

第二章 质点动力学

质点动力学：研究物体间相互作用对物体运动的影响。

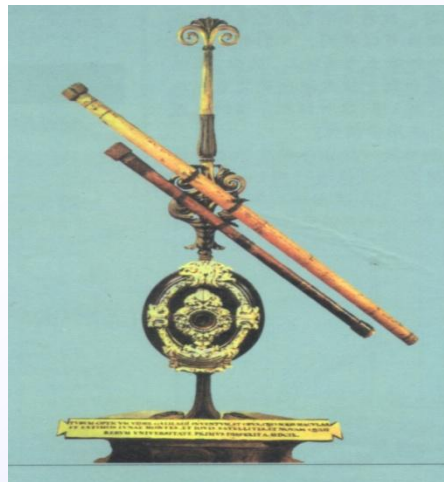


伽利略·伽利莱

1564—1642

意大利著名的数学家、天文学家、物理学家、哲学家。是经典力学和实验物理学的先驱者。

在科学实验的基础上融合贯通了数学、天文学、物理学三门科学的科学巨人。

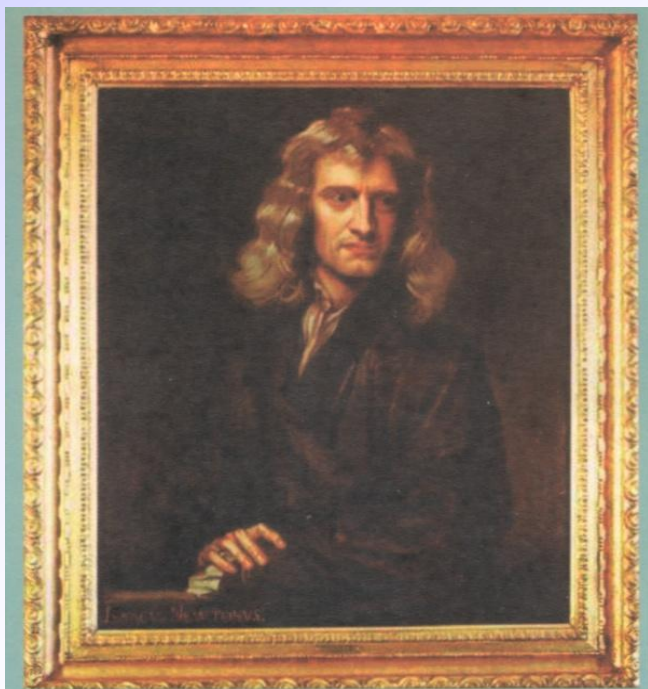


伽利略1609年制造的望远镜



第二章 质点动力学

质点动力学：研究物体间相互作用对物体运动的影响。



这是一幅 1689 年由戈弗雷·奈勒绘制的一幅油画。那一年牛顿 46 岁,《原理》一书已出版了两年,牛顿正处在他事业的巅峰。这是一幅大部分人都比较认可的油画。

牛顿(Isaac Newton, 1642—1727)

英国伟大的物理学家、数学家、天文学家。牛顿在自然科学领域里作了奠基的贡献,堪称科学巨匠。

他一生中的几个重要贡献:

牛顿三大运动定律、万有引力定律、创立了经典力学体系。

发现了白光是由不同颜色的光构成,成为了光谱分析的基础。

于1701年发现了冷却定律

提出了“流数法”(即的微分法),创立了微积分。

2-1 牛顿第一定律

第一定律（惯性定律）

任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态，直到受到力的作用迫使它改变这种状态为止。

惯性：物体所固有的，保持原来运动状态不变的特性。

力：力是使物体速度改变的原因，而不是维持速度的原因。

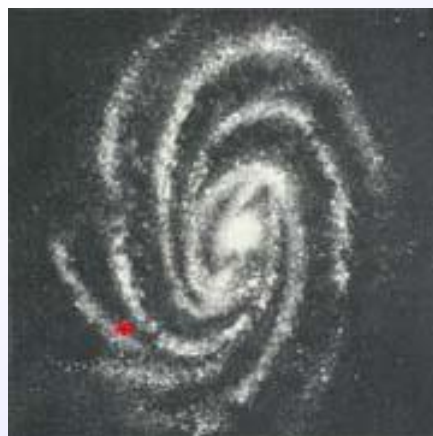
惯性系：牛顿第一定律适用的参考系。通常选太阳或地球为参考系



公转加速度
 $a \sim 0.6 \text{ cm/s}^2$

自转加速度
 $a \sim 3.4 \text{ cm/s}^2$

地心参考系(近似惯性系)



