

力与运动

力

- 物体间相互作用
- 不能离开物体而单独存在
- 单位： 牛顿 Newton (N)
- 作用效果：
 - 产生形变
 - 改变状态
- 力的三要素： 力的大小、方向和作用点

重力	物体所受地球的吸引力 $W=mg$ ， 物体所受的重力或物体的重量 W 与它本身的质量 m 成正比 单位： $N\ kg^{-1}$ 地球表面, g 约为 $9.8\ N\ kg^{-1}$ ， 用弹簧来测量 牛顿第二定律： $W = mg$ ， $g = 9.8m / s^2$ 牛顿第三定律： 把物体挂在绳子上， 物体静止时拉紧悬线的力， 等于物体所受的重力； 物体放在水平面上， 物体对水平面的压力等于重力 受力物体： 在地球上的任何物体， 重力使物体落下， 使自由落体加速 方向： 竖直向下， 垂直于水平 反作用力： 物体对地球的吸引力。 等效作用点： 重心	
	重心 centre of gravity	重心是物体各部分受到重力集中在一点上 <ul style="list-style-type: none"> • 当物体所在位置处的重力加速度 g 是常量时， 重心就是质心 • 若物体中质量的分布不均匀， 重心的位置也不均匀 • 若物体很大， 以致各处的 g 并不能认为相同， 则重心不等同于质心 物体的重心不一定在物体上， 可能在物体外
	质心 centre of mass	<ul style="list-style-type: none"> • 质心是质量的等效中心， 物体所受的任何力可以看成集中于质心上 • 注意质心不仅和物体几何形状有关， 还与其质量分布相关。 *如果物体只做平动， 不做转动， 物质的质心和它的重心是重合的
弹力	形变 (deformation) <ul style="list-style-type: none"> • 物体在力的作用下形状或体积发生改变 	

弹性形变(elastic deformation)

- 物体在形变后能恢复原状

弹性限度(elastic limit)

- 外力过大，物体形变超过一定限度，撤去外力后，物体不能完全恢复原来的形状

弹力(elastic force)

- 发生形变的物体要恢复原状，会对它接触的物体产生力的作用
- 方向总是和引起形变的作用力反方向

胡克定律表明，当物体形变不太大时，弹性力与形变成正比，弹簧的弹性力 F 与弹簧相对于原长的形变（拉伸或压缩） x 成正比，方向指向平衡位置，即 $F=kx$

- 式中比例系数 k 称为弹簧的倔强系数，也叫劲度系数， $F=-kx$ 负号表示弹性力与形变反方向。
- 劲度系数取决于弹簧本身结构如材料、匝数、直径等
- 对于弹性力须说明三点：

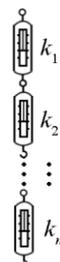
① 绳子的张力是一种弹性力。绳子和与之连接的物体之间有相互作用时

- 不仅绳子与物体之间有弹性力，而且在绳子内部也因发生相对形变而出现弹性力
- 绳子上任一横截面两边互施作用力，这对作用力和反作用力称为绳子的张力
- 一般情况下，与绳子相应的比例系数 k 很大，因而形变很小，可以忽略。所以绳子的张力不是由绳子的形变规律确定，我们一般抽象出柔软不可伸长的轻绳。

② 在光滑面（平面或曲面）上运动的物体受到的支撑力也是一种弹性力

- 这种由物体与支撑面相互作用而发生形变产生的弹性力，也是一种使物体约束在该支撑面上运动的约束力，通常把物体所受到的约束力称为约束反力，约束反力的方向总是与支撑面垂直
- 与绳子的张力一样，由于相应的 k 很大，因而形变很小，可以忽略，约束反力的大小由求解物体的运动来确定，若支撑面是粗糙的，则物体除受约束反力外，还要考虑该表面的摩擦力。

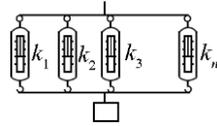
③ 弹簧串联：
$$\frac{1}{k_{\text{串}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$$



- 当然这两个公式在实际解题中往往会变形，关键要抓住各弹簧

是弹力一致还是形变量一定.

- 弹簧并连: $k_{\text{并}} = k_1 + k_2 + \dots + k_n$



(形变量一定)

摩擦力

- 摩擦力也是一种接触力, 当相互接触的物体作相对运动或有相对运动趋势时, 接触面间会产生一种阻碍相对运动或相对运动趋势的力, 这种力称为摩擦力, 前者称为滑动摩擦力, 后者称为静摩擦力.

