

6. Energiprincipen (energiaperiaate)

Lärandemål:

- Kunna beräkna den totala energin (viloenergi + kinetisk energi) för en partikel
- Kunna beräkna den totala energin för ett mångpartikel system (viloenergi, kinetisk energi och gravitations och elektrisk potentiell energi)
- Kunna relatera förändringar i systemets energi till arbete som omgivningen gjort
- Kunna analysera i detalj processer som innebär förändringar i potentiell energi, kinetisk energi och viloenergi
- Kunna rita och förstå bilder där ett mångpartikel systems energi är ritad som funktion av separationen mellan partiklarna



Totala energin är alltid konstant:

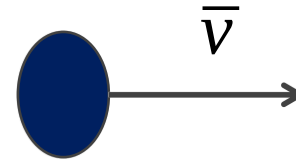
$$\Delta E_{\text{system}} = -\Delta E_{\text{omgivning}}$$



Relativistisk rörelsemängd för en partikel

$$\bar{p} = \frac{m\bar{v}}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = m\bar{v}$$

$\lim v \rightarrow 0$



Vad är den relativistiska energin för en partikel?
Vad blir partikelns energi vid låga hastigheter?



Taylor serie

En godtycklig funktion kan skrivas som en Taylor serie

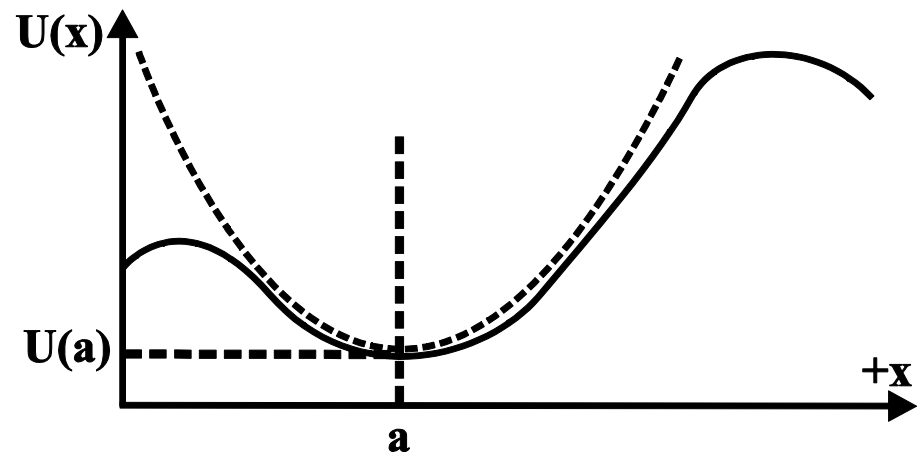
$$U(x) = U(a) + \frac{(x-a)}{1!} \frac{dU_{(x=a)}}{dx} + \frac{(x-a)^2}{2!} \frac{d^2U_{(x=a)}}{dx^2} + \frac{(x-a)^3}{3!} \frac{d^3U_{(x=a)}}{dx^3} + \dots$$

Ifall funktionen har minimum vid $x=a$ är: $\frac{dU_{(x=a)}}{dx} = 0$

Och ifall $(x-a)$ är liten kan alla termer med potensen större än 2 lämnas bort



$$U(x) = U(a) + \frac{(x-a)^2}{2!} \frac{d^2U_{(x=a)}}{dx^2}$$



Exempel

Visa att potentialenergi-funktionen för en simpel pendel ges av:

$$U(s) \approx \frac{mg}{2L} s^2$$

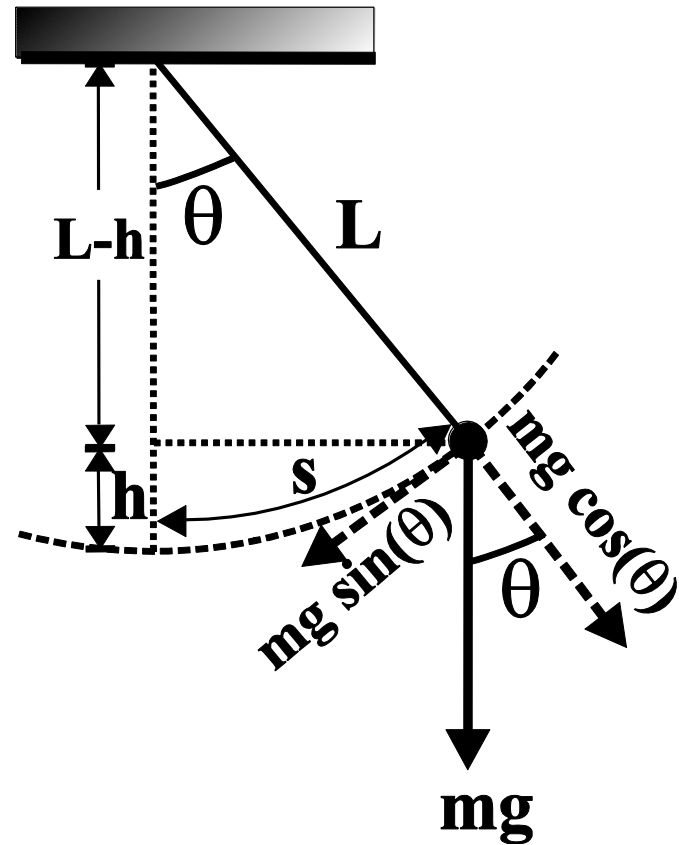
$$U = mgh$$

$$\cos(\theta) = \frac{L-h}{L}$$

$$\Rightarrow U = mgL[1 - \cos(\theta)]$$

$$\Rightarrow h = L[1 - \cos(\theta)]$$

$\cos(\theta)$ som en Taylorserie kring $\theta = 0$



$\cos(\theta)$ som en Taylorserie kring $\theta = 0$

$$U(x) = U(a) + \frac{(x-a)}{1!} \frac{dU_{(x=a)}}{dx} + \frac{(x-a)^2}{2!} \frac{d^2U_{(x=a)}}{dx^2} + \frac{(x-a)^3}{3!} \frac{d^3U_{(x=a)}}{dx^3} + \dots$$

$$\begin{aligned} \cos(\theta) \approx \cos(0) &+ \frac{(\theta-0)}{1!} \frac{d \cos(\theta)_{(\theta=0)}}{d\theta} + \frac{(\theta-0)^2}{2!} \frac{d^2 \cos(\theta)_{(\theta=0)}}{d\theta^2} + \\ &\frac{(\theta-0)^3}{3!} \frac{d^3 \cos(\theta)_{(\theta=0)}}{d\theta^3} + \frac{(\theta-0)^4}{4!} \frac{d^4 \cos(\theta)_{(\theta=0)}}{d\theta^4} \end{aligned}$$

$$\cos(\theta) \approx \cos(0) - \frac{\theta}{1!} \sin(\theta)_{(\theta=0)} - \frac{\theta^2}{2!} \cos(\theta)_{(\theta=0)} + \frac{\theta^3}{3!} \sin(\theta)_{(\theta=0)} + \frac{\theta^4}{4!} \cos(\theta)_{(\theta=0)}$$

$$\cos(\theta) \approx 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!}$$



Visa att potentialenergi-funktionen
för en simpel pendel ges av: $U(s) \approx \frac{mg}{2L} s^2$

