



普通物理I PHYS1181.02

彭鹏

Office: 物质学院8号楼301室

Email: pengpeng@shanghaitech.edu.cn

研究方向: 超快光谱、X射线阿秒脉冲产生、阿秒瞬态吸收光谱、
强场激光物理、飞秒激光成丝。

<https://spst.shanghaitech.edu.cn/2021/0115/c2349a59066/page.htm>

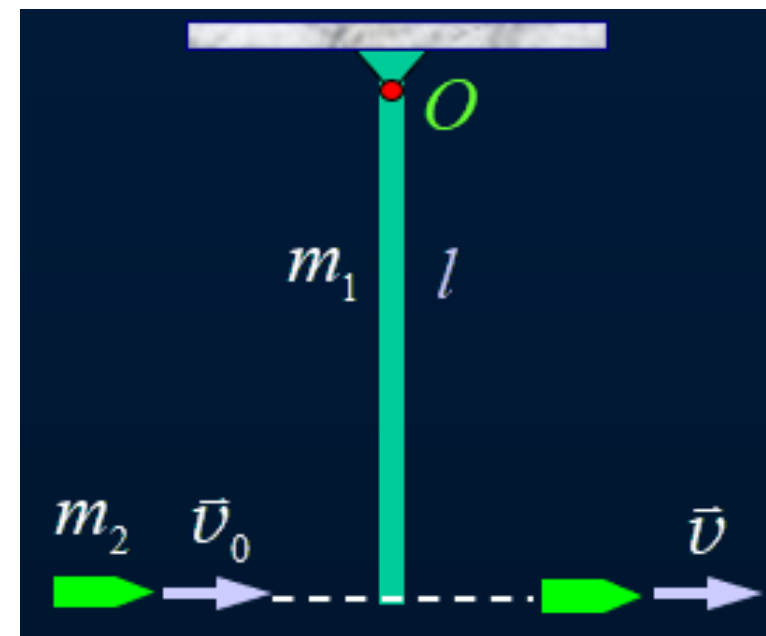




章节名称	教学周	学时安排	
课程概览	1	2	
质点运动学1	2	2	
质点运动学2	2	2	
质点动力学1	3	2	
质点动力学2	4	2	
功与动能	4	2	
势能与能量守恒	5	2	
动量，冲量与碰撞	6	2	
刚体转动	6	2	
转动动力学	7	2	
平衡与弹性	8	2	
流体力学	8	2	
重力和万有引力	9	2	
期中内容回顾	10	2	
期中考试	10	2	
振动	11	2	
波动	12	2	
声学	12	2	
温度与热	13	2	
物质的热学性质	14	2	
热力学第一定律	14	2	
热力学第二定律	15	2	
相对论简介	16	2	
课程回顾	16	2	
期末考试	17	2	

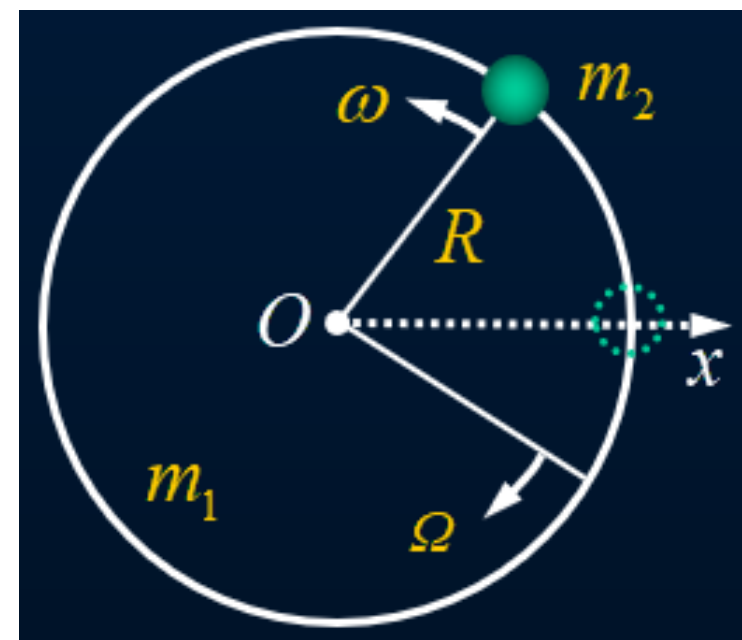
例 如图，一质量为 m_1 ，长度为 l 的均质细棒，可绕过其顶端的光滑水平轴自由转动。质量为 m_2 的子弹以水平速度 v_0 射入静止的细棒下端，穿出后子弹的速度减小为 $v_0/4$ 。

求子弹穿出后棒所获得的角速度 ω 。



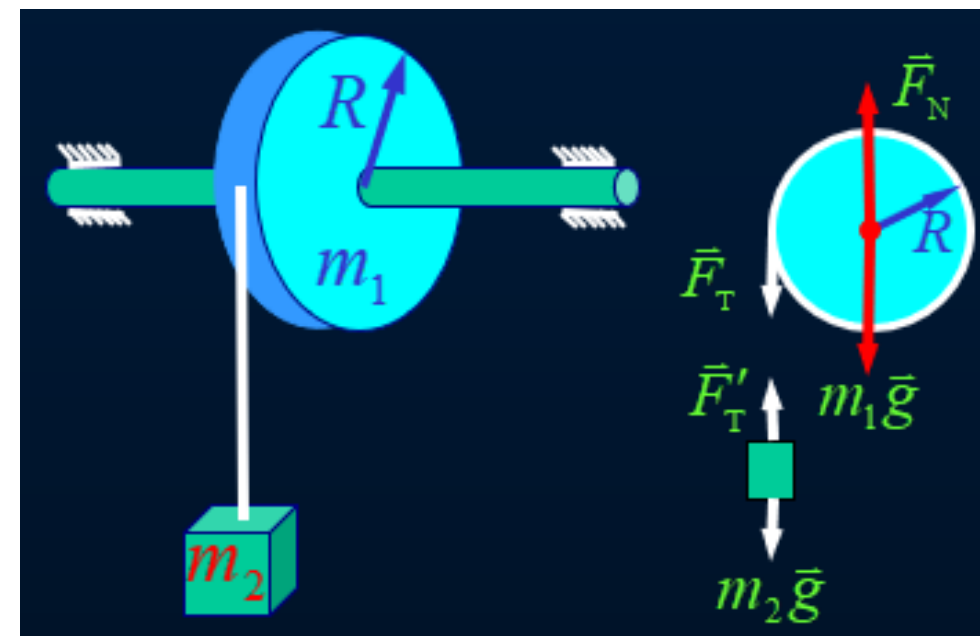
例 如图，一个质量为 m_1 ，半径为 R 的圆形水平转台可绕通过其中心的光滑竖直轴转动。质量为 m_2 的人站在转台的边缘，开始时，人和转台都相对于地面静止。

求 当人沿转台边缘走完一周时，转台对地面转过的角度。



例 如图，一质量为 m_1 、半径为 R 的定滑轮（可视为均质圆盘），滑轮上绕着轻绳，轻绳一端系一质量为 m_2 的物体。若滑轮轴承处的摩擦力矩可忽略不计。

求 物体由静止下落高度 h 时，物体的速度和定滑轮的角加速度。





质点的运动规律与刚体的定轴转动规律的比较

质点的运动	刚体的定轴转动
速度 $\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt}$	角速度 $\omega = \frac{d\theta}{dt}$
加速度 $\bar{a} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d^2\bar{r}}{dt^2}$	角加速度 $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$
质量 m	转动惯量 $J = \int r^2 dm$
力 \bar{F}	力矩 M
运动规律 $\bar{F} = m\bar{a}$	转动定律 $M = J\beta$
动量 $\bar{p} = m\bar{v}$	动量 $\bar{p} = \sum \Delta m_i \bar{v}_i$
角动量 $\bar{L} = \bar{r} \times \bar{p}$	角动量 $L = J\omega$
动量定理 $\bar{F} = \frac{d(m\bar{v})}{dt}$	角动量定理 $M = \frac{d(J\omega)}{dt}$



质点的运动规律与刚体的定轴转动规律的比较 (续)

质点的运动	刚体的定轴转动
动量守恒 $\sum F_i = 0$ 时 $\sum m_i v_i = \text{恒量}$	角动量守恒 $M = 0$ 时 $\sum J\omega = \text{恒量}$
力的功 $A_{ab} = \int_a^b \vec{F} \cdot d\vec{r}$	力矩的功 $A_{ab} = \int_{\theta_1}^{\theta_2} M d\theta$
动能 $E_k = \frac{1}{2} m v^2$	转动动能 $E_k = \frac{1}{2} J \omega^2$
动能定理 $A = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$	动能定理 $A = \frac{1}{2} J \omega_2^2 - \frac{1}{2} J \omega_1^2$
重力势能 $E_p = mgh$	重力势能 $E_p = mgh_c$
机械能守恒 $A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = 0$ 时 $E_k + E_p = \text{恒量}$	机械能守恒 $A_{\text{外}} + A_{\text{非保内}} = 0$ 时 $E_k + E_p = \text{恒量}$

1. 平衡条件
2. 应变
3. 应力
4. 胡克定律
5. 杨氏模量





平衡

质点 -- $\{x, y, z\}$ 三个运动自由度

质点系 -- $\{x, y, z\} * n$ 个运动自由度

刚体 -- $\{x, y, z\} + \{\alpha, \beta, \gamma\}$ 六个运动自由度 -- 刚体的运动可以分解为质心的平动 + 绕质心的转动

质点的平衡 -- 牛顿第一定律：合力为零

刚体的平衡 -- 合力为零 + 合力矩为零

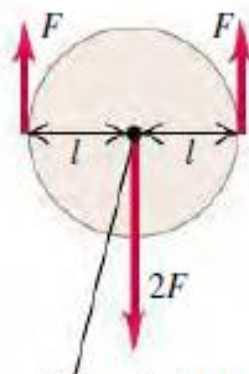
First condition for equilibrium:
For the center of mass of a body
at rest to remain at rest ...
 $\sum \vec{F} = 0$... net external force
on the body must
be zero.

