大学物理

如何在物理上处理运动这个现象？

1：如何描述这么复杂的运动？

物质--〉质点　　　　质点运动学（第一章）

2：物质为何会运动？

力与运动的关系？　质点动力学（第二章）

3：力与运动有密切关系！

力作用在物体上的时间：

力的时间效应　动量与角动量（第三章）

力作用在物体上使物体运动：

力的空间效应　功与能　（第四章）

4：牛顿力学在刚体中的具体应用！（第五章　刚体的定轴转动）

5：物体在高速下的运动？（第六章　狭义相对论）

牛顿三定律

1.牛顿定律只适用于惯性系;

2.牛顿定律是对质点而言的，　　而一般物体可认为是质点的集合，　　故牛顿定律具有普遍意义。

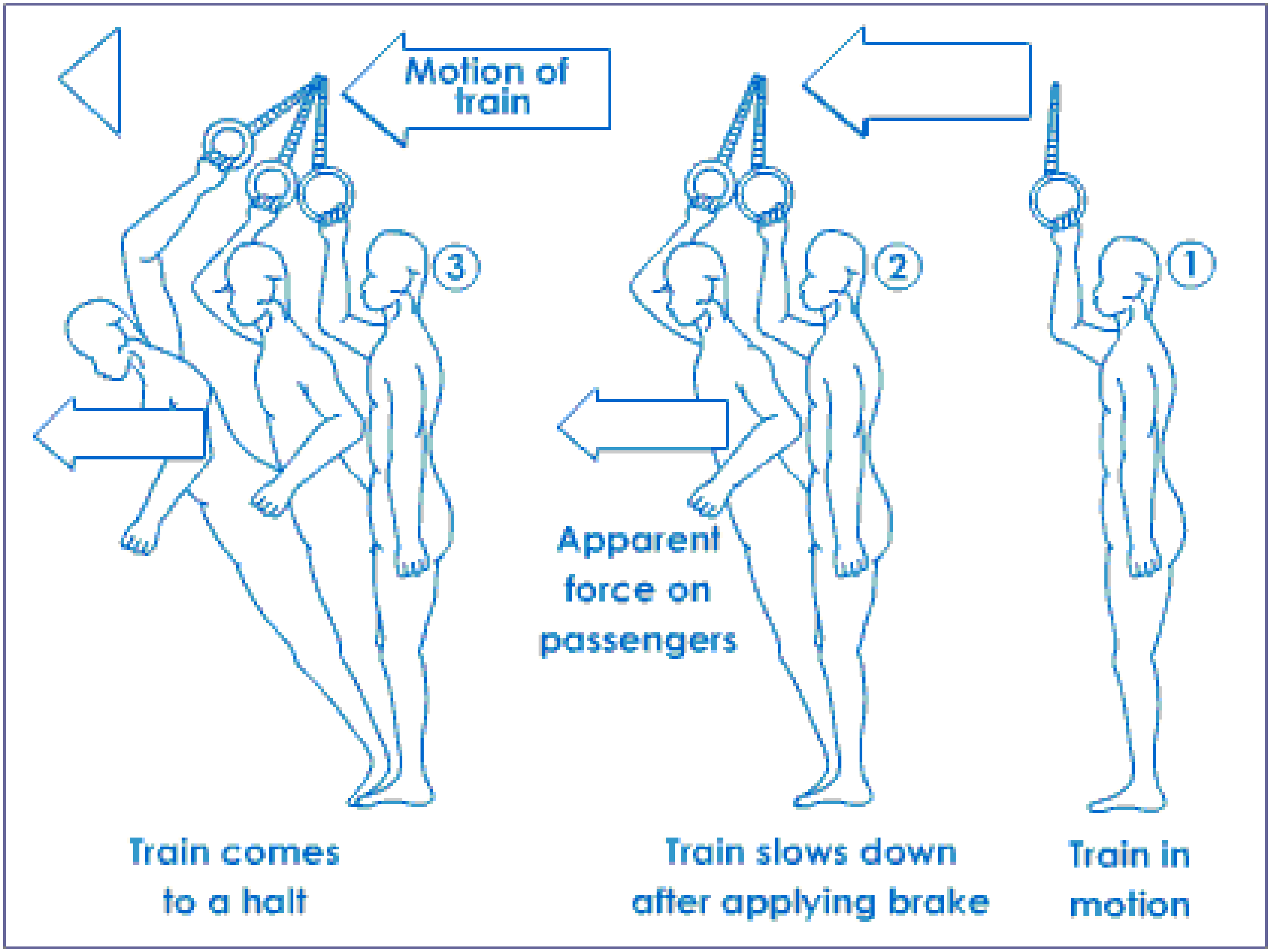
3.牛顿三定律是一个整体:

第一定律说明了任何物体都有惯性;

第二定律进一步说明了物体的惯性,物体的机械运动状态的改变及物体与其它物体相互作用三者的关系;

第三定律则说明了力出现的性质,即力是物体之间的相互作用,力是成对出现的,而且性质相同.

