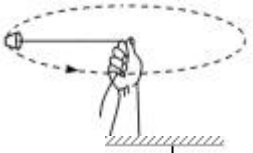
力和力的平衡

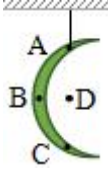
重力 G

- $G=mg$ 重力加速度 $g=9.8m/s^2$　　m/s^2 这个单位是根据牛顿第二定律推导来的
- 重力的方向：竖直向下
- 重心：从作用效果上看，物体各部分受到的重力可以看作集中于一点
- 重力产生原因：地球对物体的吸引 根据万有引力，所有星球表面附近的物体都受到重力

重心不一定在物体上，质量均匀分布的物体重心在物体的几何中心。如球壳、盒子、圆环的重心在物体的内部，不在物体上。地球周围的一切物体都受到重力，包括宇宙飞船，卫星。所谓的宇航员失重其实是重力用来维持圆周运动，不能把宇航员吸引回来。就像这个小游戏，细线对小物体有向中心的拉力，这个拉力并不能把小球拉会中心。



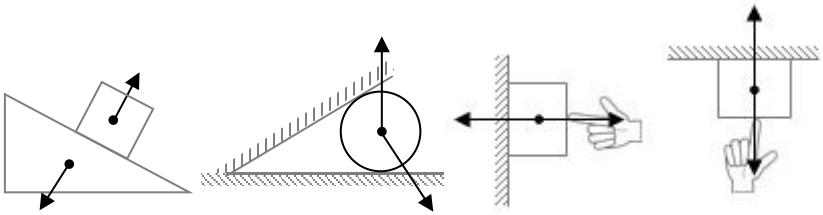
【练习 1】把一个月牙状的薄板悬挂起来，静止时如图所示．则薄板的重心可能是图中的（　　）



A．*A* 点　　B．*B* 点　　C．*C* 点　　D．*D* 点

弹力 N

- 发生形变的物体为了恢复形变对接触的物体产生的力
- 弹力的方向：**垂直于接触面**　　**压力、支持力、拉力都属于弹力**
- 弹力产生条件：① 产生形变② 直接接触　　电场力磁场力不属于弹力



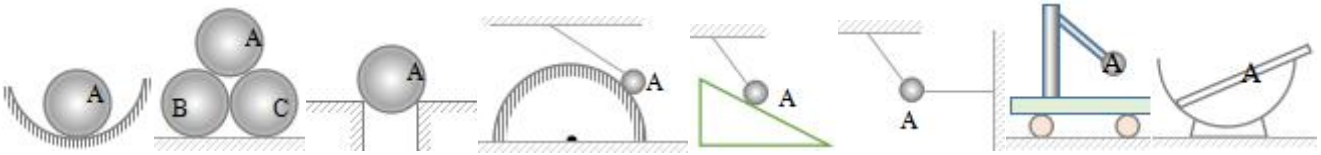
【练习 1】关于弹力，下面说法中正确的是（　　）

A.只要两物体相互接触就一定有弹力　　B.只要物体形状发生变化就一定有弹力

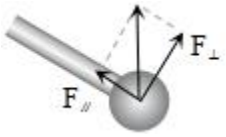
C.只要有弹力物体一定相互接触且形状改变　D.物体形状变化越大弹力也越大

绳子上拉力方向沿绳子收缩方向（符号 T）

【练习 1】画出下列各图所中 A 所受的所有弹力方向，并指出各弹力的施力物体（物体 *A* 均处于静止状态）



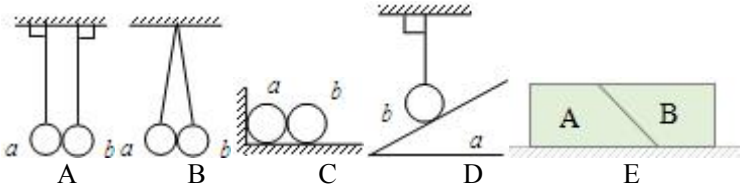
杆上的弹力可以沿杆方向，也不一定沿杆方向，要结合物体是否平衡



杆上的弹力实际有 2 个：垂直杆方向的弹力，沿杆方向的弹力，它们的合力还是弹力，可以沿任意方向

判断物体间有无弹力的方法：撤去其中一个物体，看另一物体能否保持原来的状态

【练习 1】在下图中，*a*、*b* 表面均光滑，天花板和地面均水平 *a*、*b* 间可能有弹力的是(　　)



A　　B　　C　　D　　E

【练习 2】下列四幅图均为静止的光滑小球所受弹力方向的示意图，其中正确的是（　　）

三力平衡，则其中两个力的合力与第三个力大小相等、方向相反

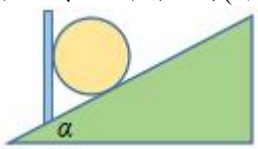
一般是作重力的相反力 G'（因为它保持不变）,构成平行四边形

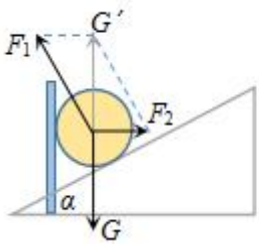
若两个分力的合力不变，有一个分力方向不变，可作出无数组平行四边形，能判断分力如何变化

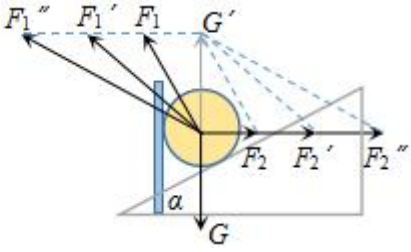
【例题 1】质量为 m 的圆球放在光滑斜面和光滑的竖直挡板之间，如图当斜面倾角α由零逐渐增大时(保持挡板竖直)，斜面和挡板对圆球的弹力大小的变化是（　　）

A．斜面的弹力由零逐渐变大　　B．斜面的弹力由 mg 逐渐变大

C．挡板的弹力由零逐渐变大　　D．挡板的弹力由 mg 逐渐变大





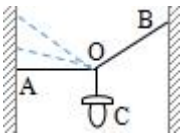


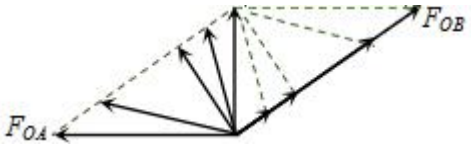
可知，夹角α 越大，F_1、F_2 就越大

【例题 2】如图所示，电灯悬挂于两墙壁之间，更换水平绳 OA 使连接点 A 向上移动，而保持 O 点的位置不变，则 A 点向上移动时（　）

A．绳 OA 的拉力逐渐减小　　B．绳 OA 的拉力先减小后增大

C．绳 OB 的拉力逐渐增大　　D．绳 OB 的拉力先增大后减小





F_{OA} 先减小后增大，F_{OB} 一直减小

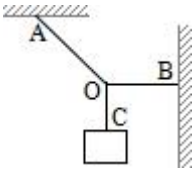
合力不变，两个分力成钝角时，同时增大同时减小；两个分力成锐角时，一个分力增大一个分力减小；两个分力成直角时，有一个分力有最小值。

三力平衡的解法不是正交分解，而是作重力的相反力，与其余两个分力构成平行四边形。在力学三角形中①根据三角形边长比较力的大小②根据三角形角度变化判断力的增减变化③（有直角时）能找出两个分力与重力的三角函数关系式

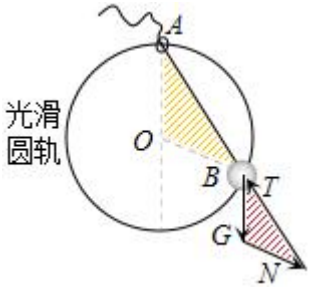
【练习 1】如图所示，三段不可伸长的细绳 OA、OB、OC，能承受的最大拉力相同，它们共同悬挂一重物，其中 OB 是水平的，A 端、B 端固定.若逐渐增加 C 端所挂物体的质量，则最先断的绳(　　).

