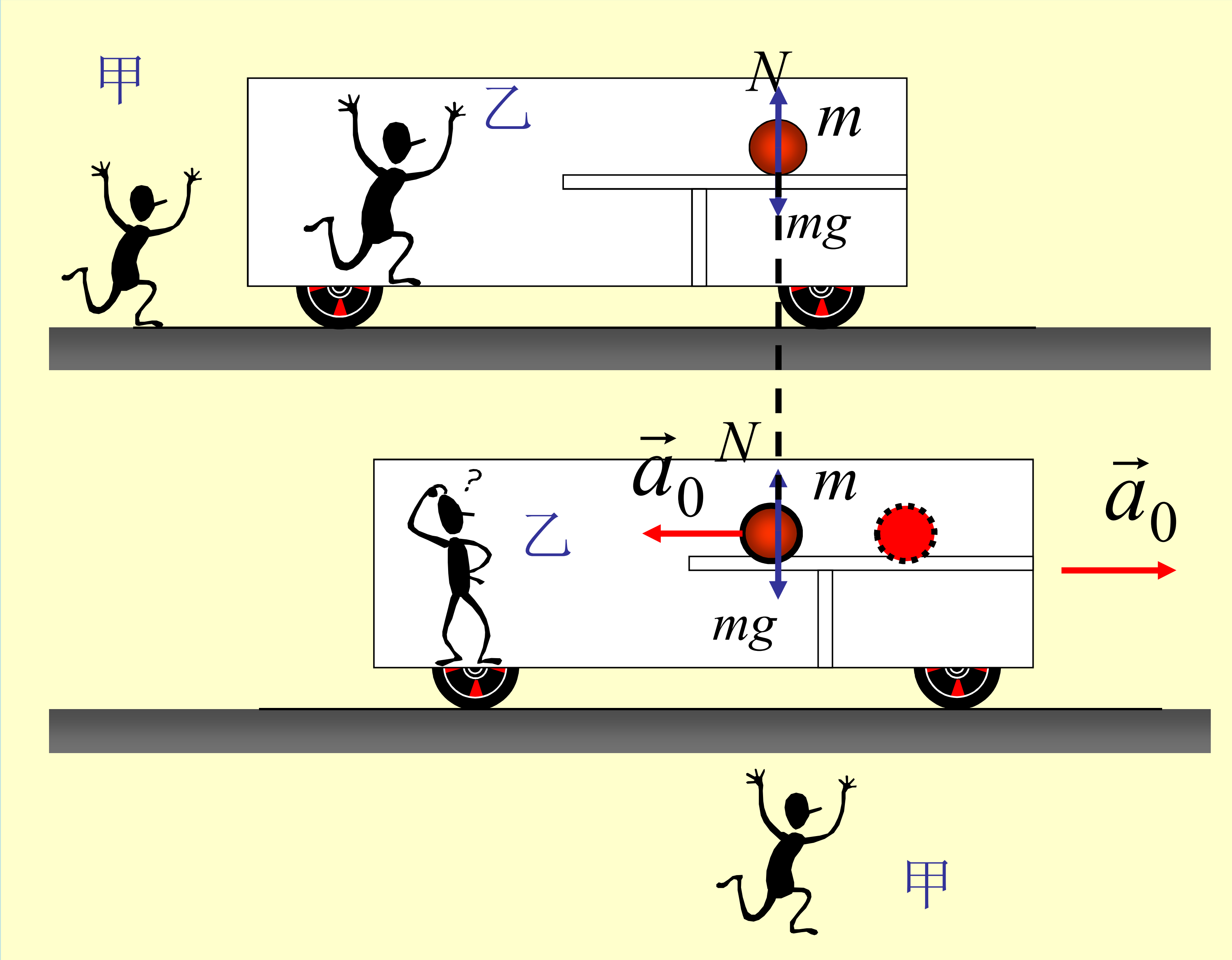
	$\theta=0$	$\theta=\pi/2$	$M\to\infty$
a_M	 0	 0	0 
a'	0	g	$g\sin\theta$
N	mg	0	$mg\cos\theta$

非惯性系中的力学定律

实际生活中常常遇到非惯性系中的力学问题。

在非惯性系中牛顿运动定律不成立




甲
乙
N
m
mg
$\vec{a}_0$
N
m
乙
mg
$\vec{a}_0$
甲

问题：如何在加速参考系（非惯性系）中借用牛顿定律形式研究物体的运动？

方法：引入惯性力

1. 加速平动参考系

以加速度$\vec{a}_0$相对于惯性系 S 平动的非惯性系S'