滑动摩擦力
(sliding frictional force)

两个物体相互接触并挤压, 当它们沿着接触面发生相对运动时, 每个物体接触面都会受到对方作用的阻碍相对的运动力

方向总是和物体的接触面相切, 与它们运动方向相反
摩擦力大小与接触面的粗糙程度、压力的大小有关

$$f = \mu_k F_N$$

(动摩擦系数) μ_k : 比例系数, 两个力的比值, 没有单位

动摩擦系数跟接触面粗糙程度、材料不同有关

材料	动摩擦系数
钢-钢	0.25
钢-木	0.40
钢-冰	0.20
木-木	0.30
木-冰	0.03
木-皮革	0.30
橡胶轮胎-水泥路面	0.70

静摩擦力
(static frictional force)

两个彼此接触、挤压的物体之间没有发生相对滑动, 但具有相对的运动趋势, 接触面上会产生阻碍相对运动趋势得力

最大静摩擦力(maximum static frictional force)

- 物体间的静摩擦力达到最大

两个物体之间实际发生的静摩擦力在 0 和最大静摩擦力之间, $0 < f \leq f_m$

静摩擦力系数(coefficient of static friction)

$$f = \mu_s F_N$$

- 最大静摩擦力的大小跟两个物体之间的正压力成正比
- 取决于两个物体接触面的性质
- 滑动一开始，摩擦力就减小
- 这种压力相同情况下，滑动摩擦力小于最大静摩擦力。动摩擦系数一般小于静摩擦系数

- 摩擦定律指出：

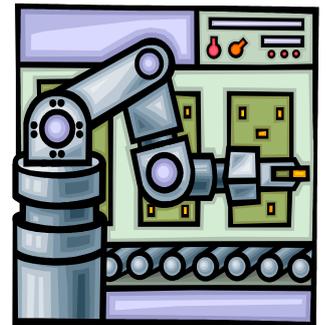
①滑动摩擦力与正压力成正比，与两物体的接触面积无关

②当相对速度不太大时，滑动摩擦力与速度无关

③静摩擦力的大小为0与最大值（称为最大静摩擦力）之间的某一值，此值由相对运动趋势的程度而定，最大静摩擦力也与正压力成正比

日常生活中的摩擦力

- 机械运转时，摩擦力会消耗能量转为热能，也会造成机械的磨损，所以需添加润滑剂，目的是要改变接触面间的性质，以降低动摩擦系数，进而减少摩擦耗损。
- 平时走路，脚会自然向后施力，鞋子的底面与地面间会产生向前的摩擦力，以使人前进。
- 汽车前进是因为轮子受轴承驱动向后转，轮胎与地面间产生一向前的摩擦力，以使车子前进。所以轮胎需有纹路，以增加与地面间的摩擦力。若在雪地中行驶，则需在轮胎上加上炼条，增加轮子与地面的摩擦力，使车子能安全前进。



- 利用橡胶带与轮子间的摩擦力，可带动轮子转动，使机械可以运转。
- 机场中的行李输送带，也是利用输送带与行李间的静摩擦力，让旅客可以在输送带上寻找自己的行李。

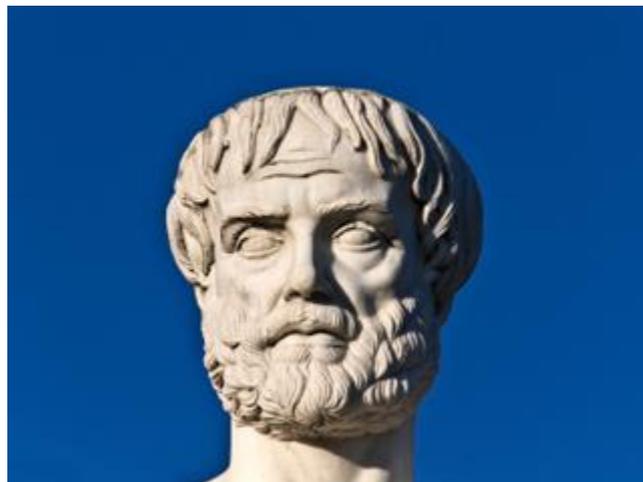
	<ul style="list-style-type: none"> 转动机件中的滚珠轴承设计，就是以滚动摩擦代替滑动摩擦，以减少阻力。 站在公车上，手未攀持任何外物，鞋子与公车接触面间的摩擦力，是让我们随公车一起前进的原因。 古人钻木取火；在寒冷的冬天搓揉双手取暖，皆是利用摩擦力做功，产生热能。 小雨滴自高空落至地面，因为空气阻力与其所受的重力达成平衡，故小雨滴可以等速度状态落至地面。 	 <p>龍騰文化</p>
--	---	---