$$U = mgh \quad \cos(\theta) = \frac{L-h}{L}$$

$$\Rightarrow U = mgL[1 - \cos(\theta)]$$

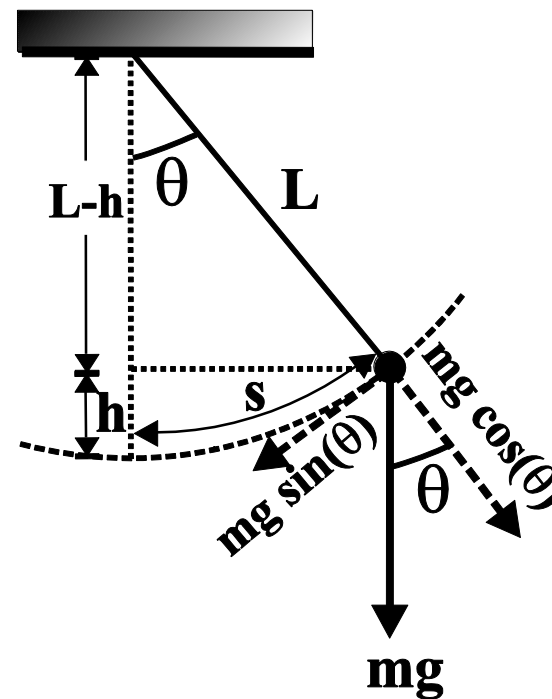
$$\Rightarrow h = L[1 - \cos(\theta)]$$

$\cos(\theta)$ som en Taylorserie kring $\theta = 0$

$$\cos(\theta) \approx 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!}$$

Definitionen för vinkeln $\theta = s/L$

$$\Rightarrow U \approx mgL \left[1 - \left(1 - \frac{\theta^2}{2} \right) \right] = mgL \frac{\theta^2}{2} = mgL \frac{s^2}{2L^2} = \underline{\underline{\frac{mg}{2L} s^2}} \quad \square$$



Relativistisk energi för en partikel

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = mc^2 \quad (\text{inte : } \frac{1}{2}mv^2)$$

lim $v \rightarrow 0$

Expanderar relativistiska energin som Taylor (binomial) serie kring v^2/c^2

$$\Rightarrow E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} = mc^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v^2}{c^2} \right) + \frac{3}{8} \left(\frac{v^4}{c^4} \right) + \dots \right]$$



Relativistisk energi för en partikel

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = mc^2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v^2}{c^2} \right) + \frac{3}{8} \left(\frac{v^4}{c^4} \right) + \dots \right]$$

Första termen kroppens viloenergi: mc^2

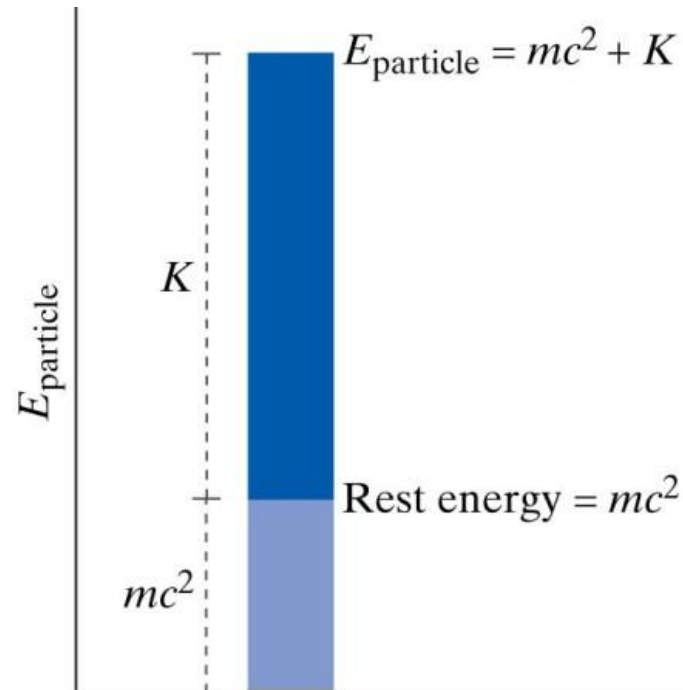
Resten, kroppens kinetiska energi: $K = mc^2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{v^2}{c^2} \right) + \frac{3}{8} \left(\frac{v^4}{c^4} \right) + \dots \right]$



$$E = mc^2 + K$$

$$v \ll c \Rightarrow E \approx mc^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$$



Grupparbete: ENERGI

- Kylskåp 0.5 kWh/dag
 - Frys 1.0 kWh/dag
 - Kaffe- vatten-kokare 0.1 kWh/panna
 - Disk- kläd-maskin 1 kWh/maskin
 - Bärbar dator 0.3 kWh/h
 - TV 0.1 kWh/h
 - Glödlampa (40 W) 0.04 kWh/h
 - LEDlampa (11 W) 0.01 kWh/h
 - Sauna 5 – 10 kWh/gång
-
- Kylning eller elektrisk värme 5 kWh/dag
 - Elektrisk värme 30 kWh/dag (120 m²)
 - Varmvattenberedare 2.5 kWh/dag
 - Tvättrummets golvvärme



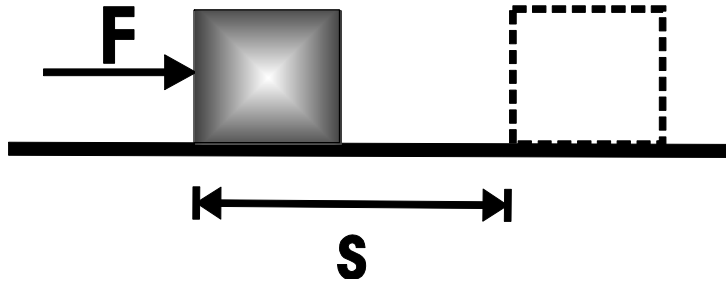
Mekaniskt arbete

Definition:

Mekaniskt arbete är kraften gånger sträckan i kraftens riktning

$$W = |\vec{F}| |\vec{s}|$$

Kraft och förflyttning $\vec{s}$
i samma riktning

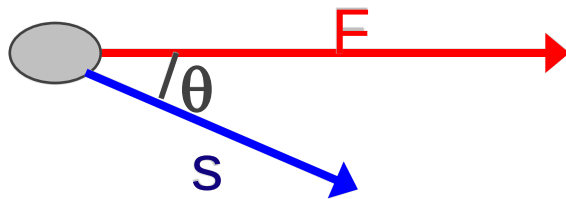


$$[W] = \text{Nm} = \text{J (joule)}$$

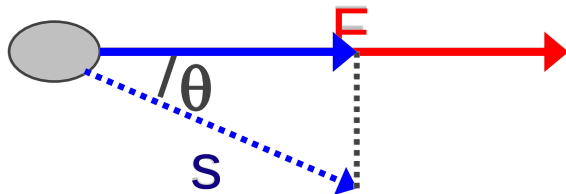


Mekaniskt arbete

Vad händer när kraften inte är i samma riktning som förflyttningen?



$W ?$



$$W = |\vec{F}| |\vec{s}| \cos(\theta)$$

$$\boxed{W = \vec{F} \cdot \vec{s}} \quad \text{punktprodukt}$$



En hiss vars massa är 900 kg sänker sig från 400 m:s höjd.

Vad är arbetet som gravitationen gör under förflyttningen?