A. 必定是 OA　　B. 必定是 OB

C. 必定是 OC　　D.可能是 OB，也可能是 OC



相似三角形（力学三角形与实物三角形相似，对应边成比例）



$$\frac{T}{G}=\frac{AB}{OA}$$

AB 变小时，拉力 T 也变小

$$\frac{N}{G}=\frac{OB}{OA}$$

弹力 N 不变

【练习 1】如图所示，不计重力的轻杆 OP 能以 O 为轴在竖直平面内自由转动，P 端悬挂一重物，另用一根轻绳通过定滑轮系在 P 端。当 OP 和竖直方向的夹角α缓慢逐渐增大时(0＜α＜π)，OP 杆的弹力 N 小变化是（　　）

牛顿第二定律 $F=ma$

物体的加速度与合外力成正比，与质量成反比。（定义和公式形式不同，分母有限制，乘积没限制）

$a=\dfrac{F}{m}$ (决定式) (a 由 F、m 决定，可以说 a 与 F 成正比，与 m 成反比)

$a=\dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ （定义式）（a 由牵引力决定，并不是△v 越大 a 越大，△t 越小 a 越大）

1. $\vec{F}=m\vec{a}$ ，a 的方向与 F 方向相同，同时产生同时消失

2. $F_{合}=ma_{合}$ ，$F_y=ma_y$ ，合外力产生合加速度，分力产生分加速度

3. 物体突然受力，立即产生加速度。力和加速度可以突变，速度和位移不可突变

（例如要在瞬间 1ms 使物体速度由 0 到 1m/s，则加速度为 1000m/s^2，是非常困难的）

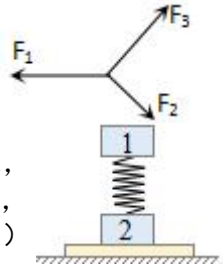
【练习 1】静止在光滑水平面上的物体，受到一个水平拉力的作用，当力刚开始作用的瞬间，下列说法正确的是 (　　)

A. 物体同时获得速度和加速度　　B.物体立即获得加速度，但速度仍为零

C.物体立即获得速度，但加速度仍为零　D.物体的速度和加速度都仍为零

【练习 2】放在光滑水平面上的物体受到三个平行于水平面的共点力作用而平衡，如图，已知 F_2 和 F_3 垂直。三个力中，若去掉 F_1 可产生 2.5m/s^2 的加速度。若去掉 F_2 可产生 1.5m/s^2 的加速度若去掉 F_3，则物体的加速度为（　　）

A. 1.5m/s^2　　B. 2m/s^2　　C. 2.5m/s^2　　D. 4m/s^2



【练习 3】轻弹簧上端与一质量为 m 的木块 1 相连，下端与另一质量为 M 的木块 2 相连，整个系统置于水平放置的光滑木板上，并处于静止状态。现将木板沿水平方向突然抽出，设抽出后的瞬间，木块 1、2 的加速度大小分别为 a_1、a_2。重力加速度大小为 g。则有（　　）

A．$a_1=0$，$a_2=g$　　B．$a_1=g$，$a_2=g$　　C．$a_1=0$，$a_2=\dfrac{M+m}{M}g$　　D．$a_1=g$，$a_2=\dfrac{M+m}{M}g$

$\vec{F}=m\vec{a}=m\dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$　　**F 与△v 方向相同**

自由落体、竖直上抛、平抛、斜抛合外力都是 mg，加速度都是 g 保持不变，都是匀变速运动，mg 向下，△v 方向都向下

【练习 1】下列说法正确的是 (　　)

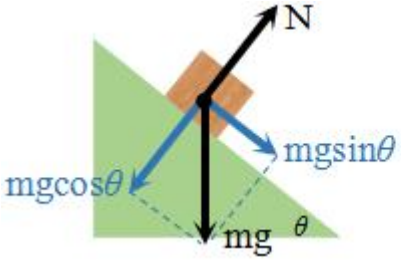
A.由 $a=\Delta v/\Delta t$ 可知，a 与Δv 成正比，a 与Δt 成反比　　B. 由 $a=F/m$ 可知，a 与 F 成正比，a 与 m 成反比

C. a、F、Δv 的方向总是一致的　　D. a、F、v 的方向总是一致的

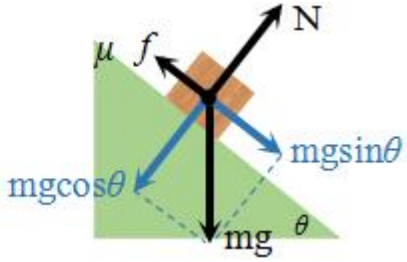
【练习 2】某人站在 6 楼阳台上，同时以不同的速率抛出两个小球，其中一球竖直上抛，另一球竖直下抛。在相同的时间Δt 内（两球均未落地），两球速度的变化（　　）

A．大小、方向均相同　B．大小相同、方向不同　C．大小、方向均不同　D．大小不同、方向相同

加速度的求解

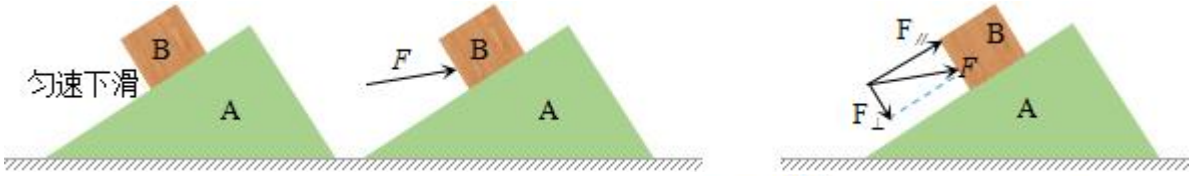


$a=\dfrac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta$

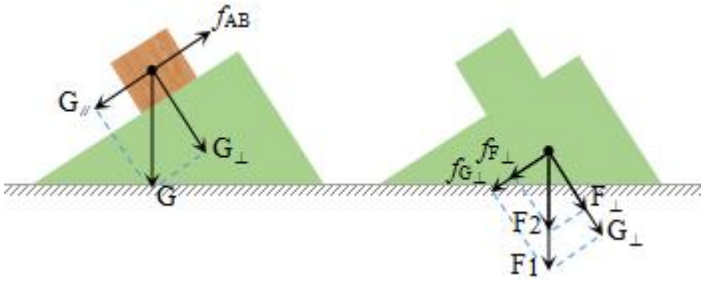


$a=\dfrac{mg\sin\theta-\mu N}{m}=\dfrac{mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta}{m}=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$

⑤特例：重力作用下匀速下滑（$\mu=\tan\theta$），无论施加什么方向的外力，无论加速上滑下滑，N 与 f 的合力永远竖直向上，地面无摩擦力



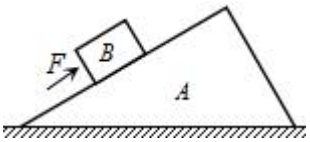
将 F 分解成 $F_{//}$和 $F_{\perp}$，$F_{\perp}$相当于增加 B 对 A 的压力，$F_{//}$不影响摩擦力大小。将 G 分解成 $G_{//}$和 $G_{\perp}$，则 $G_{\perp}$与自身产生的摩擦力合力竖直向下。无论 $F_{\perp}$如何变化，$F_{\perp}$与自身产生的摩擦力合力竖直向下。所以地面对 A 无摩擦力。



【练习 2】如图所示，一质量为 M 的直角劈 A 放在水平面上，在劈的斜面上放一质量为 m 的物体 B，用一沿斜面的力 F 作用于 B 上，使其沿斜面匀速下滑，在 B 下滑的过程中，地面对劈的摩擦力 f 及支持力 N 满足（　　）

A．$f=0$　$N=Mg+mg$　　B．f 向左　$N<Mg+mg$

C．f 向右　$N<Mg+mg$　　D．f 向左　$N=Mg+mg$



保持相对静止（或共同运动）具有共同的加速度

【练习 1】两个物体 A 和 B，质量分别为 m_1 和 m_2，互相接触放在光滑水平面上，如图所示，对物体 A 施以水平的推力 F，则物体 A 对物体 B 的作用力等于（　　）

A. $\dfrac{m_1}{m_1+m_2}F$　　B. $\dfrac{m_2}{m_1+m_2}F$　　C. F　　D. $\dfrac{m_2}{m_1}F$

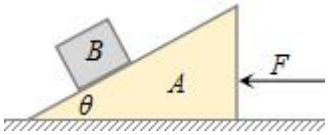
【练习 3】如图所示，质量为 M 的斜面 A 置于粗糙水平地面上，动摩擦因数为μ，物体 B 与斜面间无摩擦。在水平向左的推力 F 作用下，A 与 B 一起做匀加速直线运动，两者无相对滑动。已知斜面的倾角为θ，物体 B 的质量为 m，则它们的加速度 a 及推力 F 的大小为（　　）

A. $a=g\sin\theta$，　$F=(M+m)g(\mu+\sin\theta)$

B. $a=g\cos\theta$，　$F=(M+m)g\cos\theta$

C. $a=g\tan\theta$，　$F=(M+m)g(\mu+\tan\theta)$

D. $a=g\cot\theta$，　$F=\mu(M+m)g$



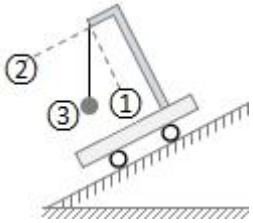
【练习 6】一个单摆悬挂在小车上，随小车沿着斜面滑下，图中的虚线①与斜面垂直，虚线②沿斜面方向，③竖直向下，则可判断出（　　）

