

(Bab 5)

Usaha dan Energi

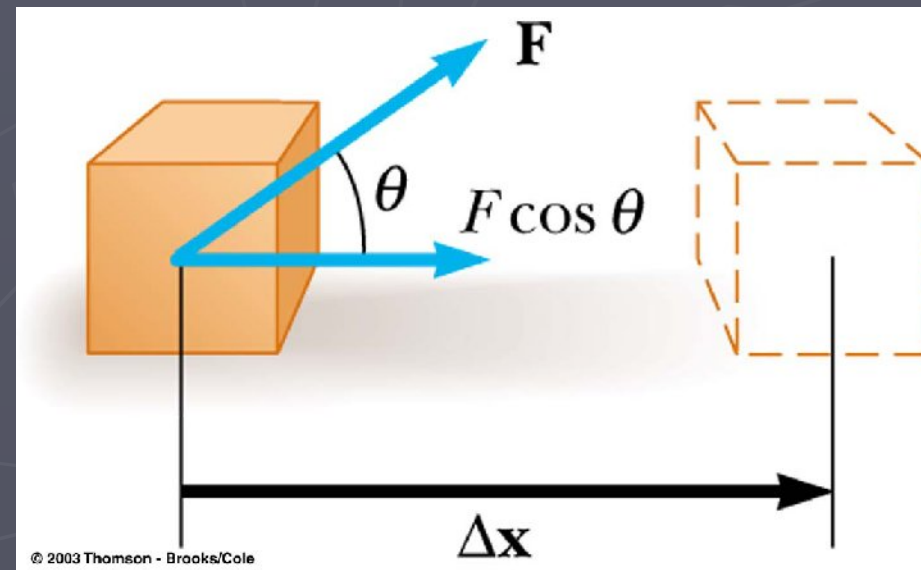


Usaha

- ▶ Menyatakan hubungan antara **gaya** dan **energi**
- ▶ **Energi** menyatakan kemampuan melakukan usaha
- ▶ Usaha, W , yang dilakukan oleh gaya **konstan** pada sebuah benda didefinisikan sebagai **perkalian** antara **komponen gaya sepanjang arah perpindahan** dengan **besarnya perpindahan**

$$W \equiv (F \cos \theta) \Delta x$$

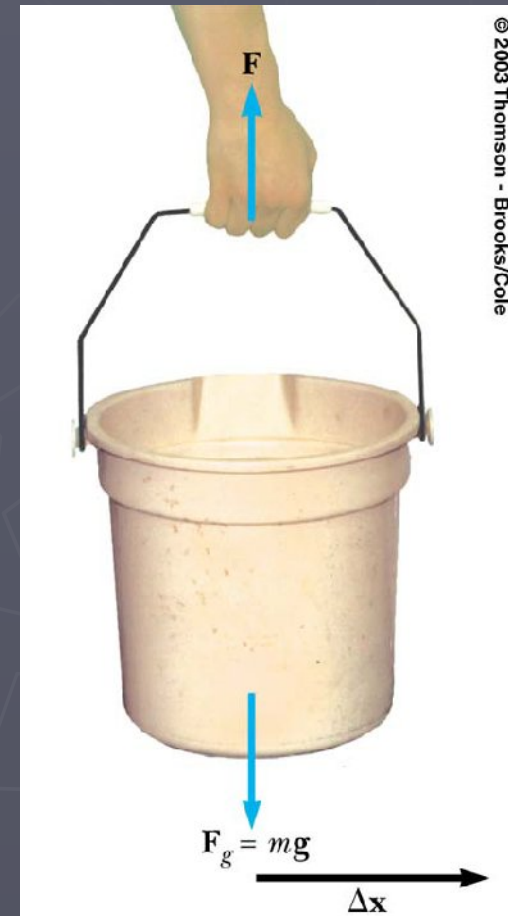
- $(F \cos \theta)$ komponen dari gaya sepanjang arah perpindahan
- Δx adalah besar perpindahan



Usaha (lanjutan)

