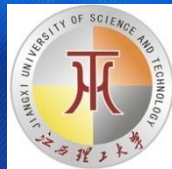


《大学物理》

第二章 牛顿运动定律

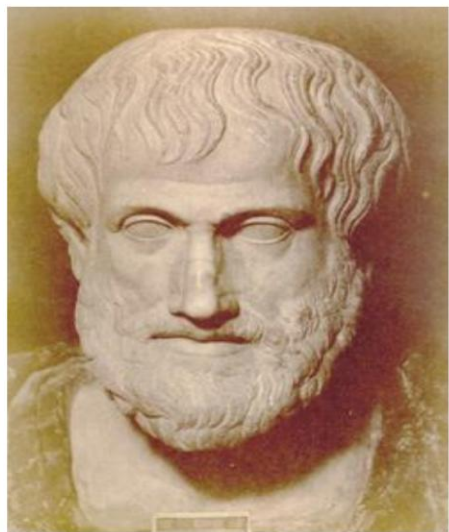


“对运动的无知，就是对大自然的无知”
——西方谚语



一、牛顿第一定律

亚里斯多德的一个错误观点

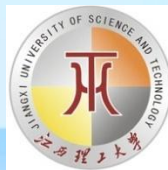


“力是维持物体运动的原因”

亚里士多德

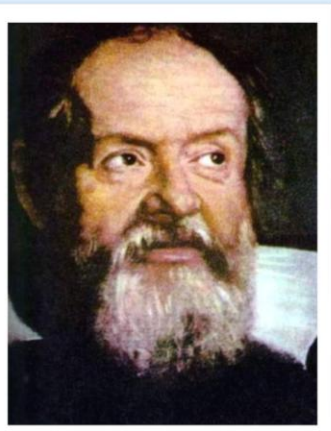
(约公元前384年-前322年)

古希腊哲学家、科学家和教育家



一、牛顿第一定律

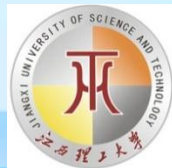
伽利略的第一个斜面实验



伽利略
(意大利物理学家)
(1564——1642)

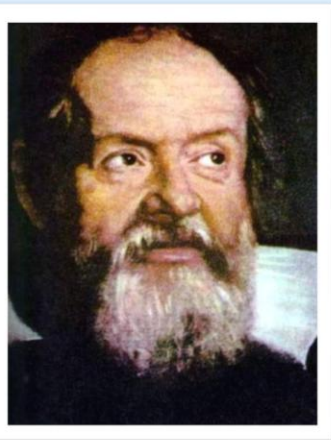


如果没有任何阻力，
小球将一直保持运动而不会停止。



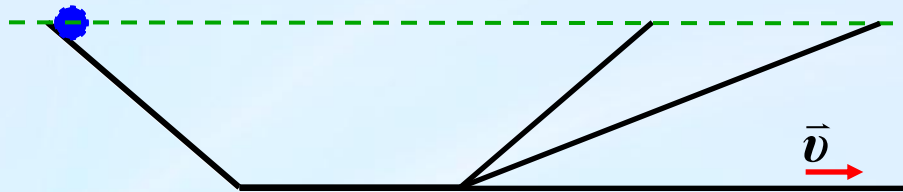
一、牛顿第一定律

伽利略的对接斜面实验（理想实验）



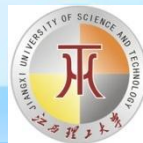
伽利略

(意大利物理学家)
(1564—1642)



只要除去加速或减速的外因，在水平面上运动物体的速度就可以保持不变。

——《关于力学和局部运动两门新科学的谈话和数学证明》（1638）



一、牛顿第一定律

伽利略的科学研究方法

逻辑推理

抽象分析

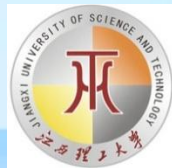
数学演绎

科学假设

理想实验

实验研究

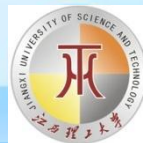
相结合（科学推理法）



一、牛顿第一定律

“伽利略的发现以及他所应用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”

