概 述

- 能量守恒定律
- 动量守恒定律
- 角动量守恒定律

能量守恒定律

law of conservation of energy

重力作功的特点

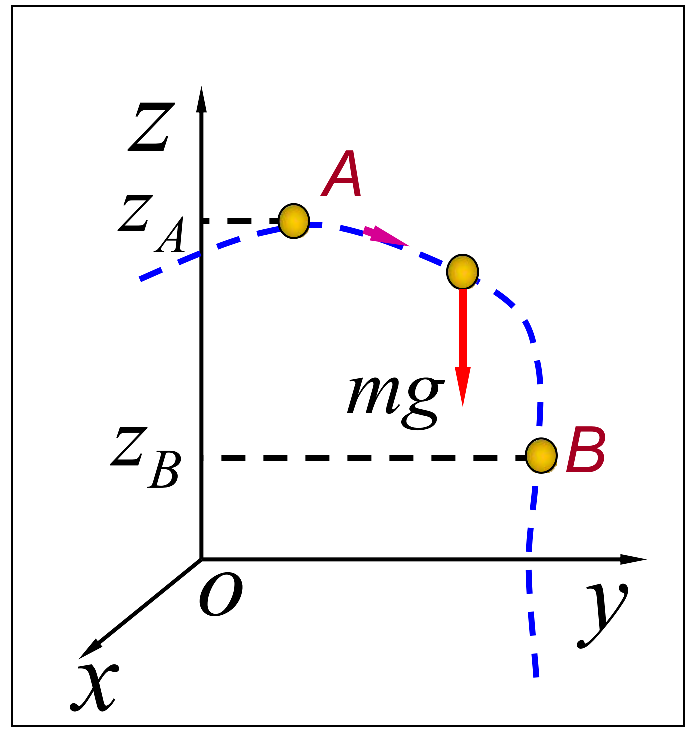
$$\vec{P} = -mg\vec{k}$$

$$\mathrm{d}\vec{r} = \mathrm{d}x\vec{i} + \mathrm{d}y\vec{j} + \mathrm{d}z\vec{k}$$

$$W = \int_A^B \vec{P} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = \int_{z_A}^{z_B} -mg\,\mathrm{d}z$$

$$= -(mgz_B - mgz_A)$$

$$W = \oint -mg\,\mathrm{d}z = 0$$



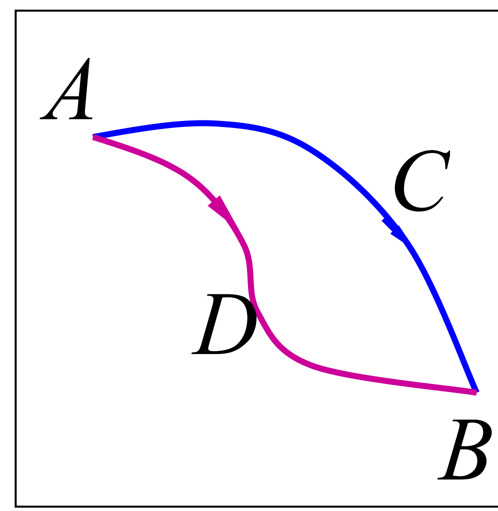
重力所作的功与路径无关

保守力和非保守力

保守力：力所作的功与路径无关，仅决定于相互作用质点的始末相对位置 .

重力功 $W=-(mgz_B-mgz_A)$

$$\int_{ACB}\vec{F}\cdot\mathrm{d}\vec{r}=\int_{ADB}\vec{F}\cdot\mathrm{d}\vec{r}$$