Second condition for equilibrium:
For a nonrotating body to remain
nonrotating ...
 $\sum \vec{\tau} = 0$... net external torque
around any point on
the body must be zero.

合力为0+合力距为0

(a) This body is in static equilibrium.

Equilibrium conditions:



Axis of rotation (perpendicular to figure)

First condition satisfied:

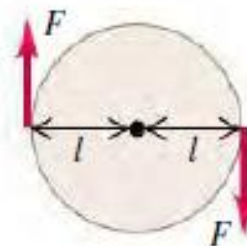
Net force = 0, so body at rest has no tendency to start moving as a whole.

Second condition satisfied:

Net torque about the axis = 0, so body at rest has no tendency to start rotating.

合力为0+合力距不为0

(b) This body has no tendency to accelerate as a whole, but it has a tendency to start rotating.



First condition satisfied:

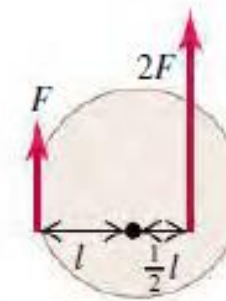
Net force = 0, so body at rest has no tendency to start moving as a whole.

Second condition NOT satisfied:

There is a net clockwise torque about the axis, so body at rest will start rotating clockwise.

合力不为0+合力距为0

(c) This body has a tendency to accelerate as a whole but no tendency to start rotating.



First condition NOT satisfied:

There is a net upward force, so body at rest will start moving upward.

Second condition satisfied:

Net torque about the axis = 0, so body at rest has no tendency to start rotating.

$$x_{\text{cm}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \cdots}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}$$

$$y_{\text{cm}} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \cdots}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i} \quad (\text{center of mass})$$

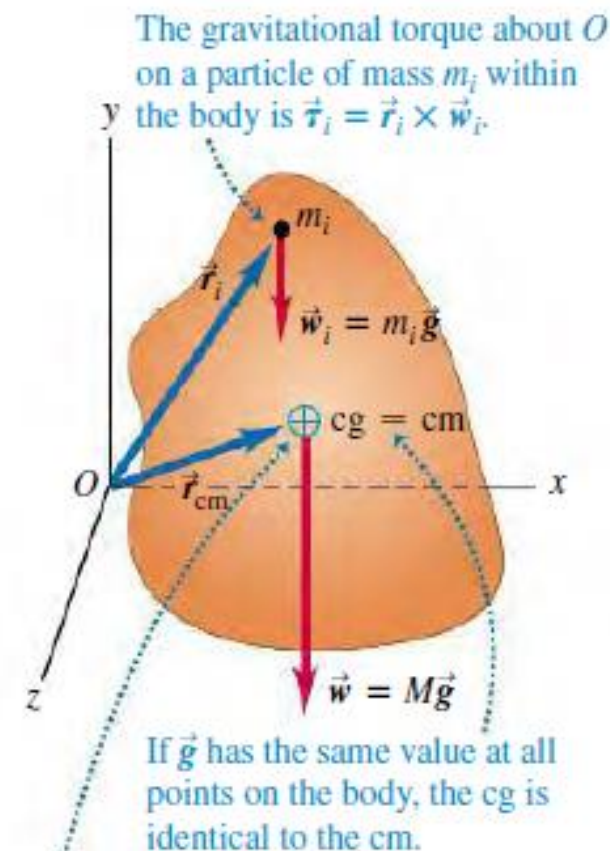
$$z_{\text{cm}} = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3 + \cdots}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i z_i}{\sum_i m_i}$$

Position vector of center of mass of a system of particles

Position vectors of individual particles

Masses of individual particles

$$\vec{r}_{\text{cm}} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \cdots}{m_1 + m_2 + m_3 + \cdots} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}$$



The net gravitational torque about O on the entire body is the same as if all the weight acted at the cg: $\vec{\tau} = \vec{r}_{\text{cm}} \times \vec{w}$.

重力的力矩



$$\vec{\tau}_i = \vec{r}_i \times \vec{w}_i = \vec{r}_i \times m_i \vec{g}$$

The *total* torque due to the gravitational forces on all the particles is

$$\begin{aligned}\vec{\tau} &= \sum_i \vec{\tau}_i = \vec{r}_1 \times m_1 \vec{g} + \vec{r}_2 \times m_2 \vec{g} + \cdots \\ &= (m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \cdots) \times \vec{g} \\ &= \left(\sum_i m_i \vec{r}_i \right) \times \vec{g}\end{aligned}$$

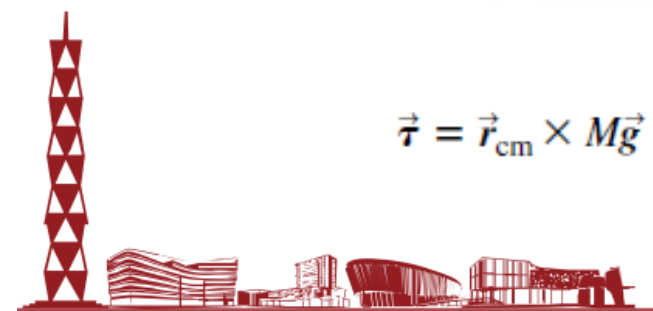
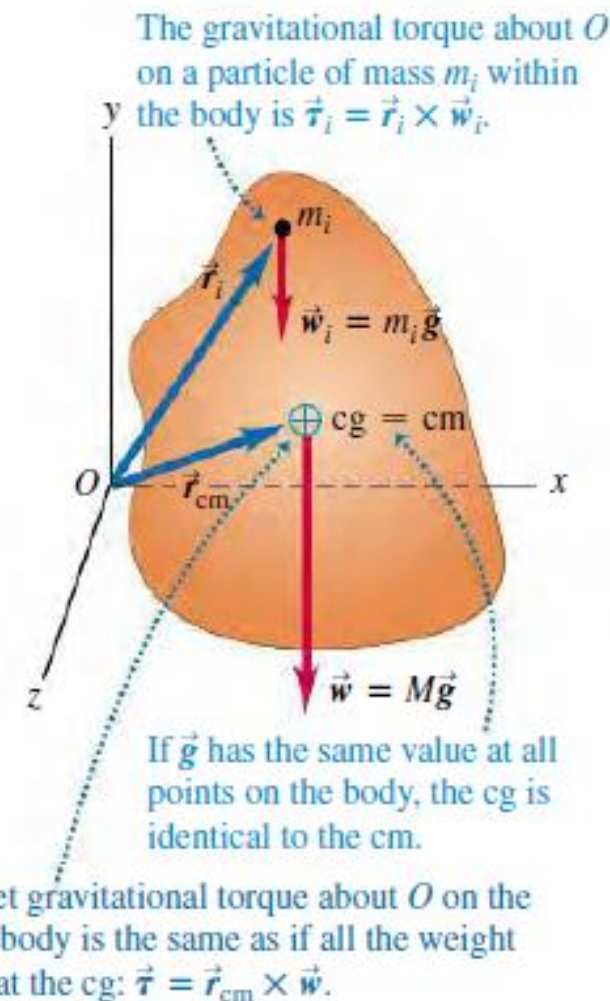
When we multiply and divide this by the total mass of the body,

$$M = m_1 + m_2 + \cdots = \sum_i m_i$$

we get

$$\vec{\tau} = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + \cdots}{m_1 + m_2 + \cdots} \times M \vec{g} = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} \times M \vec{g}$$

$$\vec{\tau} = \vec{r}_{\text{cm}} \times M \vec{g} = \vec{r}_{\text{cm}} \times \vec{w}$$



平衡条件判断重心位置

$$\vec{\tau} = \vec{r}_{\text{cm}} \times M\vec{g} = \vec{r}_{\text{cm}} \times \vec{w}$$



Where is the center of gravity of this mug?

① Suspend the mug from any point. A vertical line extending down from the point of suspension passes through the center of gravity.



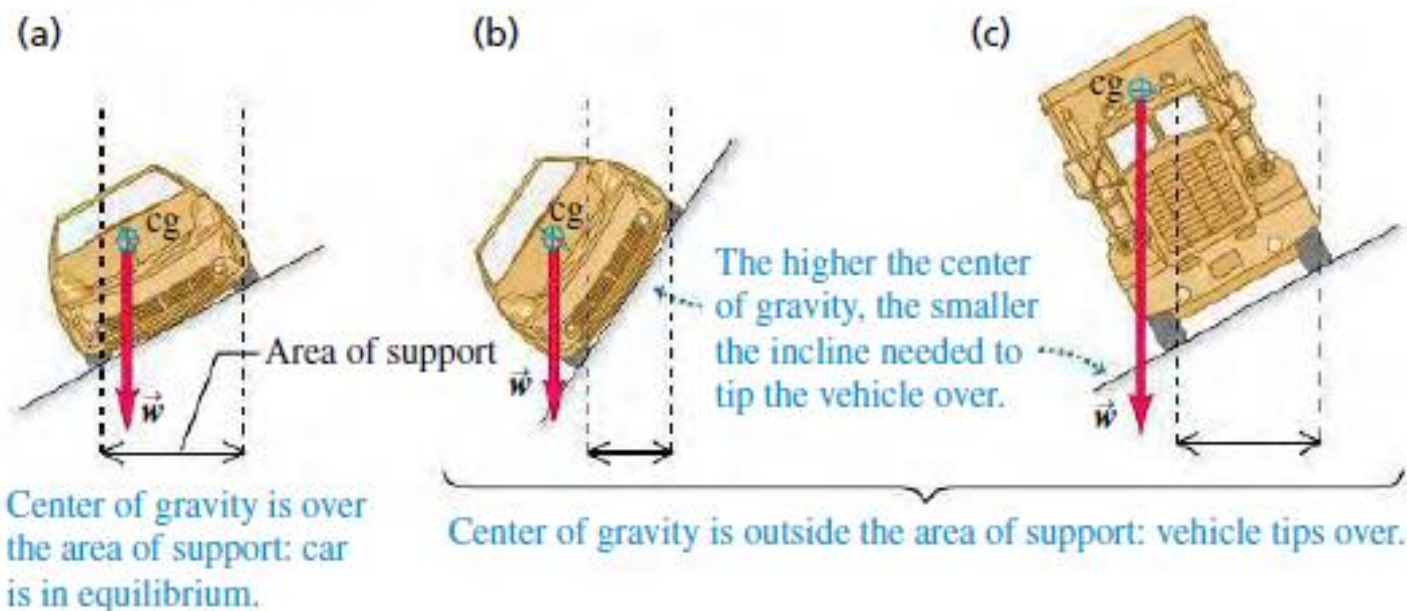
② Now suspend the mug from a different point. A vertical line extending down from this point intersects the first line at the center of gravity (which is inside the mug).