绕银河系加速度
 $a \sim 3 \times 10^{-4} \text{ cm/s}^2$

日心参考系

2-2 牛顿第二和第三定律

一、第二定律：在受到外力作用时，物体所获得的加速度的大小与外力成正比，与物体的质量成反比；加速度的方向与外力的矢量和的方向相同。

矢量式：

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

质量是量度物体惯性大小的物理量。

直角坐标系：

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

自然坐标系：

$$\begin{aligned} F_n &= ma_n = m \frac{v^2}{R} \\ F_t &= ma_t = m \frac{dv}{dt} \end{aligned}$$

牛顿第二定律的几点说明：

- (1) 力为物体所受的合外力，力和加速度是瞬时关系。
- (2) 适用于惯性系。
- (3) 第二定律原则上只适用于质点。
- (4) 质点高速运动或变质量物体 $\vec{F} = m\vec{a}$, 不适用。

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right)$$

三、力学中几种常见的力

1、重力：由于地球吸引使物体所受的力。质量与重力加速度的乘积，方向竖直向下。

物体质量 m ，地球质量 M_E ，地球半径 R

$$\text{重力 } P = G \frac{mM_E}{R^2} = mg \quad \text{重力加速度 } g = G \frac{M_E}{R^2} \approx 9.8 \text{ (m / s}^2\text{)}$$

2、弹力：发生形变的物体，由于力试图恢复原状，对与它接触的物体产生的作用力。如压力、张力、拉力、支持力、弹簧的弹力。在弹性限度内 $f = -kx$ ，方向总是与形变的方向相反。

3、摩擦力：物体运动时，由于接触面粗糙而受到的阻碍运动的力。分滑动摩擦力和静摩擦力。

第三定律

两个物体相互作用时，作用力与反作用力大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

• 作用力与反作用力定律 $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ (力为矢量)

说明

- 1) 等值，反向，共线，共性。
- 2) 一定是两个物体间的作用。
- 3) 作用力与反作用力同时产生、同时消失。
- 4) 适用于任何参照系。

牛顿三定律间存在密切的联系。

二、基本的自然力

——力是物体间的相互作用

自然界四种基本相互作用：引力、电磁、强、弱

1、引力相互作用 万有引力-----长程力 (吸引力)：

万有引力定律：两质点 m_1 、 m_2 ，相距 r

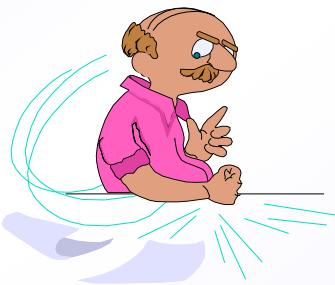
$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r} \quad \text{引力常数: } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{千克}^2$$

2、电磁相互作用

电磁力-----长程力 (吸引力或排斥力)：

$$(\text{库仑力}) f = k q_1 q_2 / r^2 \quad k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

注意：电磁力远远大于万有引力！



3、强相互作用

强力：粒子之间的一种相互作用，
作用范围 $< 10^{-15}$ 米。

例：核力

4、弱相互作用

弱力：粒子之间的另一种相互作用，
作用范围 $< 10^{-17}$ 米。

例：中子 β 衰变

牛顿力学对原子核内运动不适用，故牛顿力学范围内只涉及：万有引力与电磁力（弹力、摩擦力等）。

力类 型项目	万有引力	电磁力	强 力	弱 力
力 程	长程	长程	短程	短程
作 用 范 围	$0 \sim \infty$	$0 \sim \infty$	$< 10^{-15}\text{m}$	$< 10^{-17}\text{m}$
作用强度	10^{-39}	10^{-2}	1	10^{-12}