常力

常力	量值	方向
重量 W	$W=mg$ （量值=常数）	向下
法向反作用力 R	为配合其他力使物体保持与面接触，它的量值会改变 -最小值=0 -没有上限	垂直于接触面
摩擦力 f	静态摩擦力 -为配合其他力使物体保持静止，它的量值会改变 -最小值=0 -最大值= f_m 动态摩擦力 $f=f_m$ （量值=常数）	平行于接触面 -对抗运动倾向 -对抗运动
张力 T	为配合其他力使绳的长度不变，它的量值会改变 -最小值=0 -没有上限	沿绳的方向拉

为什么物体会运动呢？

早在二千多年以前，古希腊哲学家阿里士多德已开始研究物体运动，提出了物体运动学说。他认为，一定要有人或动物去推或拉物体，物体才会动起来。停止推或拉，物体就会停下来。



伽俐略质疑阿里士多德的运动学说，并深入研究物体运动本质。伽俐略认为，阿里士多德的学说，虽符合实际情况，但忽视了摩擦力和空气阻力对物体运动的影响。



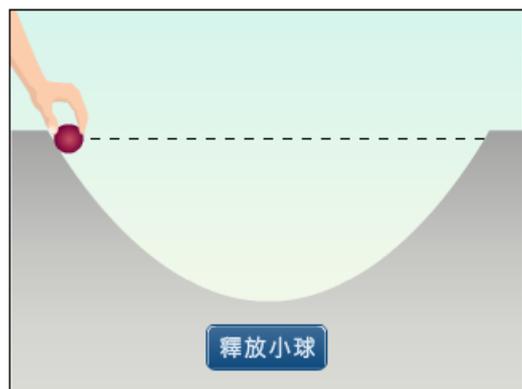
伽俐略估计，若无摩擦力和空气阻力施在物体上，物体便沿直线一直行走，其速度大小和方向都不变。