Vad är arbetet som hisskabeln gör?

$$W = \vec{F} \bullet \vec{s}$$

Arbete gravitationen gör på hisskorgen

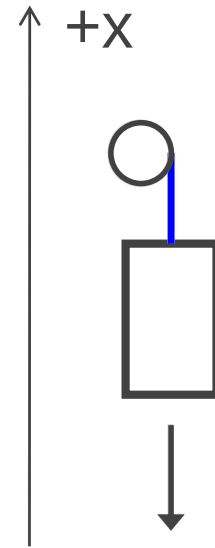
$$\vec{F} = -mg\hat{i}$$

$$\vec{s} = -400 \text{ m } \hat{i} \quad \Rightarrow \quad W = (-8.8 \times 10^3 \text{ N}) \cdot (-400 \text{ m}) \sim \underline{3.5 \times 10^6 \text{ J}}$$

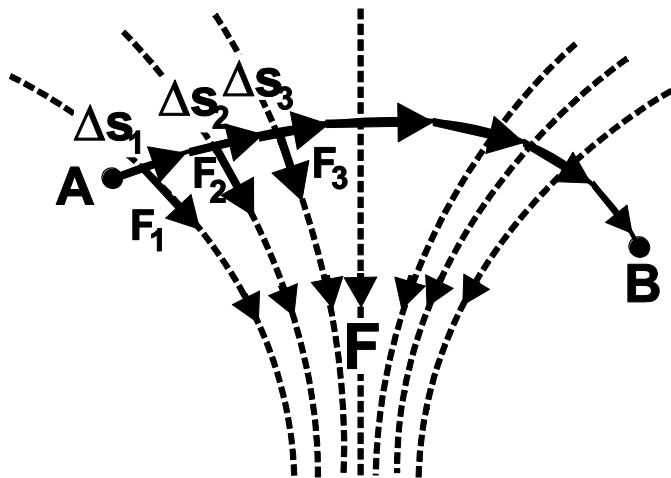
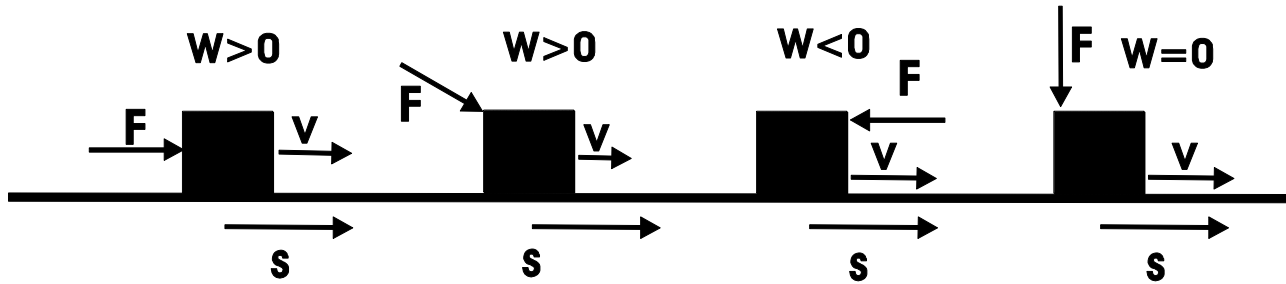
Arbete hisskabeln gör på hisskorgen

$$\vec{F} = +mg\hat{i}$$

$$\vec{s} = -400 \text{ m } \hat{i} \quad \Rightarrow \quad W = (8.8 \times 10^3 \text{ N}) \cdot (-400 \text{ m}) \sim \underline{-3.5 \times 10^6 \text{ J}}$$



Mekaniskt arbete



$$W_{A \rightarrow B} = \overline{F}_1 \cdot \Delta \overline{s}_1 + \overline{F}_2 \cdot \Delta \overline{s}_2 + \dots + \overline{F}_N \cdot \Delta \overline{s}_N$$

$$= \sum_{i=1}^N \overline{F}_i \cdot \Delta \overline{s}_i$$



$$W = \int_A^B \overline{F} \cdot d\overline{s}$$



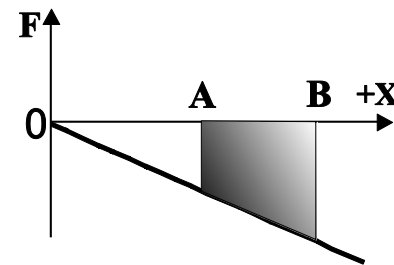
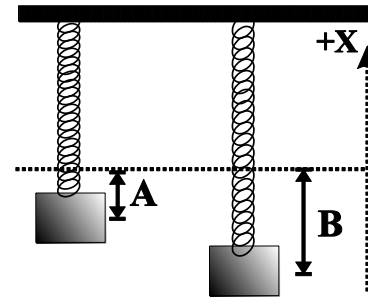
Beräkna arbete som fjädern gör när massan dras från position **A** till **B** i bilden

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \overline{F} \bullet d\overline{s}$$

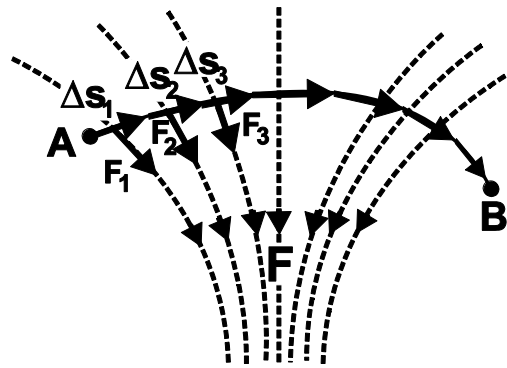
$$= \int_A^B F(x) dx$$

$$= -k \int_A^B x dx$$

$$= -k \Big|_A^B \frac{x^2}{2} = \underline{\underline{-\frac{k}{2}(B^2 - A^2)}}$$



Potentiell energi



Arbete att förflytta ett objekt från punkt A till B i ett kraftfält

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B) \Rightarrow$$

Arbetet beror bara på ändpunkterna

Kraftfältet är konservativt

U är potentiella energifunktionen

$\vec{r}_A$ och $\vec{r}_B$ A:s och B:s platsvektorer



Potentiell energi

$$W_{r_0 \rightarrow r} = \int_{r_0}^r \vec{F} \cdot d\vec{s} = U(\vec{r}_0) - U(\vec{r})$$

$$\Rightarrow U(\vec{r}) = -\int_{r_0}^r \vec{F} \cdot d\vec{s} + U(\vec{r}_0)$$

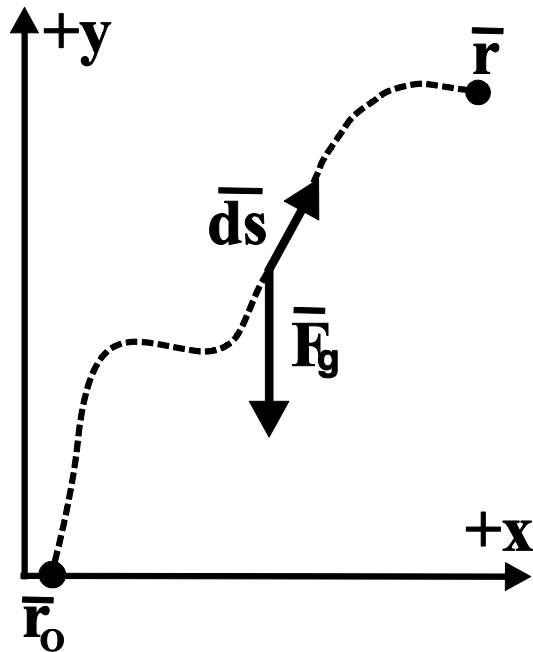
väljer att: $U(\vec{r}_0) = 0$

$\Rightarrow$ Potentiella
energifunktionen
för ett system

$$U(\vec{r}) = -\int_{r_0}^r \vec{F} \cdot d\vec{s}$$



Bestäm potentiella energifunktionen för en massa m i gravitationsfält nära jordytan



$$U(\vec{r}) = -\int_{r_0}^r \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{F} = -mg\hat{j}$$

$$d\vec{s} = dx\hat{i} + dy\hat{j}$$

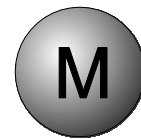
$$\Rightarrow U(r) = mg \int_{r_0}^r \hat{j} \cdot (dx\hat{i} + dy\hat{j}) = mg \int_{y_0}^y dy = \underline{\underline{mg(y - y_0)}}$$