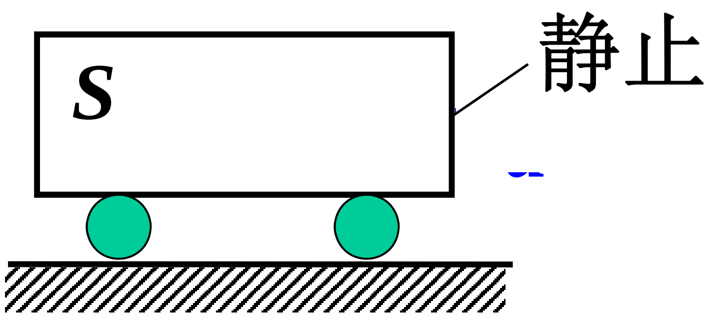
§ 2.5 非惯性系和惯性力



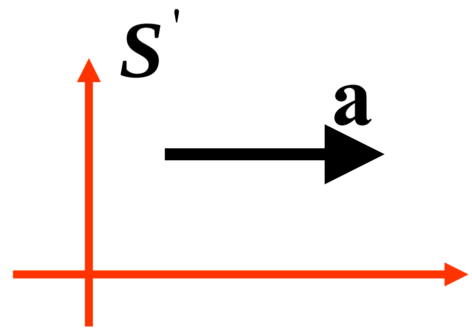
Motion of train
③
②
①
Apparent force on passengers
Train comes to a halt
Train slows down after applying brake
Train in motion