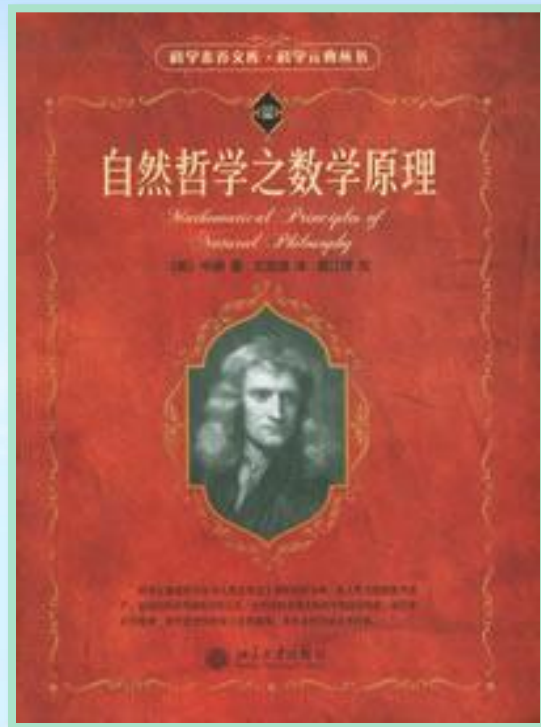
——爱因斯坦



一、牛顿第一定律



牛顿
(英国，物理学家数学家)
(1643 - 1727)

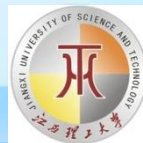


一、牛顿第一定律

任何物体都保持静止或匀速直线运动状态，直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。

说 明

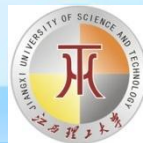
- 1、牛顿第一定律不能用实验直接验证；
- 2、牛顿第一定律是经典力学体系的前提与基础。



