能量、动量和角动量是最基本的物理量。他们的守恒定律是自然界中的基本规律，适用范围远远超出了牛顿力学。

动量描述平动，角动量描述转动。

本节从牛顿力学出发导出动量的定义，推导出动量守恒定律，并讨论在牛顿力学中的应用。

力的累积效应 $\begin{cases} \vec{F}(t) \text{对} t \text{ 积累} \rightarrow \vec{p}\ ,\ \vec{I} \\ \vec{F} \text{ 对} \vec{r} \text{积累} \rightarrow W\ ,E \end{cases}$

车辆超载容易引发交通事故

车辆超速容易引发交通事故

◆ 动量

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

动量 $\vec{p} = m\vec{v}$

单位：在国际单位制中，动量的单位是千克·米/秒，符号是 kg·m/s ；

动量是矢量：方向由速度方向决定，动量的方向与该时刻速度的方向相同；

动量是描述物体运动状态的物理量，是状态量；

动量是相对的，与参考系的选择有关。

注意：物体的动量，总是指物体在某一时刻的动量，即具有瞬时性，故在计算时相应的速度应取这一时刻的瞬时速度

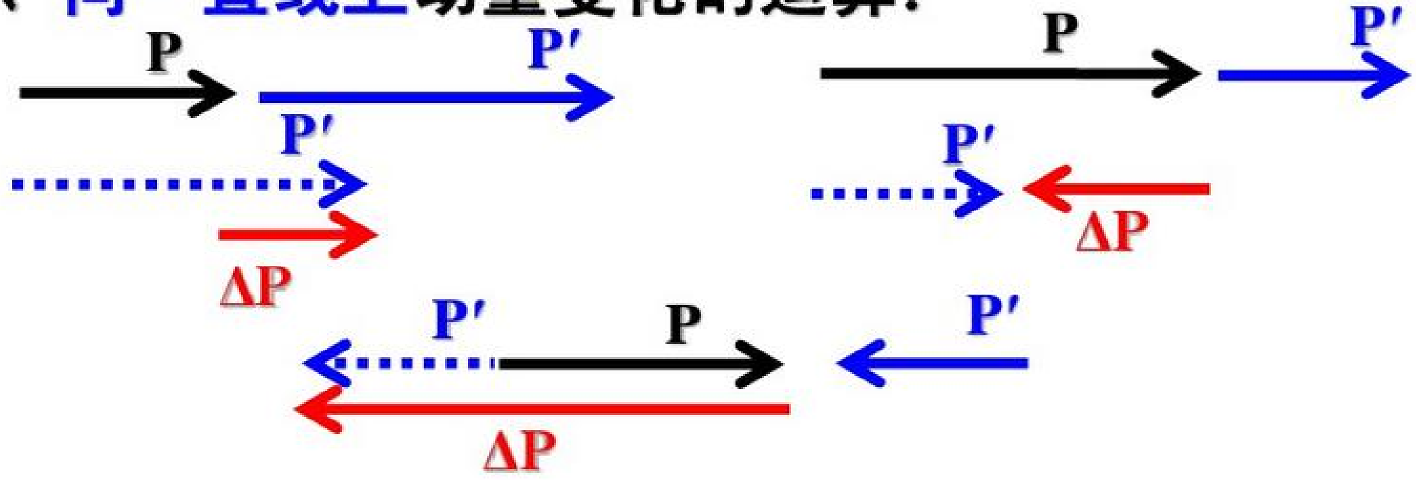
动量的变化Δp

1、某段运动过程（或时间间隔）末状态的动量p'跟初状态的动量p的矢量差，称为动量的变化（或动量的增量），即 $\Delta p = p' - p$

2、动量变化的三种情况：

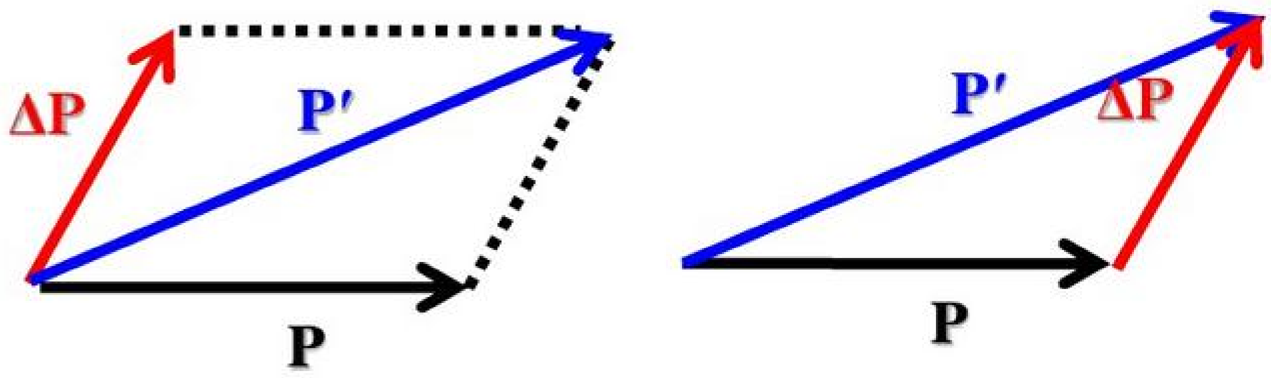
大小变化、方向改变或大小和方向都改变。

3、同一直线上动量变化的运算：



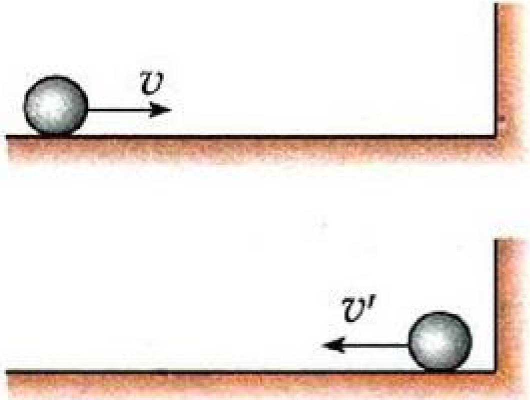
动量的变化Δp

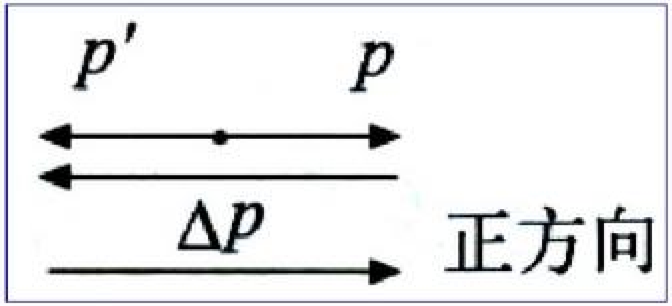
不在同一直线上的动量变化的运算，遵循平行四边形定则：



也称三角形法则：从初动量的矢量末端指向末动量的矢量末端

一个质量是0.1kg的钢球，以6m/s的速度水平向右运动，碰到一个坚硬物后被弹回,沿着同一直线以6m/s的速度水平向左运动（如图），碰撞前后钢球的动量各是多少？碰撞前后钢球的动量变化了多少？