伽俐略设计并做了多项实验，证实了他的想法。

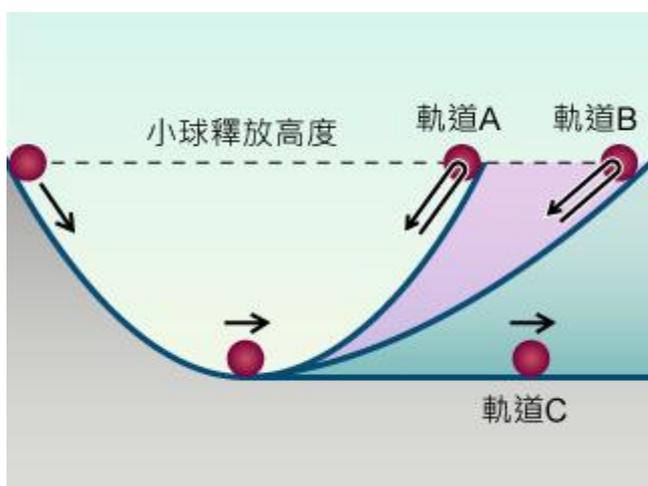
伽俐略从实验中发现：

- 小球先滑到最低点，然後滑上另一边斜坡；
- 小球位置越高，速率越低；

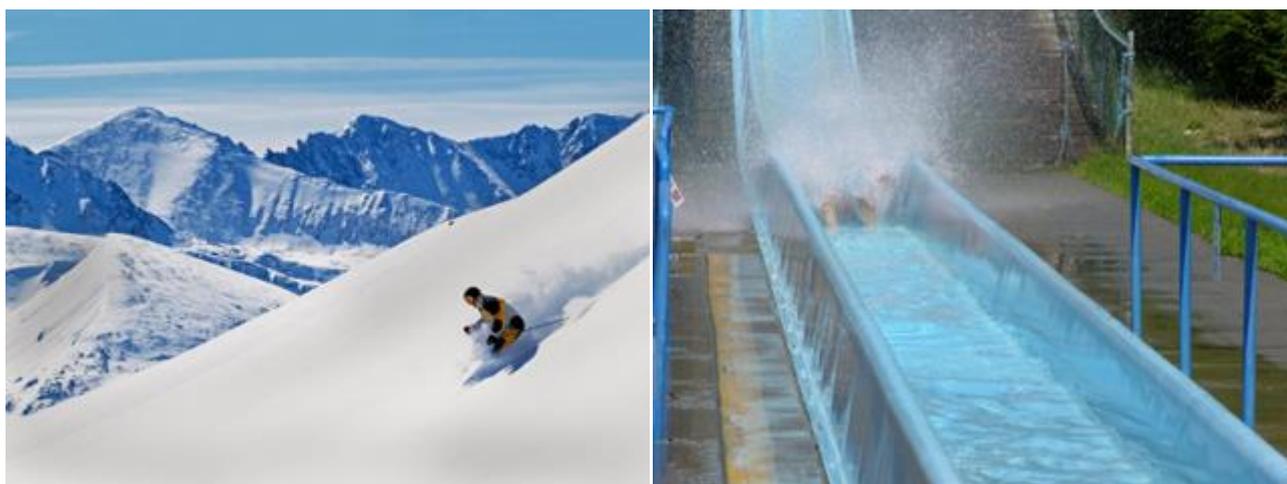
- 当小球到达刚被释放时的高度，会停留一瞬间，然後折返。



伽俐略从不同的 U 形轨道得知，若球爬得愈高，其速率便愈低。因此他推论，若小球滑到轨道最低处後，如之後轨道的高度不变，它便不会慢下来。他又认为，若这轨道无尽头，小球便会沿水平轨道一直前进，永不停下来。



伽利略把物体这种以固定速度一直前进的自然倾向，称为惯性。



牛顿第一定律

- 一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有力的作用迫使它改变这种状态为止

• 也称惯性定律

- 一个静止的物体倾向保持不动
- 运动中的物体倾向保持恒定速度沿同一方向移动
- 例如:车子起步前行时人向後仰;刹车时人向前倒及拍身上灰尘;快速抽走桌巾时,桌上物体仍留於桌上等。

牛顿第一运动定律说明了,如无净力施於物体上:

- 若物体本来静止不动,它便一直静止不动;
- 若物体本来在做匀速直线运动,它便一直保持匀速直线运动状态。
 - 净力 $F = \text{不平衡力} = \text{所有外力的合值}$

惯性与质量

- 使物体改变运动状态,需要力的作用.在相同的力作用下,质量越大的物体的加速度越小.
- 这表明了质量是表示物体所具有的阻碍运动状态改变的一种属性,质量越大,物体越不容易改变其运动状态,所以质量是物体惯性大小的量度.
- 物体的这一性质跟物体是否受有重力作用完全无关(譬如放在水平的气垫导轨上的滑块,或物体在完全失重的情况下)

动量

- 物体的质量和速度的乘积
- $p = mv$
- p 是动量、 m 是物体的质量、 v 是物体的速度
- 动量是矢量,它的方向和速度的方向相同,单位是 kg ms^{-1}