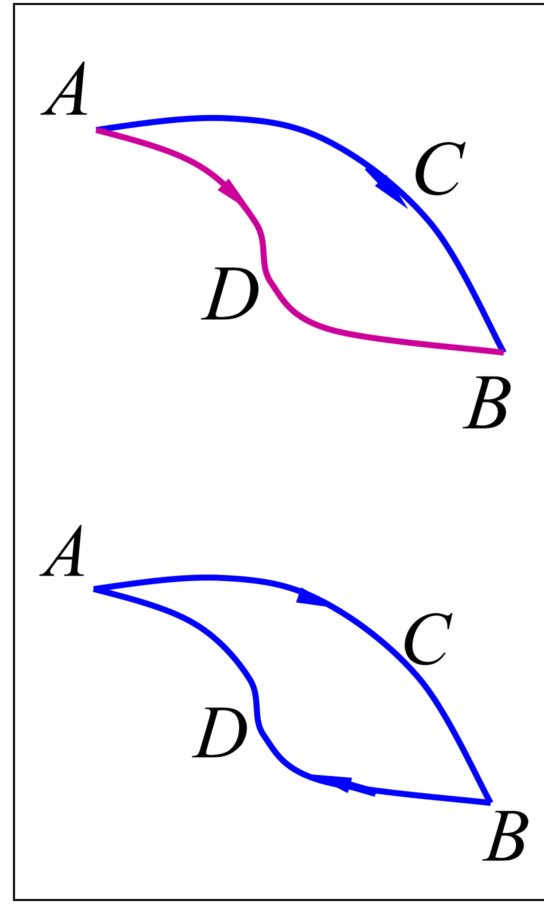


$$\int_{ACB}\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}=\int_{ADB}\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}$$

$$\oint_{l}\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}=\int_{ACB}\cancel{\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}}+\int_{BDA}\cancel{\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}}$$

$$\oint_{l}\vec{F}\cdot \mathrm{d}\vec{r}=0$$

物体沿闭合路径运动 一周时，保守力对它所作的功等于零 .



引力 $\boxed{\vec{F} = -G\dfrac{m'm}{r^3}\vec{r}}$

$$W = \int_{r_A}^{r_B} -G\frac{m'm}{r^2}\mathrm{d}r \qquad W = \oint -G\frac{m'm}{r^2}\mathrm{d}r = 0$$

弹力 $\boxed{\vec{F} = -kx\vec{i}}$

$$W = \int_{x_A}^{x_B} -kx\mathrm{d}x \qquad W = \oint -kx\mathrm{d}x = 0$$

非保守力：力所作的功与路径有关.

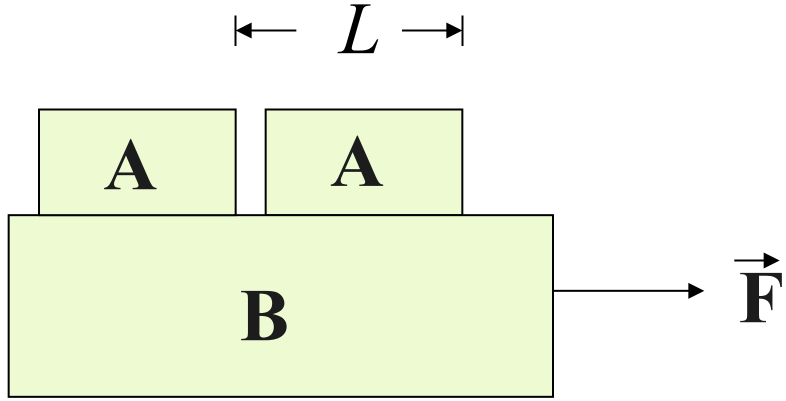
（例如摩擦力，爆炸力）

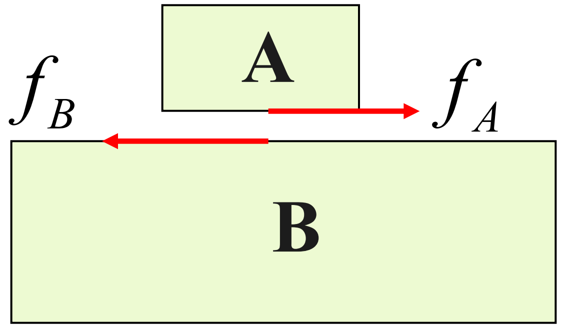
思考

非保守力做功总是负的，对吗？请举例说明 。

成对力的特点

作用力和反作用力是成对出现的力。





地面：设A，B物体分别移动了x_A和x_B，

$$W_A + W_B = f_A \times x_A + (-f_B \times x_B) = f \times (x_A - x_B) = -f \times L$$

物体B：

$$W_A + W_B = f_A \times (-L) + 0 = -f \times L$$

成对力的性质：任何一对作用力和反作用力所做的总功与参考系的选择无关。

势　能

potential energy

- 势能　与物体间相互作用及相对位置有关的能量 .