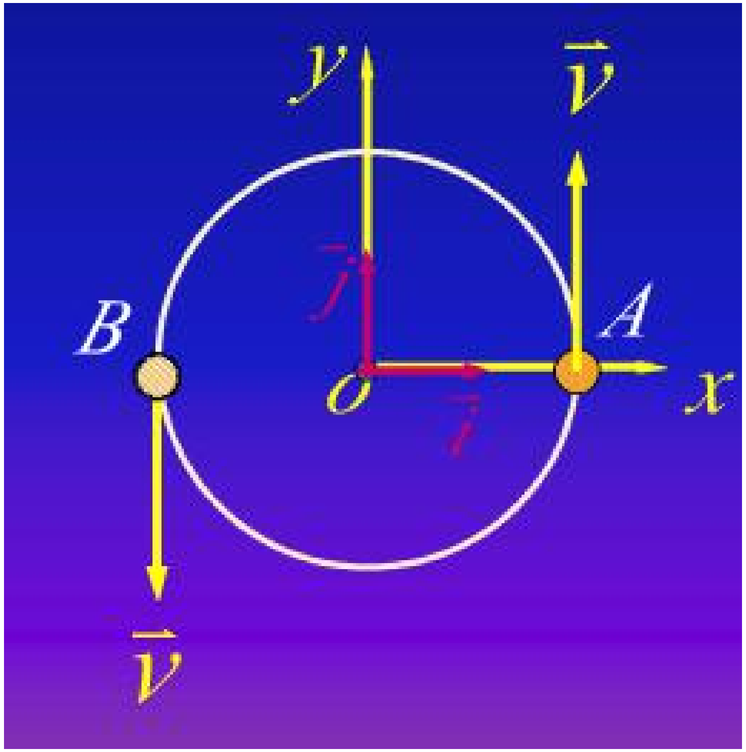


思考题

图示质点m在水平面上做半径为R的匀速圆周运动，速率为v，从A点逆时针运动到B点的半圆周内，问：

（1）小球的动量变化为多少？

（2）向心力的平均值为多少？



一 冲量 质点的动量定理

◆ 冲量 力对时间的积分（矢量）

$$\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}\mathrm{d}t$$

恒力的冲量：

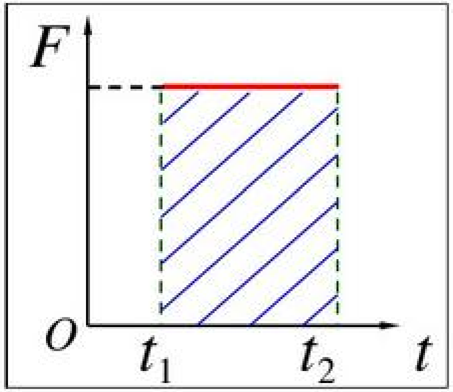
$$\boxed{\vec{I}=\vec{F}\cdot(t_2-t_1)}$$

运动员在投掷标枪时，伸直手臂，尽可能的延长手对标枪的作用时间，以提高标枪出手时的速度。

讨论

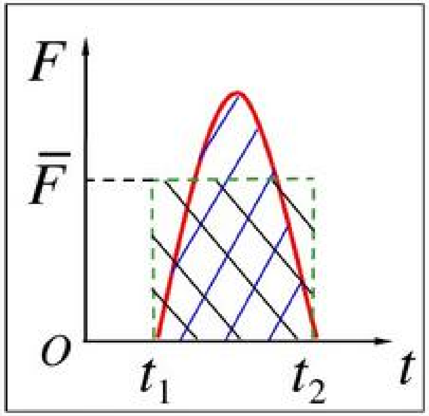
（1） F 为恒力

$$\vec{I}=\vec{F}\Delta t$$



（2） F 为变力

$$\vec{I}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}\mathrm{d}t$$



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

$$\vec{F}\mathrm{d}t=\mathrm{d}\vec{p}=\mathrm{d}\,(m\vec{v})$$

F作用时间很短时，可用力的平均值来代替。

由此可求平均作用力

$$\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}\mathrm{d}t=\vec{p}_2-\vec{p}_1$$

$$=m\vec{v}_2-m\vec{v}_1$$

- **讨论** 设作用在质量为1 kg的物体上的力$F=6t+3$（SI）．如果物体在这一力的作用下，由静止开始沿直线运动，在0到2.0 s的时间间隔内，这个力作用在物体上的冲量大小 $I=$________．