牛顿定律仅适用于惯性系。

例如：



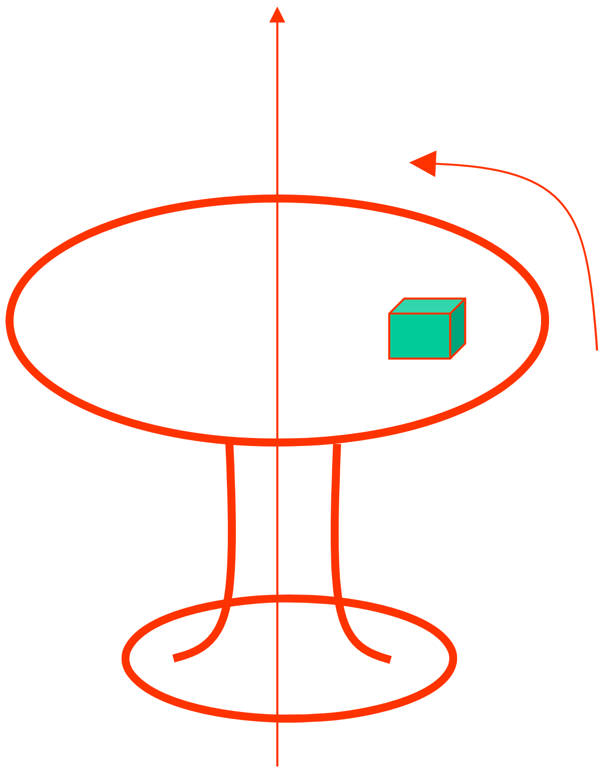
S：牛顿定律成立



S'：牛顿定律不成立

牛顿定律仅适用于惯性系。

例如：

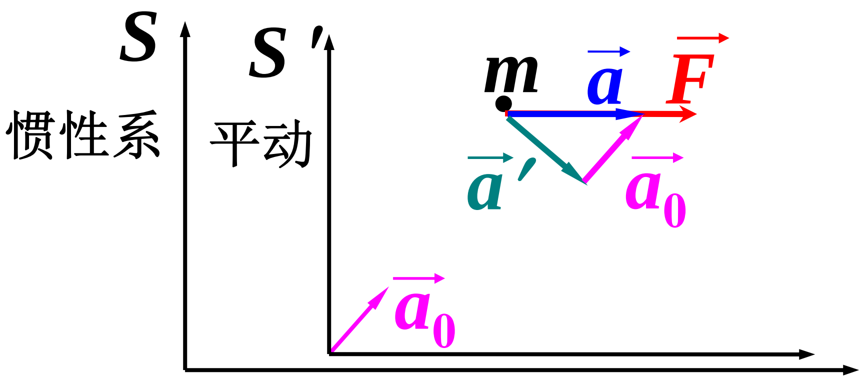


S’：观察者站在圆盘上

S’：牛顿定律不成立

S：牛顿定律成立

一. 平动非惯性系中的惯性力



S ： $\vec{F} = m\vec{a}$

S' ： $\vec{a}' = \vec{a} - \vec{a}_0 \neq \vec{a}$

$\vec{F}' = \vec{F}$ ， $m' = m$ ，

故 $\vec{F}' \neq m'\vec{a}'$

修改牛顿第二定律，使之于适用平动非惯性系：

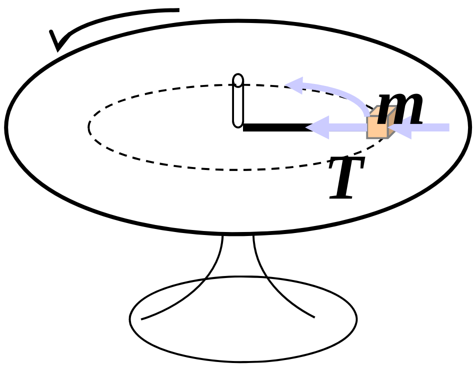
由 $\vec{F} = m\vec{a} = m\,(\vec{a}' + \vec{a}_0) = m\vec{a}' + m\vec{a}_0$

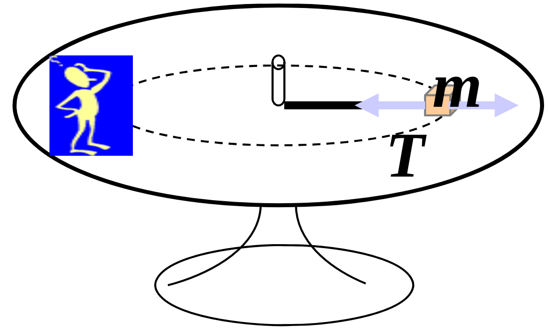
得 $\vec{F} - m\vec{a}_0 = m\vec{a}'$

定义惯性力（inertial force）—— $\boxed{\vec{F}_0 = -m\vec{a}_0}$

则有 $\boxed{\vec{F} + \vec{F}_0 = m\vec{a}'}$ —— 非惯性系中的牛顿第二定律

惯性离心力:





地面观察者：质点受绳子的拉力提供的向心力，所以作匀速圆周运动。

圆盘上观察者：质点受绳子的拉力，为什么静止？

在匀速转动的非惯性系中，小球受到一个惯性离心力（inertial centrifugal force）的作用，大小与绳子的拉力相等，方向与之相反，所以小球处于静止的平衡状态。

$$\vec{\mathrm{F}} + \vec{F}_i = -m\omega^2\vec{R} + \vec{F}_i = 0$$

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

惯性力是参考系加速运动引起的附加力，
本质上是物体惯性的体现。

它不是物体间的相互作用，没有反作用力，
但有真实的效果。

§2.5 牛顿运动定律的应用

动力学问题:

•已知力，求物体的运动状态;

•已知物体的运动状态，求力。

适用范围:

•牛顿力学只适用于在惯性系内，解决低速运动问题；

何谓高速？ --- 可与光速相比， 相对论

•牛顿力学只适用于宏观问题 。

何谓微观？--- 分子、原子、电子、原子核等，量子力学

解题步骤:

•确定研究对象;

•进行受力分析;

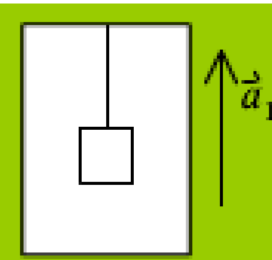
•选择坐标系;

•列运动方程;

•解方程;

•必要时进行讨论。

20、在升降机天花板上拴有轻绳，其下端系一重物，当升降机以加速度 a_1 上升时，绳中的张力正好等于绳子所能承受的最大张力的一半，问升降机以多大加速度上升时，绳子刚好被拉断？



(A) $2a_1$.　　　(B) $2(a_1+g)$.

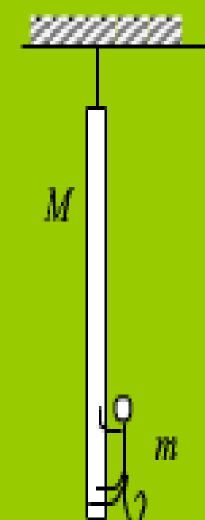
(C) $2a_1+g$.　　　(D) a_1+g.　　　[　]

22、　一只质量为 m 的猴，原来抓住一根用绳吊在天花板上的质量为 M 的直杆，悬线突然断开，小猴则沿杆子竖直向上爬以保持它离地面的高度不变，此时直杆下落的加速度为

(A) g.　　　(B) $\dfrac{m}{M}g$.

(C) $\dfrac{M+m}{M}g$.　　　(D) $\dfrac{M+m}{M-m}g$.