A．如果斜面光滑，摆线与②重合

B．如果斜面光滑，摆线与①重合

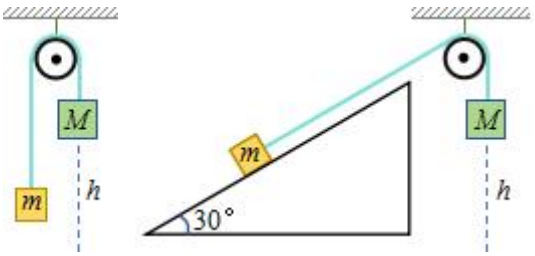
C．如果斜面粗糙但摩擦力小于重力沿斜面方向分力，摆线位于②与③之间

D．如果斜面粗糙但摩擦力小于重力沿斜面方向分力，摆线位于①与③之间

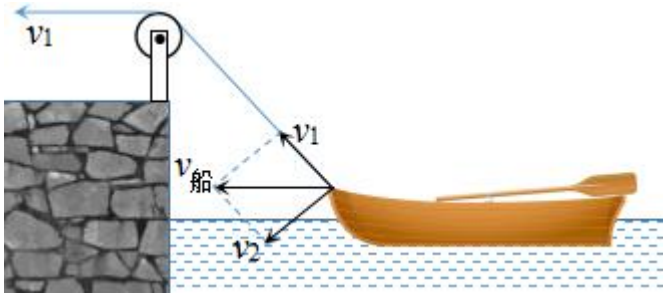


整体法：绕过滑轮的绳子的张力都能口算出来吗？

【练习 1】如图所示，M 与 m 通过轻绳相连，轻绳绕过滑轮。$M>m$，由静止释放 M 和 m，不计一切摩擦，求 M 下落 h 高度时，M 的速度大小。



合力为 0 时速度最大



速度的合成与分解

平行四边形定则、三角形定则

物体实际运动方向就是合运动的方向

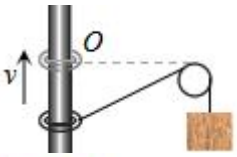
绳子、杆的速度分解分别按沿绳子（或杆）方向、垂直绳子（或杆）方向分解

同一根柔绳子上沿绳子方向速度大小相等、同一根杆上沿杆方向速度相同

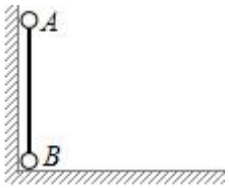
（若提到速度大小相等可能是垂直绳杆方向没有速度）

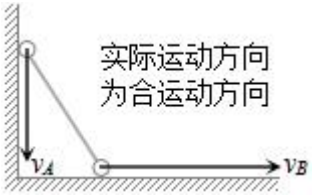
绳与杆垂直时，绳子的速度为 0

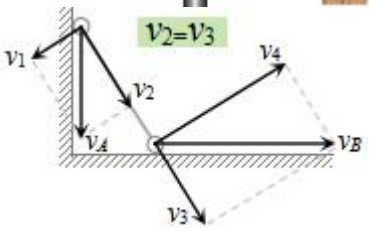
滑环向上运动，当滑环在 O 点下方时，物体下坠；当滑环向在 O 点上方时，物体上升。所以当滑环在 O 点时，绳子速度为 0。



竖直靠在墙上的细杆两端连接 A、B 两个小球，受到扰动而滑倒，找出 A、B 两球速度关系

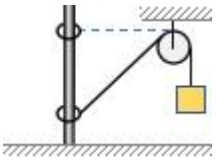






【练习 1】如图所示，套在竖直细杆上的环 A 由跨过定滑轮的不可伸长的轻绳与重物 B 相连．由于 B 的质量较大，故在释放 B 后，A 将沿杆上升，当 A 环上升至定滑轮的连线处于水平位置时，其上升速度 $v_1\neq0$，若这时 B 的速度为 v_2，则（　　）

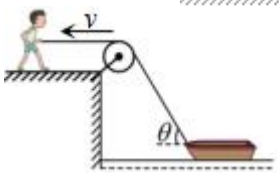
A．$v_2=v_1$　　B．$v_2>v_1$　　C．$v_2\neq0$　　D．$v_2=0$



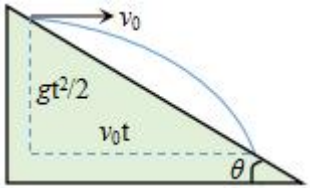
【练习 2】如图所示，人在岸上以恒定的速度 v 拉船，当轻绳与水面的夹角为θ时，（　　）

A .船的速度为 $v\cos\theta$　　B .船的速度为 $v\sin\theta$

C .船将减速靠岸　　D .船将加速靠岸

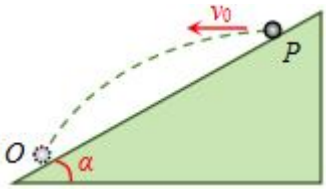


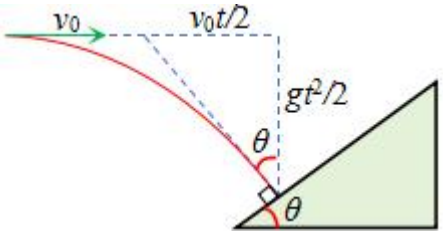
斜面平抛找位移三角函数



$$\tan\theta=\frac{h}{s}=\frac{gt^2}{2v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$$

【练习 1】在倾角为α=37°的斜面上 P 点，以水平速度 v_0 向斜面下方抛出一小球，落在 O 点.不计空气阻力，试求小球落在 O 点的速度。





垂直射到斜面上 $\tan\theta=\dfrac{s/2}{h}=\dfrac{v_0t/2}{gt^2/2}=\dfrac{v_0}{gt}$

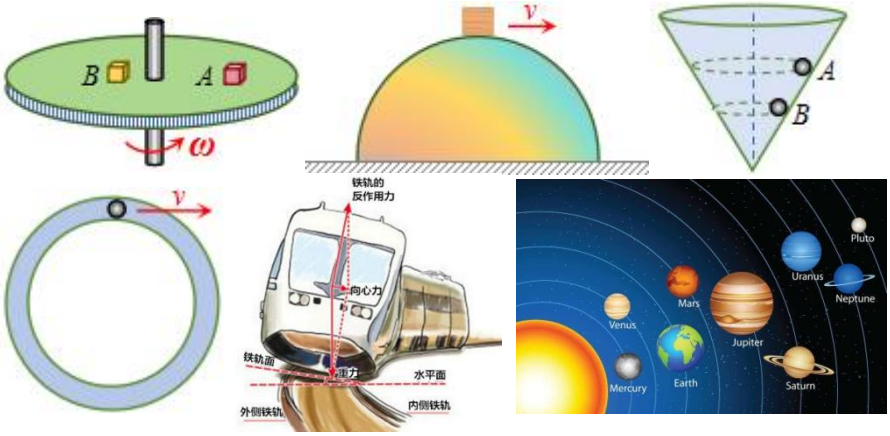
【练习 1】一物体做平抛运动经 3s 时间垂直射到倾角为 30°的斜面上，求物体的初速度。