牛顿第二定律

当 $F \neq 0$, 物体以加速度 a 移动, 其中 $a \propto F, a \propto \frac{1}{m}$, 即 $F = ma$

物体的动量变化率跟它所受到的作用力成正比, 动量变化率的方向跟力的方向相同

$$\Sigma F \propto \frac{mV - mV_0}{t}$$

$$\Sigma F = K \frac{m(V - V_0)}{t} = Kma$$

物體所受到的外力 = 質量 × 加速度 $\vec{F} = m\vec{a}$

物體受外力作用時，沿力之方向必產生一加速度，此加速度之大小與作用力成正比，與物體的質量成反比

- 在 SI 單位中，力的單位為 $1N = 1kg \cdot m/s^2$

牛頓第三定律

- 物体之间的作用力和反作用力总是大小相反，方向相反，作用在一条直线上。

- 已知 F 為作用力， F' 為反作用力，則

$$F = -F'$$

依牛頓第二運動定律

$$F = ma \quad F' = ma'$$

故

$$ma = -ma'$$

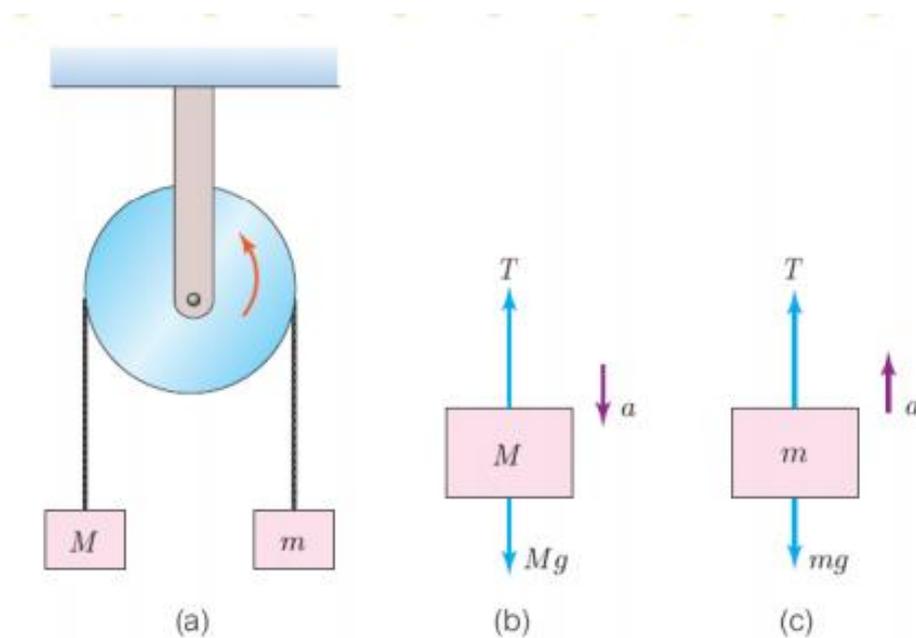
二物體自接觸至分離的時間為 t ，平均加速度各為 a 及 a'