Center of gravity



11.5 In (a) the center of gravity is within the area bounded by the supports, and the car is in equilibrium. The car in (b) and the truck in (c) will tip over because their centers of gravity lie outside the area of support.



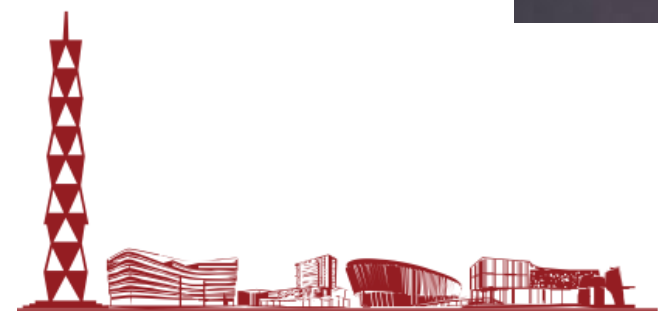
平衡：重心在支撑范围内

不平衡：重心超出支撑范围

降低重心+增加支持区域面积



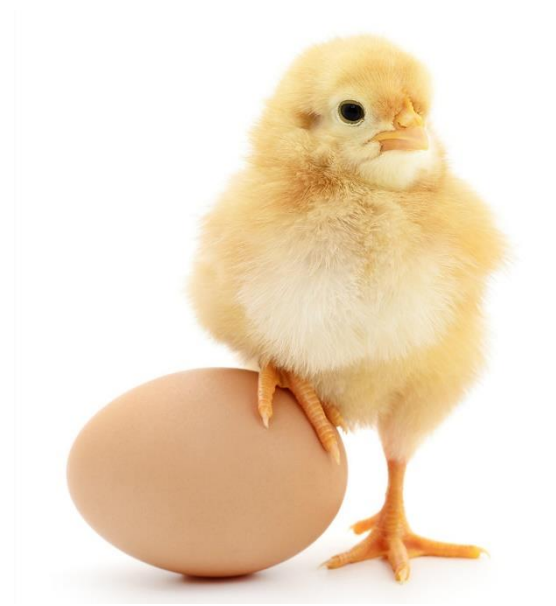
上海科技大学
ShanghaiTech University



四腿的动物脚比较小



两腿的动物脚比较大



人维持平衡



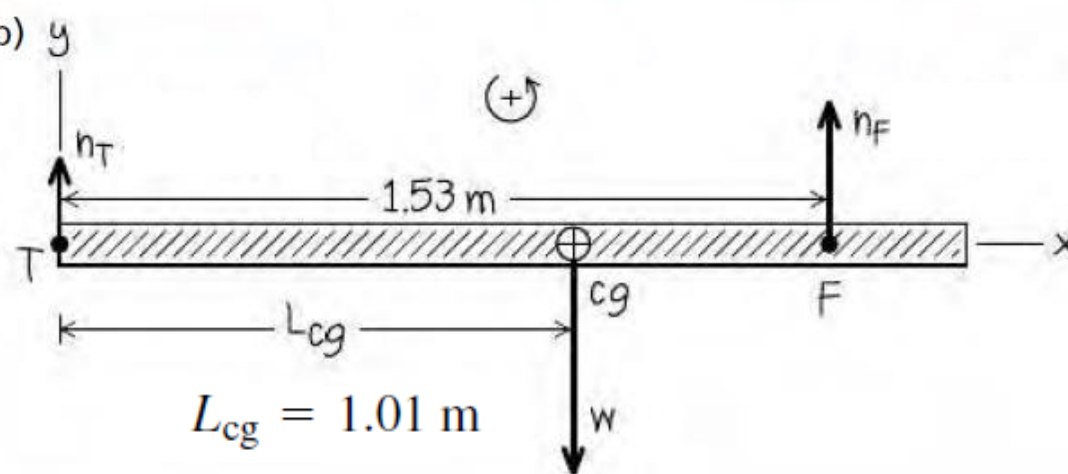
鸡摆动头部维持平衡



(a)



(b)



$$\Sigma \tau_R = 0.340w(0) - wL_{cg} + 0.660w(1.53 \text{ m}) = 0$$

平板支撑
肘部的支撑力大于脚部的支撑力

应力、应变、胡克定律



Measure of forces applied to deform a body

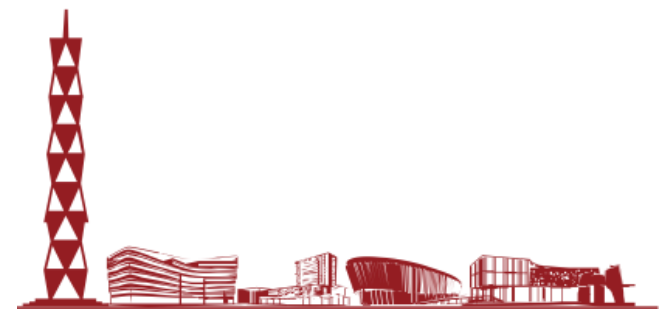
应力

Hooke's law: $\frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = \text{Elastic modulus}$ Property of material of which body is made

应变

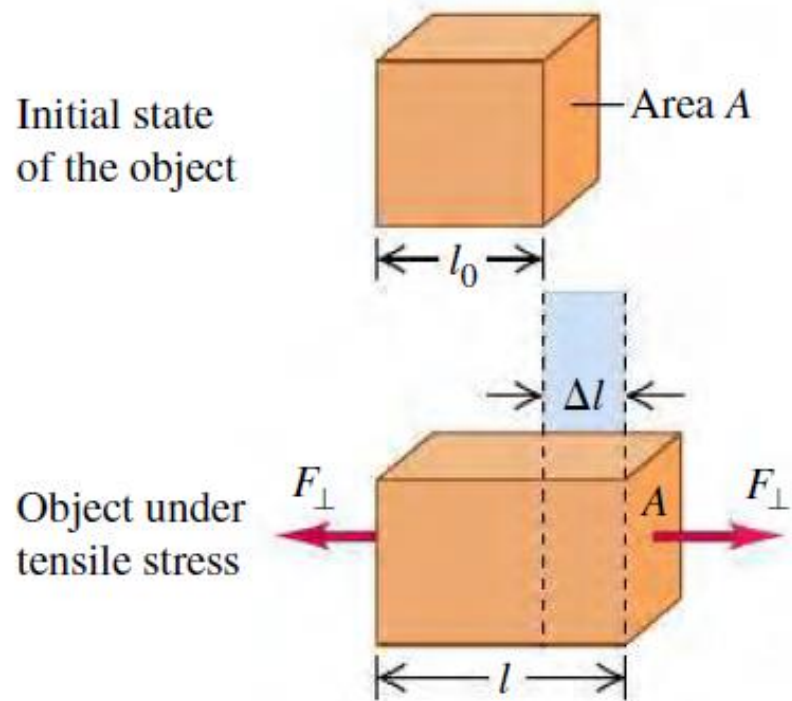
弹性模量

Measure of how much deformation results from stress



Tensile stress and strain

拉伸应力和应变



$$\text{Tensile stress} = \frac{F_{\perp}}{A} \quad \text{Tensile strain} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\text{Tensile stress} = \frac{F_{\perp}}{A}$$

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$\text{人站在地面上: } 65\text{Kg} \times 9.8\text{N/Kg} / (8 \times 24 \times 2 \text{ cm}^2) = 1.7\text{e}4 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Tensile strain} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

1m的刚性材料 – 一般“常规受力”弹性形变在 十微米 (e-5m)量级

杨氏模量 - Young's modulus

Young's modulus for tension

$$Y = \frac{\text{Tensile stress}}{\text{Tensile strain}} = \frac{F_{\perp}/A}{\Delta l/l_0} = \frac{F_{\perp}}{A} \frac{l_0}{\Delta l}$$

Force applied perpendicular to cross section

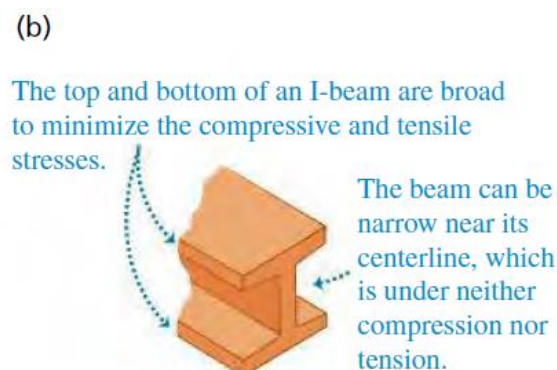
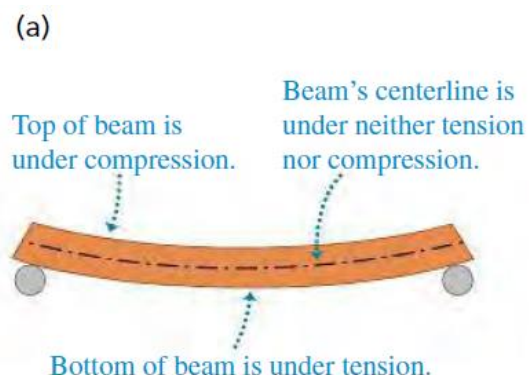
Original length (see Fig. 11.14)

Elongation (see Fig. 11.14)

