大学物理 B(1)

清华大学物理系


08:24
WIFI
15%
第 13 集 - 牛顿第二定律
8.4万
00:00/22:05
发个友善的弹幕见证当下
选集
倍速
自动

§2.1 牛顿运动定律

一. 牛顿第一定律（惯性定律）和惯性系

任何物体如果没有力作用在它上面，都将保持静止的或作匀速直线运动的状态。

§2.1 牛顿运动定律

一. 牛顿第一定律（惯性定律）和惯性系

任何物体如果没有力作用在它上面，都将保持静止的或作匀速直线运动的状态。

1. 定义了惯性参考系

静止或运动相对谁?　　惯性系

遥远的星体作为惯性系　　后来的发展

2. 定性了物体的惯性和力

惯性：保持运动状态　　力：改变运动状态

二. 牛顿第二定律

状态

$m\vec{\upsilon}$

$$\vec{F} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

力的叠加原理

合力

m 为惯性质量

只在惯性系成立！！

没有解释质量和力的本质

三. 牛顿第三定律 (作用力与反作用力)

作用力与反作用力大小相等、方向相反，作用在不同物体上

1. 超距作用；2. 电和磁作用下有时不成立.

牛三 只在惯性系成立


Newton's Third law:
To every action, there's an equal but opposite reaction
1人正在看

单选题 1分 设置

牛顿第三定律在惯性系中一定成立

A 正确

B 不正确

提交

单选题

1分

公式中$\vec{F}=m\vec{a}$的m是惯性质量，
公式$\vec{F}=G\frac{mM}{r^3}\vec{r}$中的m是引力质量，
它们在数值上相等。这种表述是否正确？

公式中$\vec{F}=m\vec{a}$的m是惯性质量，
公式$\vec{F}=G\frac{mM}{r^3}\vec{r}$中的m是引力质量，
它们在数值上相等。这种表述是否正确？