设想其中所有物体都受一虚拟力（惯性力）的作用

大小：物体质量与非惯性系对惯性系的加速度乘积

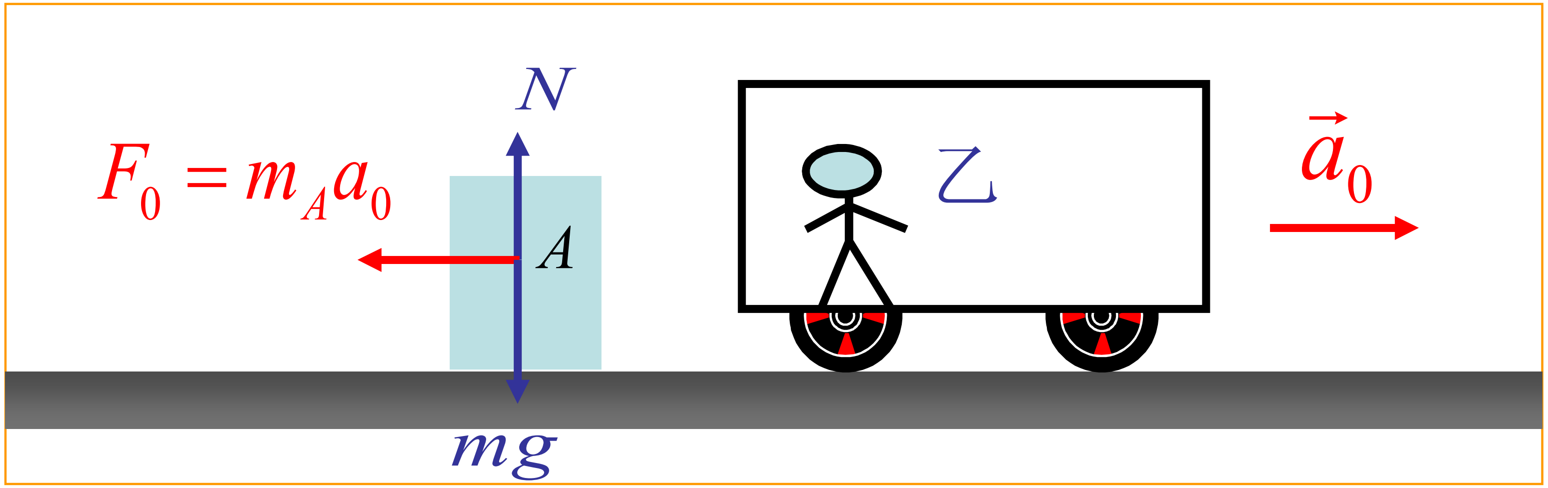
方向：与非惯性系对惯性系的加速度方向相反

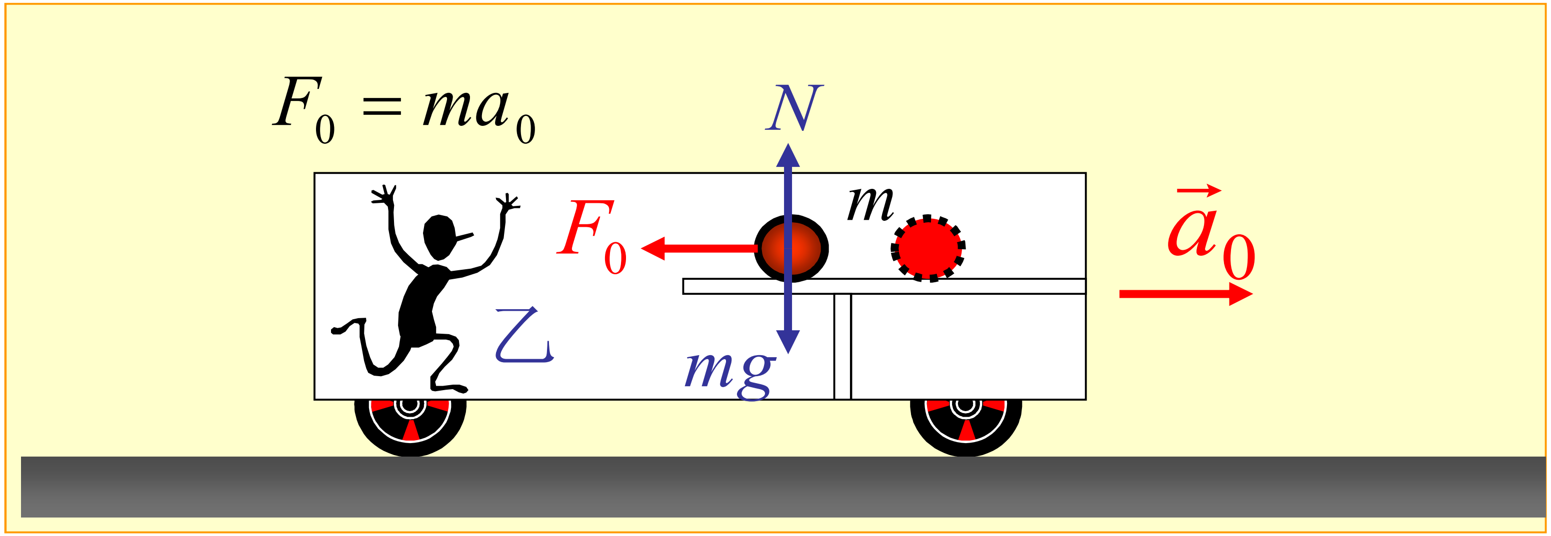
$$\vec{F}_{惯} = \vec{F}_0 = -m\vec{a}_0$$

性质：不是真实的力，无施力物体，无反作用力。

注意：惯性力有真实效果，可以测量。

作用：引人惯性力后，在非惯性系中，牛顿第二定律形式上成立。





注意：惯性力有真实效果，可以测量。

练习： 为什么要系安全带？（库柏《物理世界》）