一、牛顿第一定律

(1) 牛顿第一定律提出了惯性的概念

惯性：物体固有的保持其运动状态不变的属性。



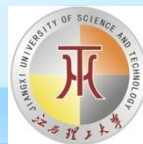
一、牛顿第一定律

(2) 第一次科学地给出了力的定性定义

力是物体间的相互作用。——力的本质



力的作用效果：改变受力物体的运动状态。



一、牛顿第一定律

(2) 引入了一个特殊的参考系——惯性系

惯性系：使牛顿第一定律适用的参考系

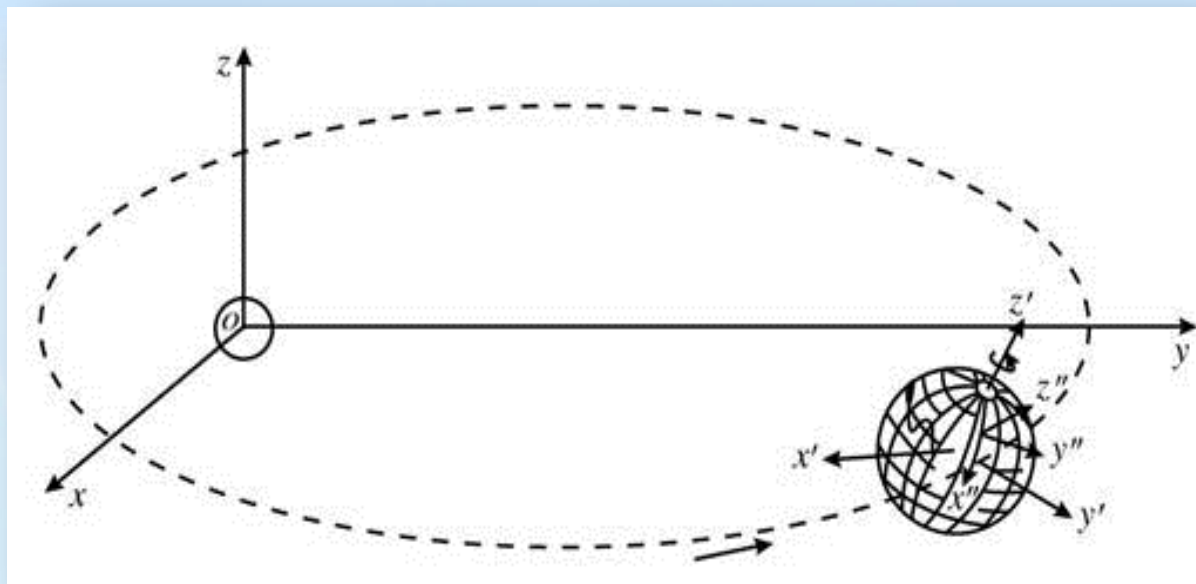
注：严格的惯性系是关于参照系的一种理想模型。



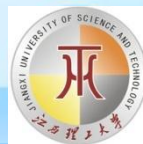
地面系：赤道处自转向心加速度 $\sim 3.4 \times 10^{-2} \text{m/s}^2$



一、牛顿第一定律



地心系：绕太阳的向心加速度 $\sim 6 \times 10^{-3} \text{m/s}^2$ (g 的 10^{-4})



一、牛顿第一定律

总之，无论从概念关系上看，还是从表述规律的内容上，牛顿第一定律在经典力学理论体系中处于**前提和基础**的地位。

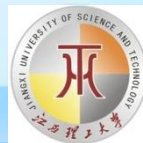


一、牛顿第二定律

某时刻物体动量对时间的变化率与所施加的外力成正比，并发生在外力的方向上。

数学表达式：

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



一、牛顿第二定律

说 明

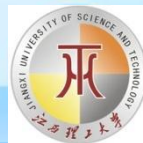
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (\text{适用于惯性系})$$

1、 $\vec{F} = \sum \vec{F}_i$ ——力的叠加原理

2、若 m 恒定： $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$

但在以下两种情况下，质量不能当常量：

- 1) 物体在运动中质量有所增减，如火箭、雨滴问题；
- 2) 高速运动中,质量随速率的变化不能忽略。



一、牛顿第二定律

说 明

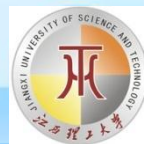
$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (\text{适用于惯性系})$$

(1) \vec{F} , \vec{a} 同向, 且是同一时刻的瞬时量;

(2) $\vec{F} = m\vec{a}$

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F} (\text{一定})}{m}$$

m 是物体惯性的量度, 称惯性质量, 简称质量。



二、牛顿第二定律

议一议：为什么当锤子敲击在一大铁块上时，铁块下的手不会有强烈的冲击感；而当用一块木头取代铁块时，木块下的手会感到明显的撞击。



二、牛顿第二定律



胸口碎大石（切勿模仿）

二、牛顿第二定律

说 明

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (\text{适用于惯性系})$$

(3) 对应性：若在一质点上同时作用几个力，则这些力各自产生自己的效果（加速度）而不相互影响；

——力的独立作用原理

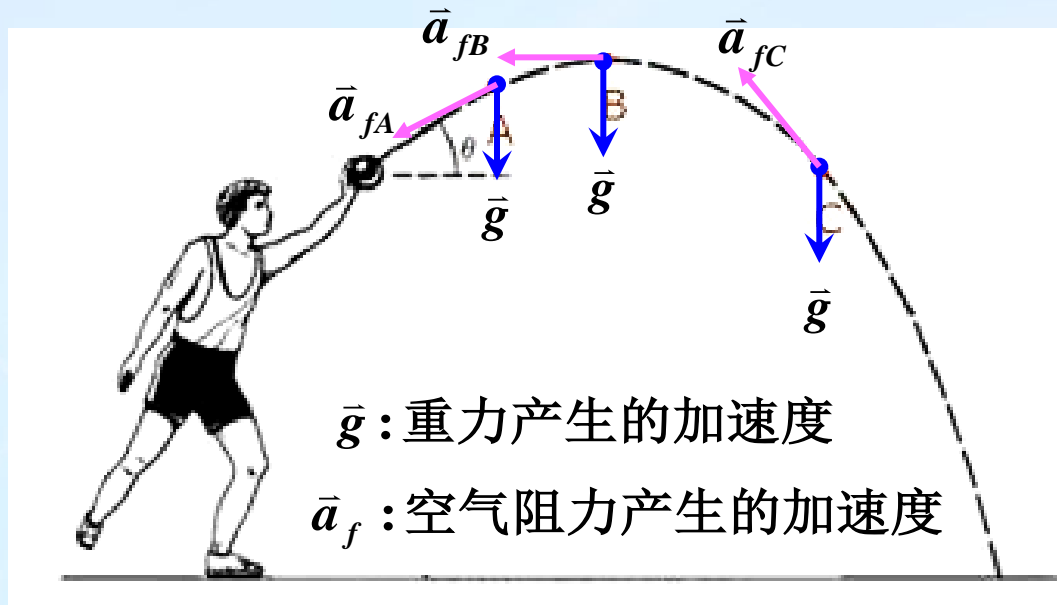
即：某个方向的力，只能改变该方向上物体的运动状态，只能在该方向上使物体获得加速度。