A 正确

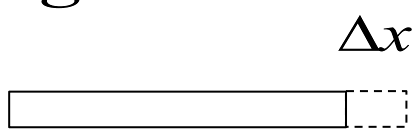
B 不正确

提交

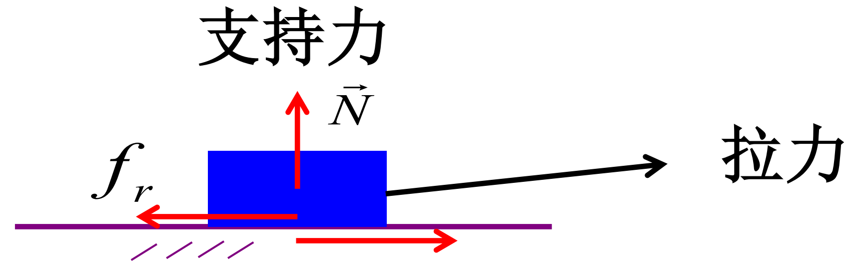
§ 2.3 常见力

1. 重力　mg

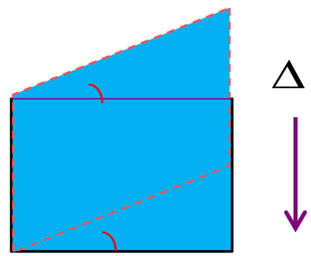
2. 弹性力



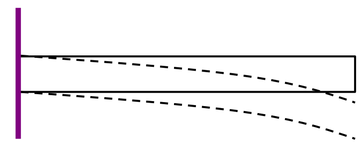
$f = -k\Delta x$



3. 剪切力



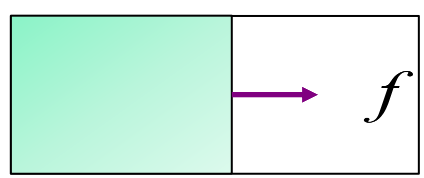
$f = k\Delta\theta$



4. 摩擦力　$f_r = \mu N$　　$\mu_{滑} < \mu_{最大静}$

5. 流体阻力(拖曳力)　$\vec{f}_r = -(k_1 + k_2 \upsilon)\vec{\upsilon} + \cdots$

6. 液体表面张力　l



$f = 2\alpha l$


DUDE!
WOW!
1k
1.7k

单选题 1分

设置

骑自行车时，手捏紧刹车，刹车片（后轮）将夹紧，与车轮钢圈之间产生压力，使得自行车减速。手捏的越紧，自行车减速越快。请问让自行车减速的力通常是什么力？

A 刹车片与后轮钢圈之间的滑动摩擦力

B 车胎与地面间的滑动摩擦力

C 车胎与地面间的静摩擦力

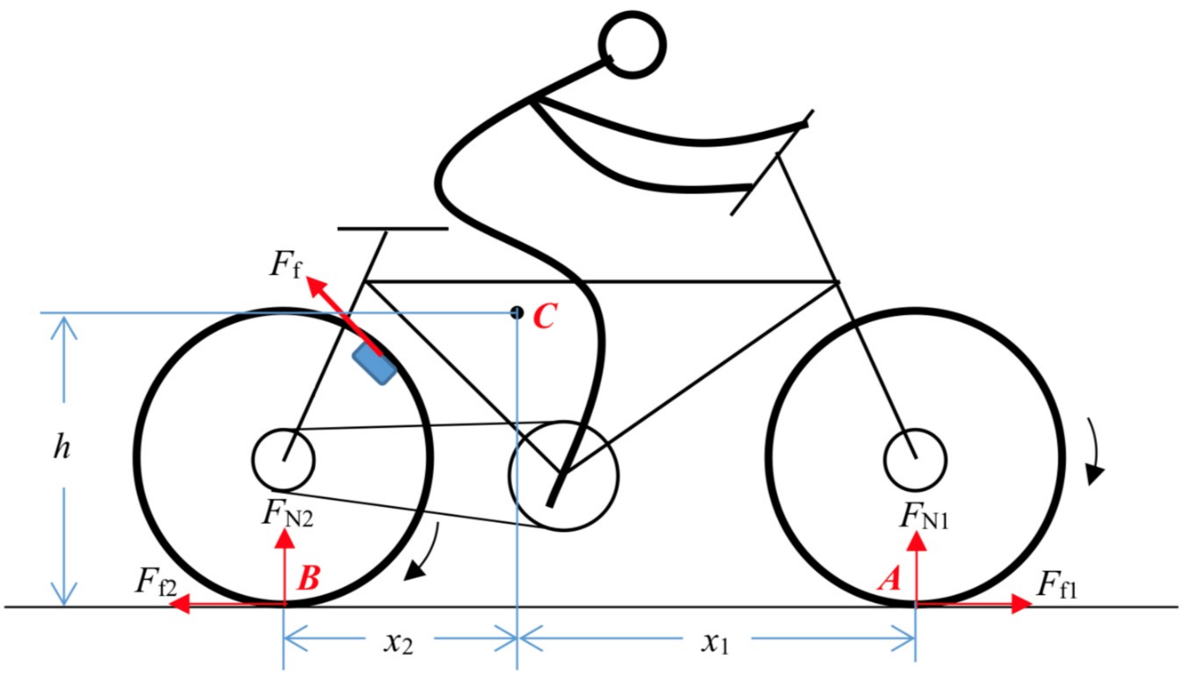
D 车胎与地面间的滚动摩擦力

提交

课后思考题

自行车轮胎与地面的摩擦力，为什么会随着手捏刹车片的压力而变化呢？

求刹车片对钢圈的滑动摩擦力，与地面给车胎的摩擦力之间的定量关系



多选题 1分

设置

云可达数百吨重，却能在天上漂浮，主要原因是

A 水蒸气受布朗运动影响

B 云体积巨大，受到浮力大

C 有空气阻力

D 上升气流托住了云

E 云中的水滴太小

F 上升的水蒸气遇冷变水滴形成云，云下落时水滴遇热变为水蒸气而消失

提交

§2.4 基本自然力

自然界有四种基本相互作用力：

1：万有引力（时空弯曲效应），如：重力

2：电磁力

各种**常见力**的来源：弹性力，摩擦力，流体拖曳力，表面张力，剪切（扭曲）力，等

3：弱力，β 衰变的原因

4：强力，如核力

粒子物理的标准模型

源	重子 介子	电荷	轻.介.重子	物质
作用	强	电磁	弱	引力
场量子	胶子	光子	W^{+-} Z^0	引力子
相对强度	1	10^{-2}	10^{-10}—10^{-12}	10^{-39}
范围cm	10^{-13}	∞	$<10^{-15}$	∞
特征时间s	10^{-24}–10^{-20}	10^{-20}–10^{-16}	$>10^{-13}$	
典型现象	核力	摩擦力 分子力	β衰变	星体 宇宙 天体运动
理论	量子色动力学	量子电动力学	电弱统一理论	广义相对论

前三个都有量子理论，引力是经典理论

主观题 10分 设置

一个质子和一个电子之间的库仑力是它们之间的引力的多少倍？

正常使用主观题需2.0以上版本雨课堂

作答

$$f_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67\times10^{-11}\times\frac{1.67\times10^{-27}\times9.11\times10^{-31}}{r^2}$$

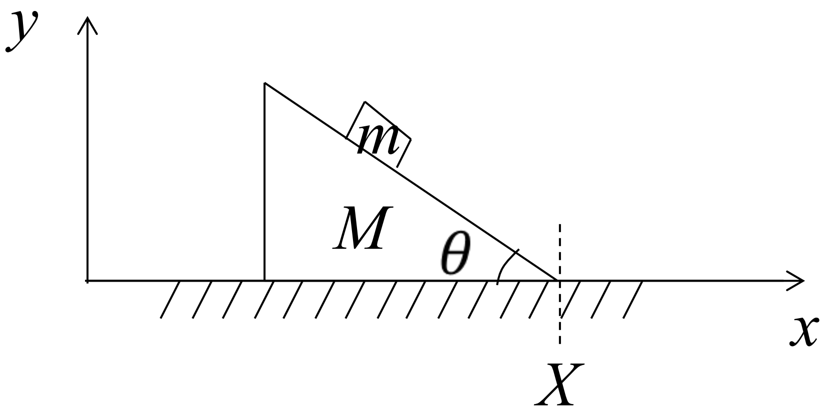
$$f_e = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = 9\times10^{9}\times\frac{1.6\times10^{-19}\times1.6\times10^{-19}}{r^2}$$