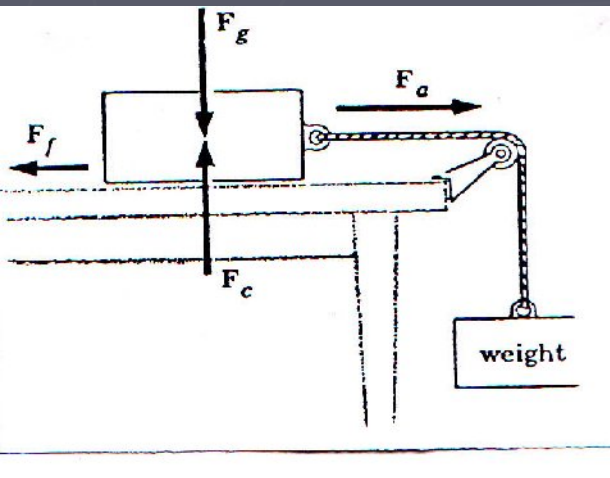
- ▶ Tidak memberikan informasi tentang:
 - waktu yang diperlukan untuk terjadinya perpindahan
 - Kecepatan atau percepatan benda
- ▶ **Catatan:** usaha adalah nol ketika:
 - ▶ Tidak ada **perpindahan/perubahan**
 - ▶ Gaya dan perpindahan saling **tegak lurus**, sehingga $\cos 90^\circ = 0$ (jika kita membawa ember secara horisontal, gaya gravitasi tidak melakukan kerja)

$$W \equiv (F \cos \theta) \Delta x$$



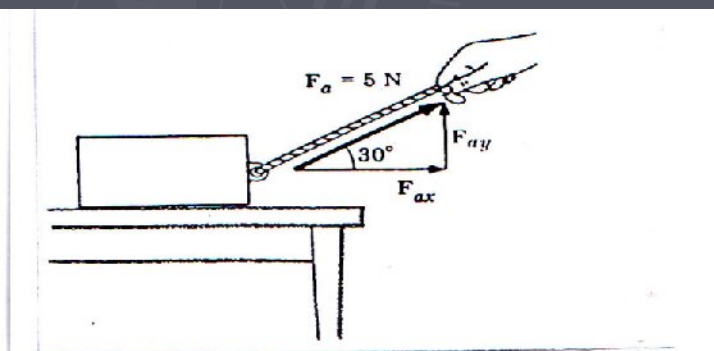
Satuan Usaha

SI	joule (J=N m)
CGS	erg (erg=dyne cm)
USA & UK	foot-pound (foot-pound=ft lb)



$$W_f = -F_f d = -3N \times 3m = -9N.m$$

$$W = W_a + W_c + W_g + W_f = 15N.m + 0 + 0 - 9N.m = 6N.m$$



$$F_{ax} = F_a \cos 30^\circ = 5 \cos 30^\circ = 4.4N$$

$$W_a = F_{ax} d = 4.4N \times 3m = 13.2N.m$$

Usaha (lanjutan)

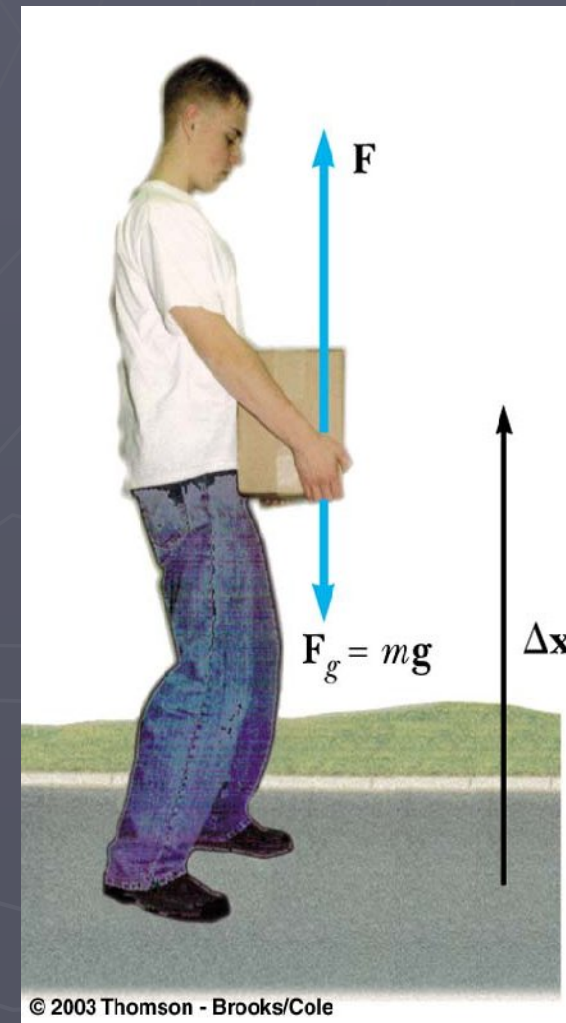
- Usaha dapat bernilai **positif** atau **negatif**
 - **Positif** jika gaya dan perpindahan **berarah sama**
 - **Negatif** jika gaya dan perpindahan **berlawanan arah**