四、单位制和量纲

物理量分为基本物理量和导出物理量

基本物理量的单位称基本单位

导出物理量的单位称导出单位

力学的基本物理量有长度，质量和时间。

SI制中：长度用米（m），时间用秒（s），
质量用千克（kg）

用L,M和T分别表示长度，质量和时间的量纲

例：速度的量纲 $[v]=LT^{-1}$

加速度的量纲 $[a]=LT^{-2}$

五、应用牛顿定律解题

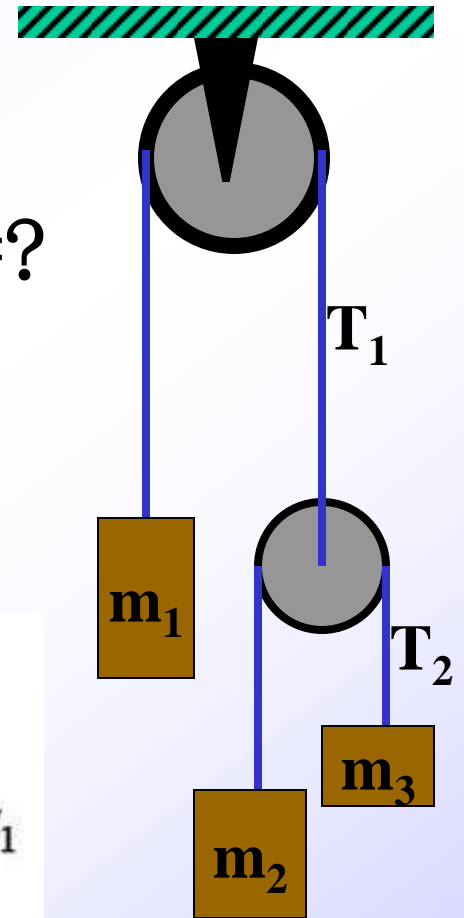
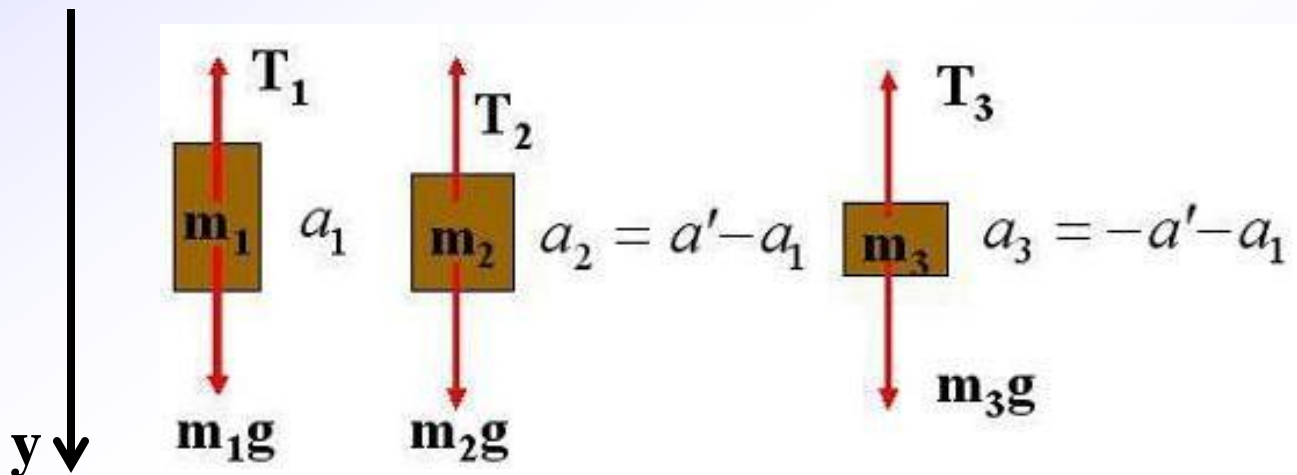
牛顿定律的解题步骤：

- 1、确定研究对象
- 2、选取参照系——建立坐标系——进行受力分析
- 3、运用第二定律列出联立方程
- 4、解联立方程组，用符号化简后代入数据, 进行数值计算
- 5、对结果进行讨论，分析结果的合理性，有何物理意义？