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



二、牛顿第二定律

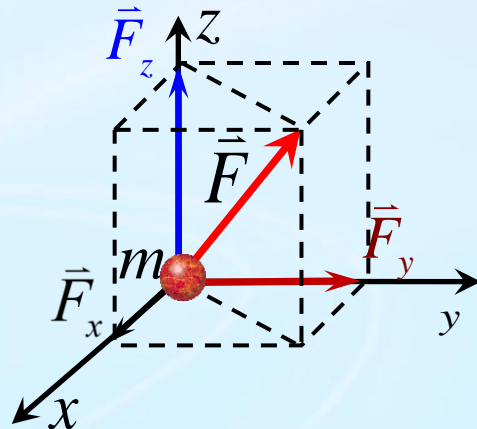
例：平抛运动



二、牛顿第二定律

(4) 直角坐标系中的分量式:

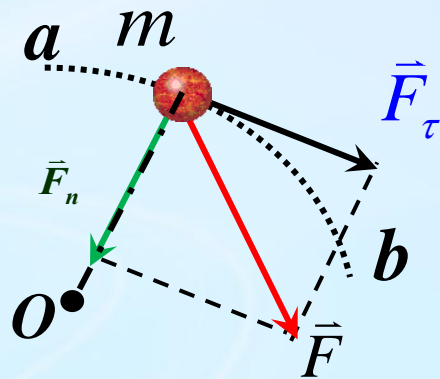
$$\begin{cases} F_x = ma_x = m \frac{dv_x}{dt} \\ F_y = ma_y = m \frac{dv_y}{dt} \\ F_z = ma_z = m \frac{dv_z}{dt} \end{cases}$$