Bestäm den potentiella energifunktionen
för Newtons gravitationslag

$$U(\bar{r}) = -\int_{r_0}^r \bar{F} \bullet d\bar{s}$$

$$\bar{F} = -G \frac{mM}{r^2} \hat{r}$$

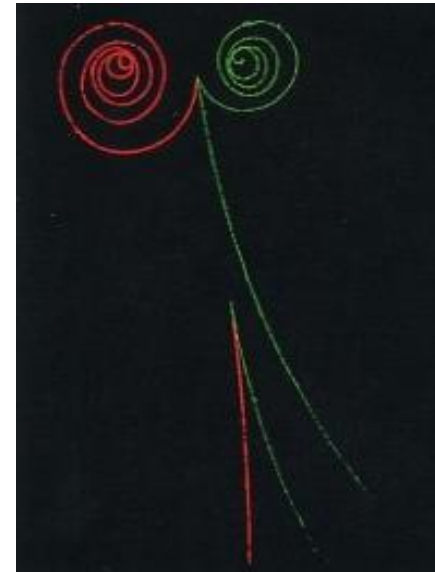
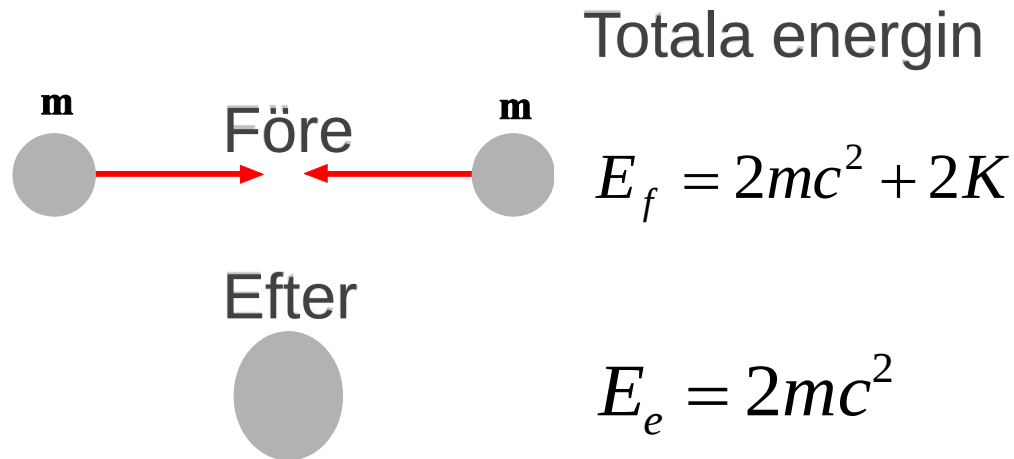


$$\begin{aligned} U(r) &= -\int_{r_0}^r \bar{F}(\bar{r}') \bullet d\bar{r}' = -\int_{\infty}^r \left(-G \frac{mM}{r'^2} \hat{r}' \right) \bullet d\bar{r}' \\ &= GmM \int_{\infty}^r \frac{dr'}{r'^2} = \underline{\underline{-\frac{GmM}{r}}} \end{aligned}$$

$$\hat{r} \bullet d\bar{r}' = dr'$$



Vi har två lerbollar som kolliderar fullständigt oelastiskt



Vart har energi försvunnit?

- 1) Till värme: Stora lerklumpen varmare än de två små
- 2) Till massa: Stora lerklumpen tyngre än de två små tillsammans



Massan för ett multipartikel system (monihiukkassysteemin massa)

Energien för **en** partikel med vilomassan m

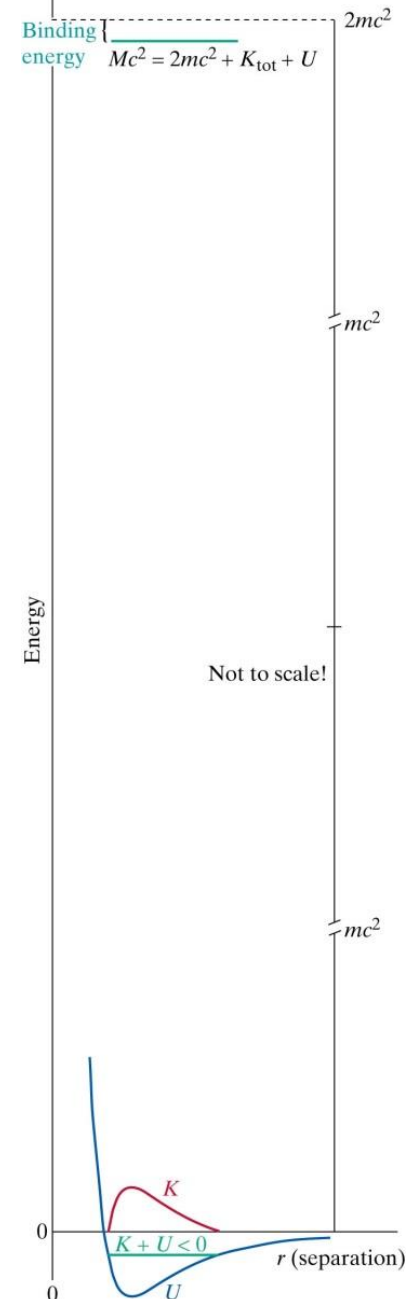
$$E = mc^2 + K = \gamma mc^2 \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$