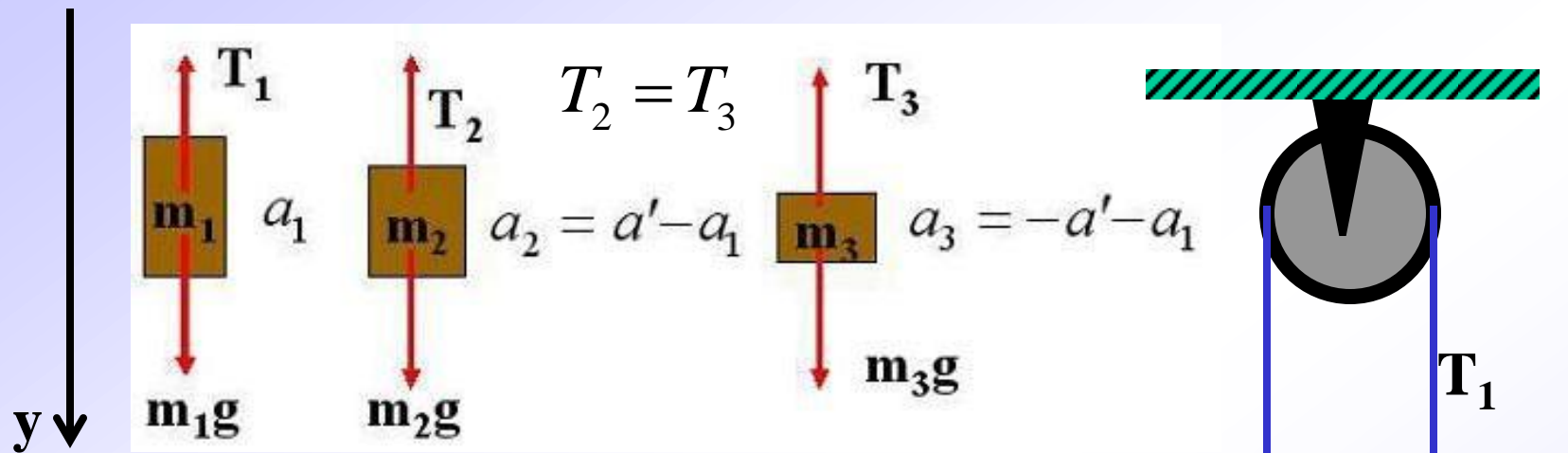
例1、已知： $m_1=200\text{g}$ $m_2=100\text{g}$
 $m_3=50\text{g}$

求： $a_1=?$ $a_2=?$ $a_3=?$ $T_1=?$ $T_2=?$

解： 研究对象： m_1, m_2, m_3
 参照系： 地面



a' 为 m_2 相对动滑轮的加速度



$$\begin{cases} m_1 g - T_1 = m_1 a_1 \\ m_2 g - T_2 = m_2 a_2 \\ m_3 g - T_2 = m_3 a_3 \\ T_1 = 2T_2 \\ a_2 = a' - a_1 \\ a_3 = -a' - a_1 \end{cases}$$

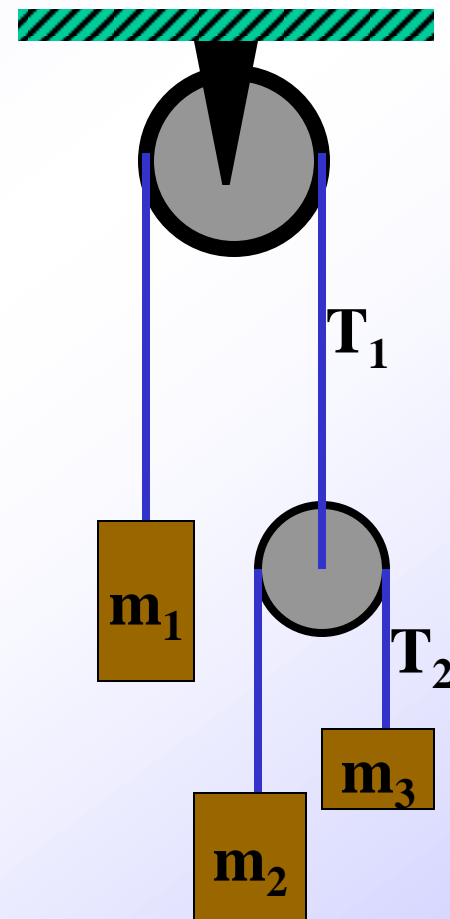
解上述方程得：

$$a' = \frac{2m_1(m_2 - m_3)}{m_1m_2 + m_1m_3 + 4m_2m_3} g = 3.92\text{m/s}^2$$

$$a_1 = \frac{m_1m_2 + m_1m_3 - 4m_2m_3}{m_1m_2 + m_1m_3 + 4m_2m_3} g = 1.96\text{m/s}^2$$