Cross-sectional area of object

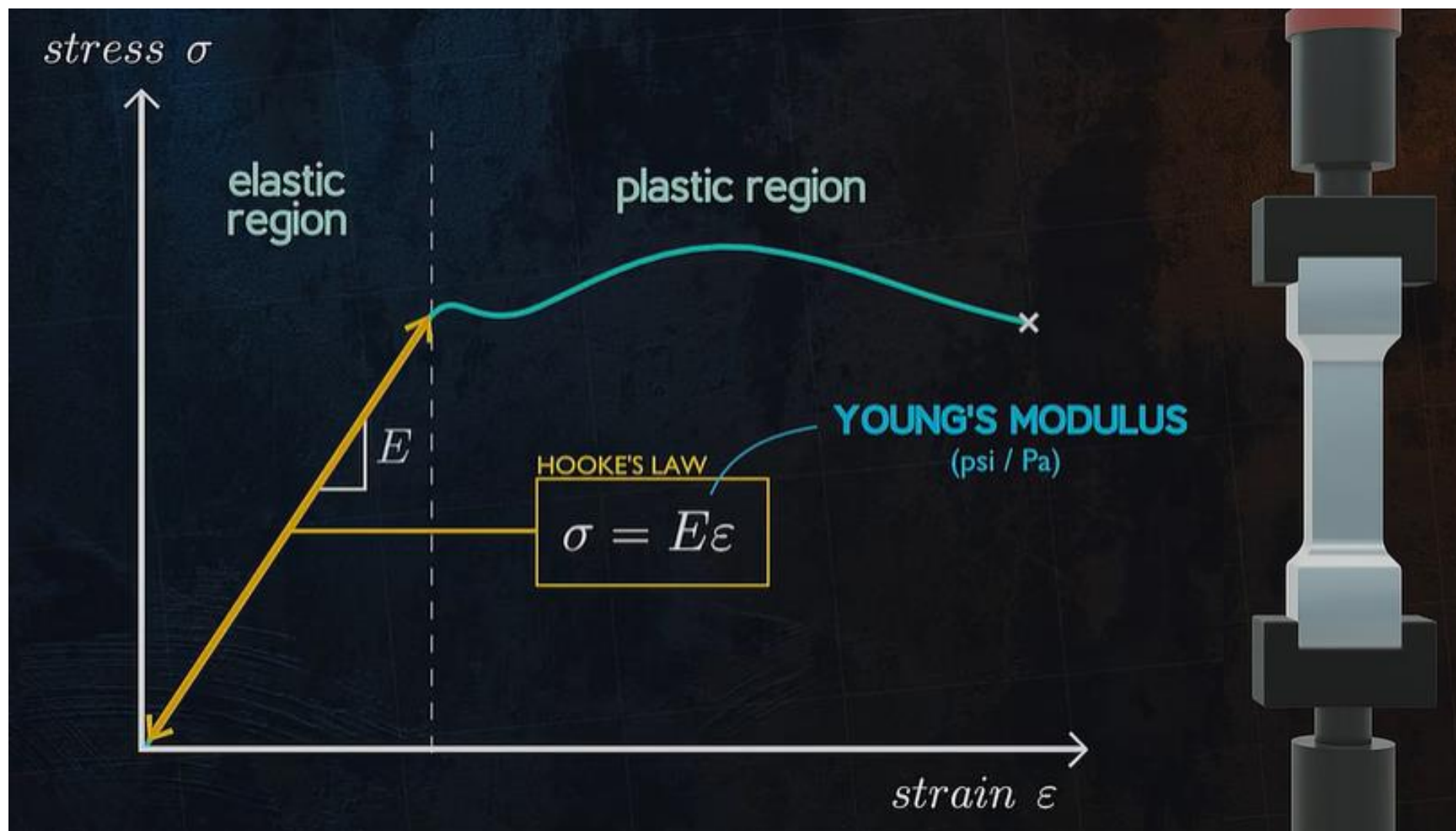
Y 越小，材料越容易变形。

Y 一样，同样受力，面积越小越容易变形。



工型钢，上端压缩，下端拉伸，中间受力小

杨氏模量 - Young's modulus



杨氏模量 - Young's modulus

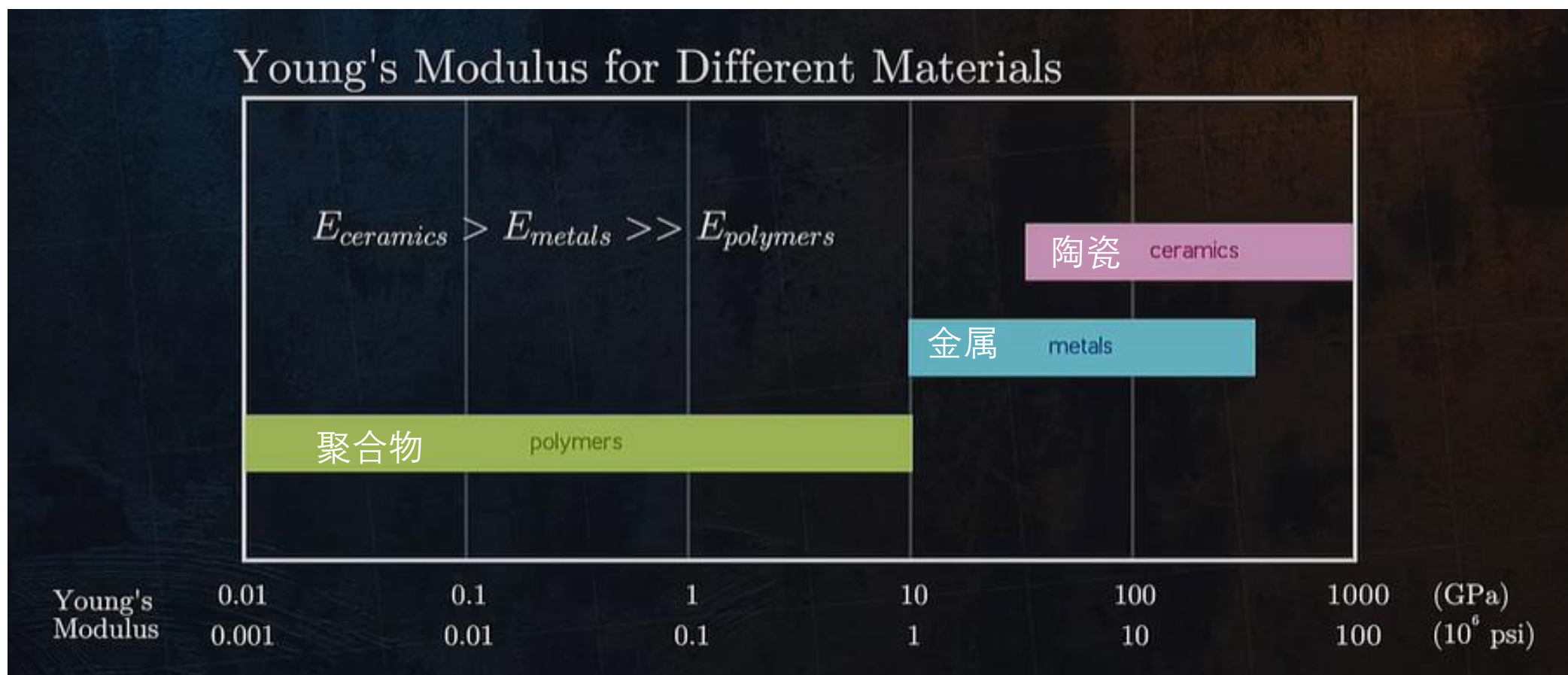
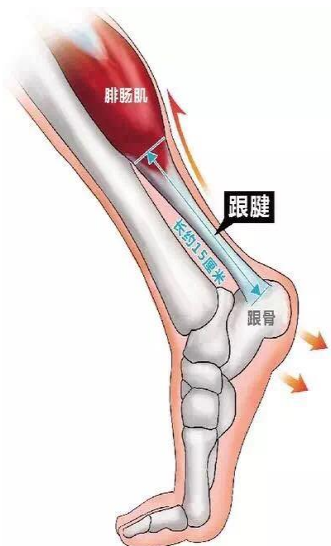
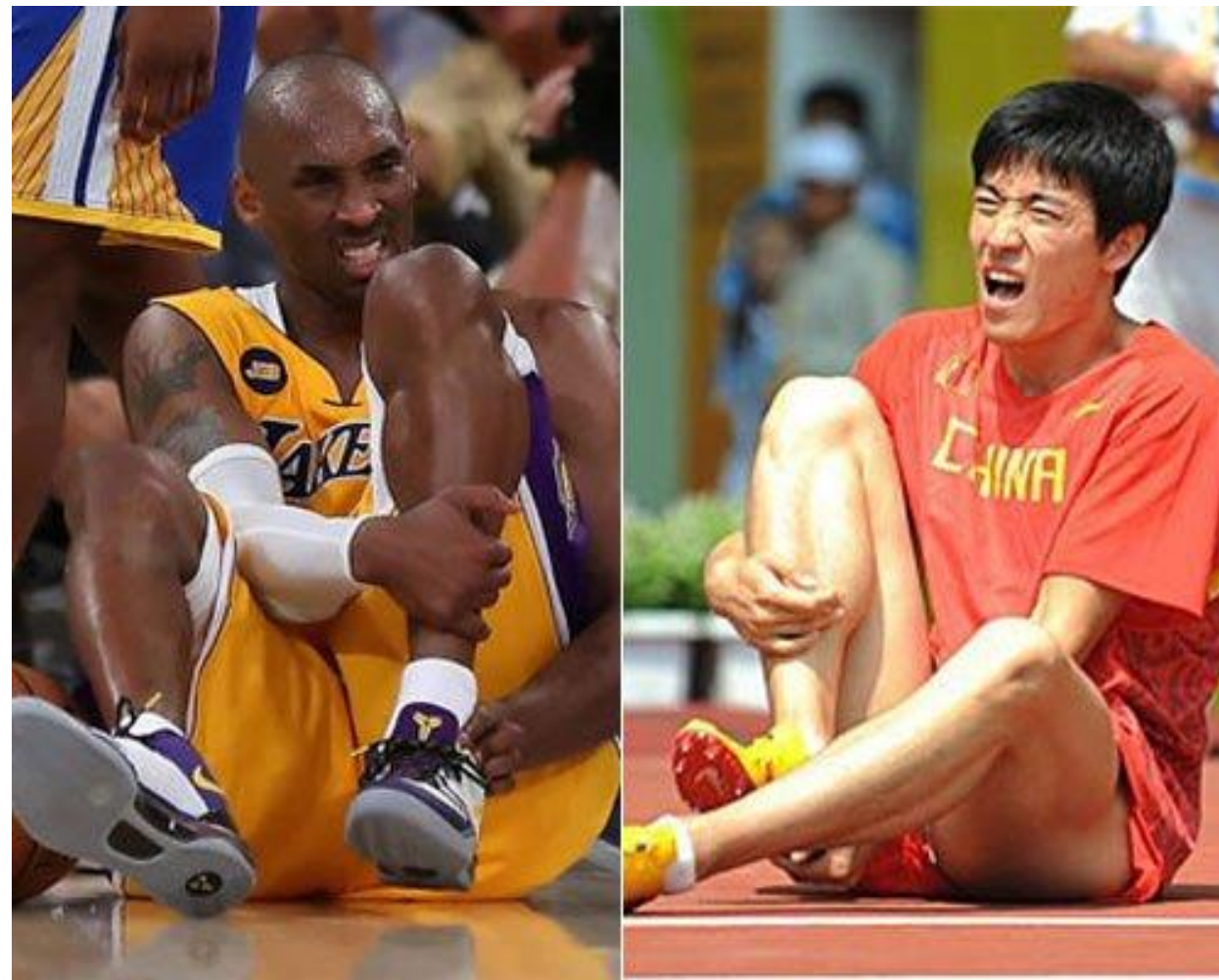