汽车：$v = 108\ \mathrm{km \cdot h^{-1}} = 30\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

刹车：$\Delta t = 1\mathrm{s}$内停下

$m = 70\mathrm{kg}$乘客所受惯性力：$F_0 = ma_0 = 2100\ \mathrm{N}$

无法靠静摩擦力平衡，必须系安全带。

非惯性系中的力学定律：

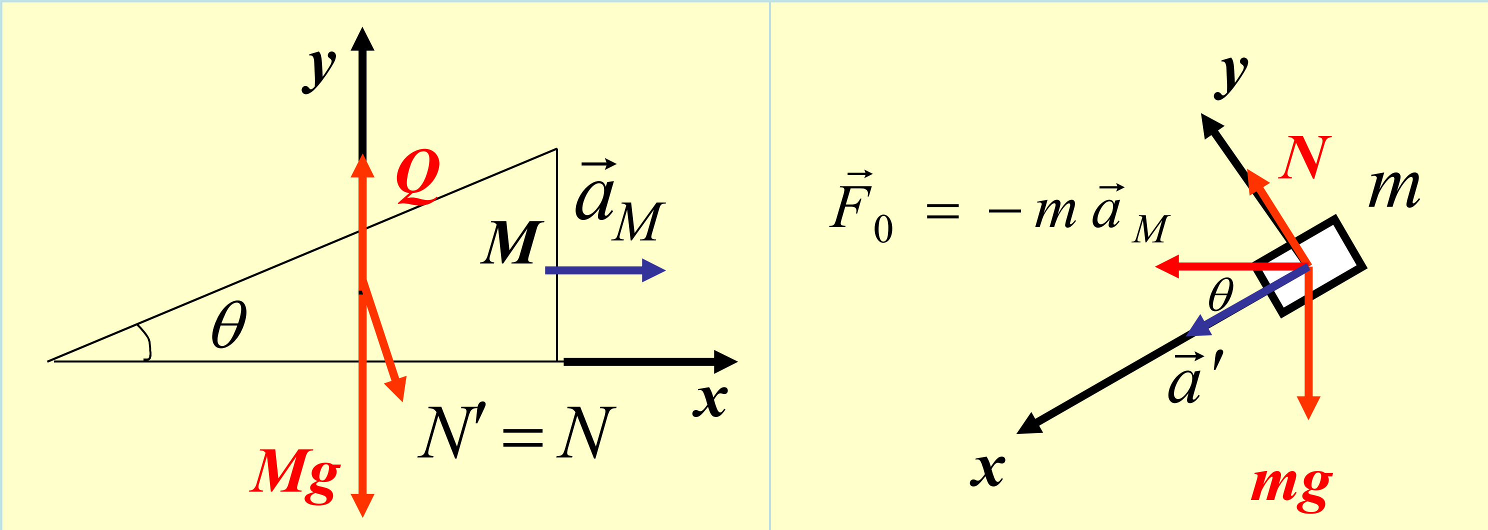
$$\vec{F}_{合} = \vec{F}_{真} + \vec{F}_{惯}$$