$$10^{39}\sim10^{40}$$

§ 2.5 应用牛顿定律解题

认物体，看运动，查受力，列方程

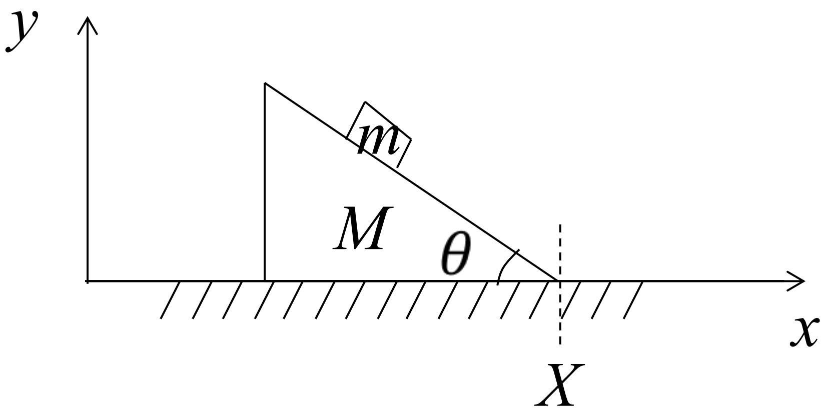
例：平面上有一斜面，其上有一物体自由下滑。忽略所有摩擦，求物体和斜面加速度。



§2.5 应用牛顿定律解题

认物体，看运动，查受力，列方程

例：平面上有一斜面，其上有一物体自由下滑。
忽略所有摩擦，求物体和斜面加速度。



解：地面参考系建坐标系

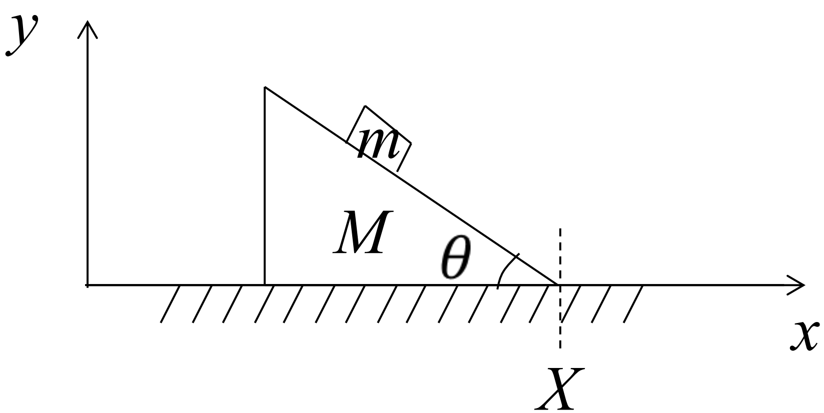
尖:（X，0）

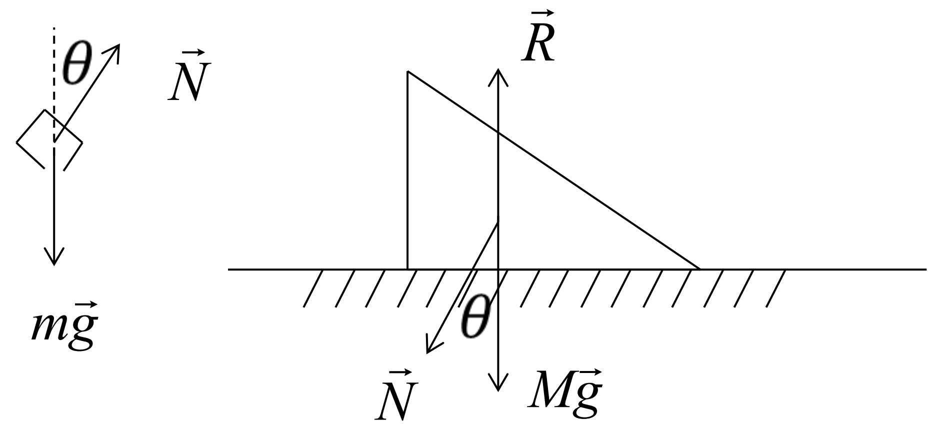
m:　(x, y)

§ 2.5 应用牛顿定律解题

认物体，看运动，查受力，列方程

例：平面上有一斜面，其上有一物体自由下滑。忽略所有摩擦，求物体和斜面加速度。





解：地面参考系建坐标系

隔离受力图（free-body diagram）

尖:（X，0）

m:　(x, y)

$$N\cos\theta - mg = ma_y$$

$$N\sin\theta = ma_x$$

$$-N\sin\theta = MA_x$$

$$R = N\cos\theta + Mg$$

$$y = (X - x)\tan\theta$$

$$\ddot{y} = (\ddot{X} - \ddot{x})\tan\theta \quad \rightarrow \quad a_y = (A_x - a_x)\tan\theta$$

$$a_x = \frac{g\sin\theta\cos\theta}{1 + \frac{m}{M}\sin^2\theta} \qquad a_y = -\frac{(1 + \frac{m}{M})g\sin^2\theta}{1 + \frac{m}{M}\sin^2\theta}$$

$$A_x = -\frac{\frac{m}{M}g\sin\theta\cos\theta}{1 + \frac{m}{M}\sin^2\theta}$$

$M >> m$

$$a_x = g\sin\theta\cos\theta \qquad a_y = -g\sin^2\theta$$

$$A_x = 0$$

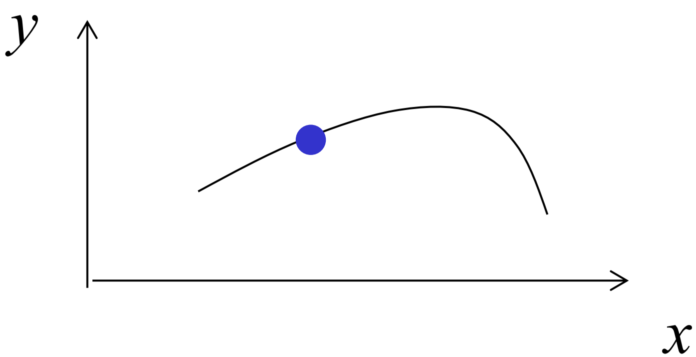
抛体运动

假设运动速度不大，空气阻力(拖曳力) $\vec{f}_r = -k\vec{\upsilon}$

求物体速度和位置的方程

抛体运动

假设运动速度不大，空气阻力(拖曳力) $\vec{f}_r = -k\vec{v}$
求物体速度和位置的方程



$$-mg\hat{y} - k\vec{v} = m\vec{a}$$

$$\dot{\vec{v}} + \beta\vec{v} + g\hat{y} = 0 \qquad \beta = \frac{k}{m}$$

$$\vec{v} = -\frac{g}{\beta}\hat{y} + (\vec{v}_0 + \frac{g}{\beta}\hat{y})e^{-\beta t}$$

$$\vec{r} = \vec{r}_0 - \frac{gt}{\beta}\hat{y} + (\vec{v}_0 + \frac{g}{\beta}\hat{y})\frac{(1-e^{-\beta t})}{\beta}$$