向心力只改变圆周运动速度的方向，不改变速度的大小

向心力来源：由重力、弹力、摩擦力等的合力提供，没有专门一种力叫向心力

力 ┬ 按性质分类：重力（地球引力）、弹力（垂直接触面挤压力）、摩擦力（沿接触面的力）、电场力……
　 └ 按效果分类：动力、阻力、向心力、回复力……

画出下列前 5 张图中做圆周运动物体受到向心力的方向



匀速圆周运动既不是匀速运动，也不是匀变速运动（v、a 方向一直在变）

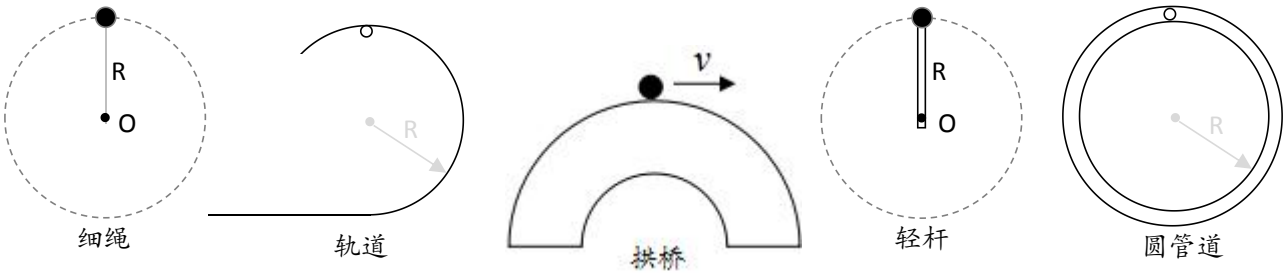
【练习 1】下列各种运动中，属于匀变速运动的有（　）

A．匀速直线运动　B．匀速圆周运动　C．平抛运动　D．竖直上抛运动

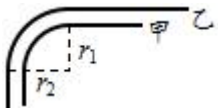
变速圆周运动过最高点的临界条件：绳、轨道 $v=\sqrt{gR}$

重力恰好提供向心力 $mg=m\dfrac{v^2}{r}$

轻杆、圆管道 $v=0$

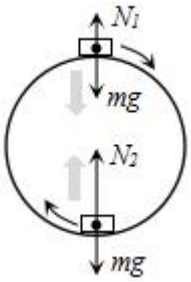


【练习 1】甲、乙两辆赛车分别行驶在如图所示的水平赛道上。它们经过 1/4 圆弧形弯道时的转弯半径分别为 r_1、r_2。若两赛车手连同赛车的质量相同，两赛车与路面的最大静摩擦力也相同，则甲、乙两车转弯的最大安全速率之比为_____；甲、乙两车手以最大安全速率驶过 1/4 圆弧赛道所需时间之比为_____。



做圆周运动的物体需要向心力（曲线运动都可以理解为圆周运动，可能半径在不断改变）

向心力指向圆心



$mg-N_1=m\dfrac{v_1^2}{r}$ **过拱形桥失重**

$N_2-mg=m\dfrac{v_2^2}{r}$ **过凹形桥超重**

圆轨道以半径算，椭圆轨道以半长轴算，若等长则周期相等

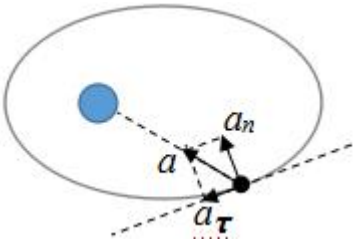
轨道交点处的①加速度相等（ $a=\frac{F_{引}}{m}=\frac{GM}{r^2}$ **）**

②向心加速度不等($a=\frac{v^2}{r}$ **，** v **不等)**

根据牛二定律：有力就有加速度，且同向，所以指向球心的是加速度，是总速度

椭圆运动，向心加速度≠加速度

圆周运动，向心加速度 = 加速度



a：加速度

a_n：法向加速度（向心加速度）

a_τ：切向加速度

【练习 1】关于行星的运动说法正确的是（　　）

A．行星半长轴越长，自转周期越大　　B．行星半长轴越长，公转周期越大

C．水星半长轴最短，公转周期最大　　D．冥王星半长轴最长，公转周期最大

天体质量和密度

（常用 R 表示天体半径，r 表示卫星与天体中心距离）

(球体体积 $V=\frac{4}{3}\pi R^3$ **，密度** $\rho=\frac{M}{V}$**)**

1.在中心天体表面或附近运动，万有引力提供重力， 即 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$

则 $M=\frac{gR^2}{G}$（g 表示天体表面的重力加速度）. $\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3g}{4\pi GR}$

2.绕天体做匀速圆周运动的卫星，万有引力提供向心力

$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2 r}{T^2}$，$M=\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$，$\rho=\frac{M}{V}=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3\pi r^3}{GT^2R^3}$

【练习 1】一卫星绕某一行星表面附近做匀速圆周运动，其线速度大小为 v.假设宇航员在该行星表面上用弹簧测力计测量一质量为 m 的物体重力，物体静止时，弹簧测力计的示数为 N.已知引力常量为 G，则这颗行星的质量为(　　)

A.$\frac{mv^2}{GN}$　　B.$\frac{mv^4}{GN}$　　C.$\frac{Nv^2}{Gm}$　　D.$\frac{Nv^4}{GN}$

轨道越高（不是离地高，因为有椭圆轨道）**，卫星的机械能越大**

因为卫星只有加速，做离心运动（引力小于向心力），才能进入高轨道

同一轨道上后面卫星追赶前面卫星，只能先减速进入低轨道再加速进入高轨道

进入低轨道速度变快，周期变短

【练习 1】某人造卫星运动的轨道可近似看作是以地心为中心的圆.由于阻力作用，人造卫星到地心的距离从 r_1 慢慢变到 r_2，　用 E_{k1}、E_{k2} 分别表示卫星在这两个轨道上的机械能，则　（　）

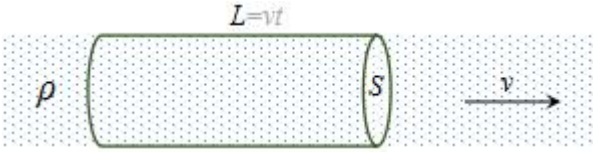
A．$r_1<r_2$，　$E_{k1}<E_{k2}$　B．$r_1>r_2$，　$E_{k1}<E_{k2}$　C．$r_1<r_2$，　$E_{k1}>E_{k2}$　D．$r_1>r_2$，　$E_{k1}>E_{k2}$

流体要建立模型

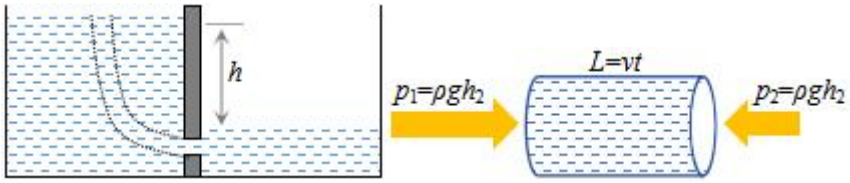
在流体内部取一长度为 L 的柱体　$\boldsymbol{m=\rho SL=\rho Svt}$

柱体通过横截面 S 所需时间为 $\boldsymbol{t}$。如吹风机的机械功率

$$P_{机}=\frac{1}{2}mv^2/t=\frac{mv^2}{2t}=\frac{\rho Sv^3t}{2t}=\frac{1}{2}\rho Sv^3$$