(E) $\dfrac{M-m}{M}g$.　　　[　]



25、升降机内地板上放有物体 A，其上再放另一物体 B，二者的质量分别为 M_A、M_B．当升降机以加速度 a 向下加速运动时($a<g$)，物体 A 对升降机地板的压力在数值上等于

(A) $M_A g$.　　(B) $(M_A+M_B)g$.

(C) $(M_A+M_B)(g+a)$.　　(D) $(M_A+M_B)(g-a)$.　　[　]

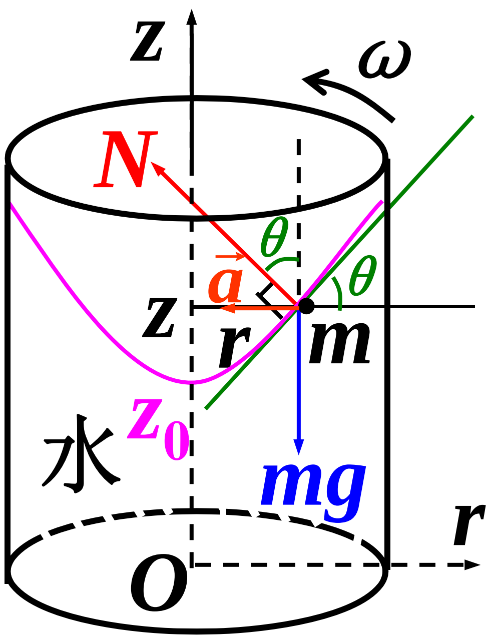
解题步骤：

- 确定研究对象；
- 进行受力分析；
- 选择坐标系；
- 列运动方程；
- 解方程；
- 必要时进行讨论。

应用举例:---同时说明做题的要求

已知：桶绕 z 轴转动，$\omega = \text{const.}$ 水对桶静止。

求：水面形状（z - r关系）



解：▲ 选对象：

任选表面上一小块水为隔离体 m；

▲ 看运动：

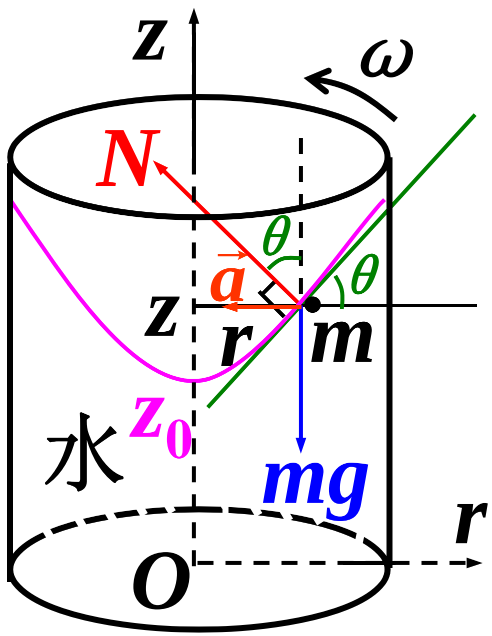
m作匀速率圆周运动：$\vec{a} = -\omega^2 \vec{r}$；

▲ 查受力：

受重力 $m\vec{g}$ 及其余水的压力 $\vec{N}$，

$\vec{N}\perp$水面（非粘滞流体间只能承受相互的压力）；

▲ 列方程： $\vec{N}+m\vec{g}=m\vec{a}=-m\omega^2\vec{r}$



z向： $N\cos\theta-mg=0$ (1)

r向： $-N\sin\theta=-m\omega^2 r$ (2)

由导数关系： $\mathrm{tg}\,\theta=\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}r}$ (3)

(1)(2)(3)得： $\dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}r}=\dfrac{\omega^2}{g}r$

分离变量： $\mathrm{d}z=\dfrac{\omega^2}{g}r\,\mathrm{d}r$

等号双方积分： $\int_{z_0}^{z}\mathrm{d}z=\int_0^r\dfrac{\omega^2}{g}r\,\mathrm{d}r$

解得：$$z=\frac{\omega^2}{2g}r^2+z_0$$（旋转抛物面）

若已知不旋转时水深为h，桶半径为R，则由旋转前后水的体积不变，有：

$$\int_0^R z\cdot 2\pi\ r\,\mathrm{d}\,r=\pi R^2 h$$

$$\int_0^R \left(\frac{\omega^2}{2g}r^2+z_0\right)2\pi r\,\mathrm{d}\,r=\pi R^2 h$$

解得：$$z_0=h-\frac{\omega^2 R^2}{4g}$$

▲ 验结果：$z=\frac{\omega^2}{2g}r^2+z_0=\frac{\omega^2}{2g}r^2-\frac{\omega^2}{4g}R^2+h$