§ 2.6 惯性系(Inertial frame)和非惯性系

在 S 参考系，m 运动符合牛顿定律，在 S` 则不然

§ 2.6 惯性系(Inertial frame)和非惯性系

在 S 参考系，m 运动符合牛顿定律，在 S` 则不然

牛顿定律在惯性系成立

思考：

1. 如何判定选的参考系是不是惯性系？
2. 应该选择哪个惯性系用牛顿定律来解决问题？
3. 在非惯性系中如何解决力学问题？

萨尔维阿蒂的大船

图 4-1 萨尔维阿蒂的大船

《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》 --伽利略

多选题 1分

设置

选出下列选项中正确的表述

A 在一惯性系中做任何力学实验都无法确定该惯性系是静止还是匀速直线运动

B 一切力学规律在不同的惯性系中应有相同的形式

C 一切惯性系在力学上是等价的

D 所有物理规律对于所有惯性系都是一样的

E 相对于惯性系做加速运动的参考系一定是非惯性系

提交

为何要在非惯性系中研究问题呢？

1. 有些问题需要在非惯性系中研究，如：

地面参考系，自转加速度 $a \sim 3.4\ \mathrm{cm/s^2}$

地心参考系，公转加速度 $a \sim 0.6\ \mathrm{cm/s^2}$

太阳参考系，绕银河系加速度 $a \sim 3\times10^{-8}\ \mathrm{cm/s^2}$

为何要在非惯性系中研究问题呢？

1. 有些问题需要在非惯性系中研究，如：

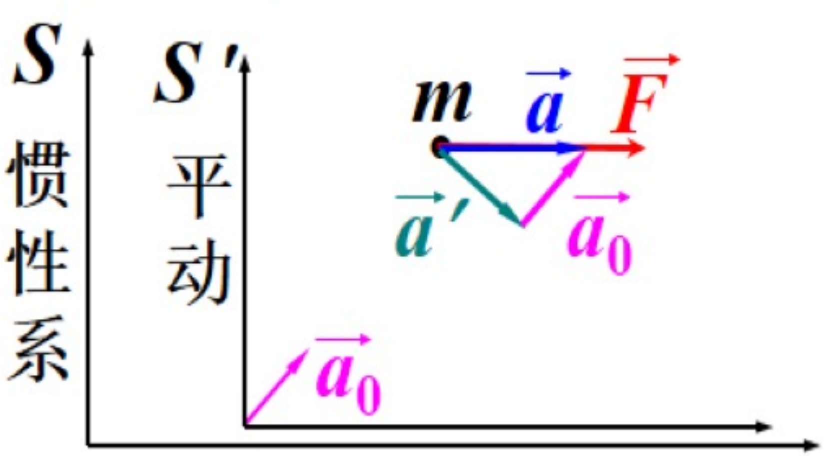
地面参考系，自转加速度 $a \sim 3.4\ \mathrm{cm/s^2}$

地心参考系，公转加速度 $a \sim 0.6\ \mathrm{cm/s^2}$

太阳参考系，绕银河系加速度 $a \sim 3\times10^{-8}\ \mathrm{cm/s^2}$

2. 有些问题在非惯性系中研究较为方便

§ 2.7 平动非惯性系的惯性力

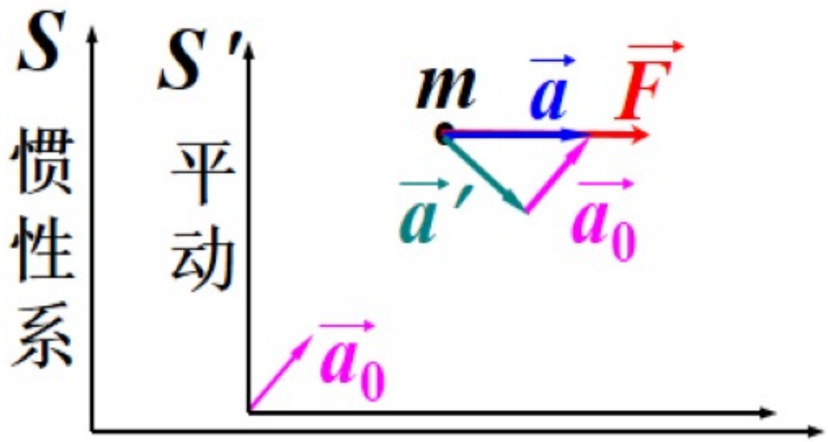


设 S 系为惯性系，S ' 系为非惯性系

两个平动参考系之间，加速度变换 $\boxed{\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0}$

质点 m 在 S 系 $\boxed{\vec{F} = m\vec{a}}$ $\vec{F}$, m 不随参考系变化

§ 2.7 平动非惯性系的惯性力



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

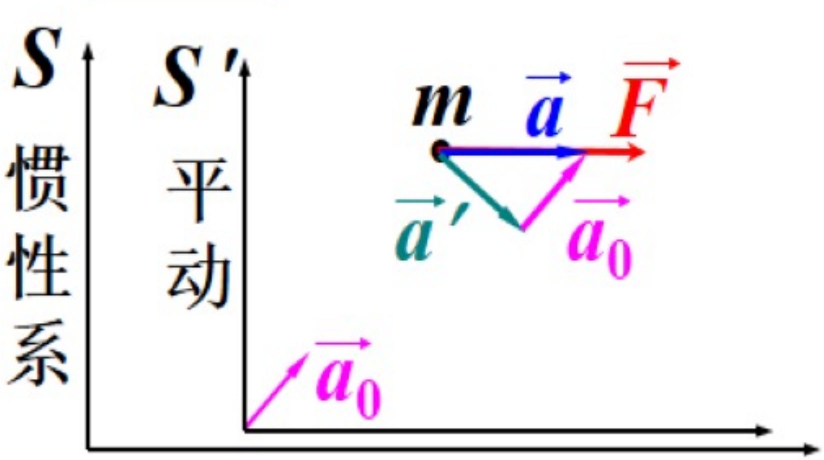
设 S 系为惯性系，S ' 系为非惯性系

两个平动参考系之间，加速度变换 $\boxed{\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0}$

质点 *m* 在 S 系 $\boxed{\vec{F} = m\vec{a}}$ $\vec{F}$, m 不随参考系变化

在 S ' 系 $\vec{F} \neq m\vec{a}'$ 牛二在非惯性系不成立

§ 2.7 平动非惯性系的惯性力



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

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

在非惯性系引入虚拟力或惯性力(**inertial force**):