TABLE 11.1 Approximate Elastic Modu

Material	Young's Modulus, Y (Pa)
Aluminum	7.0×10^{10}
Brass	9.0×10^{10}
Copper	11×10^{10}
Iron	21×10^{10}
Lead 铅	1.6×10^{10}
Nickel	21×10^{10}
Silicone rubber 硅胶	0.001×10^{10}
Steel	20×10^{10}
Tendon (typical) 跟腱	



合理运动，远离伤病

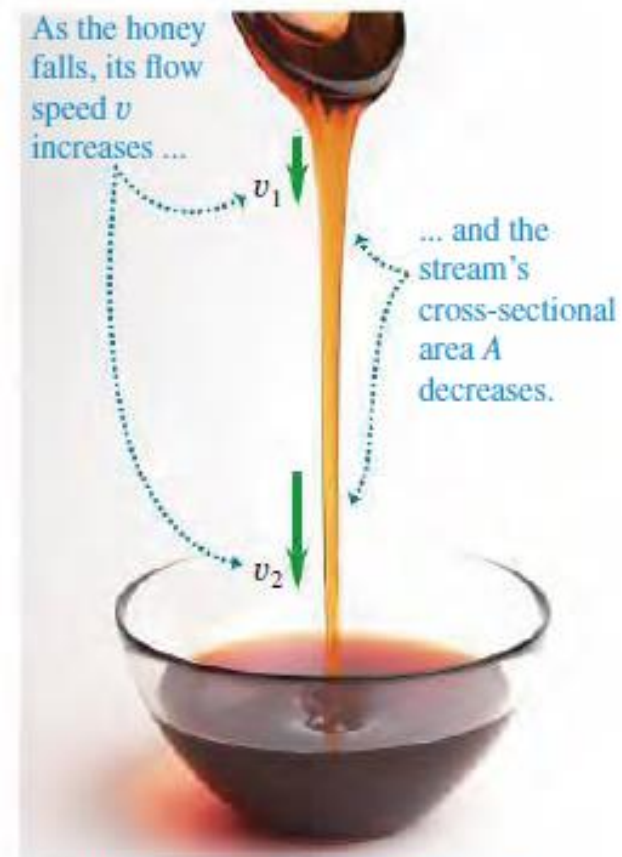


1. 流体静力学
2. 帕斯卡定律
3. 流体动力学
4. 连续性方程
5. 伯努利方程





12.22 The continuity equation, Eq. (12.10), helps explain the shape of a stream of honey poured from a spoon.



The volume flow rate $dV/dt = Av$ remains constant.



请勿模仿





一.基本概念:

1. 流体:

具有流动性的液体和气体;

2. 流体动力学:

研究流体的运动规律以及流体与其他物体之间相互作用的力学;

二.流体动力学的应用:

- 生物体液和氧分的输送, 动物体内血液的循环, 土壤中水分的运动, 农田排灌、昆虫迁飞;



一. 基本概念

- 1. 流体的粘滞性:

实际流体在流动时，其内部有相对运动的相邻两部分之间存在类似两固体相对运动时存在的摩擦阻力(内摩擦力)，流体的这种性质称为粘滞性。

- 2. 流体的可压缩性:

实际流体在外界压力作用下、其体积会发生变化，即具有可压缩性；

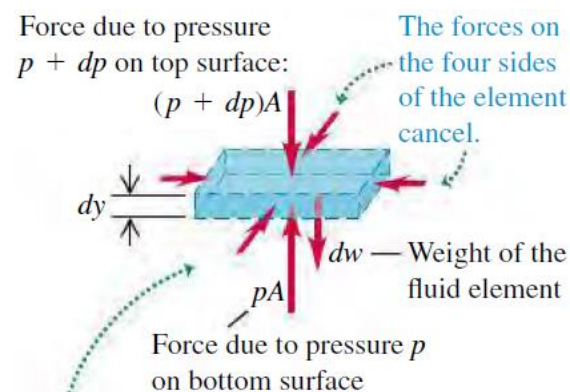
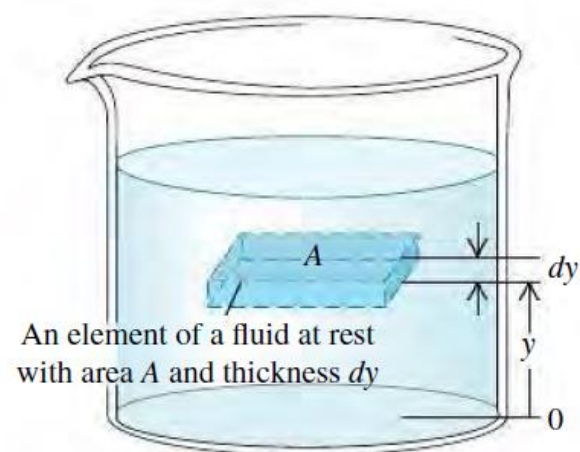
- 3. 理想流体模型:

- ◆ 绝对不可压缩、没有粘滞性的流体叫做理想流体；

- ◆ 一般情况下，密度不发生明显变化的气体或者液体、粘滞性小的流体均可看成理想流体。



压强



Because the fluid is in equilibrium, the vector sum of the vertical forces on the fluid element must be zero: $pA - (p + dp)A - dw = 0$.

$$\sum F_y = 0 \quad \text{so} \quad pA - (p + dp)A - \rho g A dy = 0$$

$$\frac{dp}{dy} = -\rho g$$

Pressure at depth h
in a fluid of uniform
density

$$p = p_0 + \rho gh$$

Pressure at surface of fluid

Uniform density of fluid

Depth below surface

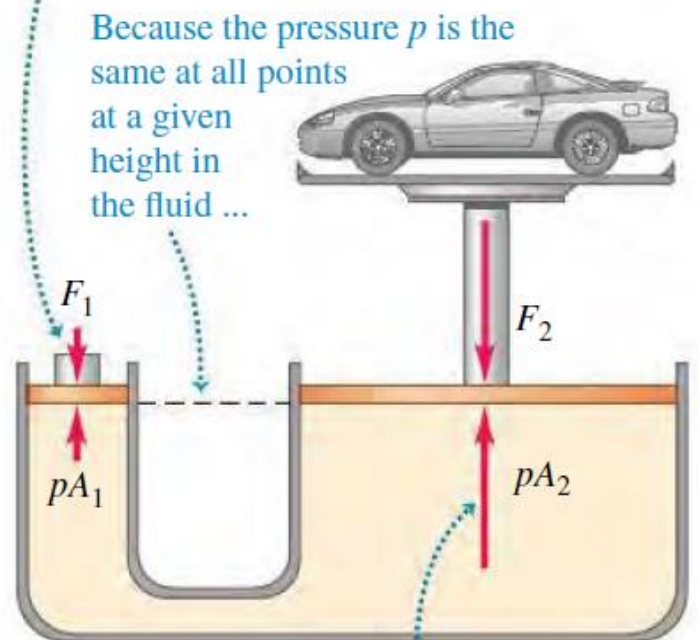
Acceleration due to gravity ($g > 0$)

帕斯卡定律：不可压缩静止流体中任一点受外力产生压强增值后，此压强增值瞬间传至静止流体各点。

液压升降机

12.7 The hydraulic lift is an application of Pascal's law. The size of the fluid-filled container is exaggerated for clarity.

A small force is applied to a small piston.