二、牛顿第二定律

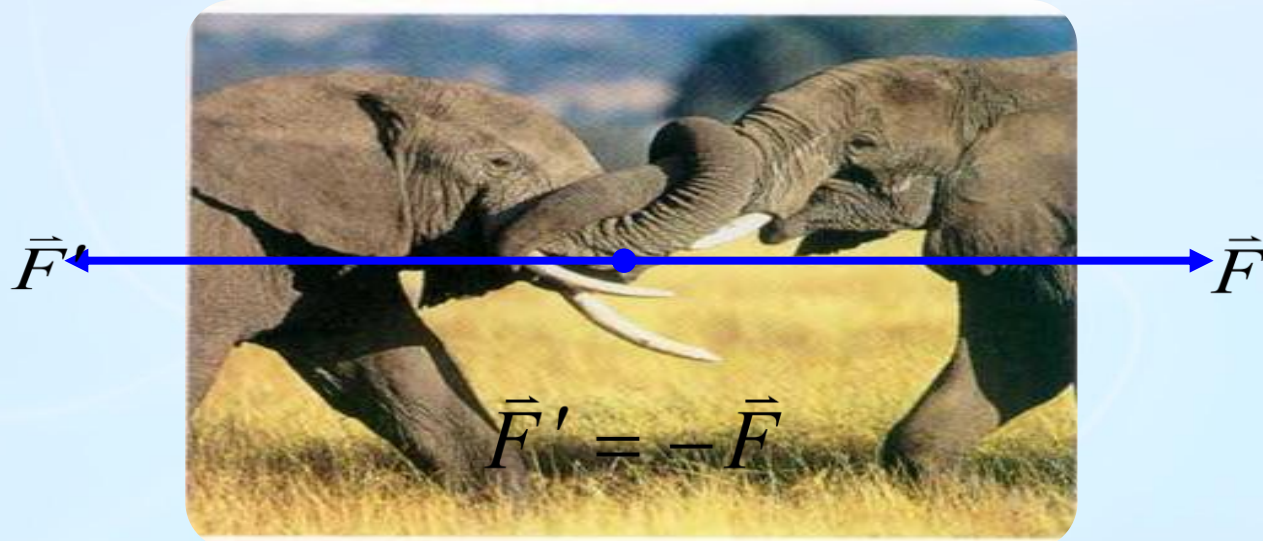
(5) 平面自然坐标系中分量式

$$\begin{cases} F_{\tau} = ma_{\tau} = m \frac{dv}{dt} \\ F_n = ma_n = m \frac{v^2}{\rho} \end{cases}$$