水流与高度差的关系



动能定理

$\Delta FL=\rho ghSL=\frac{1}{2}\rho SLv^2$

$v=\sqrt{2gh}$ 相当于从液面自由落体

【练习 1】 如图风力发电机是将风的动能转化为电能的装置。假设转化效率不变，并保持风正面吹向叶片，该发电机的发电功率与风速 v 的关系正确的是（　　）

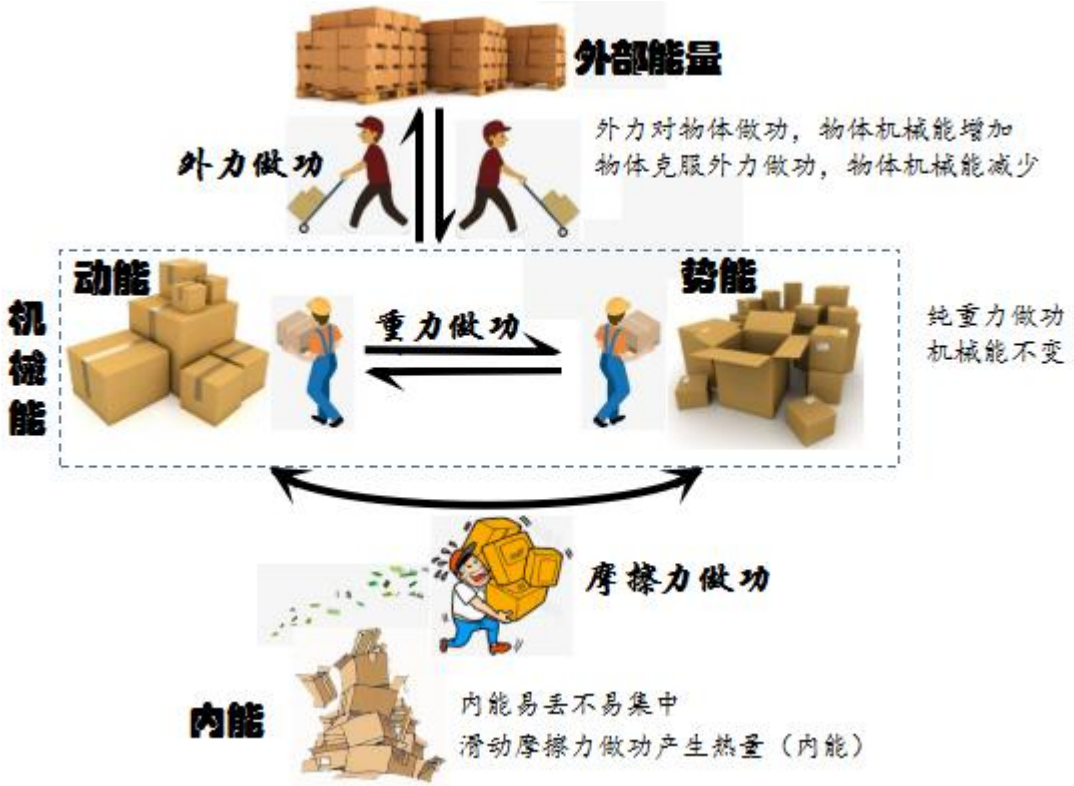
A. 与 v 成正比　　B. 与 v^2 成正比

C. 与 v^3 成正比　　D. 与 v^4 成正比

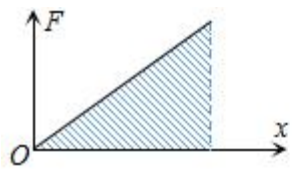
功是能量的搬运工，能量转化是通过_做功_来实现的

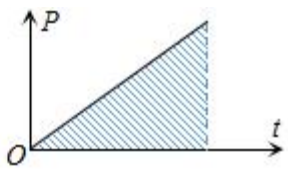
功既不产生能量，也不消耗能量，只能转移能量

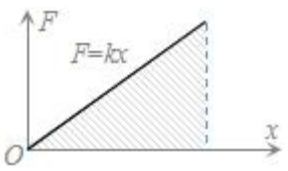
功是能量转化的量度，做了多少功，就有多少能量转移



F—x、P—t 有线性关系时，用图像面积来求功、能







弹性势能 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$ 弹簧由于拉伸或压缩具有的能量（k 为劲度系数，x 为形变量）

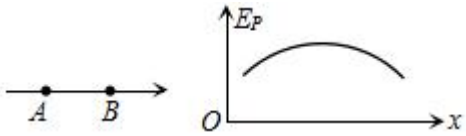
φ—x 图像的斜率代表场强大小

E_p—x 图像的斜率绝对值大，场强就大

在一般电场中，取一微小位移微元$\triangle x$，在$\triangle x$ 内，场强可以看做匀强电场，所以

$\Delta E_p=-qU=-q\overline{E}\Delta x$，$\dfrac{\Delta E_p}{\Delta x}=-q\overline{E}$，$\dfrac{\Delta E_p}{q\Delta x}=\dfrac{\Delta\varphi}{\Delta x}=-\overline{E}$ 当$\triangle x$ 足够小，$\overline{E}$ 就可以代表$\triangle x$ 内的电场

【练习 1】A、B 为电场中一直线上的两个点，带正电的点电荷只受电场力的作用，从 A 点以某一初速度做直线运动到 B 点，其电势能 E_p 随位移 x 的变化关系如图所示。则从 A 到 B 过程中，点电荷的速度和所受的电场力（　　）



A. 先增大后减小，先增大后减小　　B. 先增大后减小，先减小后增大

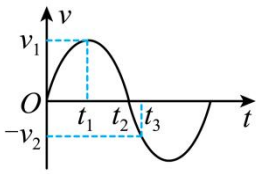
C. 先减小后增大，先增大后减小　　D. 先减小后增大，先减小后增大

求电势φ_B：已知 A 点为 0 势能点

匀强电场$U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B=0-\varphi_B=Ed$

非匀强电场$W_{AB}=qU_{AB}=q(0-\varphi_B)=\dfrac{1}{2}mv_2^2-\dfrac{1}{2}mv_1^2$

【练习 1】电场中有 O、A、B、C 几个固定点，一电量为$-q$、质量为 m 的带电粒子仅受电场力作用，从 O 点由静止开始做直线运动，其 v-t 图像如图。粒子在 t_1 时刻运动到 A 点，其速率为 v_1；t_2 时刻运动到 B 点，其速率为 0；t_3 时刻运动到 C 点，其速率为 v_2。由图可推断，A、B、C 三点中，_____点的电势最高；若 A 点电势为 0，则 C 点的电势φ_C=_____。



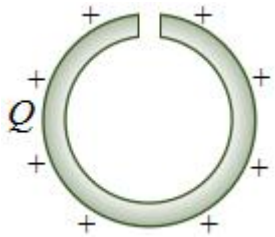
静电屏蔽

在封闭的金属壳里，即使壳外有电场，由于壳内场强保持为零，外电场对壳内的仪器也不会产生影响。法拉第笼是一个等位体，内部电势差为零，电场为零，电荷分布在接近放电杆的外表面上。

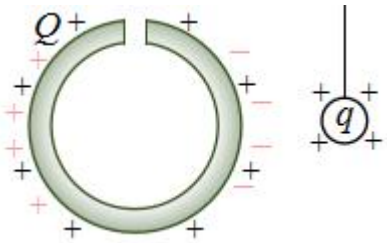
空腔导体是等势体，内外表面、金属部分电势永远相等

空腔导体金属部分场强永远为 0（静电平衡）

空腔导体无论是否接地，都能屏蔽外部电荷；空腔导体接地时，能屏蔽内部电荷

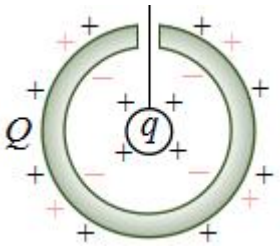


带电 Q 的空腔导体，电荷只分布在外表面，腔内场强为 0



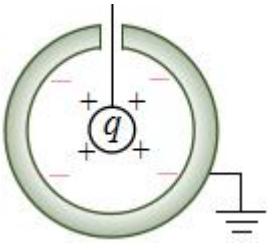
带电 Q 的空腔，腔内场强为 0。外部放入 q 后近端感应出 $-q$，远端感应出 q

腔内场强为 0



带电 Q 的空腔导体，内部放入 q 后，空腔内表面感应出 $-q$，外表面为 $Q+q$

腔内场强不为 0 ，腔外场强不为 0



带电 Q 的空腔导体接地后，外表面电荷被大地中和，腔内场强不为 0，腔外没有场强，对外部电荷没有影响

腔外电荷在近端感应出异种电荷，在远端感应出同种电荷

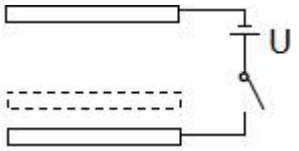
不能在腔内产生场强，屏蔽外部

腔内电荷在内表面感应出异种电荷，在外表面感应出同种电荷，在外部产生场强，接地后不产生场强，屏蔽内部

电容器连接电源，电压 U 不变。断开电源，电量 Q 不变

断开电源，改变极板间距离 d

$$E=\frac{U'}{d}=\frac{\frac{Q}{C'}}{d}=\frac{Q}{C'd}=\frac{4\pi kQ}{\varepsilon S}$$ 保持不变



平行板电容器断开电源后只改变极板间距离，场强 E 不变

【练习 1】一平行板电容器的两个极板分别与电源的正、负极相连，如果使两板间距离逐渐增大，则（　　）

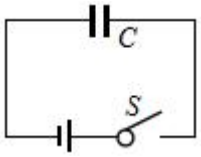
A.电容器电容将增大　　B.两板间场强将增大

C.两板间电势差将增大　　D.每个极板的电量将减小

【练习 2】如图所示，先接通 S 使电容器充电，然后断开 S。当增大两极板间距离时，电容器所带电荷量 Q 电容 C、两板间电势差 U，电容器两极板间场强 E 的变化情况是（　）

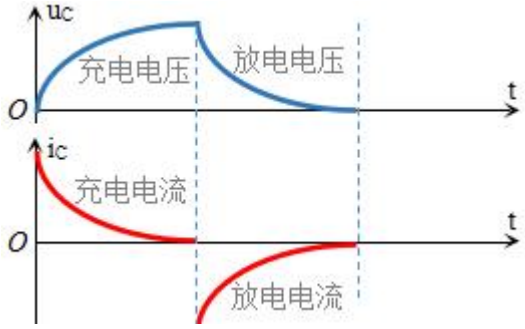
A．Q 变小，C 不变，U 不变，E 变小　　B．Q 变小，C 变小，U 不变，E 不变