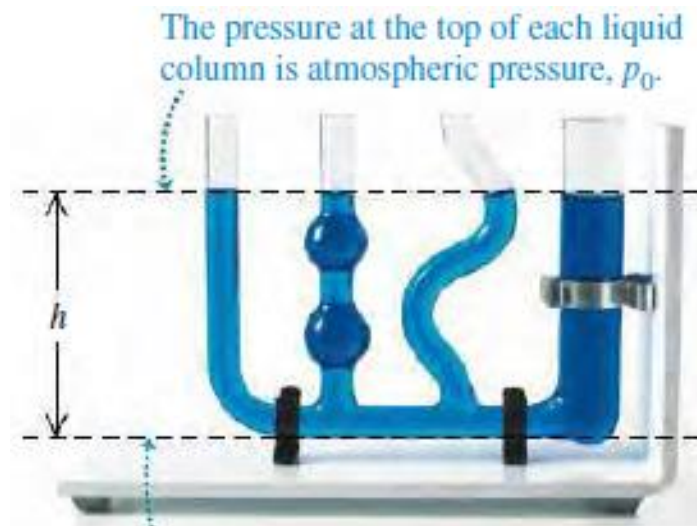


... a piston of larger area at the same height experiences a larger force.

$$F_1 = pA_1$$

$$F_2 = pA_2$$

连通器



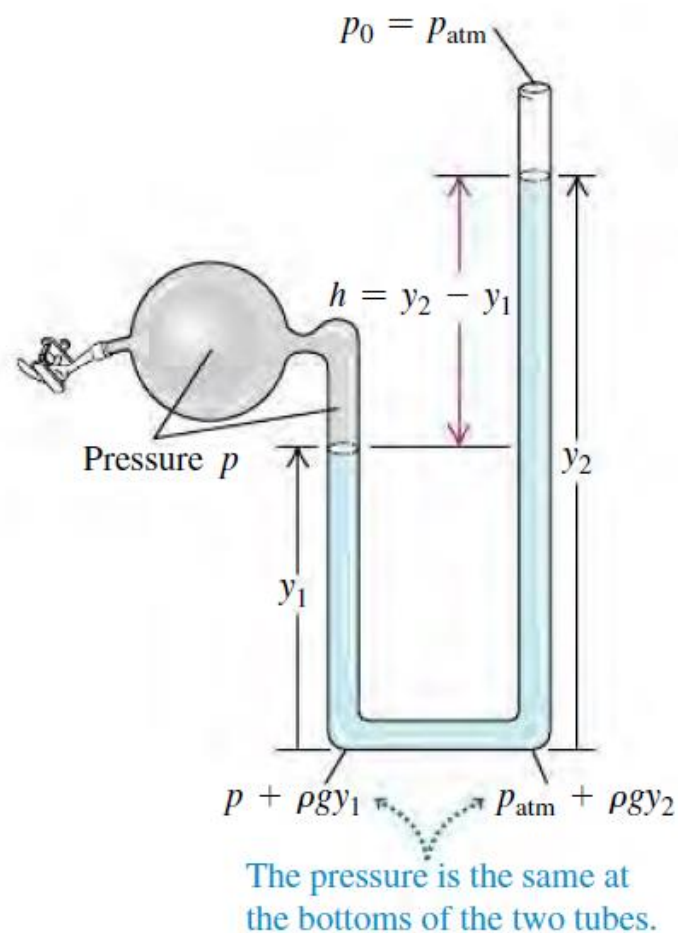
The pressure at the bottom of each liquid column has the same value p .

The difference between p and p_0 is ρgh , where h is the distance from the top to the bottom of the liquid column. Hence all columns have the same height.

压强计



(a) Open-tube manometer



$$p + \rho g y_1 = p_{\text{atm}} + \rho g y_2$$
$$p - p_{\text{atm}} = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h$$

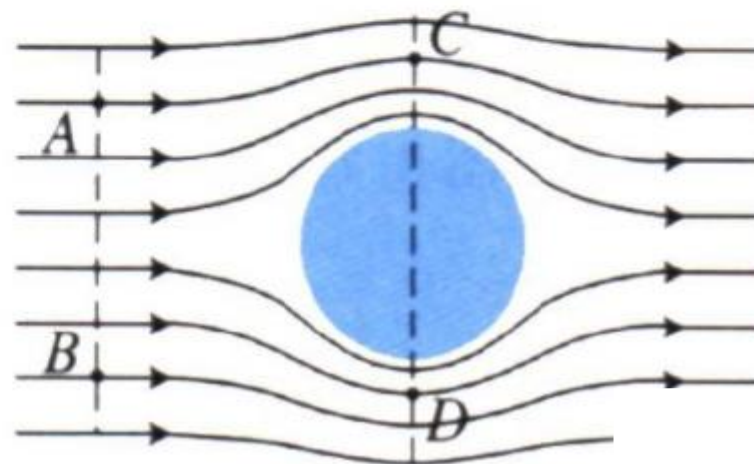
二.流体的运动形式:

1. 一般流动形式:

- 通常流体看做是由大量**流体质点**所组成的连续介质。
- 一般情况流体运动时, 由于流体各部分可以有相对运动, 各部分质点的流动速度是空间位置的函数, 又是时间 t 的函数

2. 定常流动:

- 流体质点经过空间各点的流速虽然可以不同, 但如果空间每一点的流速不随时间而改变, 这样的流动方式称为**定常流动**, 也称为**稳定流动**
- 是一种理想化的流动方式。



三. 流线、流管

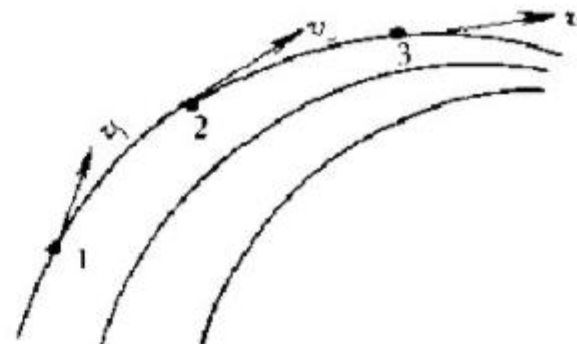


图 1-1 稳定流动、流线

1. **流线**: 为了形象地描述定常流动的流体而引入的假想的直线或曲线

- 流线上任意点的**切线方向**就是流体质点流经该点的速度方向
- 稳定流动时, 流线的形状和分布不随时间变化, 且流线与流体质点的运动轨迹重合;
- 流线的疏密程度可定性地表示流体流速的大小;
- 流线不相交;

2. **流管**: 流体内部, 通过某一个截面的流线围成的管状空间;

- 流体质点不会任意穿出或进入流管; (**与实际管道相似**)
- 流体可视为由无数个稳定的流管组成, 分析每个流管中流体的运动规律, 是掌握流体整体运动规律的基础;

四. 连续性原理

1. 推导过程:

假设:

- ①. 取一个截面积很小的**细**流管，垂直于流管的同一截面上的各点流速相同；
- ②. 流体由左向右流动；
- ③. 流体具有不可压缩性；
- ④. 流体质点不可能穿入或者穿出流管；
- ⑤. 在一个较短的时间 Δt 内，流进流管的流体质量等于流出流管的流体质量（**质量守恒**），即：

$$\rho S_1 v_1 \Delta t = \rho S_2 v_2 \Delta t$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

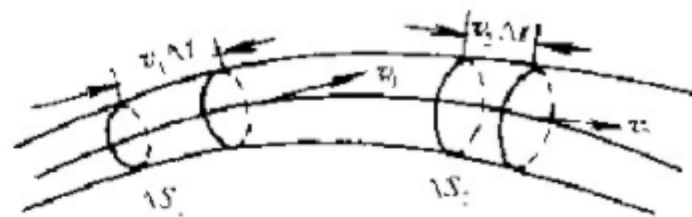


图 1-2 连续性方程推导

2. 理想流体的连续性方程(连续性原理、流量方程):

$$Sv = \text{恒量}$$

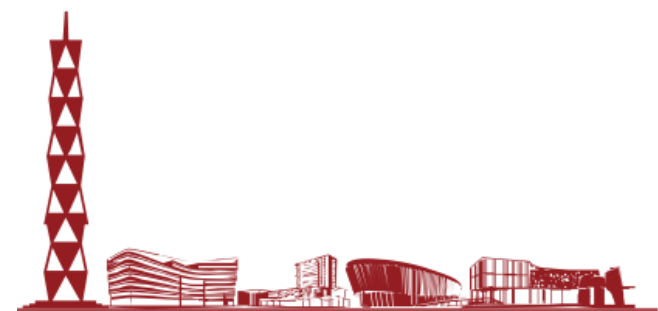
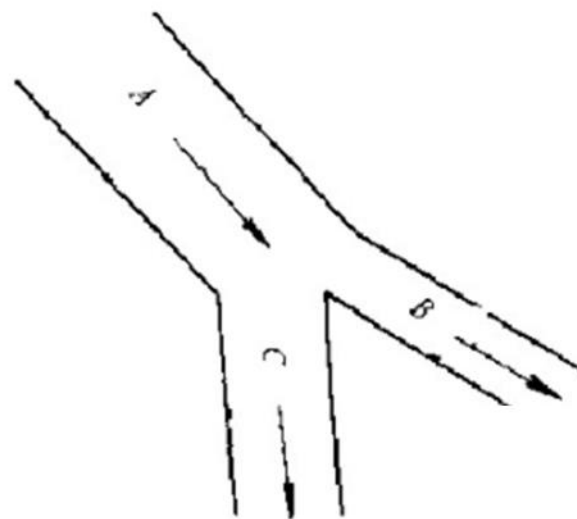
体积流量: 表示单位时间内流过任意截面 S 的流体体积, 称为体积流量, 简称**流量**, 用 Q_V 表示, 单位为 m^3/s .