验证：

- 过渡到特殊情形：$\omega=0$，有 $z=z_0=h$，正确。
- 看变化趋势：r 一定时，$\omega\uparrow\rightarrow(z-z_0)\uparrow$，合理。

第三章 动量与角动量

(Momentum and Angular Momentum)

前言

——力对时间和空间的积累效应。

力在时间上的积累效应：

平动 → 冲量 → 动量的改变

转动 → 冲量矩 → 角动量的改变

力在空间上的积累效应

→ 功 → 改变能量

本章目录

Δ § 3.1 冲量，动量

定义：$\vec{F}=\dfrac{\mathrm{d}\,\vec{p}}{\mathrm{d}\,t}=\dfrac{\mathrm{d}(m\vec{\mathrm{v}})}{\mathrm{d}\,t}$ ⟶ $\vec{F}dt=d\vec{p}$

质点的动量（**momentum**）— $\boxed{\vec{p}=m\vec{v}}$

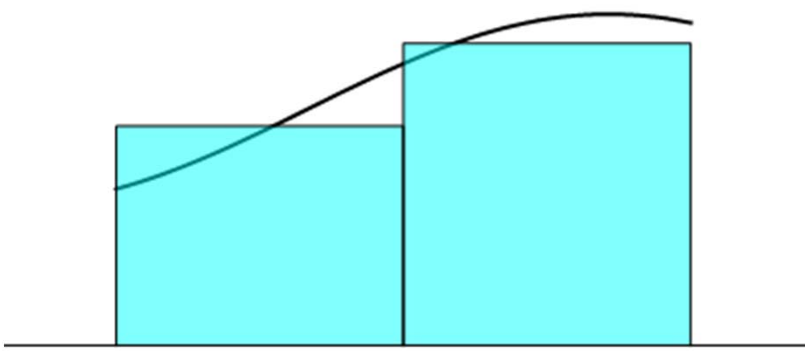
力的冲量（**impulse**）— $\boxed{\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}\,\mathrm{d}\,t=\int_{t_1}^{t_2}d\vec{p}}$

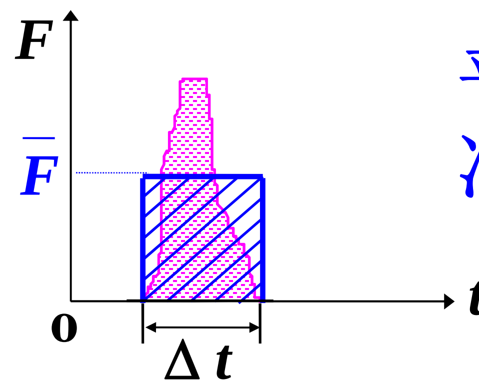
$$\vec{F}dt=d\vec{p}$$ ⟶ 质点动量定理

（**theorem of momentum of a particle**）

$$\begin{cases} \boxed{\mathrm{d}\vec{I} = \vec{F}\,\mathrm{d}t = \mathrm{d}\vec{p}} & \text{（微分形式）} \\ \boxed{\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,\mathrm{d}t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1} & \text{（积分形式）} \end{cases}$$

$$\int_a^b f(x)dx = \lim_{\lambda \to 0} \sum_{i=1}^{n} f(\xi_i)\Delta x_i$$

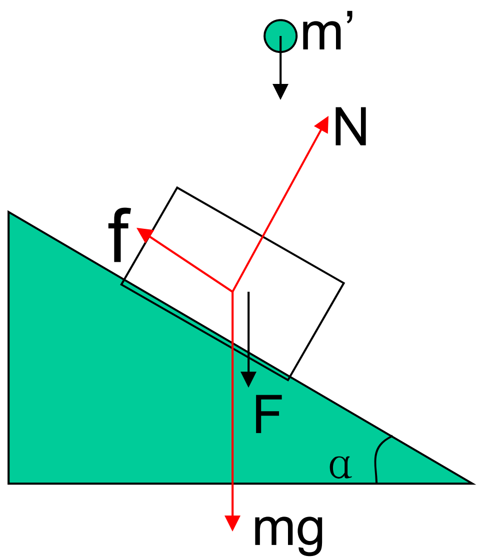




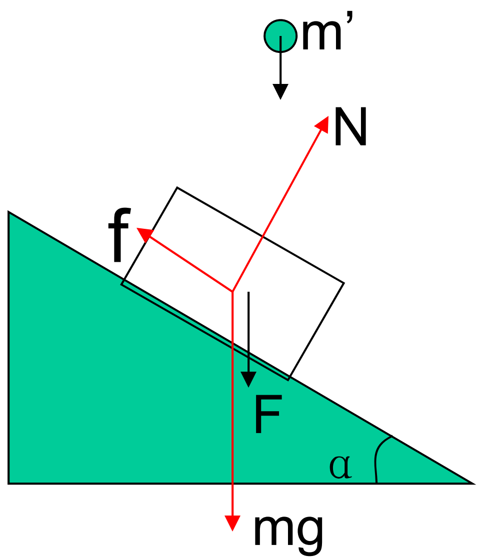
平均冲力

$$\overline{\vec{F}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,\mathrm{d}t}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

例.在斜面上放着一个盛有细沙的箱子,在摩擦力的作用下箱子刚好不下滑.若有一物体m’从竖直方向坠入箱中,试问在该物体的冲力作用下,箱子是否还能保持静止?