答案：18 N•s

合冲量的计算方法：

①、若合外力是恒力，可以先求出合力，再由

$I=F_{合}t$求冲量

②、若受几个力均为恒力，可求每一个力的冲量，再求矢量合。

③、若在全过程中受力情况不同，对应时间不同，可求出每个力的冲量，然后求矢量合。

$$\vec{I} = \boxed{\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\mathrm{d}t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}$$

动量定理 在给定的时间内，外力作用在质点上的冲量，等于质点在此时间内动量的增量．

冲量的单位 **Ns** 动量**kg m/s** **1Ns=1kg m/s**

冲量是有大小方向的矢量，由这段时间内的所有微分冲量**Fdt**的矢量和决定，而不能由某一瞬时的**F**决定。

若力为恒力 $\vec{I}$ 与 $\vec{F}$ 方向一致

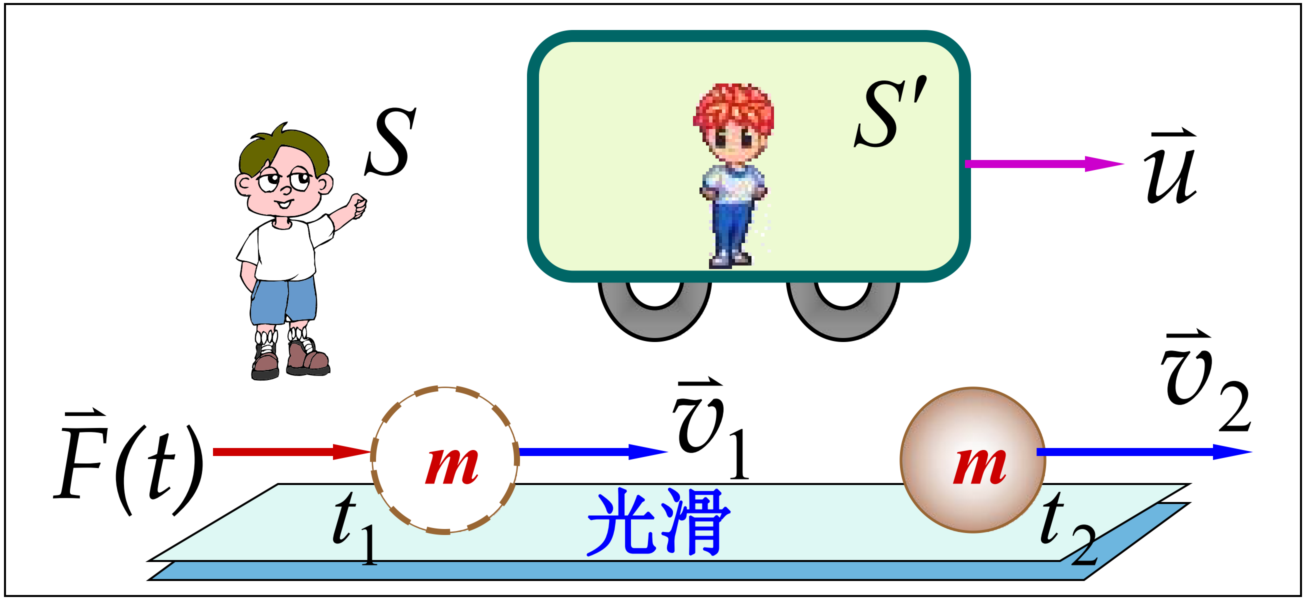
力为变力 $\vec{I}$ 与 $\vec{F}$ 方向可能不一致

◆ 分量形式

$$\vec{I}=I_x\vec{i}+I_y\vec{j}+I_z\vec{k}\quad\begin{cases}I_x=\int_{t_1}^{t_2}F_x\mathrm{d}t=mv_{2x}-mv_{1x}\\ I_y=\int_{t_1}^{t_2}F_y\mathrm{d}t=mv_{2y}-mv_{1y}\\ I_z=\int_{t_1}^{t_2}F_z\mathrm{d}t=mv_{2z}-mv_{1z}\end{cases}$$

讨论

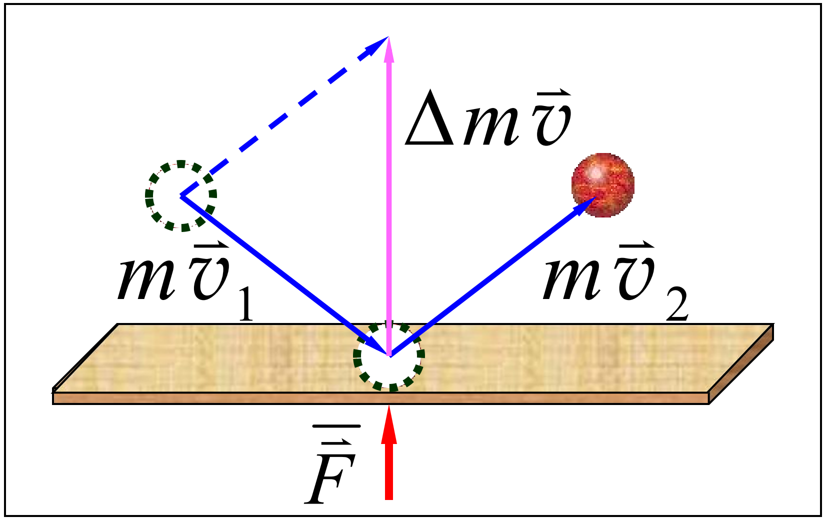
➤ 动量的相对性和动量定理的不变性



参考系	t_1 时刻	t_2 时刻	动量定理
S系	$m\vec{v}_1$	$m\vec{v}_2$	$\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}(t)\mathrm{d}t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$
S'系	$m(\vec{v}_1 - \vec{u})$	$m(\vec{v}_2 - \vec{u})$	