□ Contoh 1

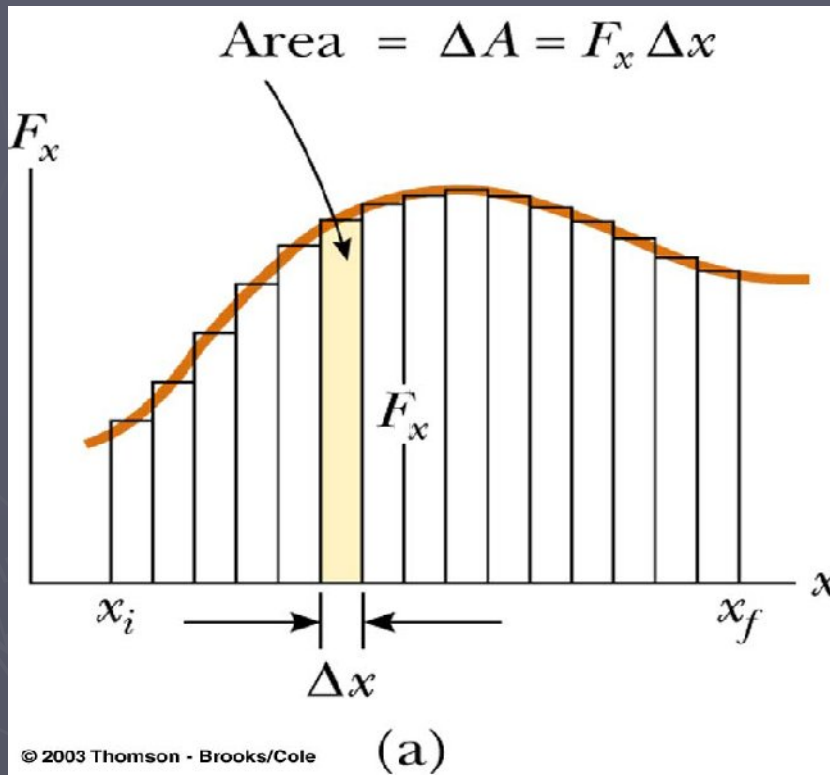
- Usaha yang dilakukan oleh **orang**:
 - ketika menaikkan kotak **+**
 - ketika menurunkan kotak **-**

□ Contoh 2

- Usaha yang dilakukan oleh **gaya gravitasi**:
 - ketika menaikkan kotak **-**
 - ketika menurunkan kotak **+**
 - ketika bergerak horisontal **nol**