例.在斜面上放着一个盛有细沙的箱子,在摩擦力的作用下箱子刚好不下滑.若有一物体m'从竖直方向坠入箱中,试问在该物体的冲力作用下,箱子是否还能保持静止?



已知μ_s

解:箱子是否下滑,决定于物体坠入箱子时,在冲力的作用下箱子的受力是否平衡.

刚好不下滑时:

$$mg\sin\alpha = f = \mu_s mg\cos\alpha \Rightarrow \mu_s = tg\alpha$$

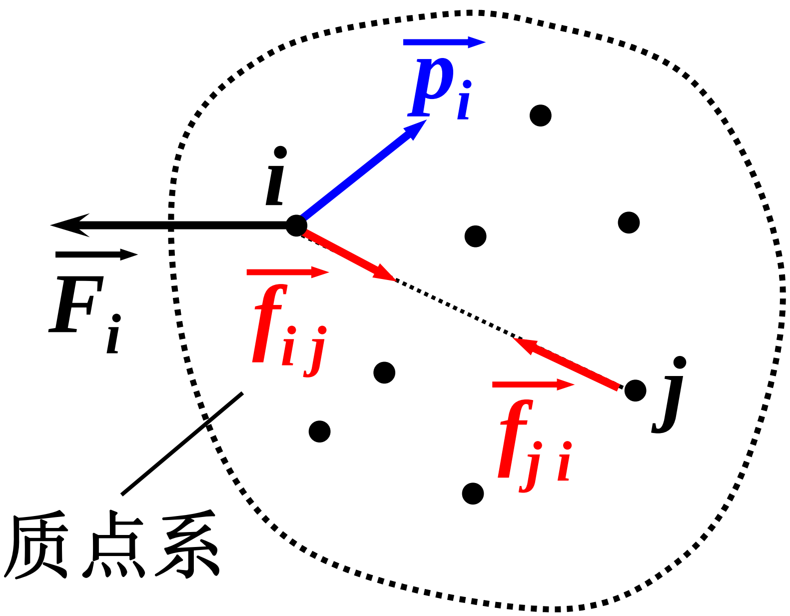
当一物体竖直坠入箱中,在冲力作用下, 瞬间应满足:

$$\mu_s(mg\cos\alpha + F\cos\alpha) - (mg\sin\alpha + F\sin\alpha) = -ma$$

代入 $\mu_s = tg\alpha$ 得 a=0

§ 3.2 动量守恒定理

（ Law of conservation of momentum ）



$\vec{F}_i$ 为质点 i 受的合外力，

$\vec{f}_{ij}$为质点 i 受质点 j 的内力，

$\vec{p}_i$ 为质点 i 的动量。

对质点 i： $$(\vec{F}_i + \sum_{j\neq i} \vec{f}_{ij})\mathrm{d}t = \mathrm{d}\vec{p}_i$$

对质点系： $$\sum_i (\vec{F}_i + \sum_{j\neq i} \vec{f}_{ij})\mathrm{d}t = \sum_i \mathrm{d}\vec{p}_i$$

由牛顿第三定律有： $$\sum_i \sum_{j\neq i} \vec{f}_{ij} = 0$$

$$(\sum_i \vec{F}_i)\mathrm{d}t = \sum_i \mathrm{d}\vec{p}_i$$

$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_{外}，\quad \sum_i \vec{p}_i = \vec{P}$$

则有：

$$\boxed{\vec{F}_{外}\,\mathrm{d}t = \mathrm{d}\vec{P}}$$

或

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

$\left.\begin{array}{l}\\ \\ \end{array}\right\}$ 质点系动量定理（微分形式）

$$\boxed{\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}_{外}\cdot\mathrm{d}t = \vec{P}_2 - \vec{P}_1}$$