$$\vec{F}_{合} = \vec{F} + F_0 = \vec{F} + (-m\vec{a}_0) = m\vec{a}'$$

式中$\vec{a}'$为m相对于非惯性系的加速度。

与惯性系中的力学定律比较：　$\vec{F}_{真} = m\vec{a}$

如上讲例2



以地面为参考系列*M*的运动方程

$$F_x = N\sin\theta = Ma_M \qquad (1)$$

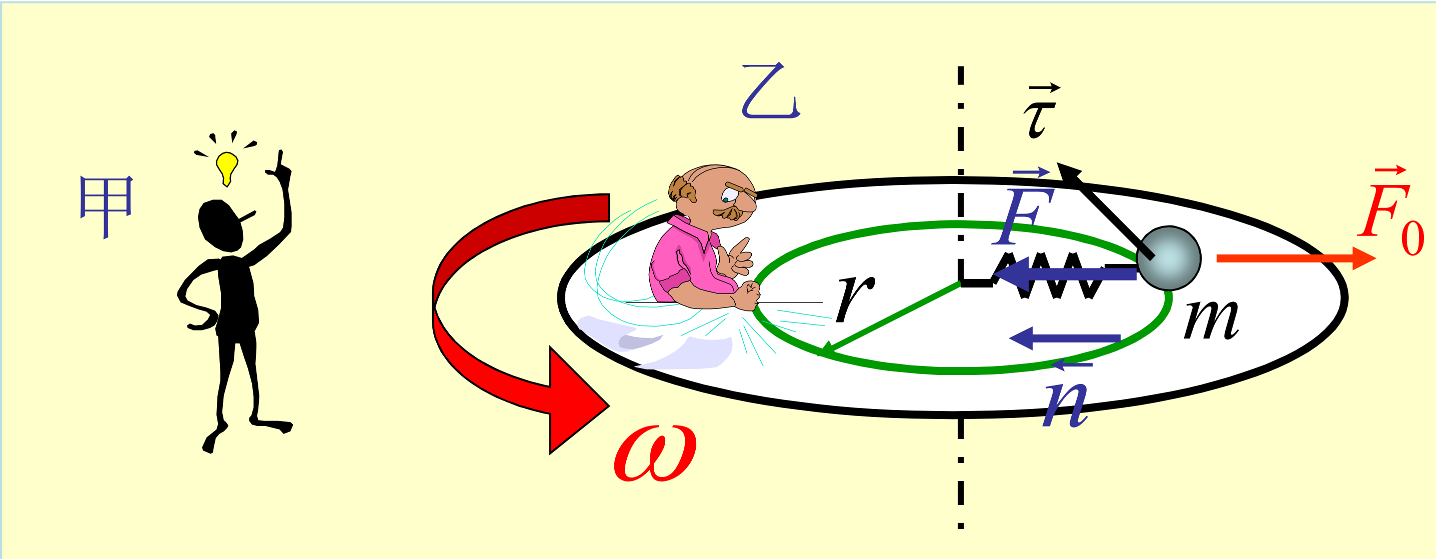
$$F_y = Q - Mg - N\cos\theta = 0 \qquad (2)$$

以M为参考系列*m*的运动方程:

$$F_x = mg\sin\theta + ma_M\cos\theta = ma' \qquad (3)$$

$$F_y = N - mg\cos\theta + ma_M\sin\theta = 0 \qquad (4)$$

2.转动参考系



对甲：小球受弹力 $\vec{F}=m\omega^2 r\vec{n}$ 作圆周运动

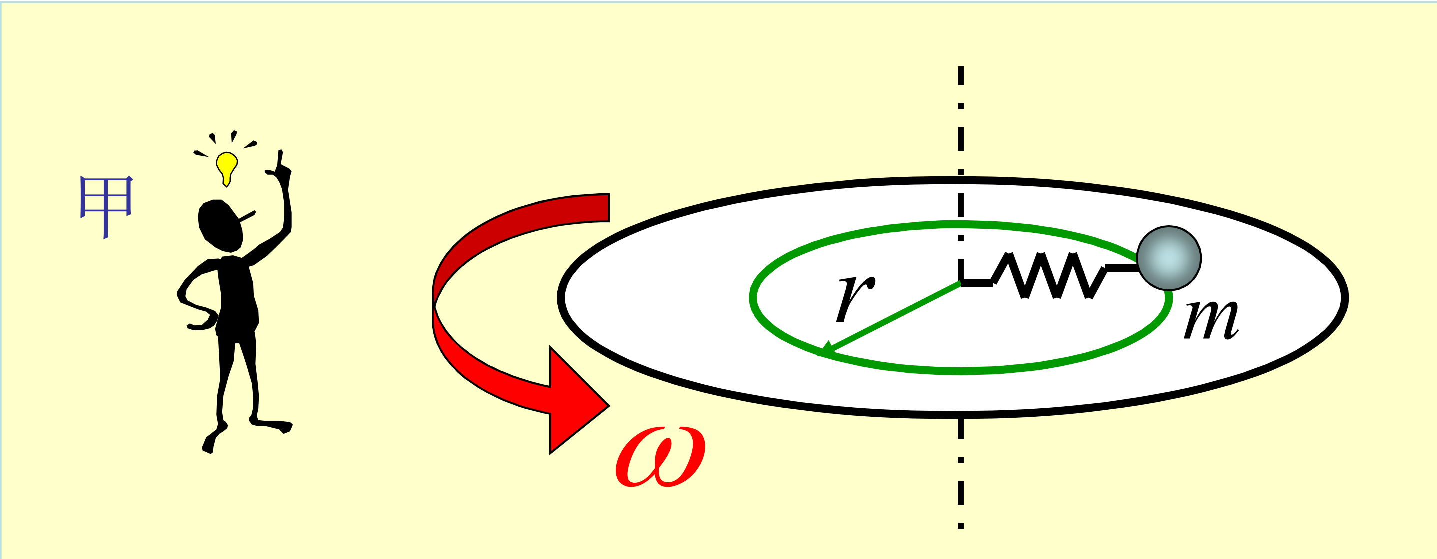
对乙：$\boldsymbol{m}$ 受到弹性力 $\vec{F}=m\omega^2 r\vec{n}$ 的作用却不运动，