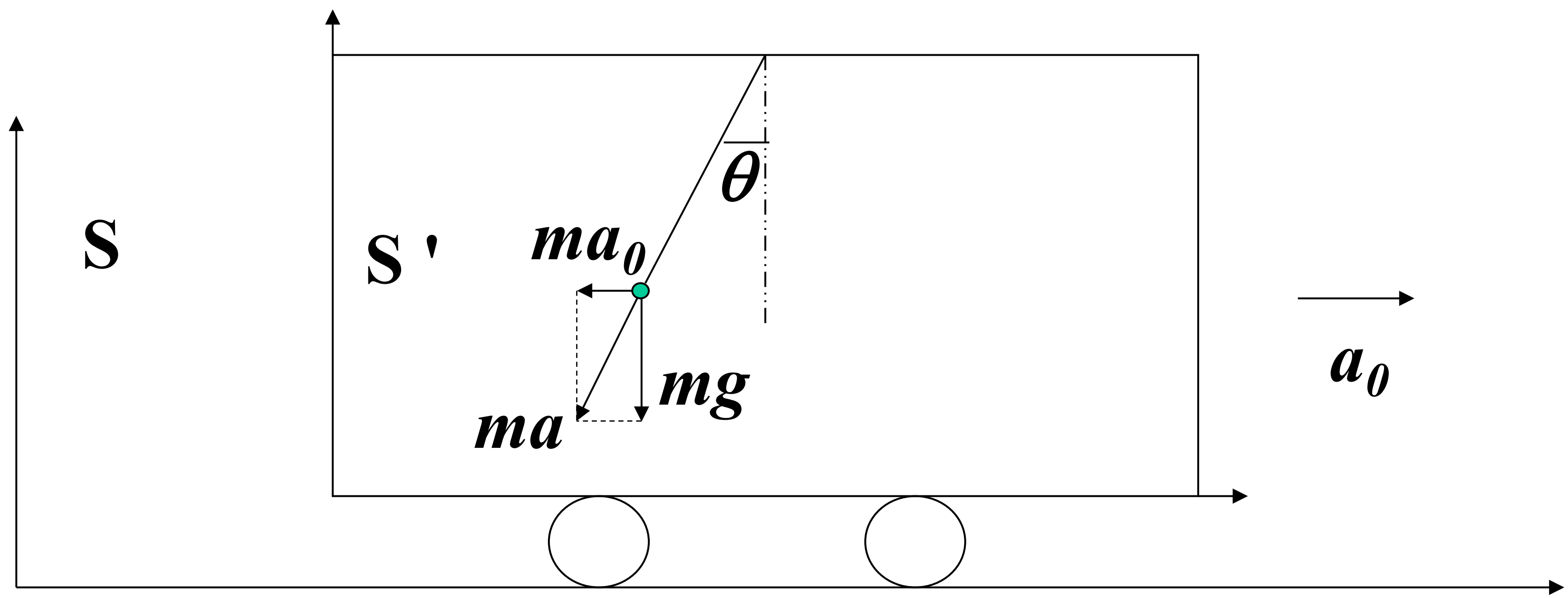
$$\vec{F}_0 = -m\vec{a}_0$$ （-质量*非惯性系的加速度）