—质点系动量定理（积分形式）

系统总动量由外力的冲量决定，与内力无关。

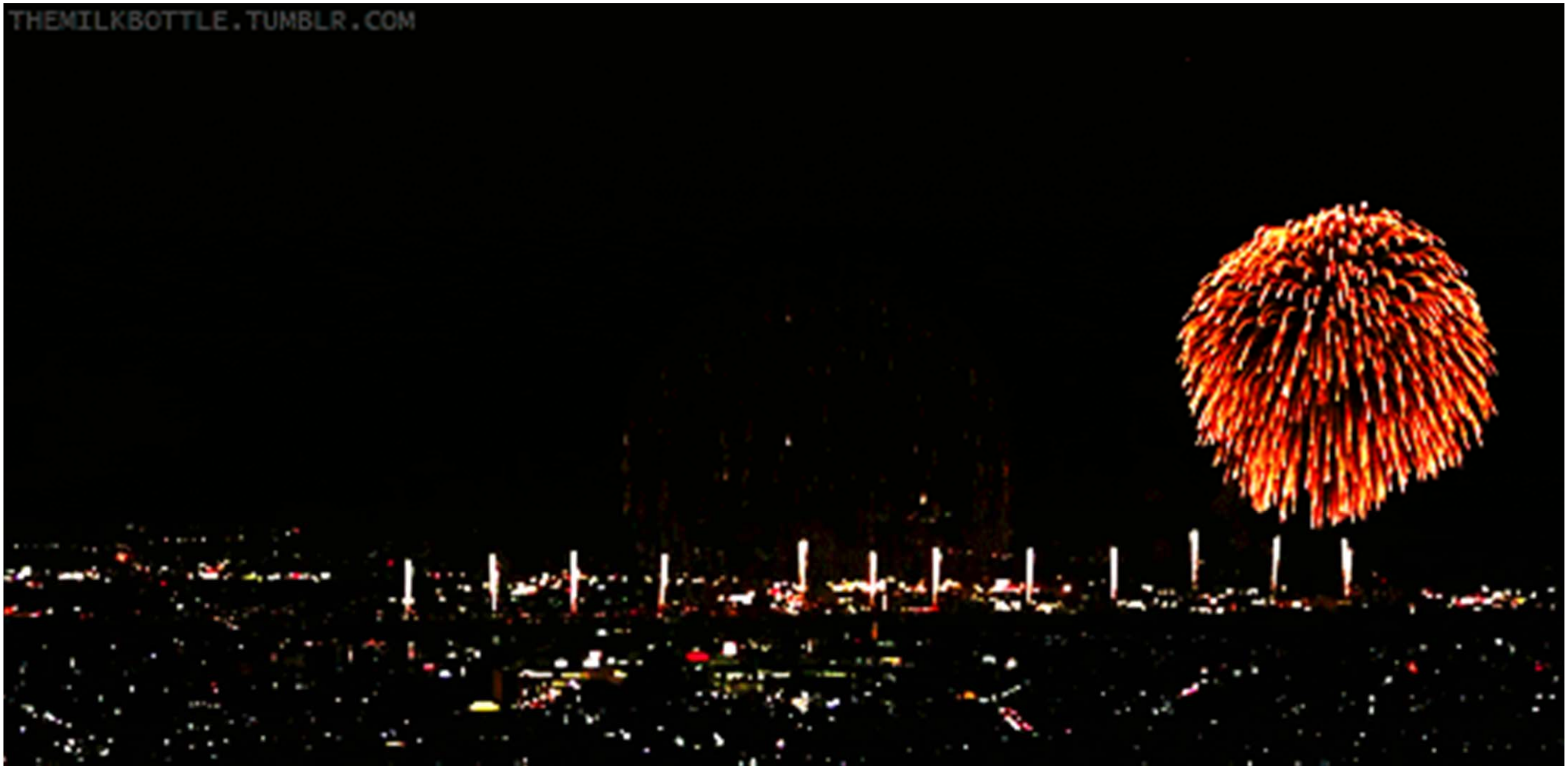
用质点系动量定理处理问题可避开内力。

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

$$\boxed{\vec{F}_{外} = 0\text{ 时，}\vec{P} = \text{常矢量}}$$

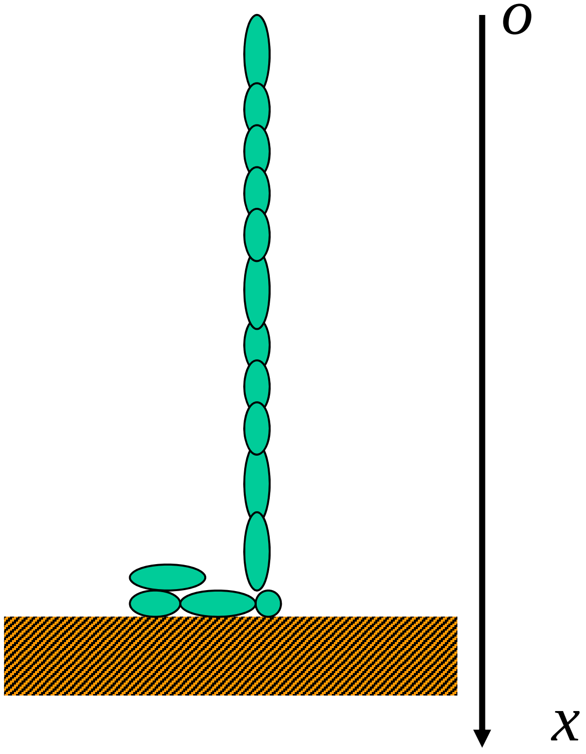
质点系所受合外力为零时，质点系的总动量不随时间改变。

这就是质点系的动量守恒定律。

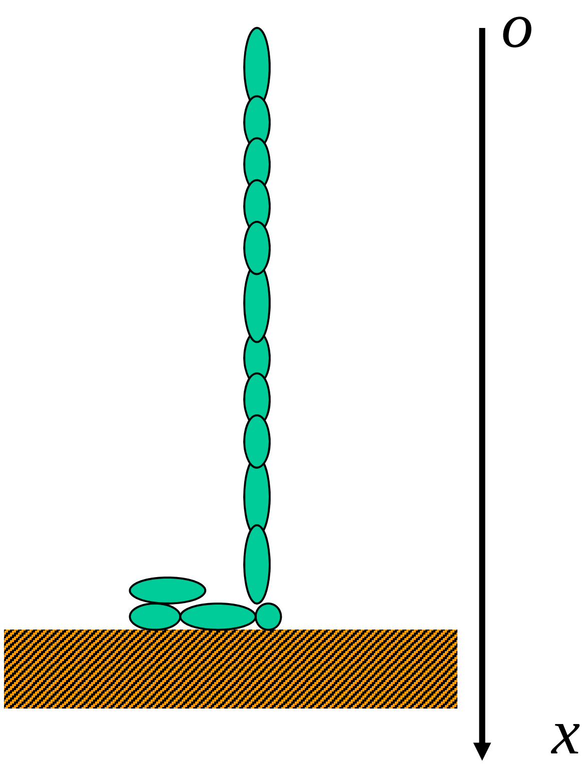

THEMILKBOTTLE.TUMBLR.COM

例、一质量均匀分布的柔软细绳铅直地悬挂着，绳的下端刚好触到水平桌面上，如果把绳的上端放开，绳将落在桌面上。

试证明：在绳下落的过程中，任意时刻作用于桌面的压力，等于已落到桌面上的绳重量的三倍。



例、一质量均匀分布的柔软细绳铅直地悬挂着，绳的下端刚好触到水平桌面上，如果把绳的上端放开，绳将落在桌面上。
试证明：在绳下落的过程中，任意时刻作用于桌面的压力，等于已落到桌面上的绳重量的三倍。



证明：取如图坐标，设t时刻已有x长的柔绳落至桌面，随后的d*t*时间内将有质量为ρd*x*(=*M*d*x*/*L*)的柔绳以d*x*/d*t*的速率碰到桌面而停止，它的动量变化率为：

$$\frac{dP}{dt}=\frac{-\rho dx\cdot\frac{dx}{dt}}{dt}$$

根据动量定理，桌面对柔绳的冲力为：