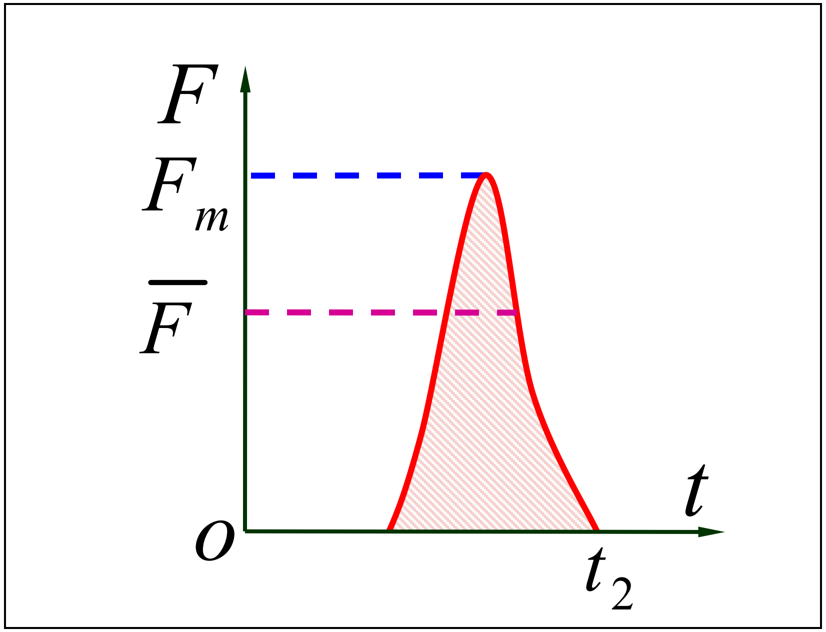
动量定理常应用于碰撞问题

$$\overline{\vec{F}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \mathrm{d}t}{t_2 - t_1} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$



注意

在 $\Delta\vec{p}$ 一定时 Δt 越小，则 $\overline{F}$ 越大．例如人从高处跳下、飞机与鸟相撞、打桩等碰撞事件中，作用时间很短，冲力很大．