为什么？

圆盘为非惯性系，m除受到弹性力作用外，还受到一与圆盘向心加速度方向相反的惯性力 $\vec{F}_0 = -m\omega^2 r\vec{n}$ 的作用。

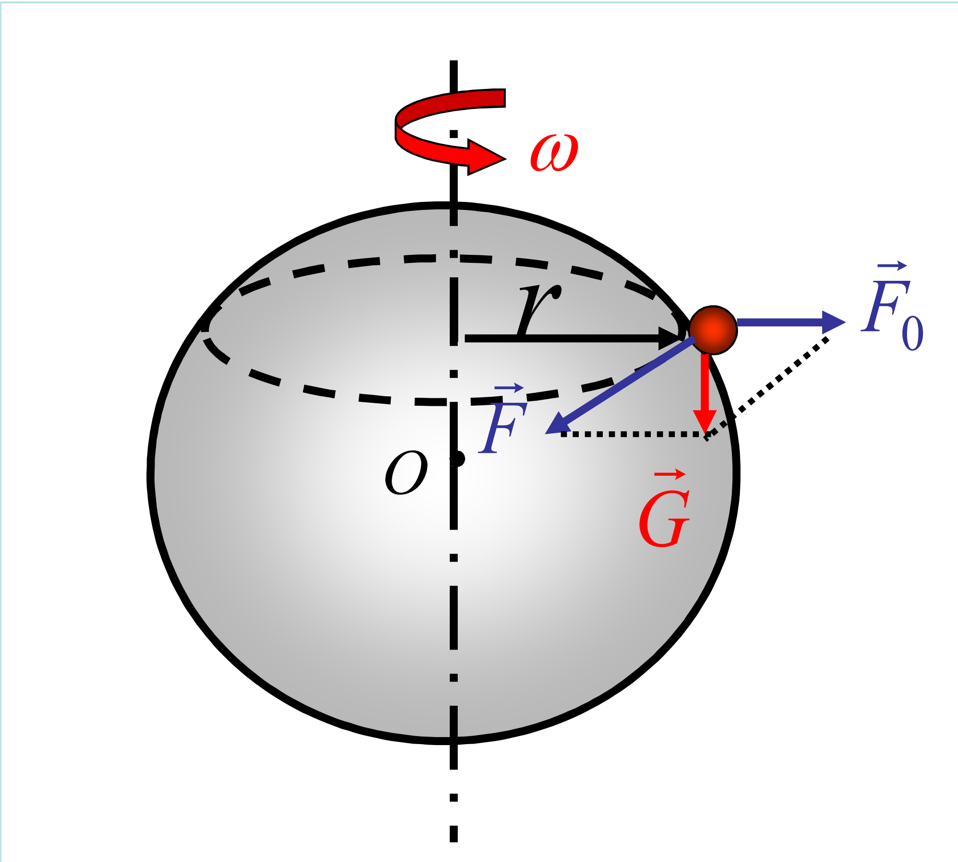
惯性离心力

注意区分：向心力，离心力，惯性离心力。



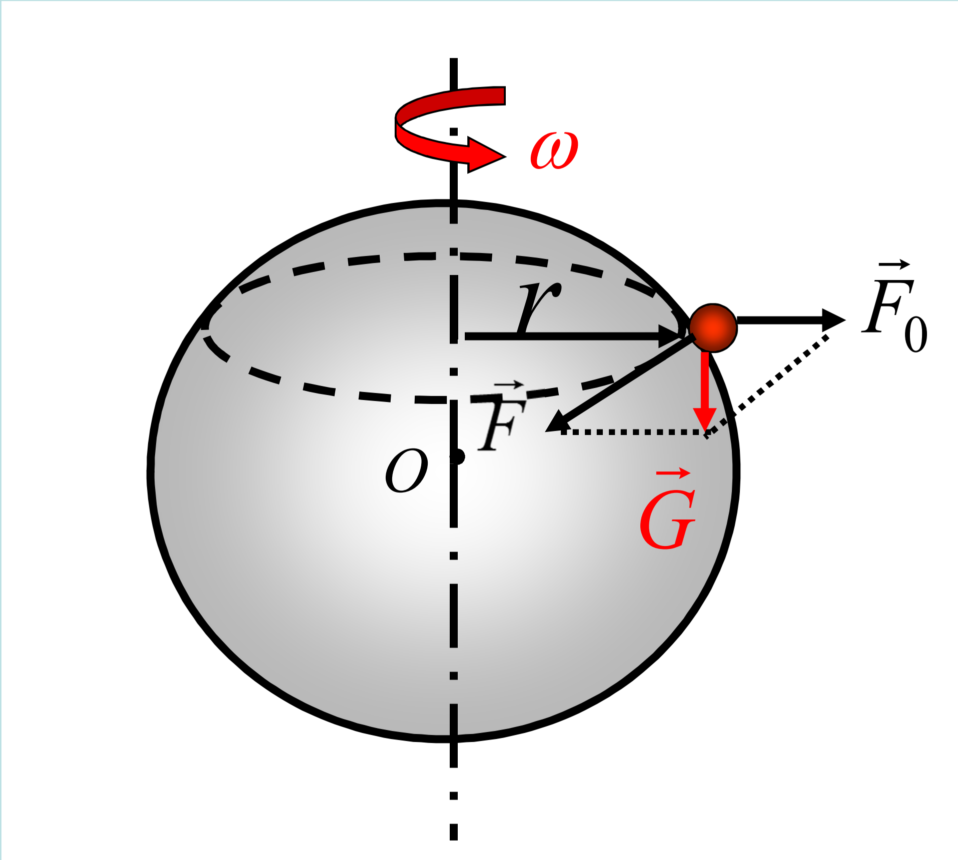
当质点相对于匀速转动的参考系运动时，还能受到另一种力：科里奥利力

例：　由于地球的自转，地球表面的物体将受到一个如图所示的惯性离心力，物体的重力即引力与惯性离心力的合力。



当质点相对于匀速转动的参考系运动时，还能受到另一种力：**科里奥利力**

$$\vec{f}_k = 2m\vec{v}' \times \vec{\omega}$$



在北半球，若河水自南向北流，则河的哪一岸受到的冲刷严重？为什么？

答案：东岸