Energien för **många** partiklar med vilomassorna $m_1, m_2, \dots$

$$E_{\text{system}} = (m_1 c^2 + K_1) + (m_2 c^2 + K_2) + \dots + U$$

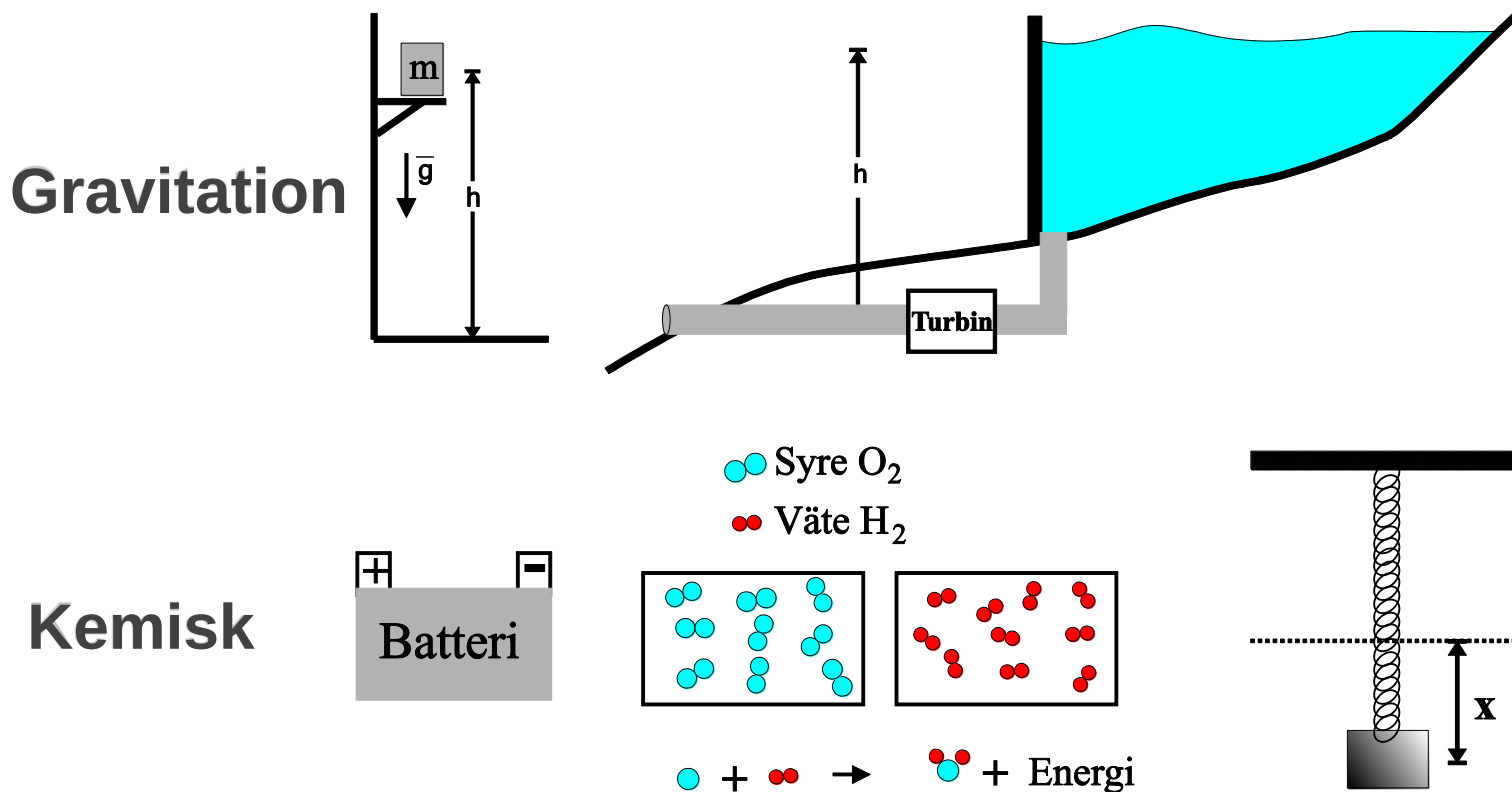
$$\Rightarrow M = \frac{E_{\text{system}}}{c^2} = \frac{(m_1 c^2 + K_1) + (m_2 c^2 + K_2) + \dots + U}{c^2}$$

$$M = (m_1 + m_2 + \dots) + \frac{(K_1 + K_2 + \dots + U)}{c^2}$$



Potentiell energi: Potentiell energi är den mängd energi som är lagrad i systemet

➔ Man har potential eller möjlighet att omvandla den till andra former av energi



Härledning av kraft från den potentiella energin

Tidigare: $U(x) = -\int F \cdot dx$

Deriverar båda sidorna: $dU(x) = -F \cdot dx$

 $F = -\frac{dU(x)}{dx}$

I 3 dimensioner: $F_x = -\frac{dU(x)}{dx}$ $F_y = -\frac{dU(y)}{dy}$ $F_z = -\frac{dU(z)}{dz}$

I vektorform: $\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \hat{k}\right) = -\vec{\nabla} U$

$\frac{\partial U}{\partial x}$ partialderivata


nabla



Exempel

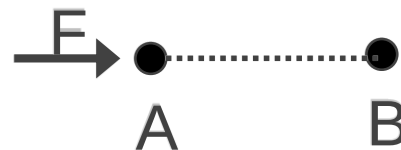
Vi fick tidigare att den potentiella gravitationsenergin vid jordytan är $U = mgy$.

Beräkna gravitationskraften utgående från denna potential

$$\begin{aligned}\bar{F} &= -\bar{\nabla} U = -\bar{\nabla}(mgy) = -\left(\frac{\partial}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{k}\right)(mgy) \\ &= -\left(\frac{\partial(mgy)}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial(mgy)}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial(mgy)}{\partial z}\hat{k}\right) = -mg\left(\frac{\partial y}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial y}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial y}{\partial z}\hat{k}\right) \\ &= \underline{\underline{-mg\hat{j}}}\end{aligned}$$



Kinetisk energi



Arbete att förflytta ett objekt från punkt A till B

$$W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B m\vec{a} \cdot d\vec{s}$$

$$= m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{s} = m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \frac{d\vec{s}}{dt} dt$$

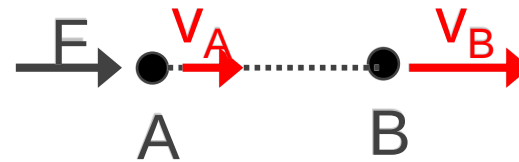
$$= m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt = m \int_A^B \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (v^2) dt$$

$$\Rightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (v^2)$$

$$\frac{d}{dt} (v^2) = \frac{d}{dt} (\vec{v} \cdot \vec{v}) = \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} + \vec{v} \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = 2 \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v}$$



Kinetisk energi



Arbete att förflytta ett objekt från punkt A till B

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow B} &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_A^B m\vec{a} \cdot d\vec{s} = m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{s} = m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \frac{d\vec{s}}{dt} dt \\ &= m \int_A^B \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt = m \int_A^B \frac{1}{2} \frac{d}{dt} (v^2) dt = \frac{1}{2} m \int_A^B d(v^2) \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} m \Big|_A^B v^2 = \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2)$$

$$\Rightarrow W_{A \rightarrow B} = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

$$W_{A \rightarrow B} > 0 \rightarrow v_B > v_A$$

$$W_{A \rightarrow B} = 0 \rightarrow v_B = v_A$$

$$W_{A \rightarrow B} < 0 \rightarrow v_B < v_A$$

Positivt arbete på kroppen ökar termen: $\frac{1}{2} m v^2$



Totala mekaniska energin

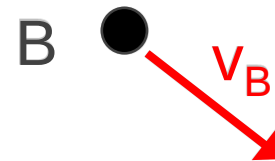
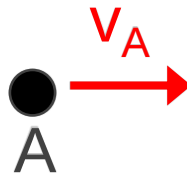
Konservativt kraftfält: $W_{A \rightarrow B} = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s} = U(\vec{r}_A) - U(\vec{r}_B)$

→ Totala mekaniska energin är konstant

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv_A^2 + U(\vec{r}_A) = \frac{1}{2}mv_B^2 + U(\vec{r}_B)$$