C．Q 不变，C 变小，U 变大，E 不变　　D．Q 不变，C 变小，U 变小，E 变小



电容器充放电（充电放电电流都是逐渐减小）

电能电场能相互转化



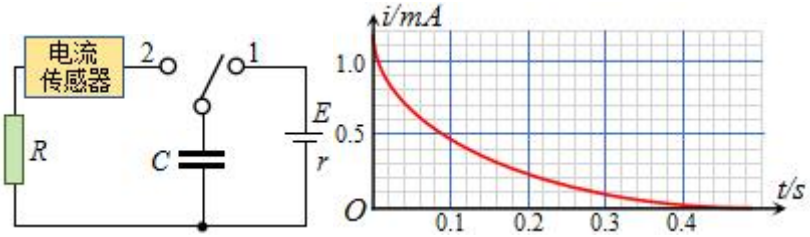
电容器的电荷量是一个极板上电荷量的绝对值

坐标纸要数格子，大于半格算一格，小于半格舍去

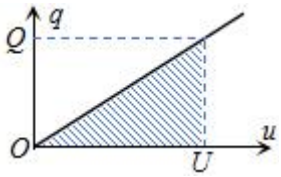
电容器充放电的电流 i 与电势差△U=U_1-U_2 和阻值 R 有关 $i=\frac{U_1-U_2}{R}$，$i_{max}=\frac{E-0}{R}$

【练习 1】电流传感器可以像电流表一样测量电流，它的优点可以与计算机相连，能在很短的时间内画出电流随时间的变化图像。如右上图连接电路，电源电动势 $E=9V$，先使开关与 1 相连，电源向电容器充电，然后把开关掷向 2，电容器通过电阻 R 放电，电脑屏上显示出电流随时间变化的 I — t 图线如右下图。

（1）计算电阻 R 的阻值；　　（2）估算电容器的电容。



电容器储存的电场能=外界克服电场力做的功



功、能常用线性函数围成的面积求

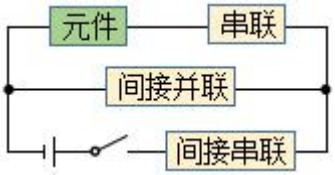
不论电容器充电的快与慢，$q=Cu$，成线性关系，$S=\frac{1}{2}QU=\frac{1}{2}CU^2$

并同串反（电源有内阻才成立）

“并同”：指某一电阻增大(减小)时，与它并联或间接并联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将增大(减小).

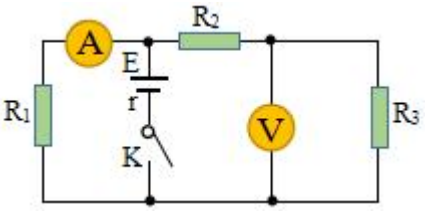
“串反”：指某一电阻增大(减小)时，与它串联或间接串联的电阻中的电流、两端电压、电功率都将减小(增大).

Ⓥ、Ⓐ也看作电学元件，并联就与变阻器变化相同，串联就与变阻器变化相反。



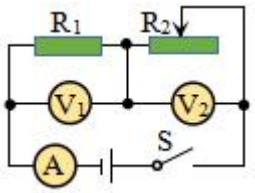
并同串反可以判断电路故障（阻值增大→断路，阻值减小→短路）

【练习 1】如图所示，闭合电键后，电压表示数为 $2V$，电流表示数是 $0.8\sim1.3A$ 之间的某个值。一段时间后，某电阻发生了故障，两表的示数变为 $4.5V$ 和 $1.5A$。已知电源电动势 $E=6V$，$R_3=1\Omega$，问：电路中哪一个电阻发生了故障？属于何种故障？



定阻 $\frac{U}{I}$ 是Ⓥ所测电阻的阻值，滑阻 $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 则是滑阻以外电阻的阻值

$$\frac{\Delta U_2}{\Delta I}=\frac{U_2'-U_2}{I'-I}=\frac{[E-I'(R_1+r)]-[E-I(R_1+r)]}{I'-I}=-(R_1+r)$$



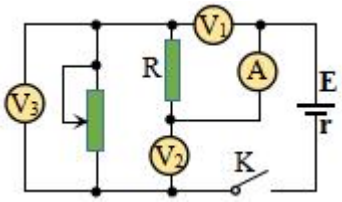
定阻 $\frac{\Delta U_1}{\Delta I}=R_1$ 保持不变

$$\frac{U_1}{I}=\frac{U_1'}{I'}=\frac{U_1''}{I''}=\frac{U_1'''}{I'''}=R_1\ ,\ \frac{U_1'-U_1}{I'-I}=\frac{U_1''-U_1'}{I''-I'}=\frac{U_1'''-U_1''}{I'''-I''}=R_1$$

【练习 1】如图，电路中定值电阻阻值 R 大于电源内阻阻值 r．将滑动变阻器滑片向下滑动，理想电压表 V_1、V_2、V_3 示数变化量的绝对值分别为$\triangle V_1$、$\triangle V_2$、$\triangle V_3$，理想电流表示数变化量的绝对值为$\triangle I$，则（　　）

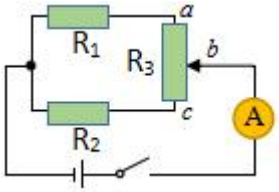
A. A 的示数增大　　B. V_2 的示数增大

C. $\triangle V_3$ 与$\triangle I$ 的比值大于 r　　D.$\triangle V_1$ 大于$\triangle V_2$



滑动变阻器两段并联

滑片从一端移动到另一端，两并联支路阻值相等时阻值最大，电流最小

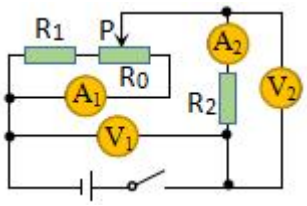


当 $R_1+R_{ab}=R_2+R_{bc}$ 时，总阻值最大，电流最小

因为当 m+n 的和不变时，$R_{总}=\frac{mn}{m+n}$ 仅当 $m=n$ 时有最大值

当滑片从一端移动到另一端时，电流先变小后变大

【练习 1】在如图所示的电路中，已知电阻 R_1 的阻值小于滑动变阻器 R_0 的最大阻值。闭合电键 S，在滑动变阻器的滑片 P 由最左端向最右端滑动的过程中，电流表 A_2 的示数_____（填变化趋势），电压表 V_1 的示数变化量ΔU_1 与电流表 A_2 的示数变化量ΔI_2 比值为_____。



电池容量mAh→It=q是电荷量单位

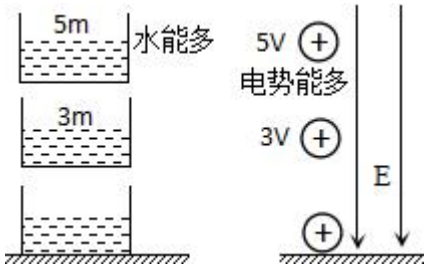
1mAh=10^{-3}A×3600s=3.6C　　**kWh→Pt=W是电能/功单位**

$1kWh=10^3W\times3600s=3.6\times10^6$J

$1ms=10^{-3}s$，毫是千分之一，不管它是十进制还是六十进制。

电荷量与电能没有直接关系，电荷量是方便得出充电时间或放电时间。

$5000mAh$=2A×2.5h，若充/放电是2A，则需要2.5h。



电池储存的电能$W=qU=5V\times5000mAh=25Wh=9\times10^4$J

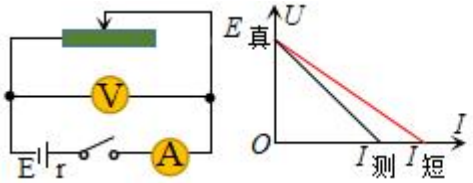
【练习 1】某手机电池板上标有“3.8V，3900mAh（14.8Wh）”字样，则（　　）

A．该手机的额定功率为 14.8W　　B．该手机的工作电流为 3900mA

C．经过电池每 1C 的电量，静电力做 3.8J 的功　　D．该电池最多储存的电能约为 5.33×10^4J

测电源电动势和内阻误差分析

（相对电源来说）内接法短路电流偏小，外接法短路电流准确

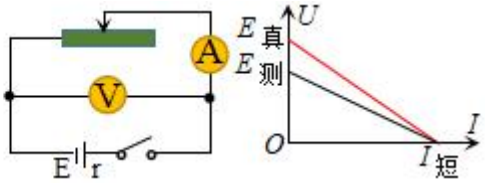


$E_{测}=U_{测}+I_r(r+R_A)=E_{真}$

$r_{测}=\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\dfrac{E_{真}}{I_{测}}>r_{真}$