报道1、1962年，一架“子爵号”客机，在美国的伊利奥特市上空与一只天鹅相撞，客机坠毁，十七人丧生。

报道2、1980年，一架英国的“鸽式”战斗机在威夫士地区上空与一只秃鹰相撞，飞机坠毁，飞行员弹射逃生……

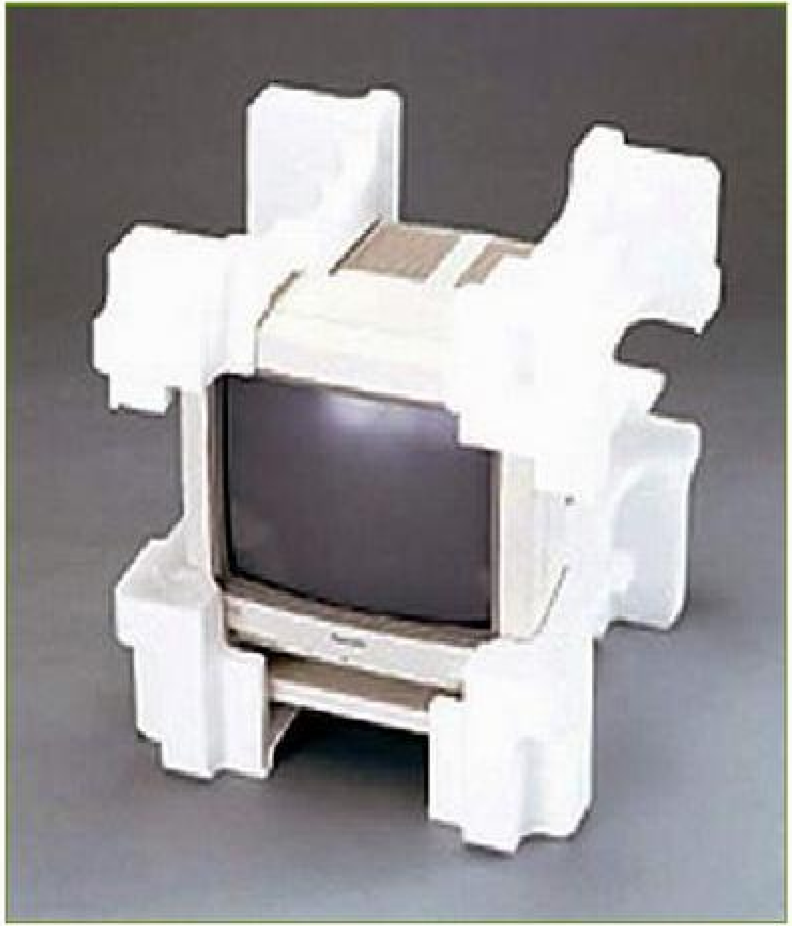
问题：小小飞禽何以能撞毁飞机这样的庞然大物？

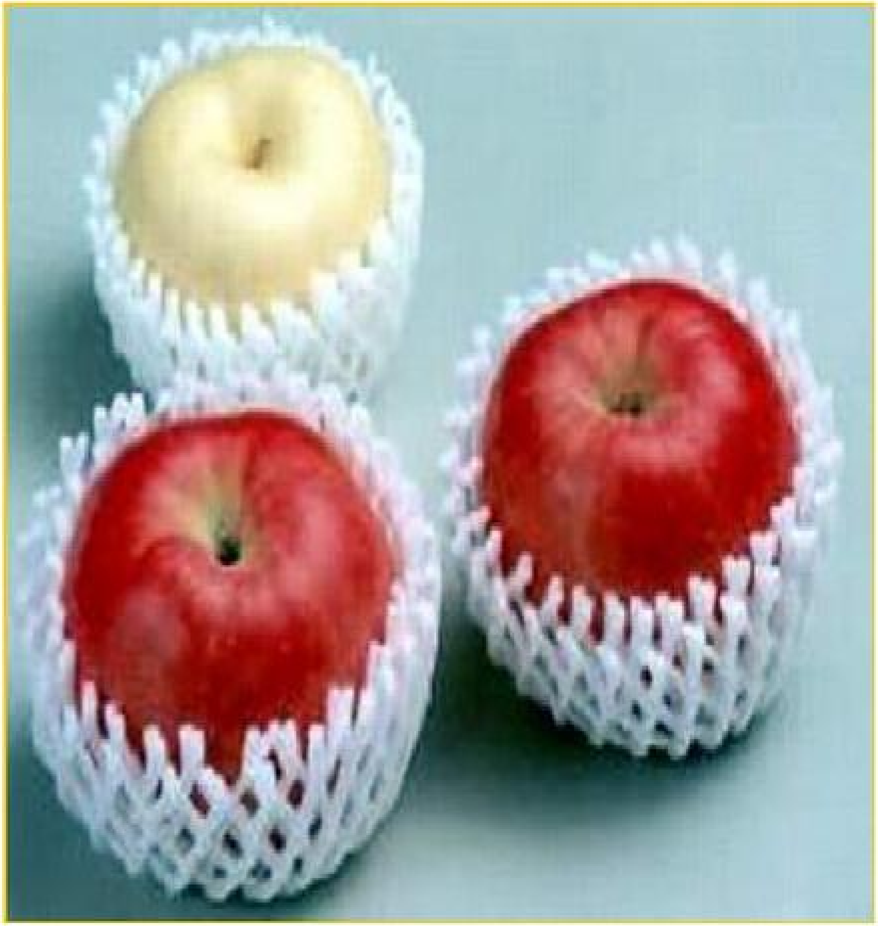
思考与讨论

1、在足球场上，你常看到运动员用头去顶球的现象，试设想如果迎面飞来的不是足球而是一块大石头，他们会用头去顶吗？

2、用锤子使劲压钉子，就很难把钉子压入木块中去，如果用锤子以一定的速度敲钉子，钉子就很容易钻入木块，这是为什么？

生活中的应用





包装用的泡沫材料

生活中的应用

船靠岸时边缘上的废旧轮胎

生活中的应用

摩托车头盔里的衬垫

问：为什么迅速地把盖在杯上的薄板从侧面打去，鸡蛋就掉在杯中；慢慢地将薄板拉开，鸡蛋就会和薄板一起移动？

答：因为鸡蛋和薄板间的摩擦力有限，若棒打击时间很短，$\because \vec{F}_{\mathrm{f}}\Delta t \to 0, \therefore \Delta\vec{P}_{蛋} \to 0$ 所以鸡蛋就掉在杯中.

动量定理的适用范围

1、动量定理不但适用于恒力，也适用于随时间变化的变力，对于变力，动量定理中的F应理解为变力在作用时间内的平均值；

2、动量定理不仅可以解决匀变速直线运动的问题，还可以解决曲线运动中的有关问题，将较难的计算问题转化为较易的计算问题；

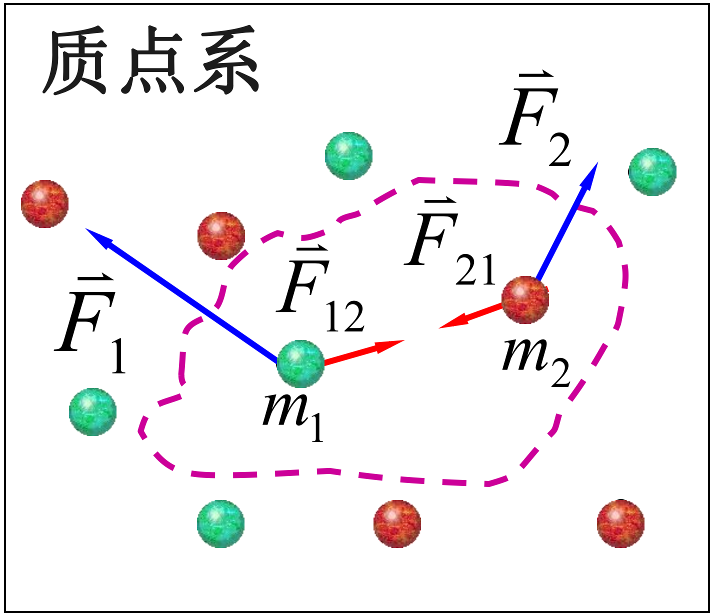
3、动量定理不仅适用于宏观低速物体，也适用于微观现象和变速运动问题。

动量定理的优点：不考虑中间过程，只考虑初末状态。

二 质点系的动量定理

$$\int_{t_1}^{t_2}(\vec{F}_1+\vec{F}_{12})\mathrm{d}t=m_1\vec{v}_1-m_1\vec{v}_{10}$$

$$\int_{t_1}^{t_2}(\vec{F}_2+\vec{F}_{21})\mathrm{d}t=m_2\vec{v}_2-m_2\vec{v}_{20}$$