在非惯性系 S '系 $\boxed{\vec{F} + \vec{F}_0 = m\vec{a}\,'}$

引入惯性力后，牛二在非惯性系形式上成立

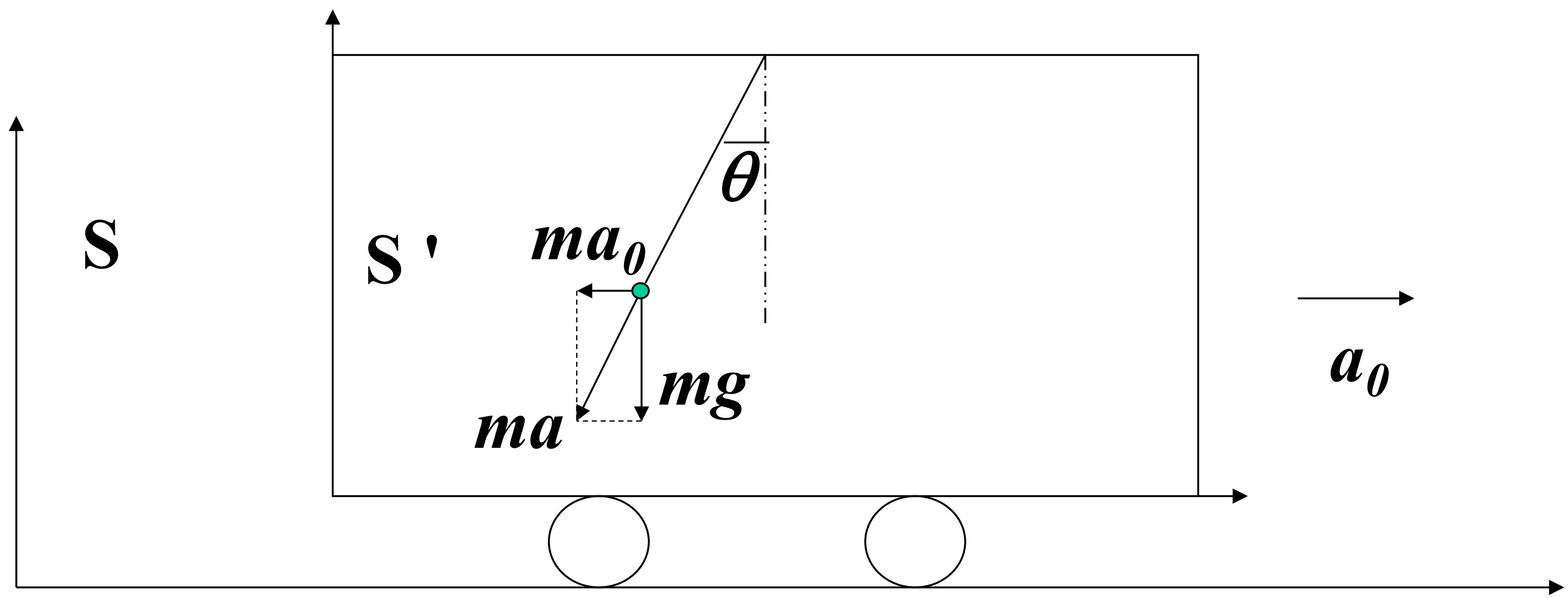
例：一匀加速运动的车厢内，观察单摆，平衡位置和振动周期如何变化？

（加速度 a_0，摆长 l，质量 m）



例：一匀加速运动的车厢内，观察单摆，平衡位置和振动周期如何变化？

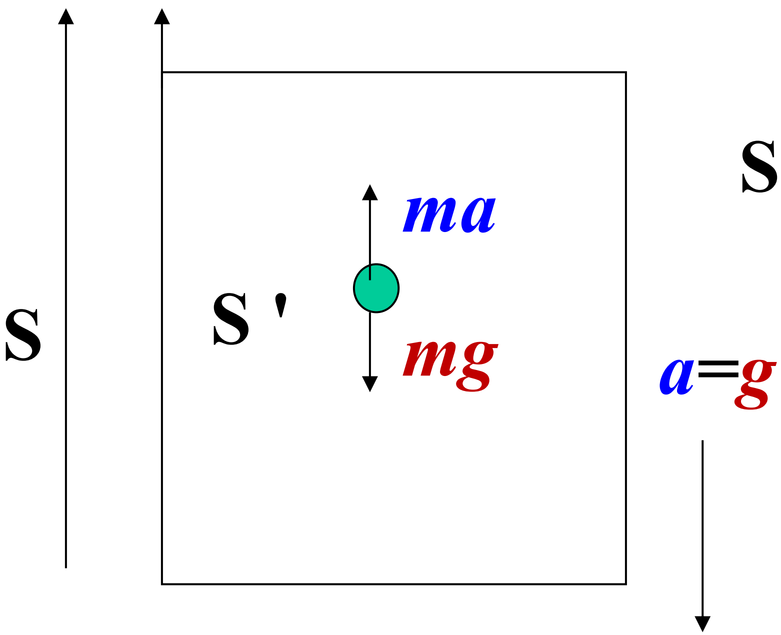
（加速度 $\boldsymbol{a_0}$，摆长 $\boldsymbol{l}$，质量 $\boldsymbol{m}$）



解：在 S '系 $a = \sqrt{{a_0}^2 + g^2}$ 平衡位置 $\theta = \tan^{-1}\dfrac{a_0}{g}$

周期 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}} \rightarrow T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{a}}$

例：自由落体的参照系



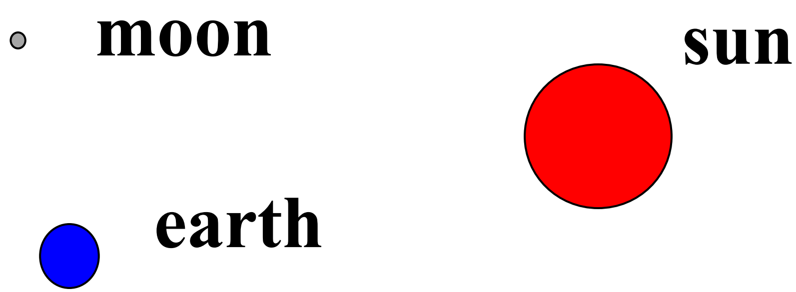
S '是理想的无外力作用的参考系

可以严格检验惯性定律

自由落体的参照系可以看作是一个惯性系

等效原理　　爱因斯坦的广义相对论

例：

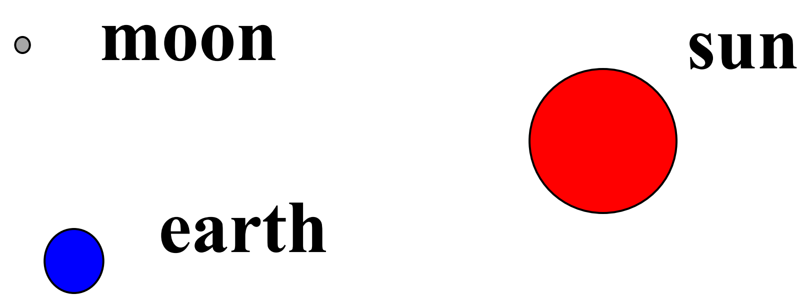


$\vec{F}_{地月} \approx M_{月}\vec{a}$?

求： 1. 月球所受地球和太阳的引力之比？

哪个力大？

例：



$\vec{F}_{地月} \approx M_{月}\vec{a}$ ？

求： 1. 月球所受地球和太阳的引力之比？

2. 月球在地心参考系的运动方程？

解：1.

$$\frac{F_{地,月}}{F_{日,月}} = \frac{\dfrac{M_{地}}{r^2_{地,月}}}{\dfrac{M_{日}}{r^2_{日,月}}} = \frac{r^2_{日,月}}{r^2_{地,月}}\frac{M_{地}}{M_{日}}$$

$$=\left(\frac{1.49\times 10^{11}\text{m}}{3.84\times 10^{8}\text{m}}\right)^2\frac{5.975\times 10^{24}\text{kg}}{1.99\times 10^{30}\text{kg}} \approx 0.45$$