$U_{测}=E_{真}-I_{真}r=E_{真}-I_{测}(r+R_A)$

截距$E_{真}$，斜率　$r+r_A$



$E_{测}=U_{测}+(I_r-I_V)r<E_{真}$

$r_{测}=\dfrac{\Delta U}{\Delta I}=\dfrac{U_{测}}{I_{短}}<r_{真}$

$U_{测}=E_{真}-I_{真}r=E_{真}-(I_{测}+\dfrac{U_{测}}{R_V})r$

$U_{测}=\dfrac{R_V}{R_V+r}E_{真}-\dfrac{R_Vr}{R_V+r}I_{测}$

截距$\dfrac{R_V}{R_V+r}E_{真}$，斜率$\dfrac{R_V}{R_V+r}r$

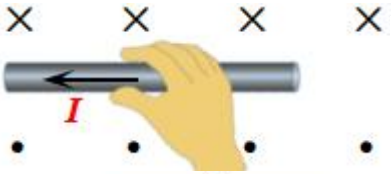
（相对电源来说）内接法内阻偏大，外接法内阻偏小

根据$E=U+Ir$,内接法 E 准确，外接法电流偏小 E 偏小

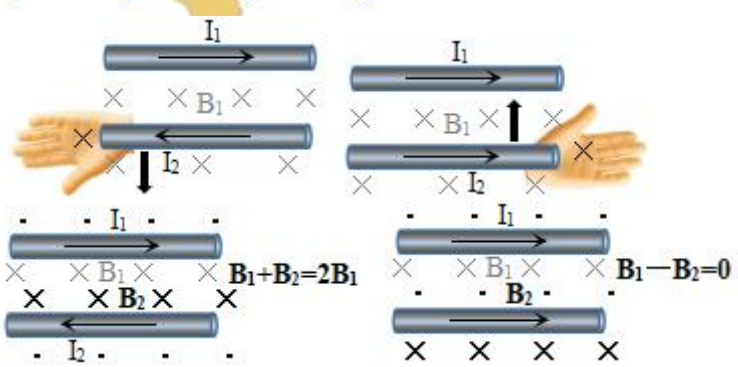
测干电池的电动势和内阻宜选用外接法（相对电源）

	内接法	外接法
绝对误差	$\Delta E=0$　　$\Delta r=R_A$	$\Delta E=I_Vr=\dfrac{U}{R_V}r$　　$\Delta r=\dfrac{r}{R_V+r}r$
相对误差	$\dfrac{\Delta r}{r}=\dfrac{R_A}{r}=\dfrac{0.2}{2}=10\%$	$\dfrac{\Delta E}{E}=\dfrac{r}{R_V+r}=\dfrac{2}{2002}=1‰$ $\dfrac{\Delta r}{r}=\dfrac{r}{R_V+r}=\dfrac{2}{2002}=1‰$

同向电流相互吸引，异向电流相互排斥（选定一根导线，两侧画 × ·）

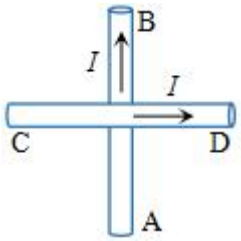


通电导线的磁场：
右手半握导线，扣在导线所在的纸面上，大拇指指向电流方向
四指指尖犹如箭头扎向纸面→画××××

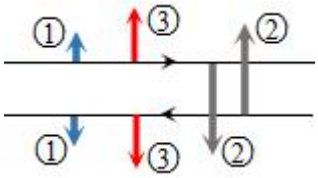


【练习 1】两条长直导线 *AB* 和 *CD* 相互垂直彼此相隔一很小距离，通以图所示方向的电流，其中 *AB* 固定，*CD* 可以其中心为轴自由转动或平动，则 *CD* 的运动情况是（　　）

A．顺时针方向转动，同时靠近导线 *AB*
B．顺时针方向转动，同时离开导线 *AB*
C．逆时针方向转动，同时靠近导线 *AB*
D．逆时针方向转动，同时离开导线 *AB*



两根反向、电流相等的通电导线，施加一匀强磁场后，受力大小相等

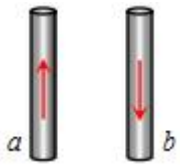


两根相同电流的异向导线，受力相等，方向相反
不管外部匀强磁场叠加多少次，每次受力都相等，方向都相反

如果 *a* 导线受力 *F*，*b* 导线一定受力-*F*

【练习 1】如图所示，两根平行放置的长直导线 *a* 和 *b* 载有大小相同、方向相反的电流，*a* 受到的磁场力大小为 F_1，当加入一与导线所在平面垂直的匀强磁场后，*a* 受到的磁场力大小变为 F_2，则此时 *b* 受到的磁场力大小变为(　)

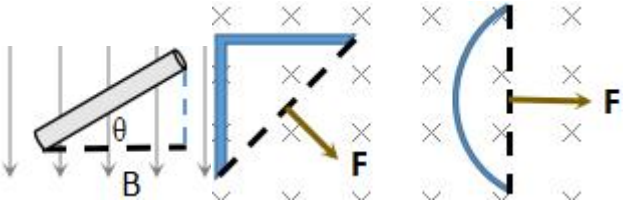
A．F_2　　B．F_1-F_2　　C．F_1+F_2　　D．2F_1-F_2



安培力 $F = BIL\cos\theta$

（*B*、*I* 不垂直时，对 *B* 分解，取与 *I* 垂直的分量 $B_\perp$）

$F = BIL$ **中的 L 是等效长度**

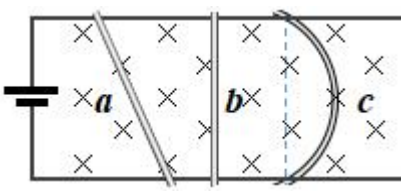


任意形状的一段导线（单匝），安培力和首尾位置有关，与形状无关

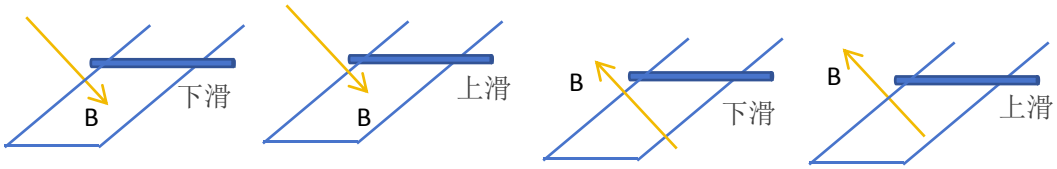
导线的等效长度可以理解为导线在磁感线下的投影长度

【练习 1】如图所示，水平导轨接有电源，导轨上固定有三根导体棒 *a*、*b*、*c*，其中 *b* 最短，*c* 为圆弧，将装置置于向下的匀强磁场中，在接通电源后，三导体棒中有等大的电流通过，则三棒受到磁场力的大小关系为（　　）

A.F_a＞F_b＞F_c　　B.F_a＝F_b＝F_c　　C.F_a＜F_b＜F_c　　D.F_a＞F_b＝F_c



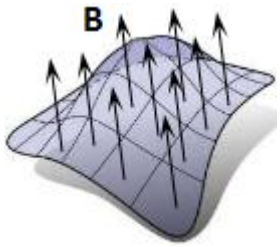
如果闭合回路只有一根导体棒切割磁感线，导体棒受到的安培力总是与导体棒运动方向相反。

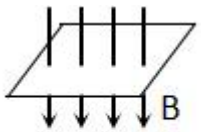


磁通量 $\Phi = BS$　　Φ（斐）单位：韦伯 **Wb**

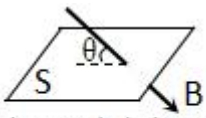
穿过某一面积磁感线条数。磁通量是标量，但是分正负，
正的磁通量表示磁感线从曲面的正面穿过，
负的磁通量表示磁感线从曲面的反面穿过。

注：这里的面积 S 是矢量，所以 $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$ 是标量，因为矢量的性质，所以 $\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S}$ 计算的是 S 的投影面积。





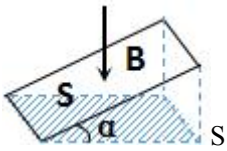
B、S 垂直时穿过磁感线条数最多，Φ最大

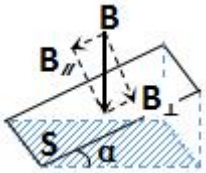


当 B、S 有夹角 θ 时，$\Phi = BS\sin\theta$

① 当 B、S 有夹角 θ 时，如上图，$\Phi = BS\sin\theta$（因为 90°时 Φ 有最大值，所以是 $\sin\theta$）

② 利用 S 在 $\perp B$ 方向上的投影 S'，$\Phi = BS' = BS\cos\alpha$（$\cos\alpha=\sin\theta$）