$$F' = \frac{dP}{dt} = \frac{-\rho dx \cdot \frac{dx}{dt}}{dt} = -\rho v^2$$

柔绳对桌面的冲力$F = -F'$ 即：

$$F = \rho v^2 = \frac{M}{L} v^2 \quad \text{而} v^2 = 2gx \quad \therefore F = 2Mgx / L$$

而已落到桌面上的柔绳的重量为

$$mg = Mgx/L$$

所以

$$F_{总} = F + mg = 2Mgx/L + Mgx/L = 3mg$$

几点说明：

1. 动量守恒定律只适用于惯性系

动量守恒定律是比牛顿定律更普遍、更基本的定律。

2. 若某个方向上合外力为零，则该方向上动量守恒，尽管总动量可能并不守恒。

$$F_x = 0 \longrightarrow p_x = \sum m_i v_{ix} = cons$$

$$F_y = 0 \longrightarrow p_y = \sum m_i v_{iy} = cons$$

$$F_z = 0 \longrightarrow p_z = \sum m_i v_{iz} = cons$$

3.当外力<<内力且作用时间极短时（如碰撞），可认为动量近似守恒。

解题步骤：

1．选好系统，分析要研究的物理过程；
2．进行受力分析，判断守恒条件；
3．确定系统的初动量与末动量；
4．建立坐标系，列方程求解；
5．必要时进行讨论。

例1 质量为$m=0.01kg$的子弹在枪筒内受到的合力 $F=40-80t(SI)$
假定子弹到达枪口时所受的力变为零。

求 （**1**）在此过程中合力的冲量；

（**2**）子弹由枪口射出时的速度。

谢谢！！！