三、牛顿第三定律

两个物体之间的作用力和反作用力，
总是作用在同条直线上，且大小相等方向相反。



三、牛顿第三定律



胜负比赛的关键在于摩擦力

三、牛顿第三定律

说明

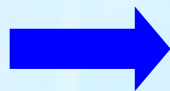
作用力和反作用力的四个特点

成对性：物体间的作用是相互的

同时性：同生同灭。

同类性：一对相互作用性质相同。

分离性：分别作用在不同物体上



系统内力之和为零！



三、牛顿第三定律

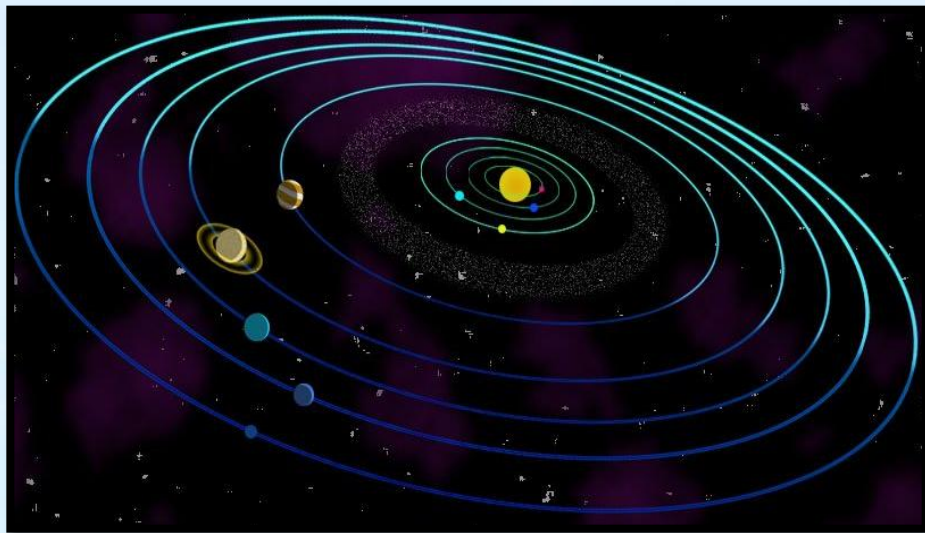
讨论：第三定律对一切相互作用均成立吗？

一般地，接触物体之间相互作用都遵从牛顿第三定律；

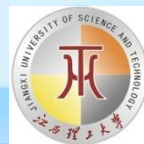


三、牛顿第三定律

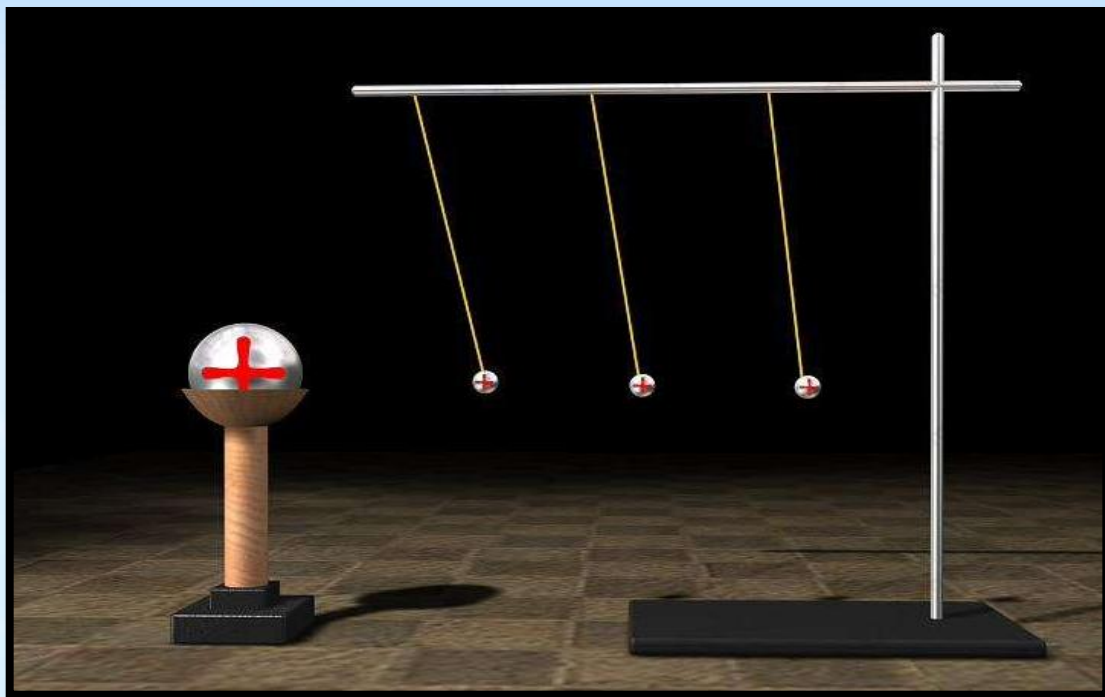
一种观点：对于相隔一定距离通过场以有限速度产生的物体之间的相互作用，要考虑推迟效应。



(1) 引力作用——推迟效应可忽略



三、牛顿第三定律

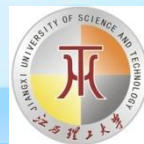


(2) 静电力作用——推迟效应可忽略



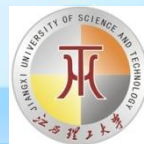
三、牛顿第三定律

**运动电荷之间、或运动电荷与静止
电荷之间的电磁作用——推迟效应
不可忽略**



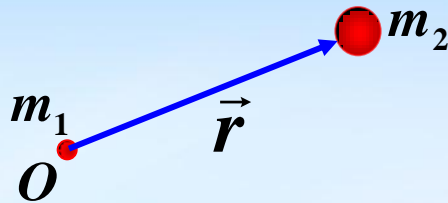
三、牛顿第三定律

另一种观点：电磁作用——电磁场间的相互作用，遵从牛顿第三定律。



四、力学中几个常见力

1、引力



牛顿万有引力定律:

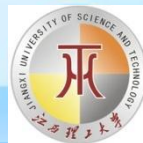
$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}^0$$