③ 将 B 分解成 $B_{//}$ 和 $B_{\perp}$，只有 $B_{\perp}$ 穿过 S，$\Phi = B_{\perp}S = BS\cos\alpha$（$\cos\alpha=\sin\theta$）

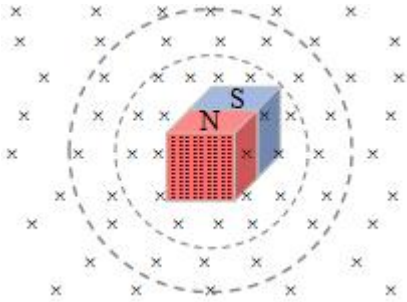
磁通量与线圈匝数无关，磁通量不要乘以 N

没规定正方向时，磁通量变化量保留绝对值

磁通量是向里和向外磁感线条数的代数和

磁通量正负相互抵消，穿入和穿出相互抵消

一个磁体（或通电圆环/线圈），其外部圆平面越大，磁通量越小。



磁感线是闭合曲线，磁体内部外部磁感线条数一样多。如左图，以磁体为中心的一个圆平面内，向外的磁感线多，向内的磁感线少，抵消的少；圆平面越大，向内的磁感线越多，抵消的就越多，磁通量就越小

【练习 1】关于磁通量，下列说法中正确的是（　　）

A．穿过某一面积的磁通量为零，该处磁感应强度为零

B．线圈在磁场中磁感应强度大的地方，磁通量一定大

C．在磁场中所取平面的面积增大，磁通量可能减小

D．在磁场中所取平面的面积增大，磁通量总是增大的

导体切割磁感线感应电动势 $E = BLv$

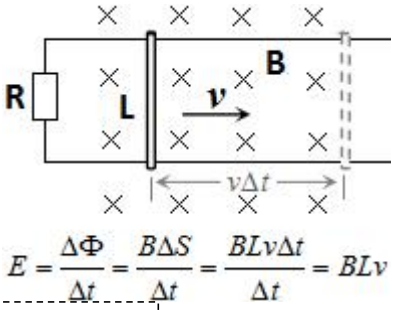
平均感应电动势 $E = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{B\Delta S}{\Delta t}$　　**瞬时感应电动势** $E = BLv$

感应电流 $I = \dfrac{E}{R} = \dfrac{BLv}{R}$

导线受到的安培力 $F = BIL = \dfrac{B^2L^2v}{R}$

电阻消耗的功率 $P_{热} = P_{电} = I^2R = \dfrac{B^2L^2v^2}{R}$

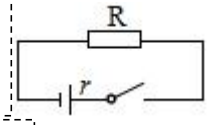
若线框有电阻 r，这里的 R 全部换成总电阻 R+r



$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{BLv\Delta t}{\Delta t} = BLv$$

R 与 r 组成的回路: $P_{总} = I^2(R+r)$ ， $P_R = I^2R$ ， $P_r = I^2r$

$P_{总} = \dfrac{R+r}{R}P_R = \dfrac{R+r}{r}P_r$ ， $P_R = \dfrac{R}{R+r}P_{总} = \dfrac{R}{r}P_r$



安培力做的功全部转化为焦耳热 $W_{安} = -Q$

动能定理: $W_{其它力} + W_{安} = \dfrac{1}{2}mv_2^2 - \dfrac{1}{2}mv_1^2$　　**（其它力指安培力以外的力）**

$$W_{其它力} - Q = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

安培力做的功全部转化为焦耳热 $W_{安} = -Q$

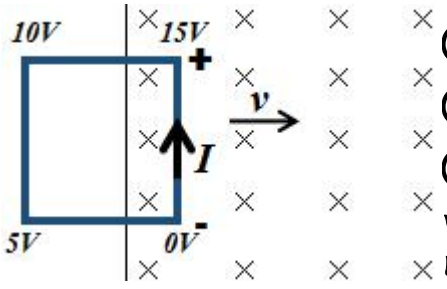
$$P_{热} = I^2R = \left(\frac{BLv}{R}\right)^2 R = \frac{B^2L^2v^2}{R} \qquad Q = P_{热}t = \frac{B^2L^2v^2t}{R}$$

$$P_{安} = F_{安}v = -\frac{B^2L^2v}{R}v = -\frac{B^2L^2v^2}{R} \qquad W_{安} = P_{安}t = -\frac{B^2L^2v^2t}{R}$$

这里的 P、Q 是全电路的电功率、热量，若电路中有 R 和 r，而 $P = I^2R$、$Q = I^2Rt$ 都与 R 成正比， $P_r = \dfrac{r}{R+r}P$,通过比例可以分别求出 R 和 r 的电功率、热量

导体棒切割磁感线相当于电源（电源内部电流从负极流向正极，可以判断正负极）

切割边电势差不是电动势 E，而是路端电压



①切割部分相当于电源

②电源内部电流从负极流向正极，所以上端是正极

③若正方形线框四条边电阻相等，则四条边各自两端电势差相等，所以切割边电势差为 3*E*/4（路端电压），内电压为 *E*/4

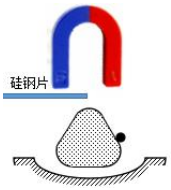
对于闭合线圈，要找到电源的位置，判断电路连接方式

磁场与重力场（处于场中的物体具有势能）

磁铁吸引铁钉，铁钉获得动能，磁铁的能量减少吗？
如同苹果落地，只受重力作用时，重力势能与动能相互转化，机械能守恒。同理，地球机械能也守恒。所以，磁铁吸引铁钉的过程，磁能没有减少。

磁能不减少，能否制成永动机？

如果忽略一切阻力，匀速转动的轮盘将永远做匀速圆周运动，这是能量守恒。但是轮盘不对外做功，对资本家没有意义，不叫作永动机。同理，磁铁是不能制成永动机的。

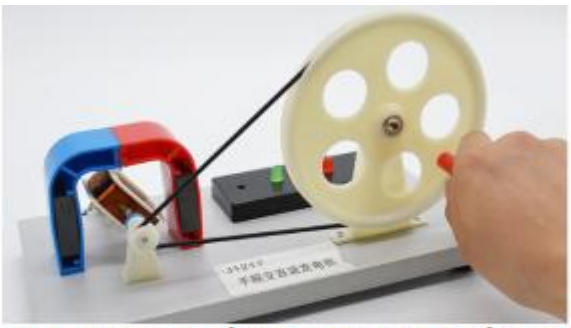


磁场做功，磁能不减少，磁场用借来的能做功（移花接木，借花献佛）

充当中间人、打手，例如压力不做功，但压力可以把物体按在地上摩擦，让摩擦力来做功。

人对桨做功→桨对水做功→水对船做功

等效人对船做功



手对线圈做功→线圈对磁场做功→磁场对线圈做功

机械能 ⟶ 电能

电能从哪里来？内能从哪里来？（我们用 $Q_{电}$、$Q_{内}$分别表示电能、内能）

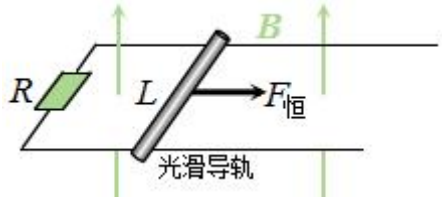
电能、内能由减少的机械能$\triangle E$转化而来（大多是重力势能转化而来）

能量转化关系 $\Delta E = Q_{电} + Q_{内}$ ，$mgh - \frac{1}{2}mv^2 = Q_{电} + Q_{内}$

能量守恒定律 $E_P = E_k + Q_{电} + Q_{内}$ ，$mgh = \frac{1}{2}mv^2 + Q_{电} + Q_{内}$

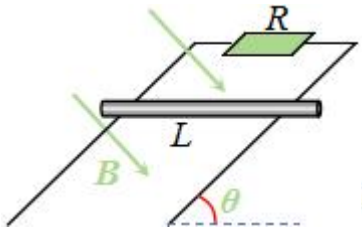
感应电荷量 $q = It = \frac{BLv}{R}t = \frac{B\Delta S}{R} = \frac{\Delta\Phi}{R}$ **与切割面积有关**

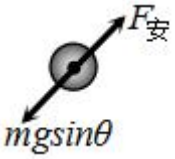
导体棒匀速运动或达到最大速度时：合外力为 0



金属杆由静止开始加速，最后匀速（也是最大速度）

$F_{安}$ ⟷ $F_{恒}$ $\quad \frac{B^2L^2v}{R} = F_{恒}$，$v = \frac{F_{恒}R}{B^2L^2}$





金属杆由静止开始加速下滑，最后匀速（也是最大速度）

$\frac{B^2L^2v}{R} = mg\sin\theta$，$v = \frac{mg\sin\theta}{B^2L^2}$