- ◆ 流体在同一**细流管**中作稳定流动时, 通过任一截面 S 的**体积流量**保持不变。
- ◆ 推广, 对于不可压缩的实际流体, **任意流管、真实导流管、流体管道**都满足连续性原理。
- ◆ 如果同一截面上流速相同, 不可压缩的流体在流管中做稳定流动时流体的流速 v 与流管的截面积 S 成反比, **即截面大处流速小, 狭窄处流速大。**



补充例题

有一条灌溉渠道，横截面是梯形，底宽 2m ，水面宽 4m ，水深 1m ，这条渠道再通过两条分渠道把水引到田间，分渠道的横截面也是梯形，底宽 1m ，水面宽 2m ，水深 0.5m ，如果水在两条渠道内的流速均为 0.2m/s ，求水在总渠道中的流速？

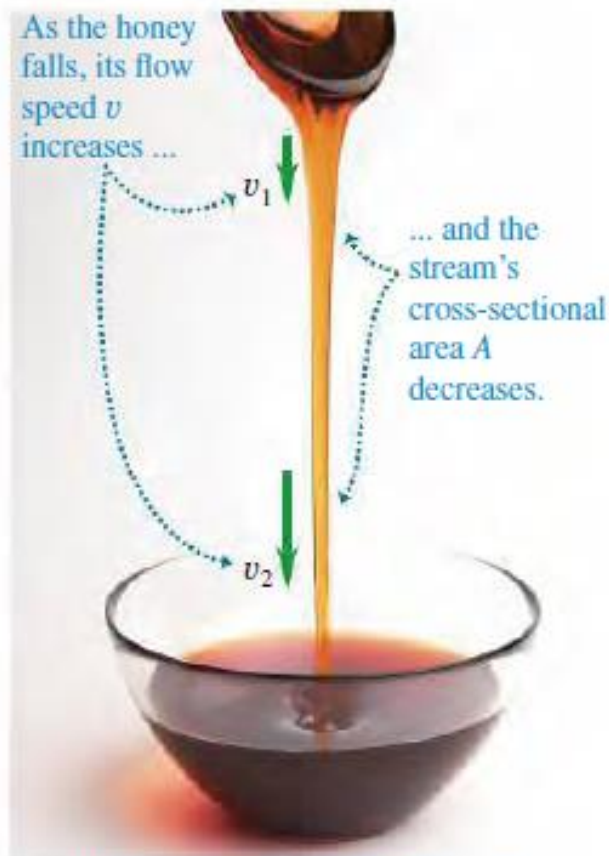


连续性方程的应用 $Sv = \text{恒量}$



蜂蜜形状

12.22 The continuity equation, Eq. (12.10), helps explain the shape of a stream of honey poured from a spoon.



The volume flow rate $dV/dt = Av$ remains constant.

静水流深 Still waters run deep



喷泉、水枪。。。。



伯努利方程是瑞士物理学家伯努利提出来的，是理想流体作稳定流动时的基本方程，对于确定流体内部各处的压力和流速有很大的实际意义、在水利、造船、航空等部门有着广泛的应用。

伯努利个人简介：（Daniel Bernouli,1700~1782）瑞士物理学家、数学家、医学家。他是伯努利这个数学家族（4代10人）中最杰出的代表，16岁时就在巴塞尔大学攻读哲学与逻辑，后获得哲学硕士学位，17~20岁又学习医学，并于1721年获医学硕士学位，成为外科名医并担任过解剖学教授。但在父兄熏陶下最后仍转到数理科学。伯努利成功的领域很广，除**流体力学**这一主要领域外，还有天文测量、引力、行星的不规则轨道、磁学、海洋、潮汐等等。

伯努利方程：理想流体在**重力场**中作稳定流动时，**能量守恒定律**在流动液体中的表现形式。

@雅莲
Baidu

一. 伯努利方程的推导:

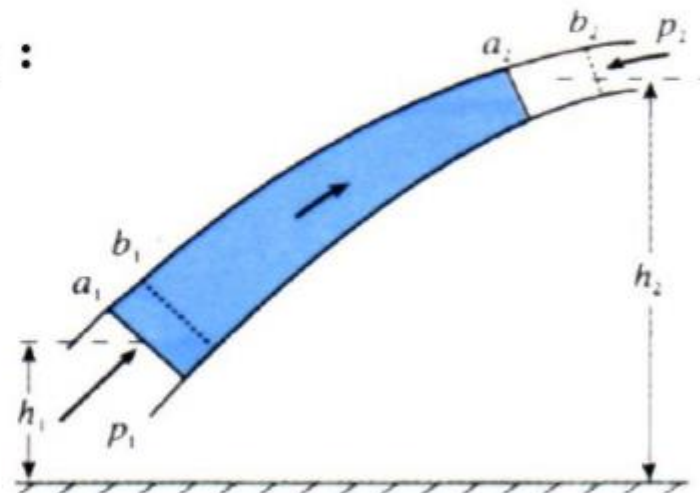
稳定流动的理想流体中, 忽略流体的粘滞性, 任意**细流管**中的液体满足**能量守恒和功能原理**!

设: 流体密度 ρ , 细流管中分析一段流体 $a_1 a_2$:

a_1 处: S_1, v_1, h_1, p_1

a_2 处: S_2, v_2, h_2, p_2

经过微小时间 Δt 后, 流体 $a_1 a_2$ 移到了 $b_1 b_2$, 从整体效果看, 相当于将流体 $a_1 b_1$ 移到了 $a_2 b_2$, 设 $a_1 b_1$ 段流体的质量为 Δm , 则:



$$\Delta E_1 = \frac{1}{2} \Delta m v_1^2 + \Delta m g h_1 \quad \Delta E_2 = \frac{1}{2} \Delta m v_2^2 + \Delta m g h_2$$

机械能的增量: $\Delta E = \Delta E_2 - \Delta E_1$

功能原理：系统受到非保守力做功，系统机械能的增量等于非保守力对系统作的功；

外界对系统作的功？

受力分析=端面压力+侧壁压力

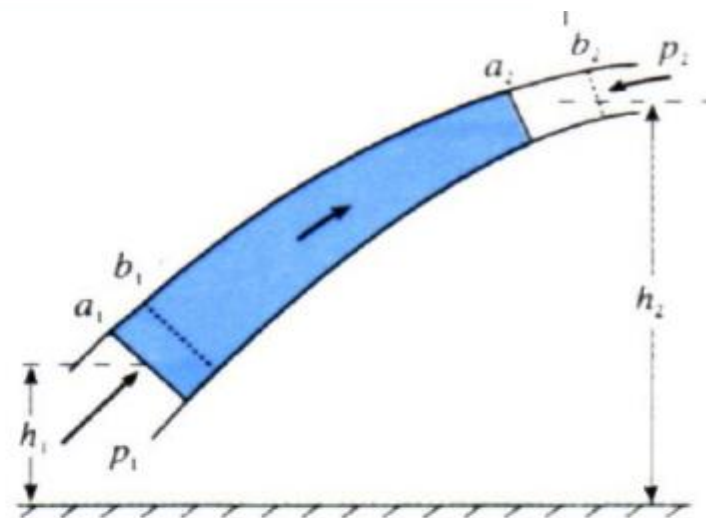
$$W = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t$$

$$V = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

$$\frac{1}{2} \Delta m v_2^2 + \Delta m g h_2 - \left(\frac{1}{2} \Delta m v_1^2 + \Delta m g h_1 \right) = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t$$

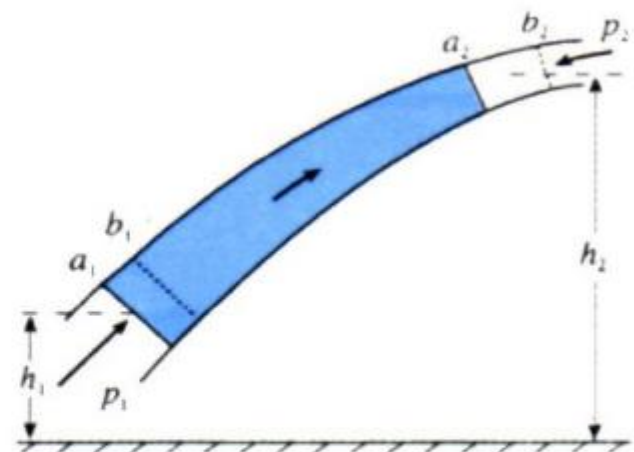
$$\frac{1}{2} \rho V v_2^2 + \rho V g h_2 - \left(\frac{1}{2} \rho V v_1^2 + \rho V g h_1 \right) = p_1 V - p_2 V$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$



二. 对于**同一流管**的任意截面，伯努利方程：

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{恒量}$$



• **含义**：对于理想流体作稳定流动，在同一流管中任一处，每单位体积流体的**动能、势能和该处压强之和**是一个恒量。

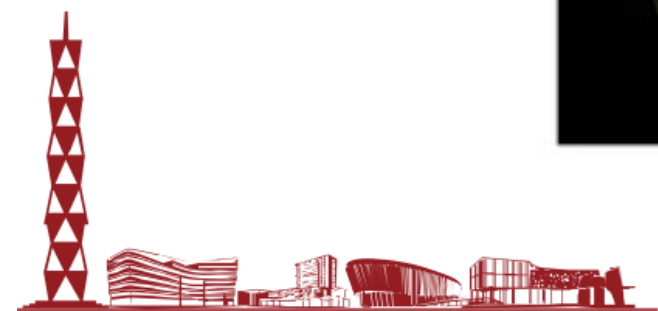
- 伯努利方程，是理想流体作稳定流动时的基本方程；
- 对于实际流体，如果粘滞性很小，如：水、空气、酒精等，可应用伯努利方程解决实际问题；
- 对于确定流体内部各处的压力和流速有很大的实际意义、在水利、造船、航空等部门有着广泛的应用。

1. 在海洋中平行逆向航行的两艘大轮船，相互不能靠得太近，否则就会有相撞的危险，为什么？
2. 逆流航行的船只行到水流很急的岸边时，会自动地向岸靠拢；
3. 汽车驶过时，路旁的纸屑常被吸向汽车；
4. **简单的实验**：用两张窄长的纸条，相互靠近，用嘴从两纸条中间吹气，会发现二纸条不是被吹开而是相互靠拢，就是“速大压小”的道理。



地铁里的一米黄线是“救命黄线”？

2016-07-22 09:21





补充例题,

水管里的水在压强为 $p=4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的作用下流入房间, 水管的内直径为2.0 cm, 管内水的流速为4 m/s。引入到5 m高处二楼浴室的水管, 内直径为1.0 cm,

试求浴室水管内水的流速和压强?