因为内力 $\vec{F}_{12}+\vec{F}_{21}=0$，故

$$\int_{t_1}^{t_2}(\vec{F}_1+\vec{F}_2)\mathrm{d}t=(m_1\vec{v}_1+m_2\vec{v}_2)-(m_1\vec{v}_{10}+m_2\vec{v}_{20})$$

- **质点系动量定理** 作用于系统的合外力的冲量等于系统动量的增量.

$$\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}^{\mathrm{ex}}\mathrm{d}t=\sum_{i=1}^{n}m_i\vec{v}_i-\sum_{i=1}^{n}m_i\vec{v}_{i0}$$

$$\vec{I}=\vec{p}-\vec{p}_0$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}^{\text{ex}} \mathrm{d}t = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i - \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_{i0}$$

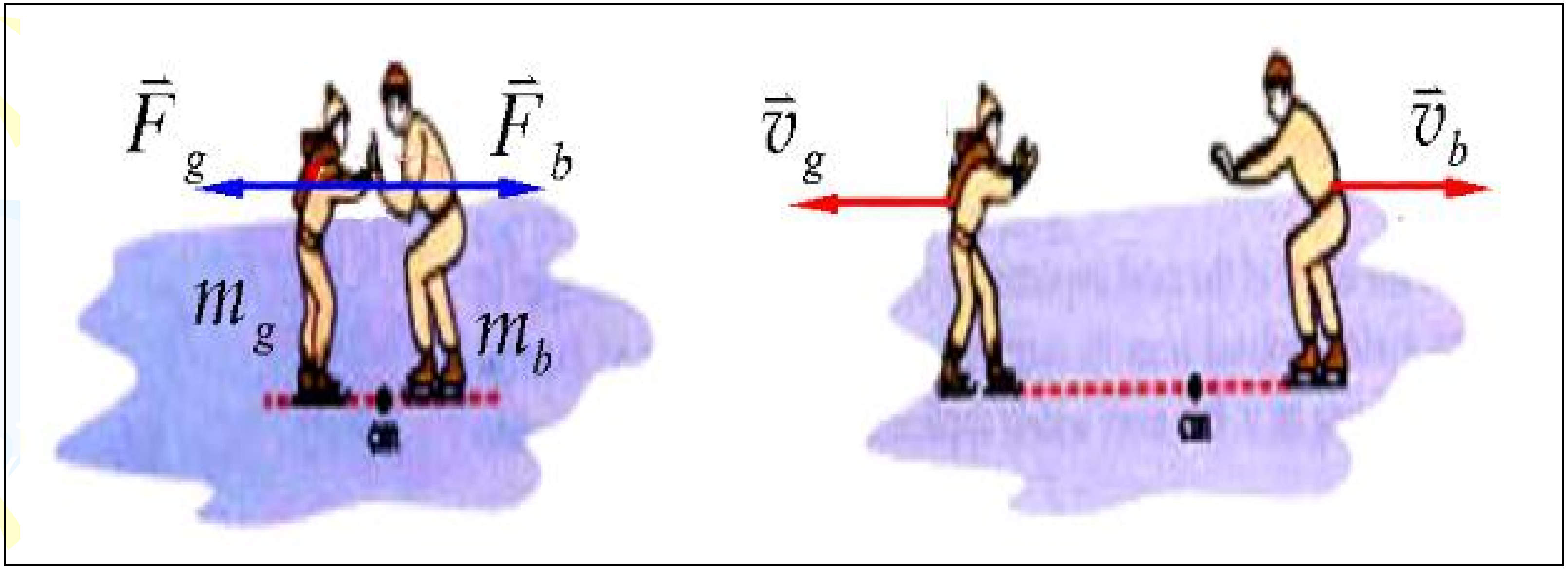
注意：在过程中，要求质点系包含的质点不变

三、动量守恒定律

若 $\sum \vec{F}_{i外} = 0$ 则有 $\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{m}_i \vec{\boldsymbol{v}}_{i2} - \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{m}_i \vec{\boldsymbol{v}}_{i1} = 0$

一个孤立的力学系统（系统不受外力作用）或合外力为零的系统，系统内各质点间动量可以交换，但系统的总动量保持不变。即：动量守恒定律。

注意　内力不改变质点系的动量



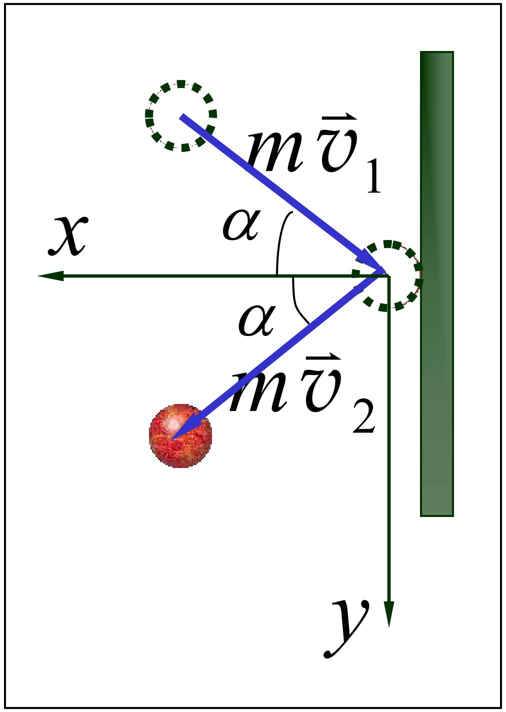
初始速度　$v_{g0}=v_{b0}=0$　$m_b=2m_g$　则　$\vec{p}_0=0$