K: Kinetisk energi

U: Potentiell energi

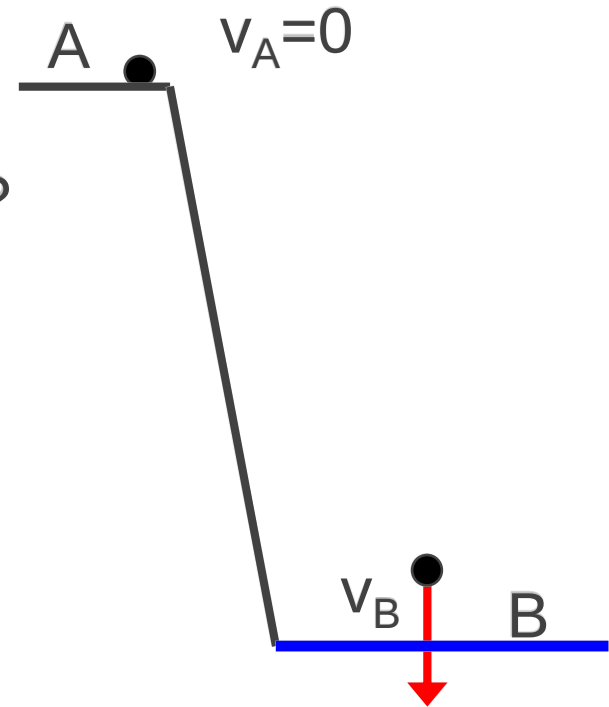


Dykarna vid Acapulco dyker från t.o.m. 36 m höga klippor i havet för att få pengar av turisterna. Med vilken fart träffar en dykare vattnet från begynnelsehöjden är 36 m över havet?

$$\begin{aligned} \text{Energi} &= K_A + U_A = 0 + mgh \\ &= K_B + U_B = \frac{1}{2}mv_B^2 + 0 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 = mgh$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{2gh} \approx \underline{\underline{26 \text{ m/s} (\sim 94 \text{ km/h})}}$$

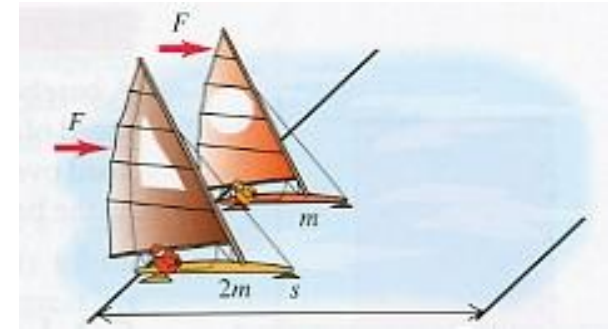


Två issegelbåtar har identiska skrov och seglar, men den ena isbåten har massan m och den andra är dubbelt så tung $2m$.

De startar samtidigt från startlinjen och målet är raka sträckan s från startlinjen.

a) Vilken isbåt kommer först i mål?

b) Vilken isbåt har större kinetisk energi då den korsar mållinjen?



$$F = ma \quad a = \frac{F}{m} \quad \text{Samma } F$$

→ Isbåt 1: $a_1 = F / m$ $a_1 > a_2$ isbåt 1 först i mål

Isbåt 2: $a_2 = F / (2m)$

Kinetisk energi:	Start	Mål
Isbåt 1:	0	$\frac{1}{2}mv_1^2$
Isbåt 2:	0	$\frac{1}{2}2mv_2^2$

Behöver inte räknas

Mekaniska arbete $W=Fs$ som vinden gör på båda isbåtarna samma

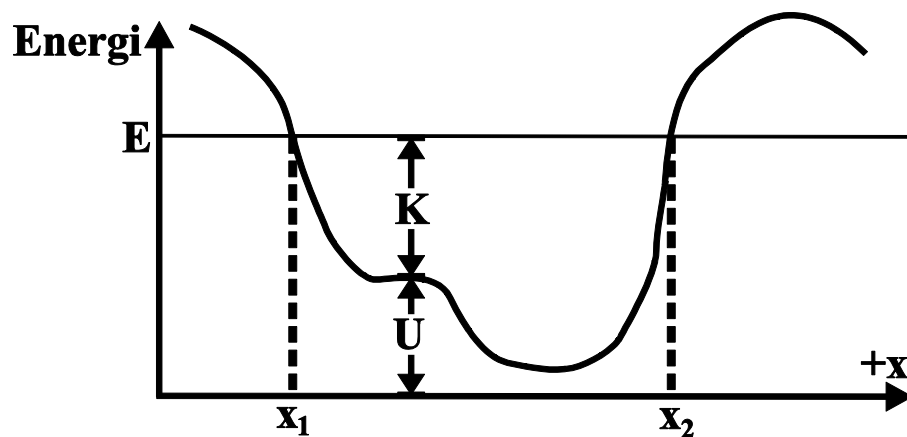
→ Samma kinetiska energin vid mållinjen



Energidigram

Totala mekaniska energin är konstant i konservativa kraftfält:

$$E = K + U$$



$$F = -\frac{dU}{dx}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \geq 0$$



$$E - U \geq 0$$



Partikel i en låda

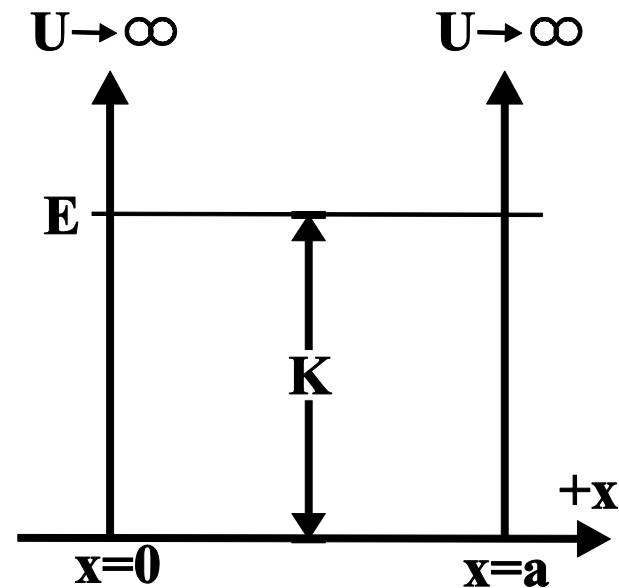
Potentialenergifunktionen:

$$U(x) = \begin{cases} \infty & \text{för } x \leq 0 \text{ och } x \geq a \\ 0 & \text{för } 0 < x < a \end{cases}$$

$$E = K + U$$

$$= K$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \pm\sqrt{2E/m}$$



Partikel i fritt fall

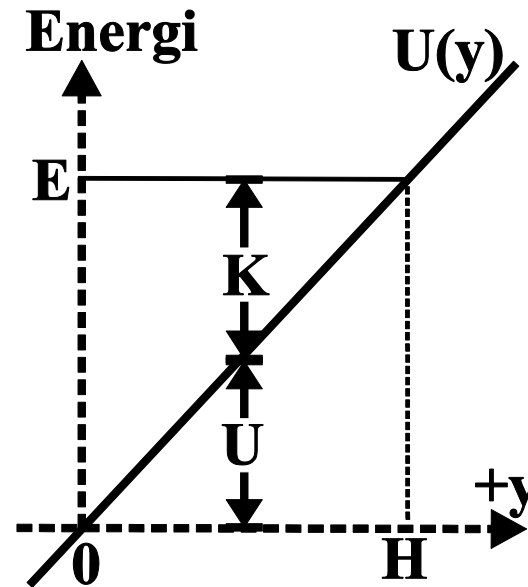
Potentialenergifunktionen:

$$U(y) = mgy$$

$$F = -\frac{dU}{dy} = -mg$$

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + mgy$$

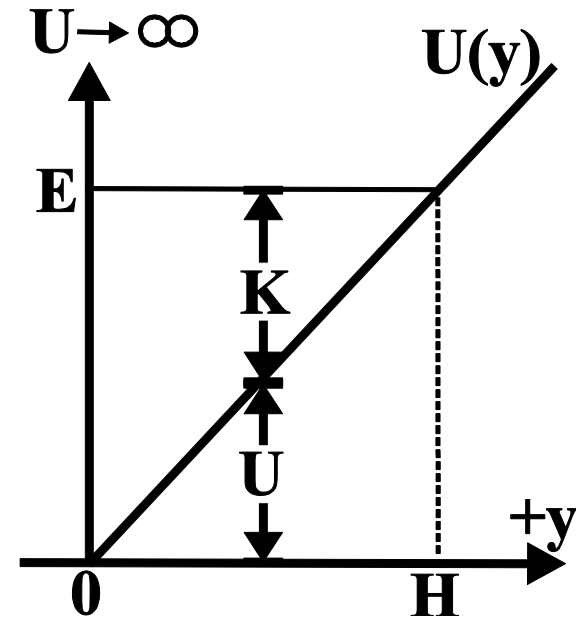
$$\Rightarrow v = \pm \sqrt{2(E - mgy) / m}$$