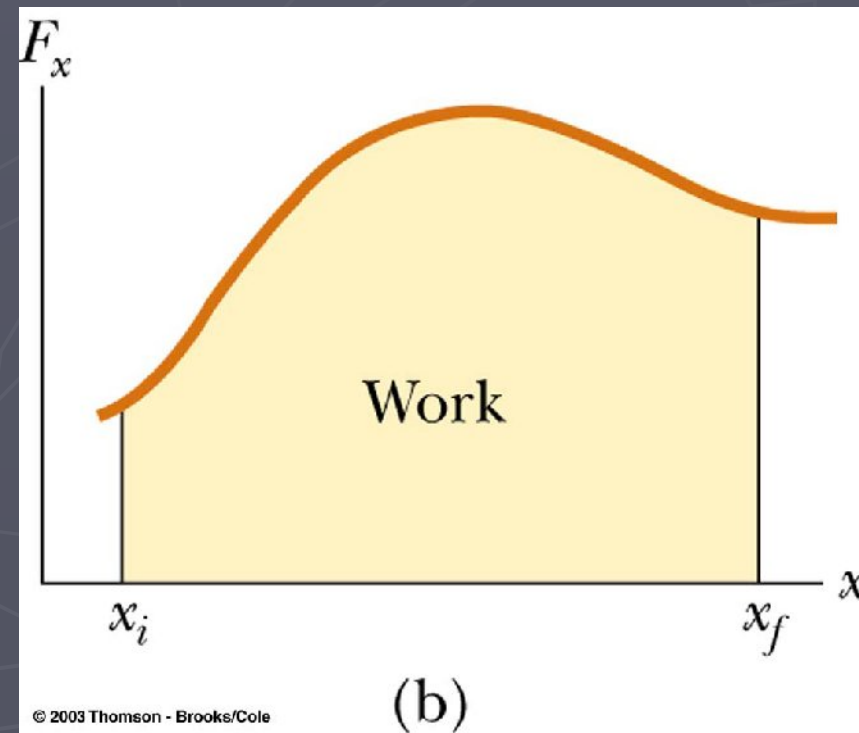


Usaha oleh Gaya yang Berubah dan Interpretasi Grafik dari Usaha



- Bagi perpindahan total ($x_f - x_i$) menjadi bagian kecil perpindahan Δx
- Untuk setiap bagian kecil perpindahan:

$$W_i = (F \cos \theta) \Delta x_i$$



- Sehingga, usaha total adalah:

$$W_{tot} = \sum_i W_i = \sum_i F_x \cdot \Delta x_i$$

Yang merupakan luas total di bawah kurva $F(x)$!

Energi Kinetik

- ▶ Energi diasosiasikan dengan **gerak** sebuah benda
- ▶ **Besaran skalar**, satuannya sama dengan **usaha**
- ▶ Kerja berhubungan dengan energi kinetik
- ▶ Misalkan F adalah sebuah gaya konstan:

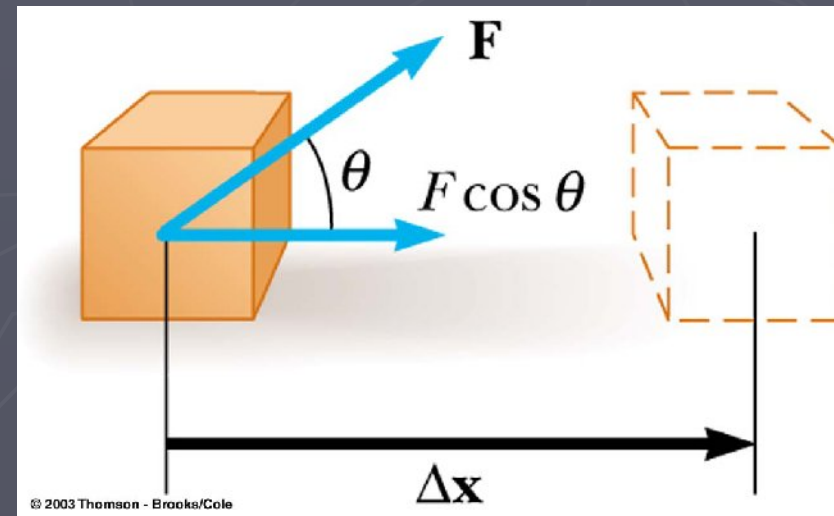
$W_{\text{net}} = Fs = (ma)s$, sedangkan :

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot s, \text{ atau } a \cdot s = \frac{v^2 - v_0^2}{2}.$$

$$\text{Sehingga : } W_{\text{net}} = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right) = \underbrace{\frac{1}{2}mv^2} - \underbrace{\frac{1}{2}mv_0^2}.$$

Besaran ini disebut **energi kinetik**:

$$\mathbf{EK} = \frac{1}{2}mv^2$$



Teorema Usaha-Energi Kinetik

- ▶ Ketika usaha dilakukan oleh gaya neto pada sebuah benda dan benda hanya mengalami perubahan laju, usaha yang dilakukan sama dengan perubahan energi kinetik benda

$$W_{net} = KE_f - KE_i = \Delta KE$$

- Laju akan bertambah jika kerja positif
- Laju akan berkurang jika kerja negatif