重力势能

$$E_{\mathrm{p}} = mgz$$

引力势能

$$E_{\mathrm{p}} = -G\frac{m'm}{r}$$

弹性势能

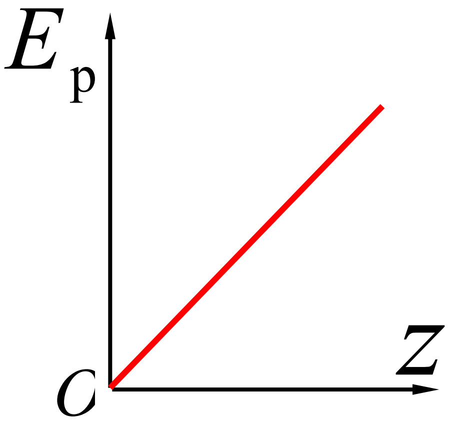
$$E_{\mathrm{p}} = \frac{1}{2}kx^2$$

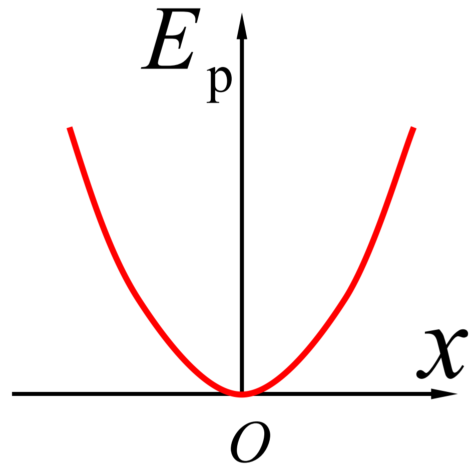
讨论

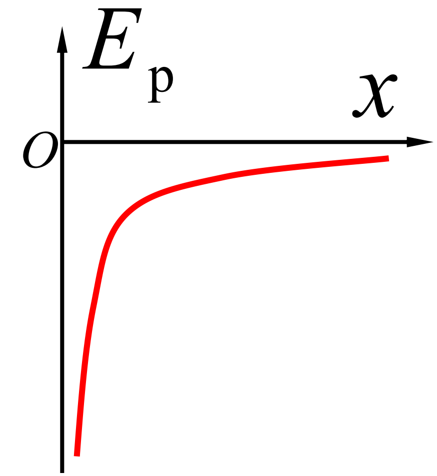
- 前提是系统内各质点间的相互作用力是保守力。
- 势能是状态函数 $E_{\mathrm{p}}=E_{\mathrm{p}}(x,y,z)$
- 势能具有相对性，势能大小与势能零点的选取有关 .
- 势能是属于系统的，不为单个物体所具有 .

势能曲线

$$E_\mathrm{p} = mgz \qquad E_\mathrm{p} = \frac{1}{2}kx^2 \qquad E_\mathrm{p} = -G\frac{m'm}{r}$$







重力势能曲线　　弹性势能曲线　　引力势能曲线

$z = 0,\ E_\mathrm{p} = 0$　　$x = 0,\ E_\mathrm{p} = 0$　　$r \to \infty,\ E_\mathrm{p} = 0$

例题

一质量为m的质点在指向圆心的反比力$F=-k/r^2$的作用下，作半径为r的圆周运动。此质点的速率$v=$________。若取距原心无穷远处为势能零点，它的势能$E_p=$ ________，它的机械能$E=$______。

答案 $v=\sqrt{\dfrac{k}{mr}}$ $\quad E_p=-\dfrac{k}{r}$ $\quad E=E_p+E_k=-\dfrac{k}{2r}$