Partikel i fritt fall och studsar tillbaka

Potentialenergifunktionen:

$$U(y) = \begin{cases} \infty & \text{för } y < 0 \\ mgy & \text{för } y \geq 0 \end{cases}$$



→ Energin helt kinetiskt vid marken: $y = 0$
och helt potentiell vid $y = H$



Repulsiv potential

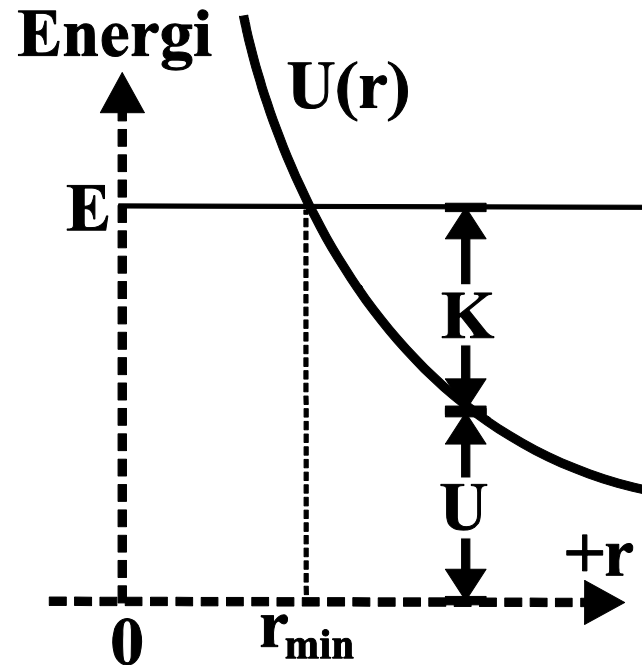
$$E = K + U$$

$$U(r_{\min}) = E$$

$$K(r_{\min}) = 0$$

$$U(\infty) = 0$$

$$K(\infty) = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \pm\sqrt{2E/m}$$



Planet med två solnedgångar upptäckt

Nasa har hittat en planet som kretsar kring två solar. Den är den första i sitt slag som upptäckts.

I filmen Star Wars fanns planeten Tatooine med två solnedgångar, men nu har Nasas Kepler-teleskop hittat en sådan i verkligheten.

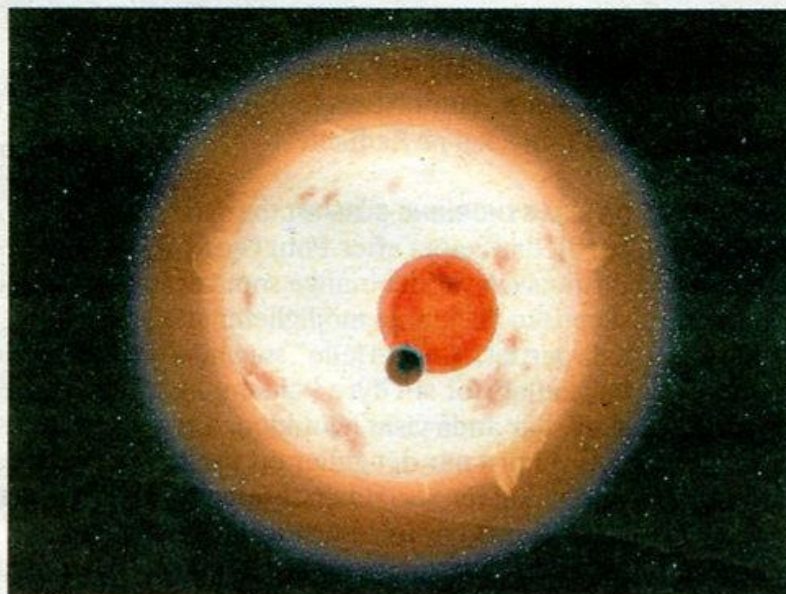
Planeten ligger omkring 200 ljusår från Jorden och har ungefär samma storlek som Saturnus. Men till skillnad från Tatooine tros den vara en obebodlig kall gasjätte.

Forskare har trots sig veta att det finns planeter som rör

sig i omloppsbana kring två stjärnor, men det här är bekräftelsen på att så kallade circumbinära planeter faktiskt existerar.

Planeten kallas Kepler-16b. Dess två solar är mindre än vår sol. Men forskare säger att när dagen slutar på Kepler 16b så har den åtminstone två solnedgångar. Det tar planeten 229 dagar att kretsa runt solarna.

Teleskopet Kepler skickades ut i rymden 2009 för att jaga nya planeter, speciellt sådana som liknar Jorden. I och med den här upptäckten finns



UNIK. Forskare har bevisat att det som visades i filmen Star Wars för 30 år sedan var något av vetenskaplig fakta. Kepler 16b har två solar. HO

också betydligt större chanser att hitta nya planeter där det finns liv.

– De flesta stjärnor är en del av ett binärt system, vilket betyder att möjligheterna att hitta planeter med liv nu är mycket större. Det här är en

milstolpe i forskningen, säger **William Borucki** på Kepler-projektet.

Elisabet Back

029 080 1311, elisabet.back@hbl.fi

Källor: AP, BBC, Nasa, Science



Två massors potential

$$E = K + U$$

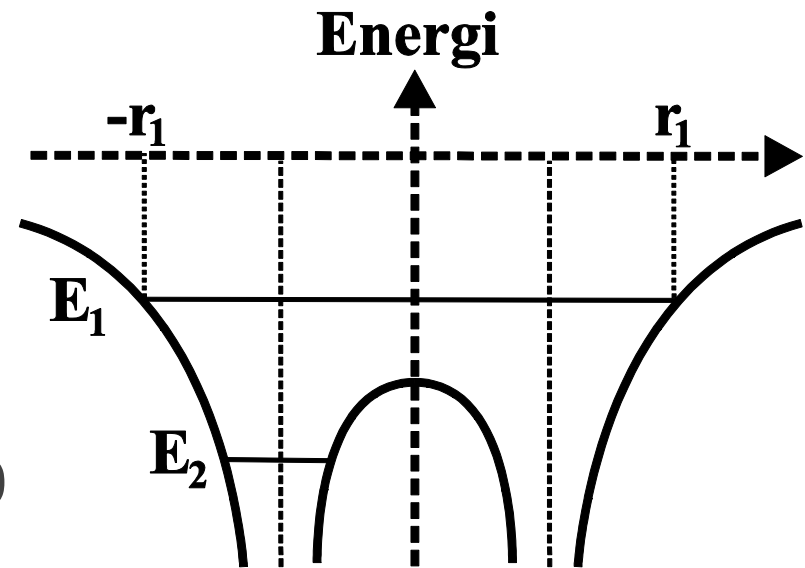
Totala mekaniska energin: $E < 0$

➡ Partikeln bunden till
de två massorna !!