推开后速度　$v_g=2v_b$　且方向相反　则　$\vec{p}=0$

推开前后系统动量不变　$\vec{p}=\vec{p}_0$

例 1 一质量为0.05kg、速率为$10\mathrm{m\cdot s^{-1}}$的刚球,以与钢板法线呈45^{o}角的方向撞击在钢板上,并以相同的速率和角度弹回来 .设碰撞时间为0.05s.求在此时间内钢板所受到的平均冲力 $\overline{F}$.

解 建立如图坐标系, 由动量定理得

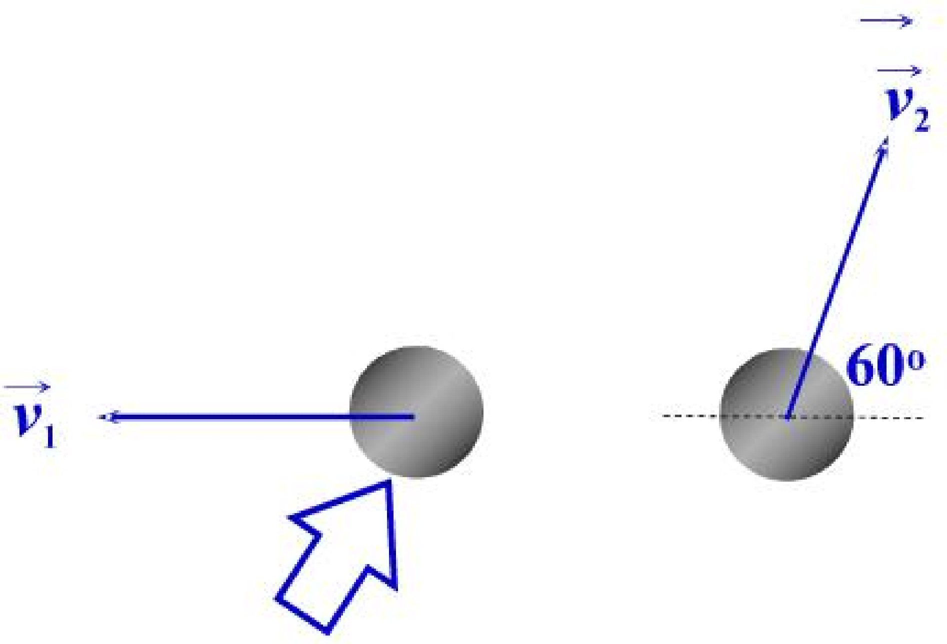


$$\overline{F}_x\Delta t = mv_{2x} - mv_{1x}$$
$$= mv\cos\alpha - (-mv\cos\alpha)$$
$$= 2mv\cos\alpha$$

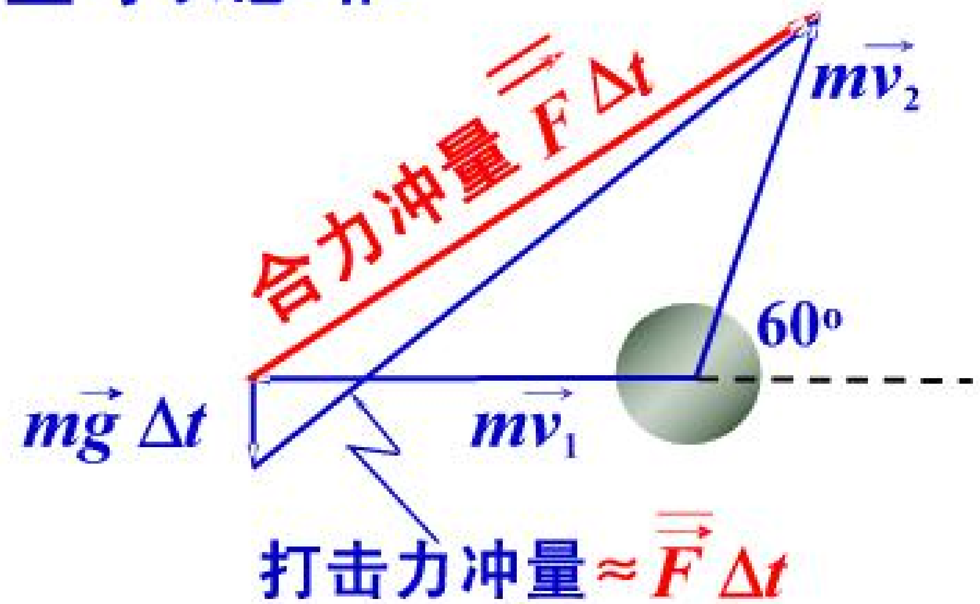
$$\overline{F}_y\Delta t = mv_{2y} - mv_{1y}$$
$$= mv\sin\alpha - mv\sin\alpha = 0$$

$$\overline{F} = \overline{F}_x = \frac{2mv\cos\alpha}{\Delta t} = 14.1\mathrm{N}$$ 方向沿 x 轴反向

【例】质量m=140g的垒球以速率 v = 40m/s沿水平方向飞向击球手，被击后以相同速率沿仰角 60°飞出。求棒对垒球的平均打击力。设棒和球的接触时间为 Δt =1.2 ms。