$G_0 = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ ——引力常量

m_1 、 m_2 ——引力质量



说明：引力质量与惯性质量在物理意义上不同，但是二者相等，因此不必区分。



四、力学中几个常见力

2、重力

$$\vec{F}_{\text{重}} = m\vec{g}$$

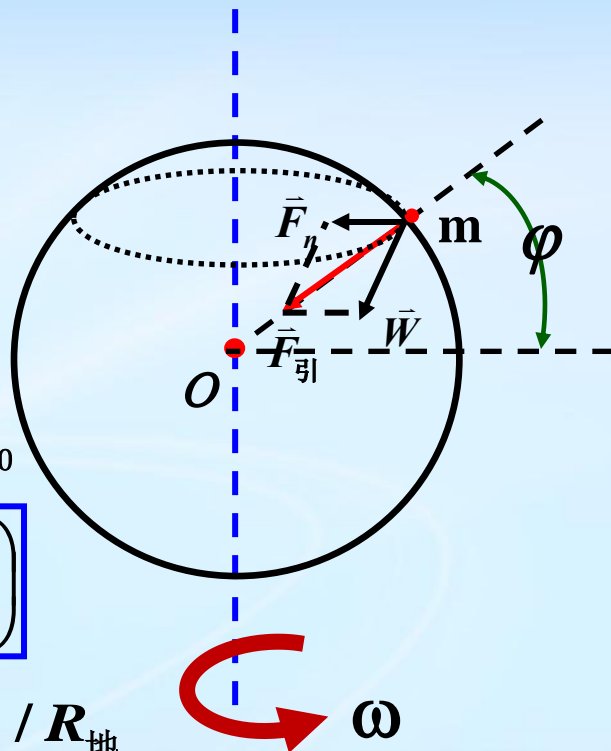
考虑地球自转:

$$F_{\text{重}} = F_{\text{引}} \left(1 - \frac{1}{191} \cos^2 \varphi \right)$$

南、北极: $\vec{F}_{\text{重}} = \vec{F}_{\text{引}} = m\vec{g}_0$

➡
$$g = g_0 \left(1 - \frac{1}{191} \cos^2 \varphi \right)$$

忽略地球自转: $g_0 = GM_{\text{地}} / R_{\text{地}}$



四、力学中几个常见力

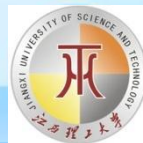
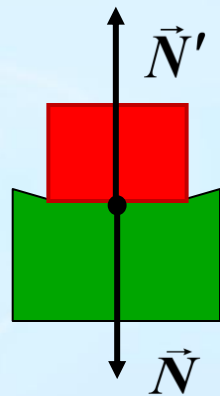
3、弹力

条件： 物体间接触， 物体发生形变。

方向： 始终与使物体发生形变的外力方向相反。

✦ 三种表现形式：

(1) 刚性物体间的压力与支持力

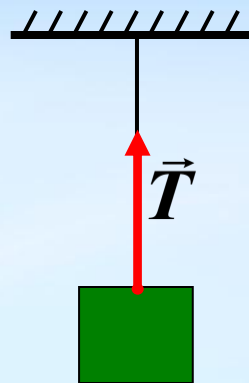


四、力学中几个常见力

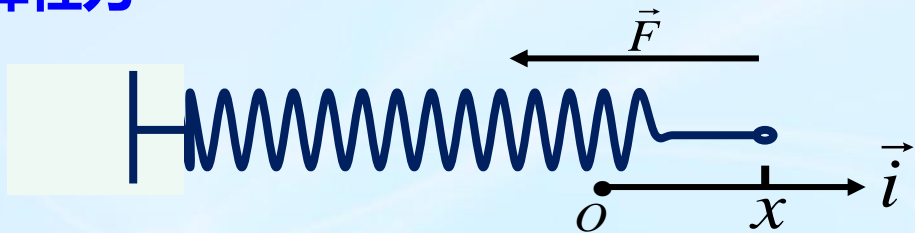
(2) 非弹性软绳（线、弦等）的张力

大小：取决于绳的收紧程度。

方向：沿着绳指向绳收紧的方向。



(3) 弹性力



$$\text{弹性限度内: } \vec{F} = -kx \vec{i}$$

k : 劲度系数。 $x\vec{i}$: 端点的位移。 O 为平衡位置。

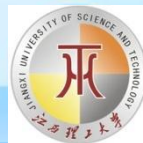
四、力学中几个常见力

4、摩擦力

条件：表面接触挤压，有相对运动或相对运动趋势。

方向：始终与相对运动或相对运动趋势的方向相反。

注意区别： $\left\{ \begin{array}{ll} \text{最大静摩擦力} & f_s = \mu_s N \\ \text{滑动摩擦力} & f_k = \mu_k N \end{array} \right.$



四、力学中几个常见力

5、 流体阻力

1、 物体速度较小时

$$f = -\gamma v$$

2、 物体的速率较大（但仍低于声速）

$$f = -c v^2$$

说明：当物体与流体的相对速度提高到接近空气中的声速时，这时流体阻力将迅速增大。