$E = E_1$: Partikeln kretsar kring båda massorna

$E = E_2$: Partikeln kretsar bara kring den ena massan

Vad sker ifall energin för partikeln är exakt samma
som potentialenergin Mellan de två massorna?



En partikels potentialenergi är given med röda linjer.

Partikeln har kinetiska energin 3 J vid $x = 1$ m och rör sig mot höger.

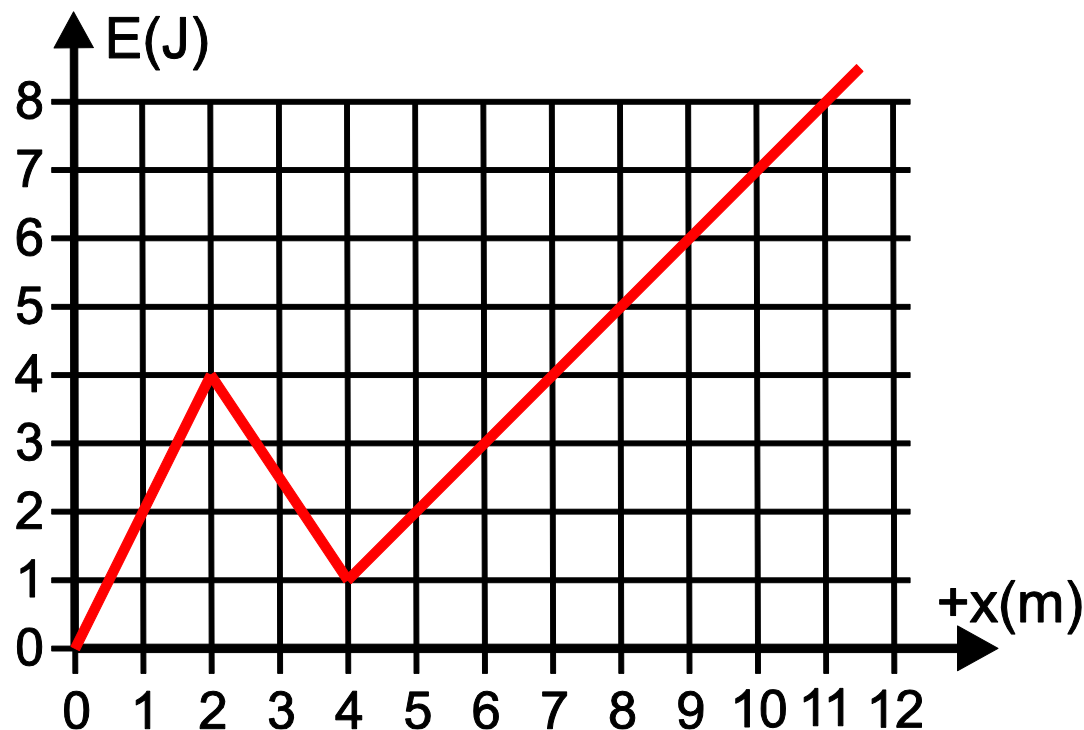
Var är partikelns vändningspunkt?

A) $x = 2$ m

B) $x = 4$ m

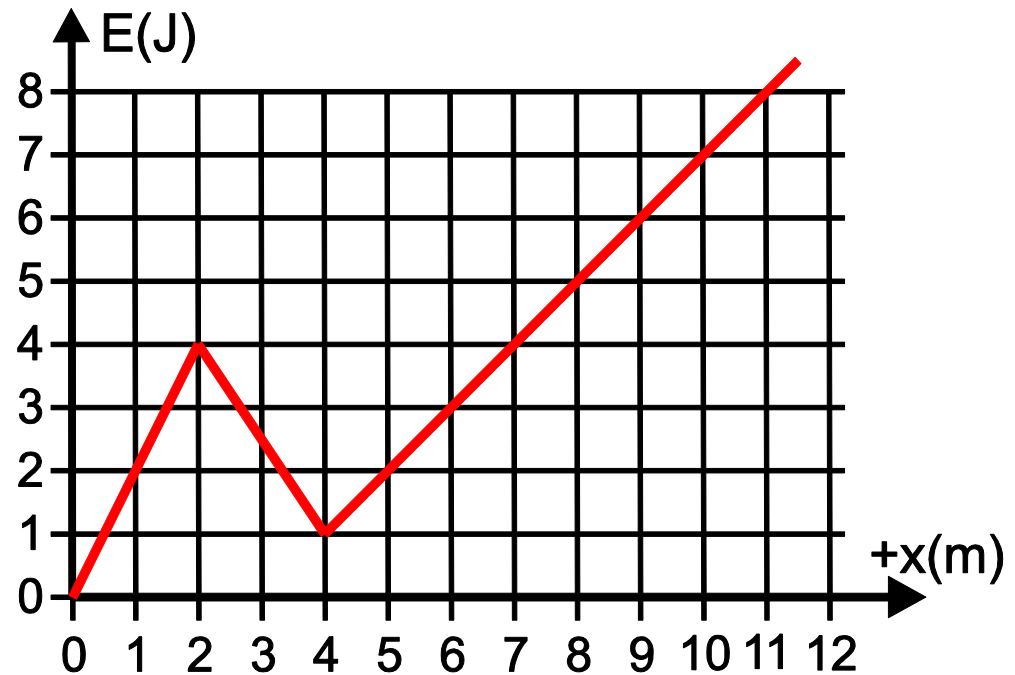
C) $x = 8$ m

D) $x = 10$ m



En partikels
potentialenergi är given
med röda linjer.

Vad är x-komponenten
av kraften som påverkar
partikeln vid $x = 6 \text{ m}$?



A) -2 N

B) -1 N

C) 0 N

D) 1 N

E) 2 N

$$F = -\frac{dU}{dx} = -\frac{(8-2)J}{(11-5)m} = -\frac{6J}{6m}$$



Energikonservering och energikris

Pumpa olja → Kinetisk energi för kolven i bilmotorn
→ Kinetisk energi för bilen
→ Värme till vägen, bromsarna
... via friktion

Solen skiner → Värmer vattenmolekylerna på havsytan som avdunstar
→ Vinden för molnen över land
→ Molnen kylls och regn fyller vattenkraftsbassängerna
→ Gravitationskraften omvandlar potentiell energi till kinetisk energi för vattnet
→ Turbinernas kinetiska energi ökar
→ Elektrisk energi alstras
→ Lampan i vardagsrummet ger ljus och värme
→ Ljuset blir till värme



Lärandemål:

- Kunna beräkna den totala energin (viloenergi + kinetisk energi) för en partikel
- Kunna beräkna den totala energin för ett mångpartikel system (viloenergi, kinetisk energi och gravitations och elektrisk potentiell energi)
- Kunna relatera förändringar i systemets energi till arbete som omgivningen gjort
- Kunna analysera i detalj processer som innebär förändringar i potentiell energi, kinetisk energi och viloenergi
- Kunna rita och förstå bilder där ett mångpartikel systems energi är ritad som funktion av separationen mellan partiklarna