因打击力很大，所以由碰撞引起的质点的动量改变，基本上由打击力的冲量决定。**重力、阻力的冲量可以忽略。**



$$\overline{\vec{F}}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

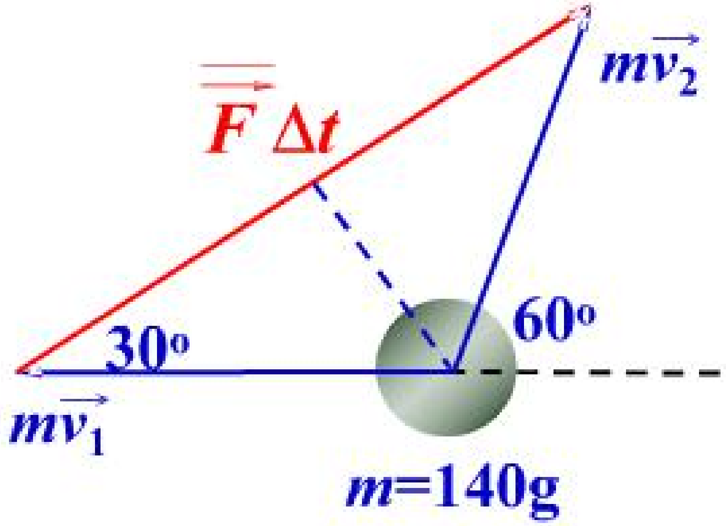
$$\overline{\vec{F}}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$$

$$v_2 = v_1 = v$$

$$\overline{F} = \frac{2mv\cos 30^\circ}{\Delta t}$$

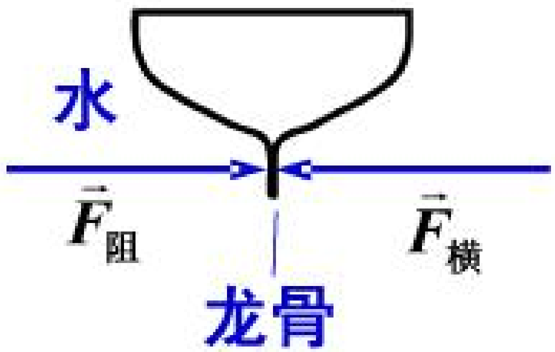
$$= \frac{2\times 0.14\times 40\times \cos 30^\circ}{1.2\times 10^{-3}}$$

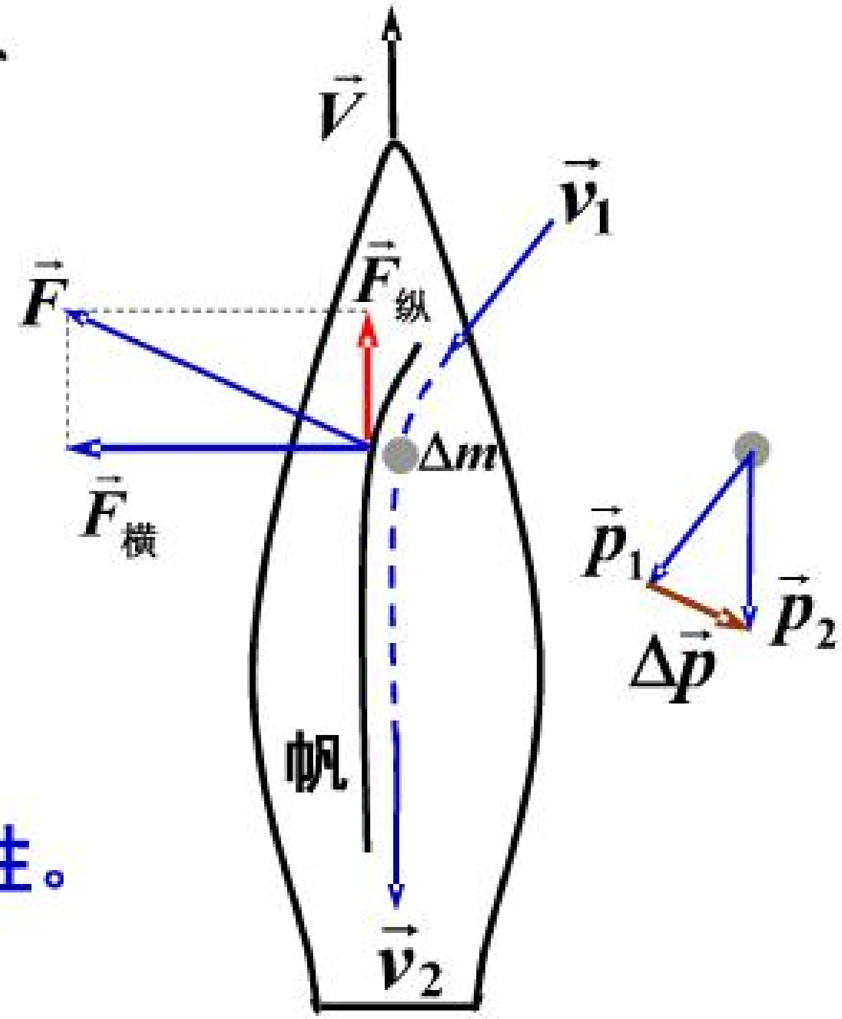
$$= 8.1\times 10^3\,(\mathrm{N})$$



平均打击力约为垒球自重的5900倍！在碰撞过程中，物体之间的碰撞冲力是很大的。

【演示实验】逆风行舟





显示动量定理的矢量性。