$$\text{同理} \quad a_2 = 1.96\text{m/s}^2 \quad a_3 = -5.88\text{m/s}^2$$

$$T_1 = m_1(g - a_1) = 1.57\text{N} \quad T_2 = T_1 / 2 = 0.784\text{N}$$



质点动力学

作业:

2-3

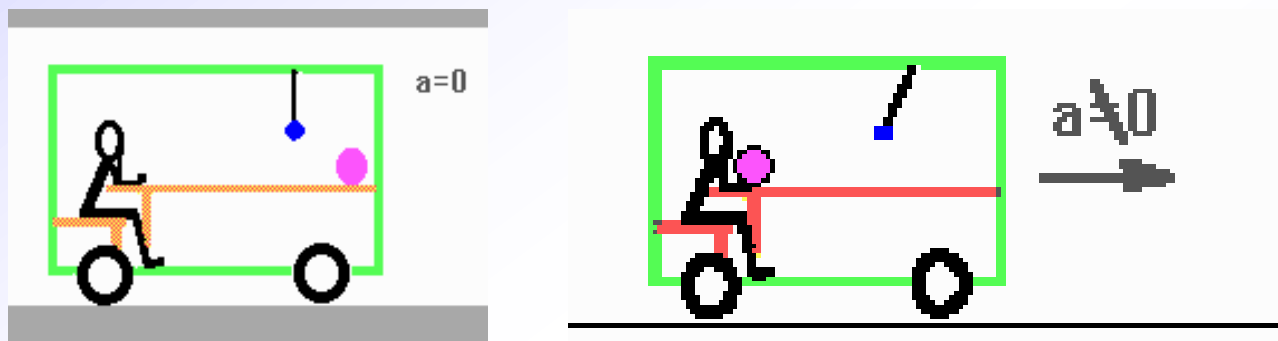
-18

-20

-21

2-3 力学相对性原理 非惯性系

问题：



车的 $a=0$ 时单摆和小球的状态符合牛顿定律

$a \neq 0$ 时在车内观察，单摆和小球的状态为什么不符合牛顿定律？

- 在有些参考系中**牛顿定律成立**，这些参考系称为**惯性系**
- 相对惯性系作**匀速直线运动**的参考系也是**惯性系**
- 相对惯性系作**加速运动**的参考系是**非惯性系**

一、力学相对性原理

——力学定律在所有惯性系中具有相同形式

K : 惯性系 K' : 相对于 K 以速度 \vec{u} 作匀速直线运动

质点 : m m' $m = m'$

力 : \vec{F} \vec{F}' $\vec{F} = \vec{F}'$

速度 : \vec{v} \vec{v}' $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$ (伽利略变换)

加速度 : \vec{a} \vec{a}'

第二定律 $\vec{F} = m \vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m' \frac{d}{dt} (\vec{v}' + \vec{u}) = m' \frac{d\vec{v}'}{dt} = m' \vec{a}' = \vec{F}'$

即 $\vec{F}' = m' \vec{a}'$ K' 也为惯性系

二、非惯性系中的力学定律

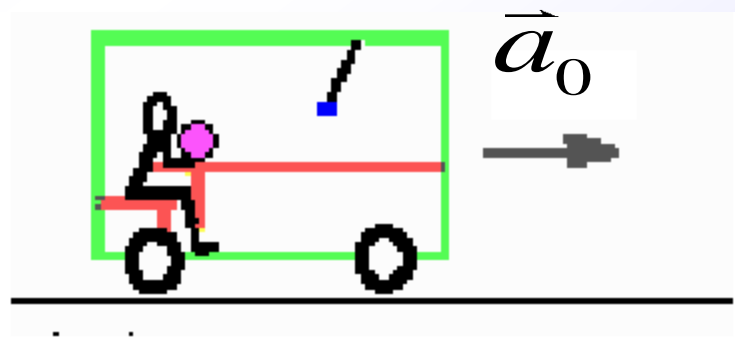
一切相对于惯性系作加速运动的参考系, 都是非惯性系
(平动、转动)