回顾： 质点系的动量定理

注意 内力不改变质点系的动量

质点的动能定理

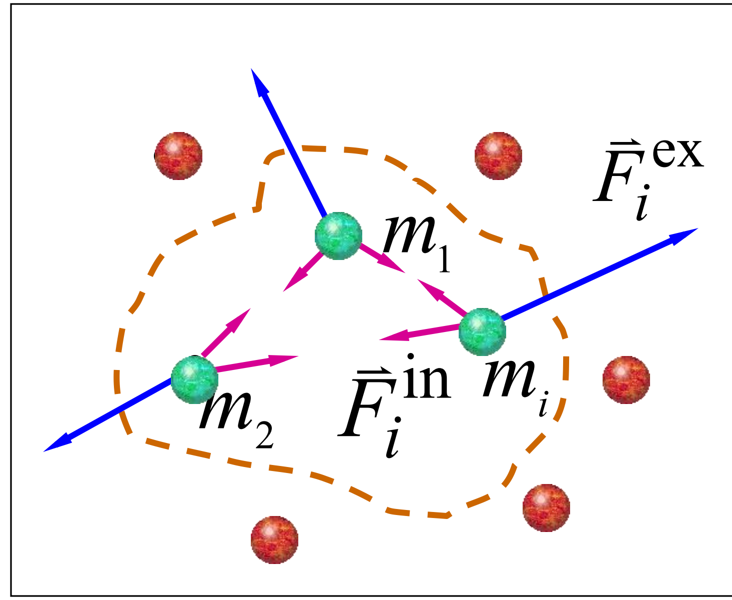
合外力对质点所作的功，等于质点动能的增量．

$$W = E_{k2} - E_{k1}$$

问：质点系中，内力是否不改变质点系的动能？

质点系的动能定理

◆ 对第 i 个质点，有



$$W_i^{\text{ex}} + W_i^{\text{in}} = E_{\text{k}i} - E_{\text{k}i0}$$

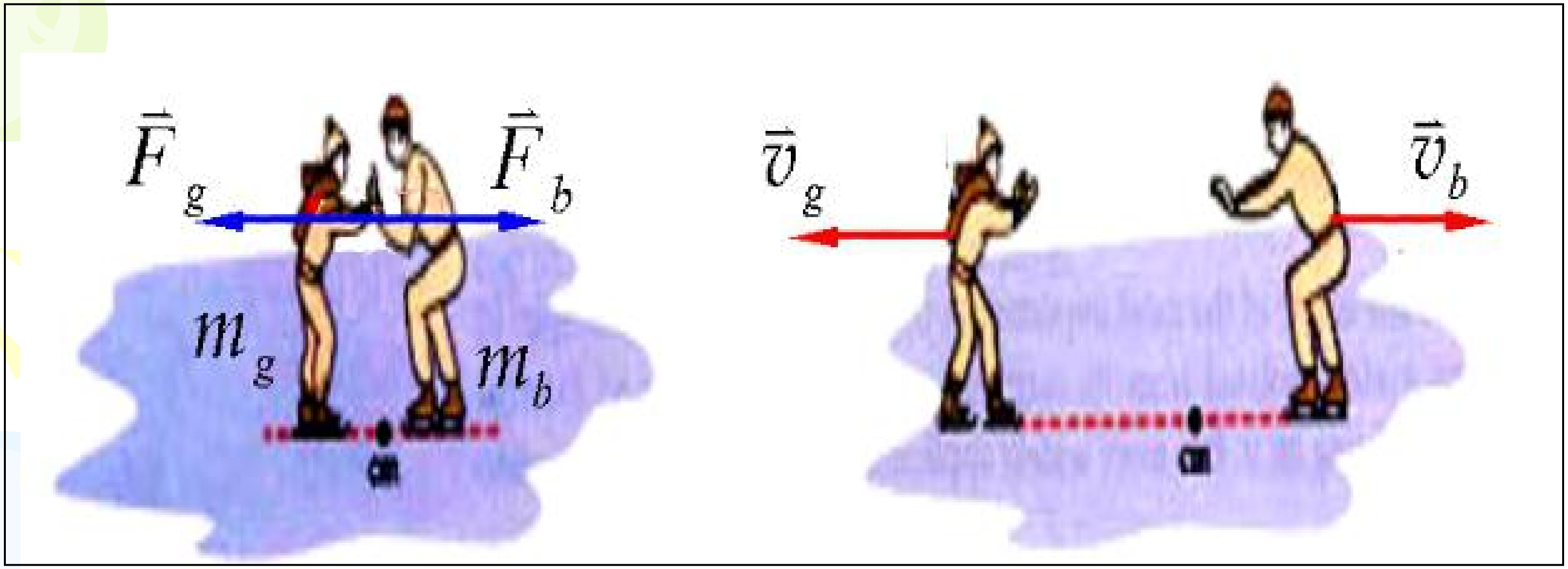
外力功　内力功

对质点系，有

$$\sum_i W_i^{\text{ex}} + \sum_i W_i^{\text{in}} = \sum_i E_{\text{k}i} - \sum_i E_{\text{k}i0} = E_{\text{k}} - E_{\text{k}0}$$