2. 在太阳参考系地球受力 $\vec{F}_{地月} + \vec{F}_{地日} = M_{地}\vec{a}_0$

$$\frac{F_{地月}}{F_{地日}} \approx 0.0055$$

忽略

$$\vec{F}_{地日} \approx M_{地}\vec{a}_0$$

在地心参考系, 月球受力 $\vec{F}_{地月} + \vec{F}_{日月} + \vec{F}_{惯} = M_{月}\vec{a}$

$$\frac{M_{月}}{M_{地}}\vec{F}_{地日} + (-M_{月}\vec{a}_0) \approx 0$$

太阳对月球的引力

月球在地心参考系受到的惯性力

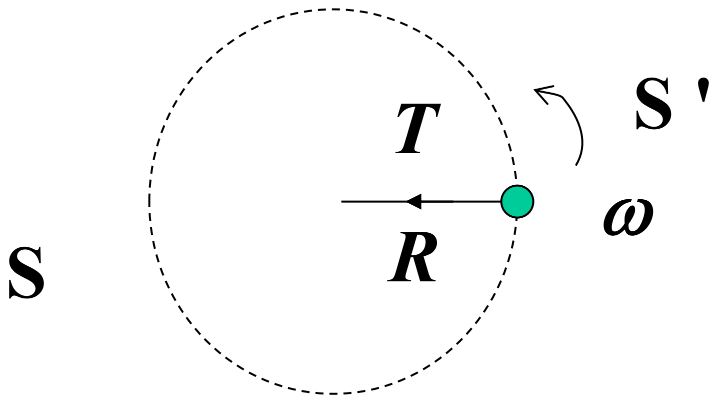
$$\vec{F}_{地月} \approx M_{月}\vec{a}$$

§ 2.8 转动参考系的离心力和科氏力*

一、离心力

质点*m*在 *S* 系做匀速圆周运动

向心加速度



$$a = R\omega^2$$

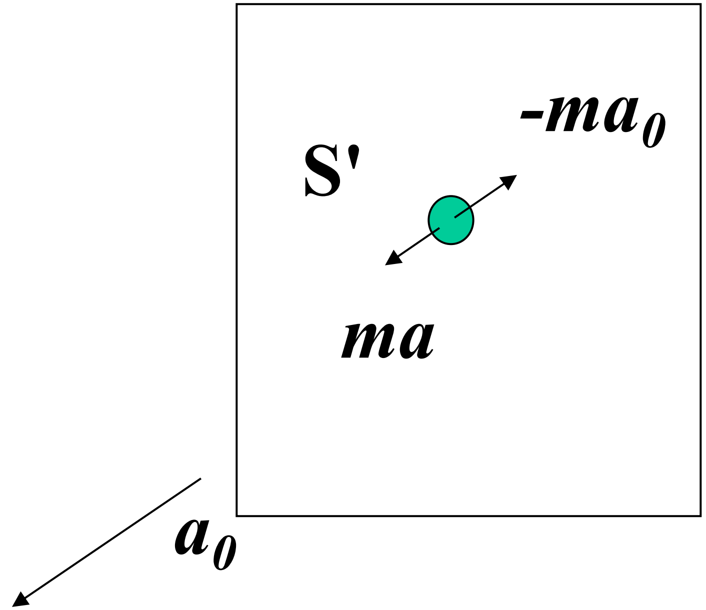
$$T = mR\omega^2$$

质点 *m* 在 *S* ' 转动参考系静止

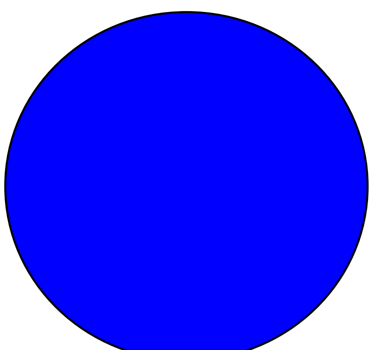
$$\vec{T} + \vec{F}_0 = 0 \qquad F_0 = -mR\omega^2$$