(1) 平动非惯性系

—— 相对于惯性系作加速直线运动的参考系

在非惯性系引入惯性力:

定义惯性力: $\vec{F}_i = -m \vec{a}_0$



引进惯性力后, 在非惯性系中牛顿第二定律形式上成立

则 $\vec{F} + \vec{F}_i = m \vec{a}'$ \vec{a}' 是物体相对于非惯性系的加速度

(区别点) \vec{F} : 相互作用力, 遵从第三定律

\vec{F}_i : 惯性力, 不遵从第三定律

(2)转动非惯性系

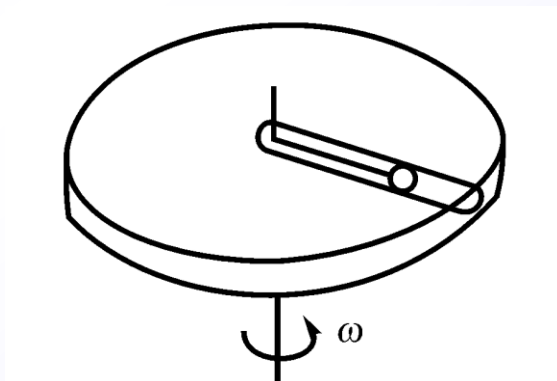
—— 相对于惯性系作匀角速转动的参考系

在地面参照系: $T = m\omega^2 r$

在转台参照系:

惯性离心力 $\vec{F}_i = -m\vec{a}_0$ $a_0 = \omega^2 r$

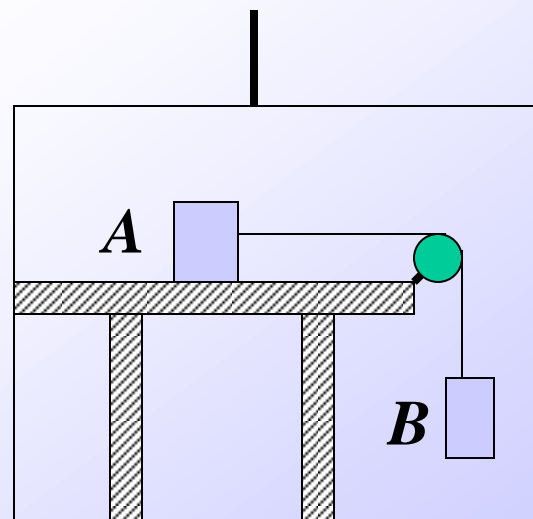
$$\vec{T} + \vec{F}_i = 0$$



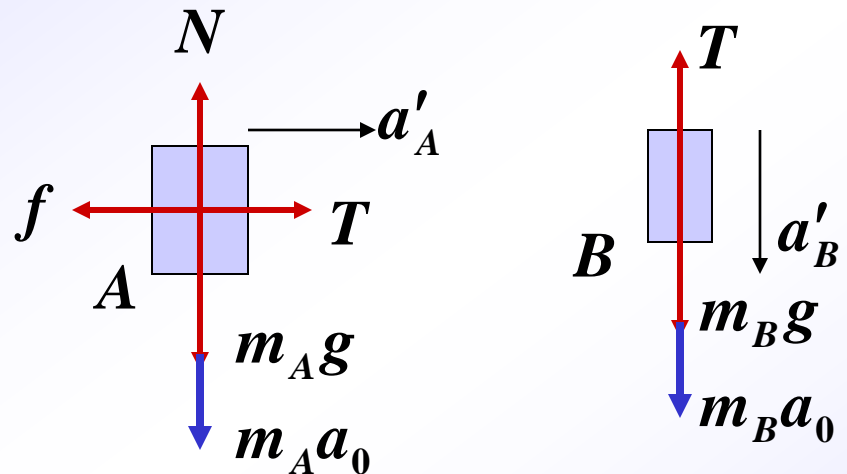
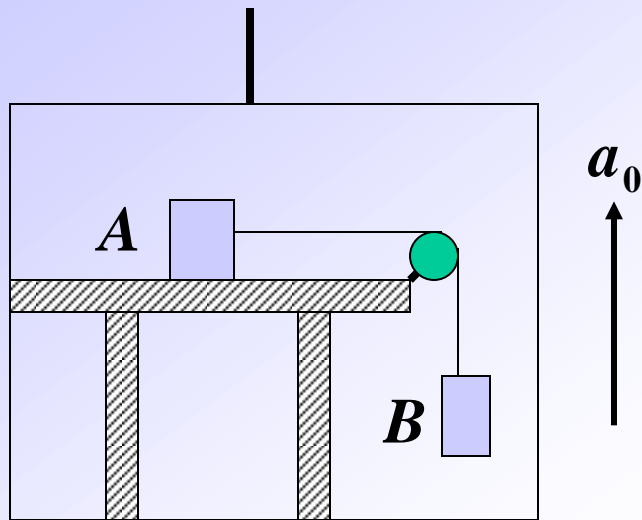
【例1】 如图所示，物体 A、B 的质量分别为 $m_A=2\text{kg}$ ， $m_B=3\text{kg}$ 。物体 A 放在水平桌面上，它与桌面的滑动摩擦因数为 $\mu=0.25$ 。物体 B 与物体 A 用轻质细绳并跨过一定滑轮相连，桌子固定在一吊车内。试求下列两种情况下绳内的张力（不计绳和滑轮的质量及轴承摩擦，绳不可伸长。）

① 吊车以 $a_0=2\text{m/s}^2$ 的加速度
竖直向上运动；

② 吊车以 $a_0=2\text{m/s}^2$ 的加速度
水平向左运动；



解：①以吊车为参考系，则A、B均受到一个向下的惯性力。



$$\left\{ \begin{array}{l} T - f = m_A a'_A \\ m_A g + m_A a_0 - N = 0 \\ f = \mu N \\ m_B g + m_B a_0 - T = m_B a'_B \\ a'_A = a'_B \end{array} \right.$$

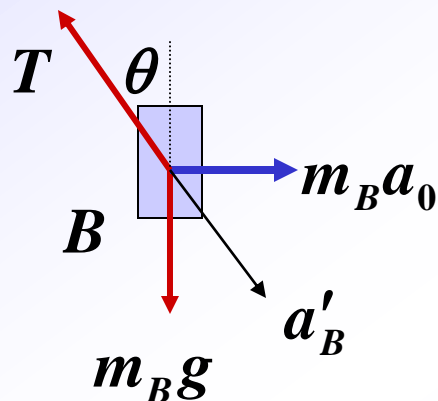
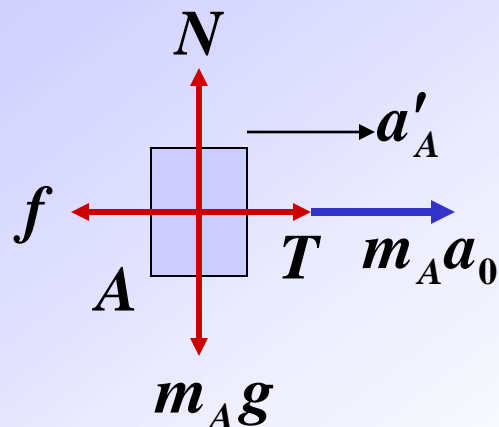
得 $T = 17.7 \text{ N}$,

$$a'_A = a'_B = 5.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$\vec{a}_A = 5.9\vec{i} - 2.0\vec{j} (\text{m/s}^2)$$

$$\vec{a}_B = 3.9\vec{j} (\text{m/s}^2)$$

②仍以吊车为参考系，则A、B均受到一个向右的惯性力



$$\left\{ \begin{array}{l} T + m_A a_0 - f = m_A a'_A \\ m_A g - N = 0 \\ f = \mu N \\ m_B a_0 - T \sin \theta = m_B a'_B \sin \theta \\ m_B g - T \cos \theta = m_B a'_B \cos \theta \\ a'_A = a'_B \end{array} \right.$$

得 $T = 12.1\text{N}$