◆ 质点系动能定理　$W^{\text{ex}} + W^{\text{in}} = E_{\text{k}} - E_{\text{k}0}$

注意　内力可以改变质点系的动能



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

但系统动能改变 $E_k \neq E_{k0}=0$

质点系的功能原理

质点系动能定理 $W^{\mathrm{ex}} + W^{\mathrm{in}} = E_{\mathrm{k}} - E_{\mathrm{k0}}$

$$W^{\mathrm{in}} = \sum_i W_i^{\mathrm{in}} = W_{\mathrm{c}}^{\mathrm{in}} + W_{\mathrm{nc}}^{\mathrm{in}}$$

非保守力的功

$$W_{\mathrm{c}}^{\mathrm{in}} = -\left(\sum_i E_{\mathrm{p}i} - \sum_i E_{\mathrm{p}i0}\right) = -(E_{\mathrm{p}} - E_{\mathrm{p0}})$$

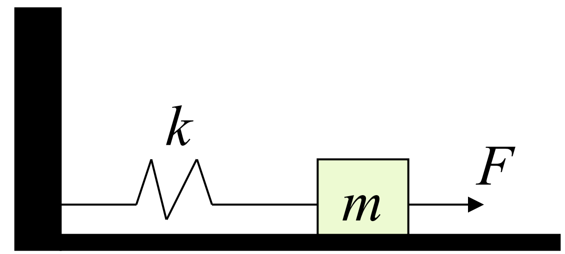
$$W^{\mathrm{ex}} + W_{\mathrm{nc}}^{\mathrm{in}} = (E_{\mathrm{k}} + E_{\mathrm{p}}) - (E_{\mathrm{k0}} + E_{\mathrm{p0}})$$

机械能 $E = E_{\mathrm{k}} + E_{\mathrm{p}}$

$$\boxed{W^{\mathrm{ex}} + W_{\mathrm{nc}}^{\mathrm{in}} = E - E_0}$$

◆ 质点系的功能原理　质点系机械能的增量等于外力和非保守内力作功之和.

例题



弹性系数为 k 的弹簧，一端固定在墙上，另一端与一质量为 m 的物体相连。物体静止在坐标原点，弹簧为原长。设物体与桌面的摩擦系数为 u，若物体在不变的外力 F 作用下向右移动，则物体到达最远位置时系统的弹性势能

$E_p =$ ________。

答案 $E_p = \dfrac{2(F-umg)^2}{k}$

例题

弹性系数为 k 的弹簧，下端系一质量为 m 的小球，设开始时弹簧为原长，而小球恰好与地面接触，今用外力 F 将弹簧慢慢提起，直到小球刚能脱离地面，在此过程中外力做功为（ ）

A $\dfrac{m^2g^2}{4k}$　　B $\dfrac{m^2g^2}{2k}$

C $\dfrac{m^2g^2}{3k}$　　D $\dfrac{2m^2g^2}{k}$

答案：B

机械能守恒定律

Law of conservation of mechanical energy

- 功能原理 $W^{\mathrm{ex}} + W_{\mathrm{nc}}^{\mathrm{in}} = (E_{\mathrm{k}} + E_{\mathrm{p}}) - (E_{\mathrm{k0}} + E_{\mathrm{p0}})$

当 $W^{\mathrm{ex}} + W_{\mathrm{nc}}^{\mathrm{in}} = 0$ 时，有 $E = E_0$

- **机械能守恒定律** 只有保守内力作功的情况下，质点系的机械能保持不变．

$$E_{\mathrm{k}} - E_{\mathrm{k0}} = -(E_{\mathrm{p}} - E_{\mathrm{p0}}) \qquad \boxed{\Delta E_{\mathrm{k}} = -\Delta E_{\mathrm{p}}}$$

- 外力做功为零，非保守力做功为零

  无机械能向其它能量形式的转化。

- 守恒定律的意义

  不究过程细节而能对系统的状态下结论，这是各个守恒定律的特点和优点 .