（-质量*非惯性系的加速度）　　离心方向

例：太空仓（自由落体的参照系）



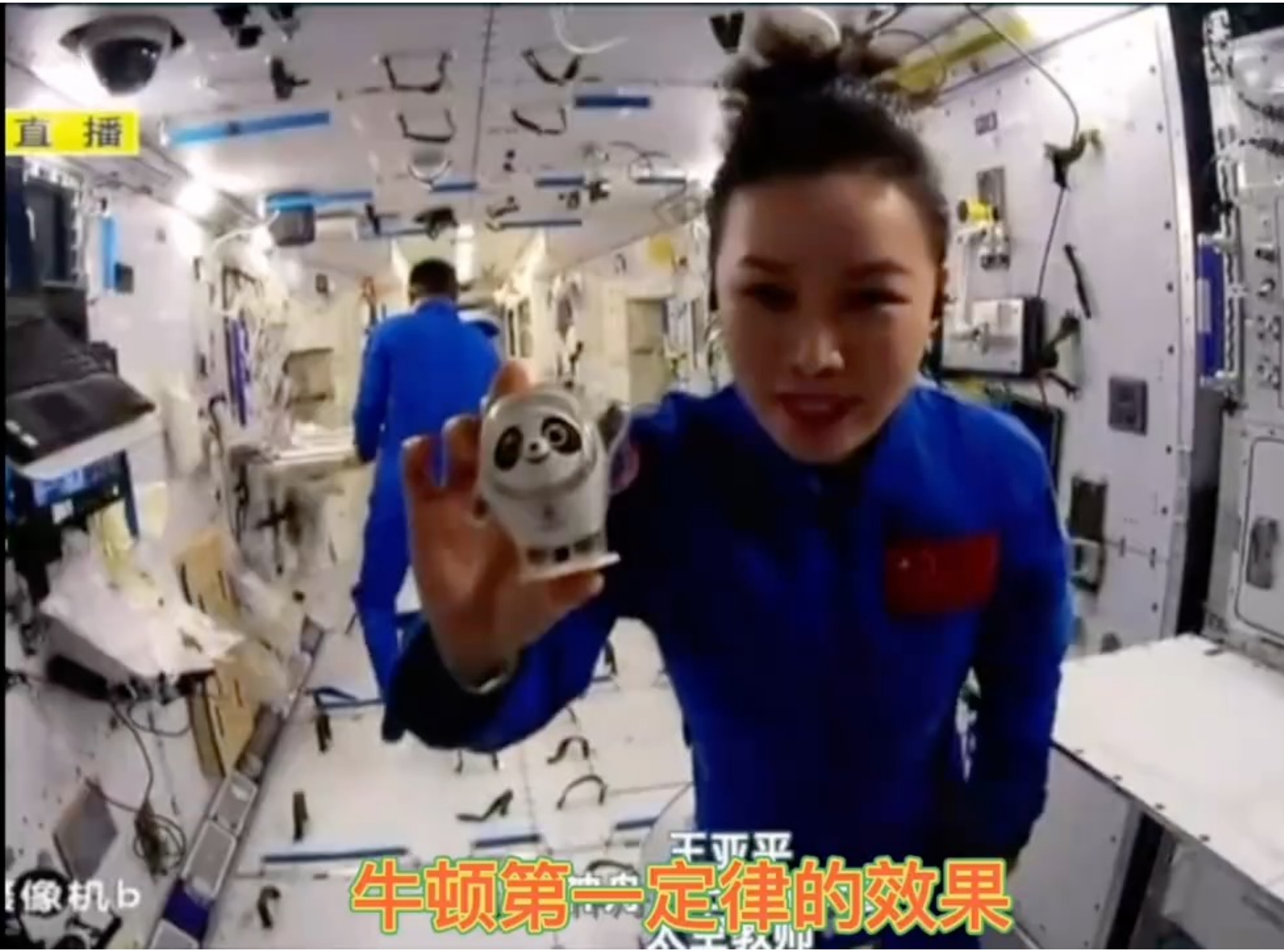
S系看，质点*m*以加速度*a*绕地球做圆周运动，受向心力*ma*（万有引力）



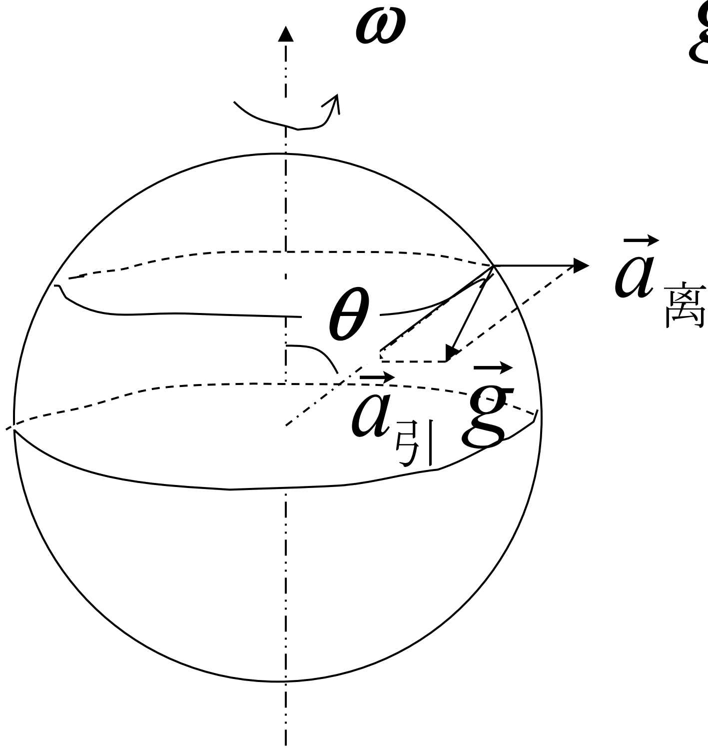
S'系看，质点*m*还受惯性力ma_0

$$a_0 = a$$

S'是理想的无外力作用的参考系


直 播
牛顿第一定律的效果

重力加速度



$$g^2 = a_{引}^2 + a_{离}^2 - 2a_{引}a_{离}\sin\theta$$

$$a_{引} >> a_{离}$$

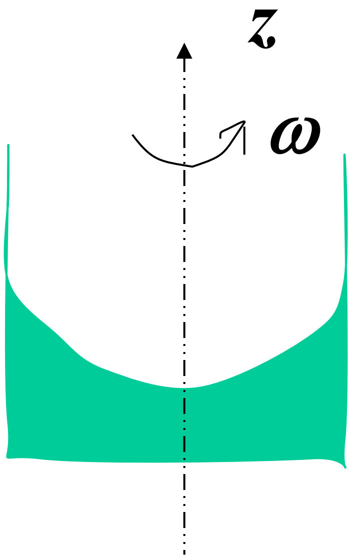
$$g \approx a_{引} - a_{离}\sin\theta$$

$g_{赤道}$ **= 9.778 m/s²**

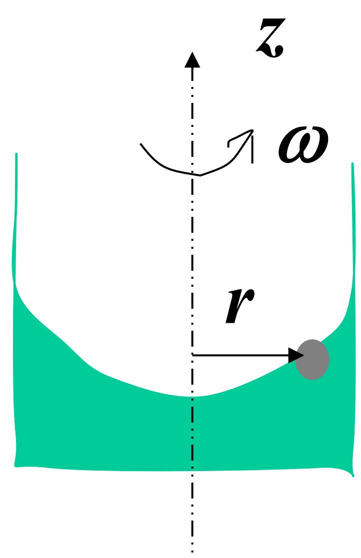
$g_{北极}$ **= 9.832 m/s²**

*在地表面用 *g*， 已考虑惯性离心力在内

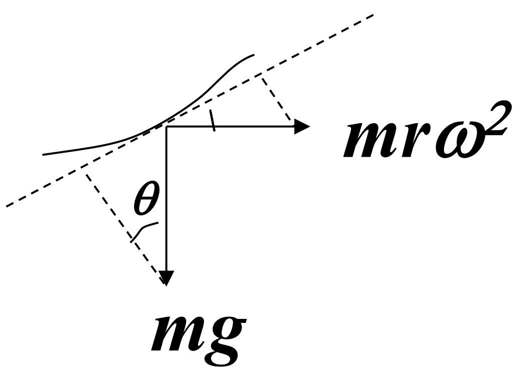
例：水桶以ω旋转，求水面形状？



例：水桶以ω旋转，求水面形状？



解：水面z轴对称，选柱坐标系。任选水面一小质元，在切线方向静止，在旋转参考系



$$mg\sin\theta - mr\omega^2\cos\theta = 0$$

$$\tan\theta = \frac{r\omega^2}{g} \rightarrow \frac{dz}{dr} = \frac{r\omega^2}{g}$$

积分 $$\int_{z_0}^{z} dz = \int_0^r dr\frac{r\omega^2}{g} \quad -> \quad z = z_0 + \frac{r^2\omega^2}{2g}$$