$$a = \frac{V}{t} \quad a' = \frac{V'}{t}$$

代入可得

$$mV = -mV'$$

例如：發射大砲，砲身後退；拍打皮球，手掌也會痛等。



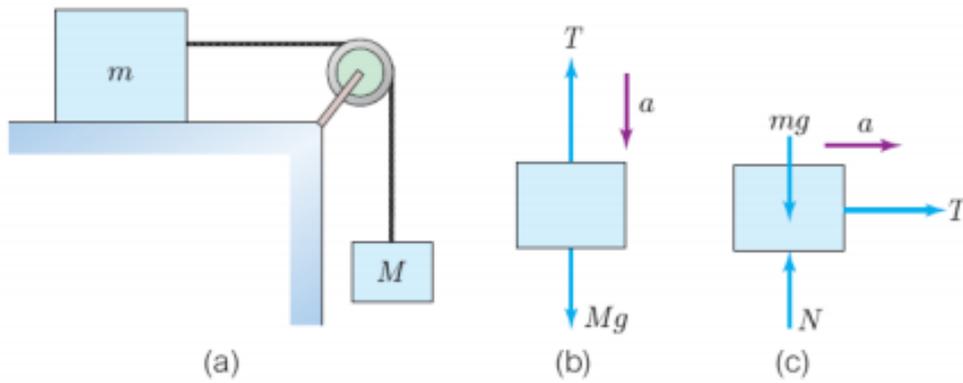
$$\text{b. } T - m_1g = m_1a$$

$$\text{c. } m_2g - T = m_2a$$

$$m_2g - m_1g = m_1a + m_2a$$

$$(m_2 - m_1)g = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}g$$

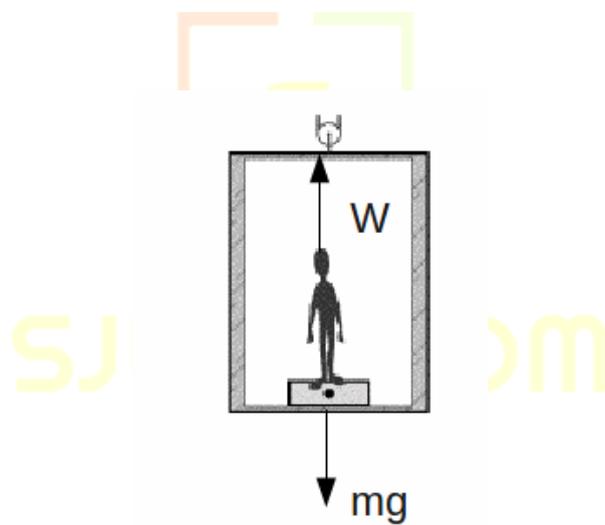


$$Mg - T = a$$

$$T - \text{friction} = a$$

$$Mg - T = T - \text{friction}$$

电梯



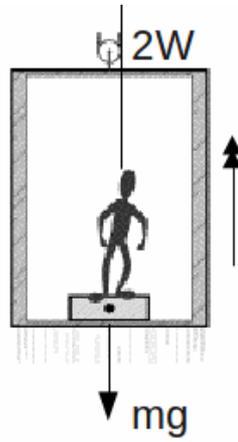
1. 电梯静止或以等速度移动, $a = 0$

$$F = ma$$

$$R - mg = ma$$

$$R - mg = 0$$

$$R = mg$$



2. 电梯加速度向上移动, $a \text{ ms}^{-1}$

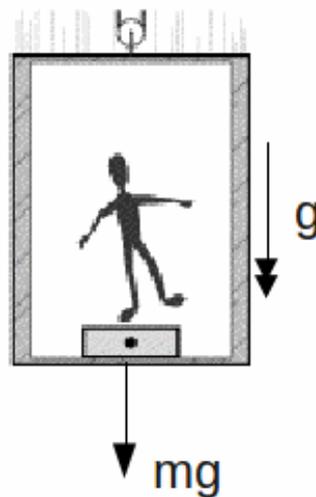
$$R > mg$$

$$F = ma$$

$$R - mg = ma$$

$$R = mg + ma$$

3. 电梯加速度向下移动, $a \text{ ms}^{-1}$



$$Mg > R$$

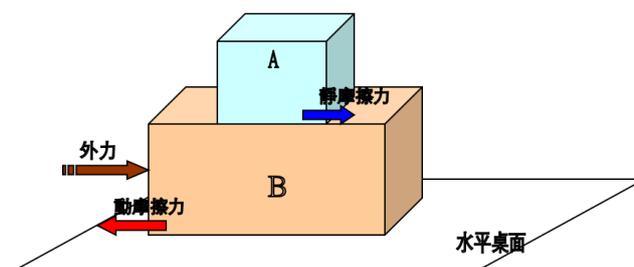
$$F = ma$$

$$Mg - R = ma$$

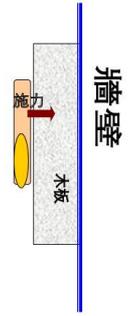
$$R = mg - ma$$

练习

1. 一个 60kg 的男子正站在升降机中，升降机向上移动并以 0.4ms^{-2} 减速，去男子的表观重量
2. 图中，方块 xyz 的质量分别为 2kg ， 3kg ， 5kg ，它们以两条不可拉伸的绳子相连，一个 18N 的水平力作用于 Z 上，任何两个接触体间的摩擦力为 2N ，
 - a. 求方块 x 的加速度
 - b. 求 y 与 z 之间的绳子张力
3. 图中，一个 2kg 方块在水平桌面被 7N 的力推动，方块和桌面的摩擦力为 3N ，
 - a. 求方块的加速度
 - b. 桌面作用于方块的法向反作用力是多少？
4. 如图。
木块 A 的重量为 5 公斤重，
木块 B 的重量为 10 公斤重，
木块 B 与桌面间的
动摩擦系数为 0.4 ，
所施外力为 67.8 牛顿，
且木块 A 随着木块 B 移动，两者为相对静止状态。
 - a. 试计算木块 B 与桌面间的动摩擦力为若干公斤重？相当於若干牛顿？
 - b. 试计算木块 B 与木块 A 运动时的加速度为若干公尺/秒平方？
 - c. 试计算木块 B 与木块 A 间的静摩擦力为若干牛顿？



5. 以手将木板紧压在墙壁上，使木板不下滑。如果木板的重量为 6 公斤重，木板与墙壁间与木板与手间的静摩擦系数分别为 0.25 及 0.35，则手的施力至少应大于若干公斤重，木板才不致下滑？请讨论木板的受力情形。



6. 埃及的古夫金字塔是由 260 万块，每块至少重 2.5 公吨的大石块所堆砌建造而成。建造金字塔的方法，据推测是工人先建造一个斜坡，再利用斜面将石块推至高处，然后置放到金字塔内的固定位置上，且斜坡底与高的比例约为 10: 1。

假设斜面与石块间的静摩擦系数为 0.5，动摩擦系数为 0.25，试计算工人在斜面上欲将石块往上拉动，最少需施力若干公斤重？当石块在斜面上移动时，工人最少需施力若干公斤重，才能将石块持续往上拉动？



SJUEC.COM