- 总过程不满足条件，分过程满足，则分过程可以应用机械能守恒定律。

讨论

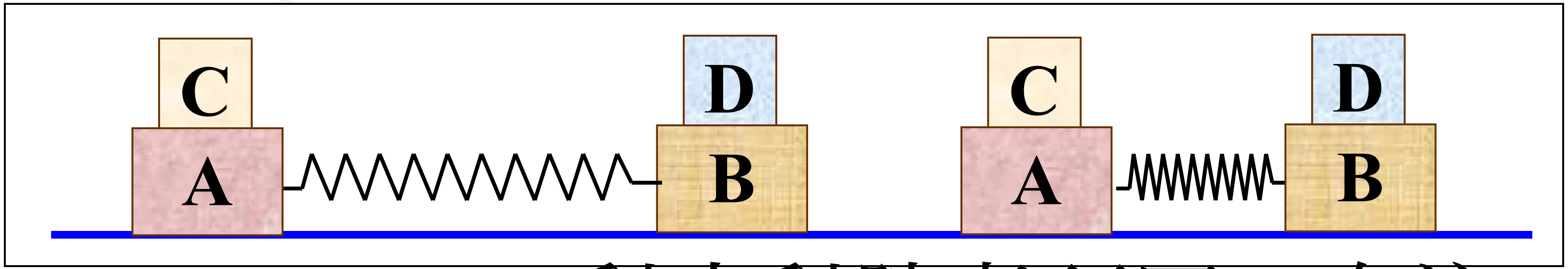
如图的系统，物体 A，B 置于光滑的桌面上，物体 A 和 C，B 和 D 之间摩擦因数均不为零，首先用外力沿水平方向相向推压 A 和 B，使弹簧压缩，后拆除外力，则 A 和 B 弹开过程中，对 A、B、C、D 组成的系统

（A）动量守恒，机械能守恒．

（B）动量不守恒，机械能守恒．

（C）动量不守恒，机械能不守恒．

★（D）动量守恒，机械能不一定守恒．



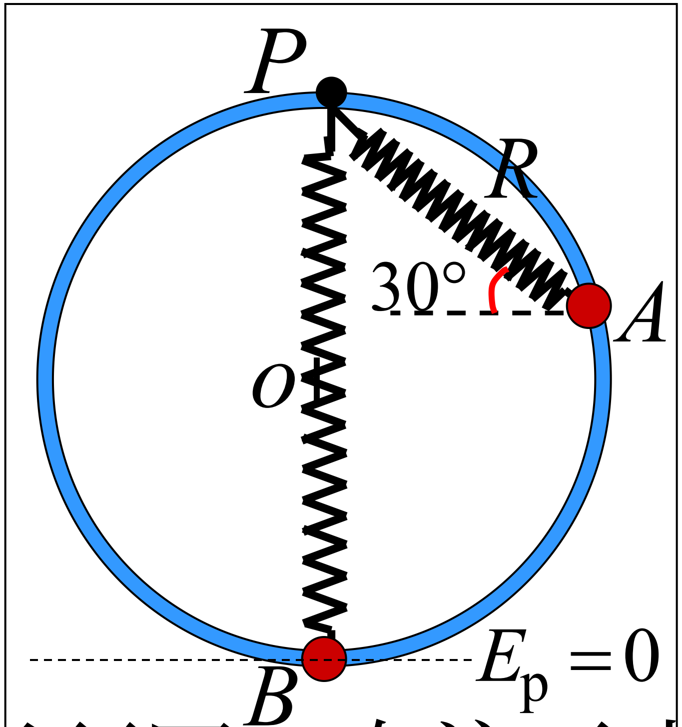
例 有一轻弹簧，其一端系在铅直放置的圆环的顶点*P*，另一端系一质量为*m* 的小球，小球穿过圆环并在圆环上运动(不计摩擦) .开始小球静止于点 *A*，弹簧处于自然状态,其长度为圆环半径*R*; 当小球运动到圆环的底端点*B*时,小球对圆环没有压力. 求弹簧的劲度系数.