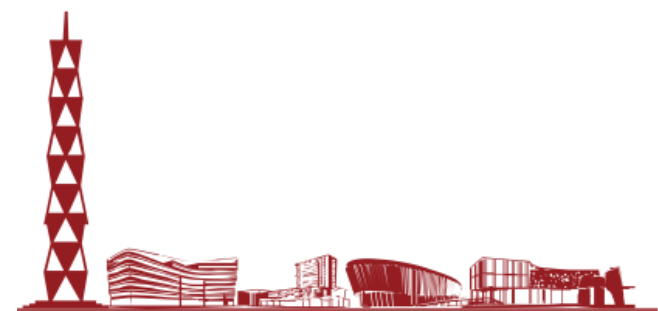
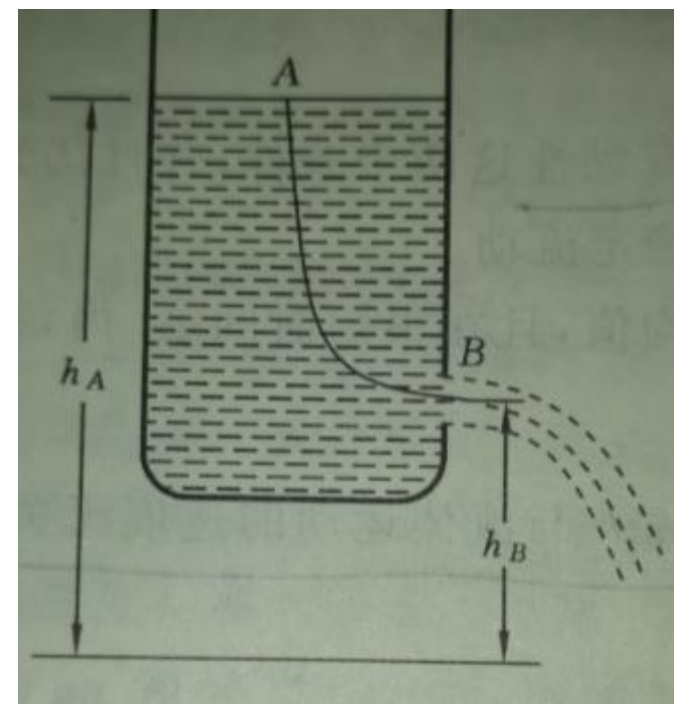
(已知水的密度为 $\rho=10^3 \text{ kg/m}^3$)。



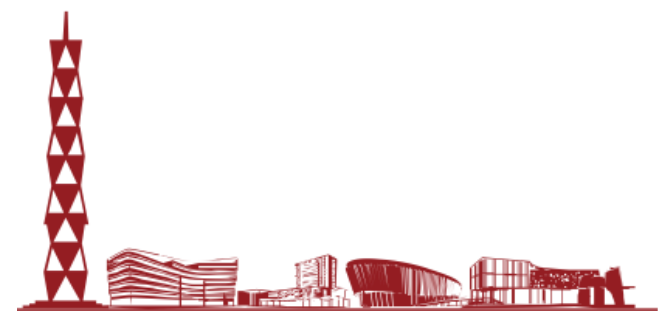
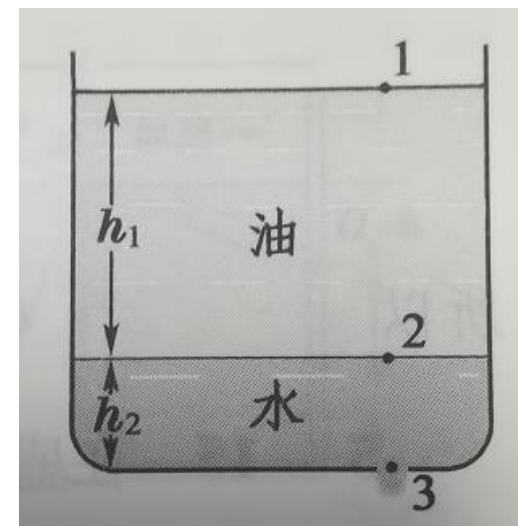


如图，下面是一个容器，侧壁开了一个小孔，可以认为小孔面积很小，有 $S_A \gg S_B$

求：液体从B孔流出的速度？



7. 油箱内盛有水和石油，石油的密度为 0.9g/cm^3 ，水的厚度为 1m ，油的厚度为 4m 。求水自箱底小孔流出的速度。



•一.水平流管的伯努利方程:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{恒量}$$

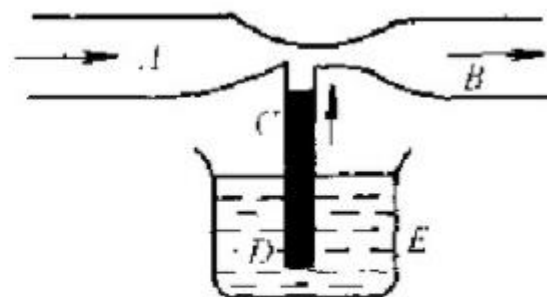


图 1-6 空吸作用

在水平流动的流体中，流速大的地方压强小；流速小的地方压强大。

在粗细不均匀的水平流管中，根据连续性原理，管细处流速大，管粗处流速小，因而管细处压强小，管粗处压强大；



应用实例1. 水流抽气机、喷雾器

- 空吸作用：当流体流速增大时压强减小，产生对周围气体或液体的吸入作用；
- 水流抽气机、喷雾器就是根据空吸作用的原理（速度大、压强小）设计的。

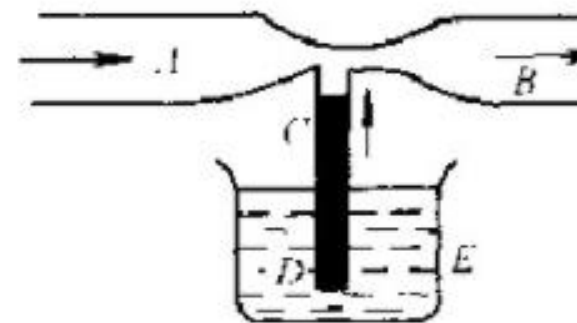


图 1-6 空吸作用

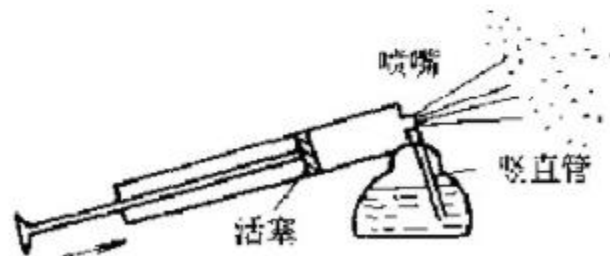


图 1-8 小型喷雾器

应用实例2. 汾丘里流量计

●汾丘里管：特制的玻璃管，两端较粗，中间较细，在较粗和较细的部位连通着两个竖直细管。

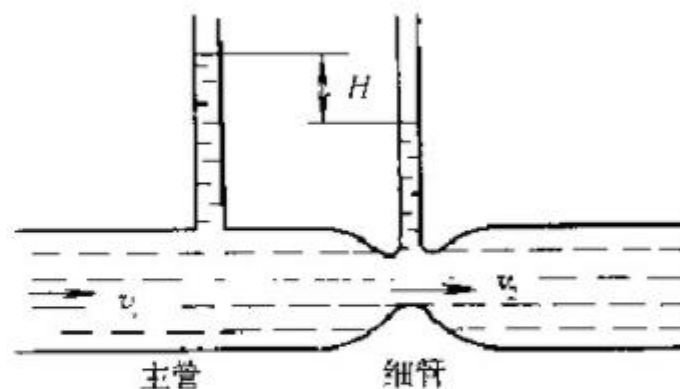
●汾丘里管水平接在液体管道中可以测定液体的流量；

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{恒量}$$

$$Sv = \text{恒量}$$

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

$$p_1 - p_2 = \rho g H$$



流速：

$$v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2gH}{S_1^2 - S_2^2}}, \quad v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2gH}{S_1^2 - S_2^2}}$$

体积流量：

$$Q_V = S_2 v_2 = S_1 S_2 \sqrt{\frac{2gH}{S_1^2 - S_2^2}}$$

只要读出两个
竖管的高度差，
就可以测量流
速和流量

@雅莲晶
Baidu

粘滞力：

粘滞流体在流动中各层的流速不同，**相邻两流层**之间有相对运动，互施摩擦力，快的一层给慢的一层以向前的拉力；慢的一层则给快的一层以向后的阻力，这种摩擦力称为内摩擦，又称粘滞力；

粘滞力和哪些因素有关？

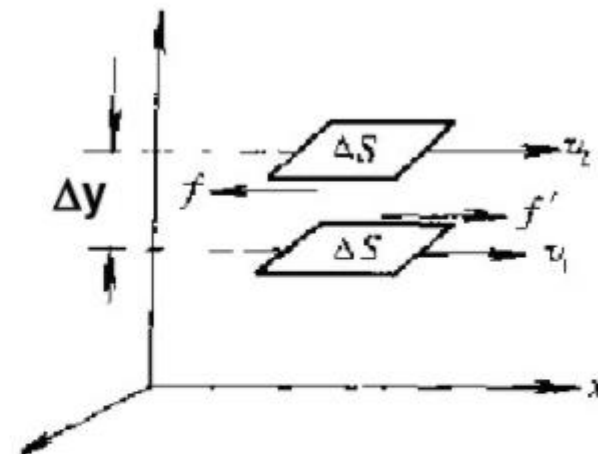
流体内部相邻两层内摩擦力的大小：

- ◆与两流层的接触面积大小有关；
- ◆还与两流层间速度变化的快慢有关；



●速度变化的快慢程度: $\frac{\Delta v}{\Delta y}$

●其物理意义是: 垂直于流速方向上相距单位距离的两个流层的速度的变化率。



➤垂直于流速方向的流速梯度(或速度梯度): $\frac{dv}{dy}$



牛顿粘滞定律： 流体内部相邻两流层间的内摩擦力 f 与两流层的接触面积 ΔS ，以及两流层处的速度梯度成正比；

$$f = \eta \frac{dv}{dy} \Delta S$$

比例系数 η ： 流体的粘滞系数或粘度，单位为帕·秒(Pa·s)

- 粘滞系数越大，相邻两流层接触表面间的内摩擦力也越大；
- 用粘滞系数定量地表示流体粘性的大小；
- **牛顿型流体**的粘滞系数除与流体性质有关，还与**温度**有关。
- 对于液体，温度愈高，粘滞系数愈小；
- 气体则相反，温度愈高，粘滞系数愈大。
- **确定粘滞系数的实际意义：** 输送流体的管道设计、机械中润滑油的加入、血液粘稠度诊断学、药学等；