解 以弹簧、小球和地球为一系统，

$\because A \rightarrow B$ 只有保守内力做功

$\therefore$系统机械能守恒 $E_B = E_A$

取图中点 B为重力势能零点

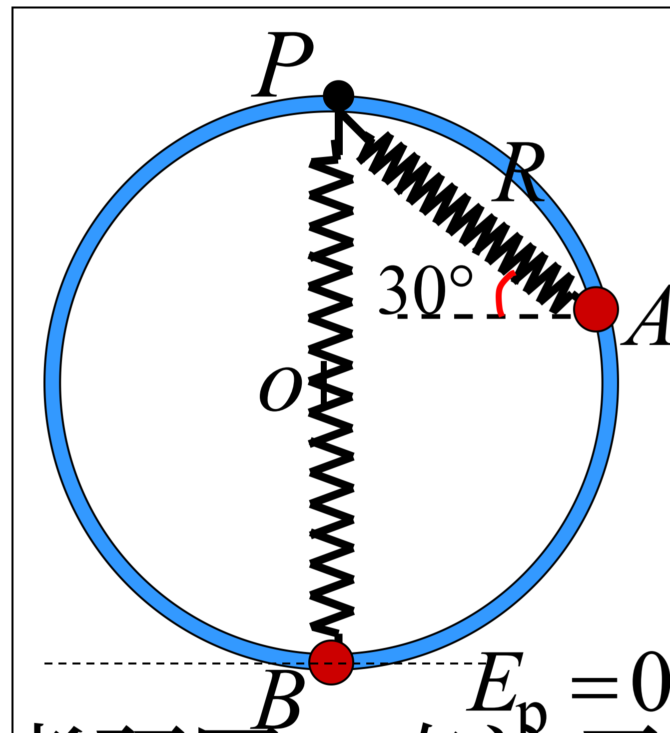


系统机械能守恒 $E_B = E_A$，图中B点为重力势能零点

即 $$\frac{1}{2}mv_B^2+\frac{1}{2}kR^2 = mgR(2-\sin 30^\circ)$$

又 $$kR-mg=m\frac{v_B^2}{R}$$

所以 $$k=\frac{2mg}{R}$$



能量的各种形式

回顾：机械能守恒定律

外力做功为零，非保守力做功为零

无机械能向其它能量形式的转化。

思考：若有转化，会怎样？有什么形式的能量形式？

例如： 摩擦力

机械能转化为热能。（焦耳-热功当量，耗散过程）

势能，动能，热能

电阻发热	电能	→	热能
爆竹升空	化学能	→	机械能
猫捉老鼠	生物能	→	机械能
$E = mc^2$	核能（原子能）		

→ $\boxed{\text{能量守恒定律}}$

亥姆霍兹（1821—1894），德国物理学家和生理学家.于1874年发表了《论力（现称能量）守恒》的演讲，首先系统地以数学方式阐述了自然界各种运动形式之间都遵守能量守恒这条规律.所以说亥姆霍兹是能量守恒定律的创立者之一．

对与一个与自然界无任何联系的系统来说，系统内各种形式的能量是可以相互转换的，但是不论如何转换，能量既不能产生，也不能消灭，这一结论叫做**能量守恒定律**．

1）生产斗争和科学实验的经验总结；

2）能量是系统**状态**的函数；

3）系统能量不变，但各种能量形式可以互相**转化**；

4）能量的变化常用功来量度．

讨 论

下列各物理量中，与参照系有关的物理量是哪些？ （不考虑相对论效应）

1）质量　　2）动量　　3）冲量

4）动能　　5）势能　　6） 功

答：动量、动能、功．

保守力
成对力
势　能

掌握功的概念，能计算变力的功，理解保守力作功的特点及势能的概念，会计算万有引力、重力和弹性力的势能．

功能原理

掌握动能定理、功能原理和机械能守恒定律，掌握运用守恒定律分析问题的思想和方法．

机械能守恒定律
能量守恒定律