Energi Potensial

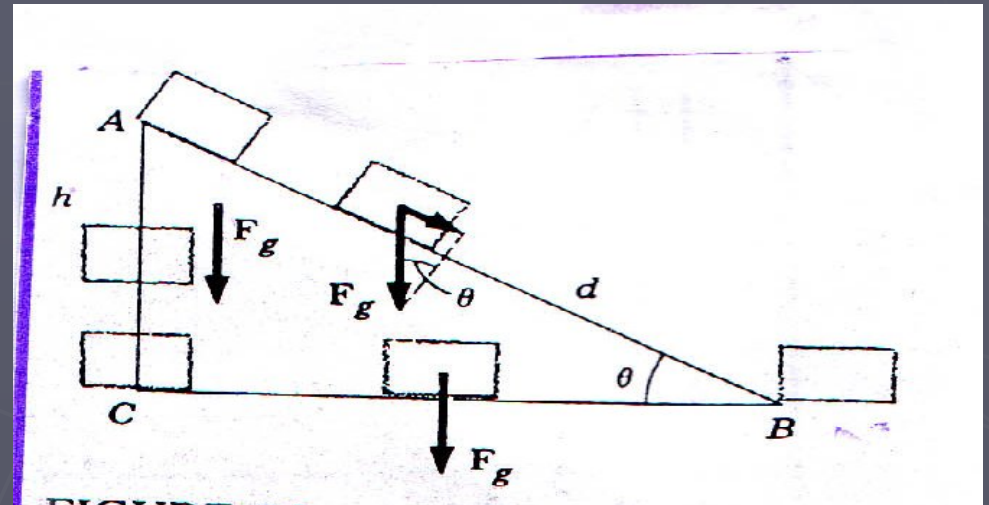
- ▶ $W_{AC} = Fh = mgh$
- ▶ . Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi dari pergerakan balok dari C ke B adalah nol karena arahnya horizontal. $W_{CB} = 0 \sin$
- ▶ $W_{ACB} = mgh + 0 = mgh$
- ▶ Balok juga dapat langsung bergerak dari A ke B secara diagonal. Dari gambar 5.5 maka $W_d =$

$$mg \sin \theta d$$

- ▶ Dari segitiga ABC pada gambar 5.5 sehingga diperoleh

$$\theta = \frac{h}{d}$$

$$W_{AB} = mg \frac{h}{d} d = mgh = W_{ACB}$$



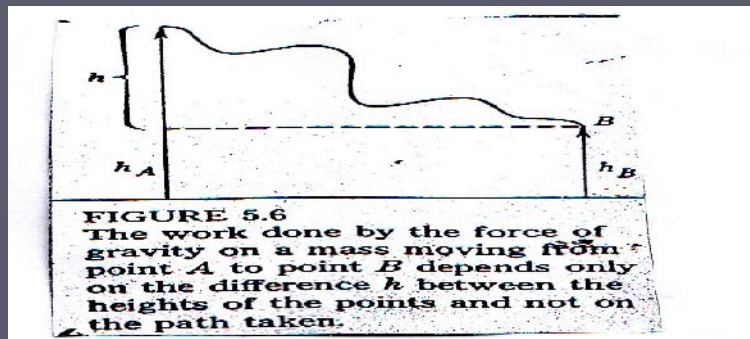
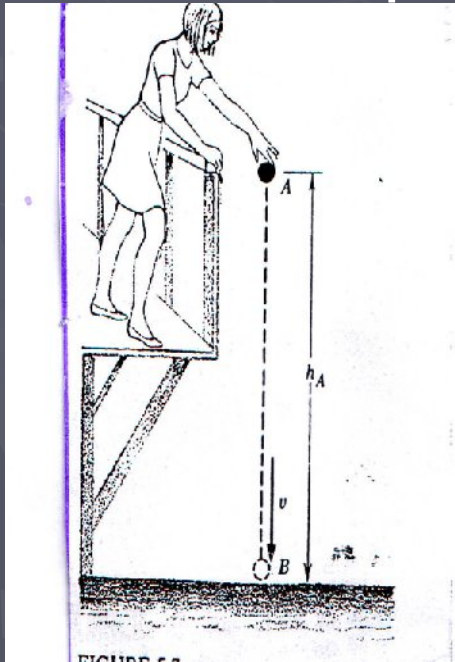


FIGURE 5.6
The work done by the force of gravity on a mass moving from point A to point B depends only on the difference h between the heights of the points and not on the path taken.

$$U_A = mgh_A$$

$$U_B = mgh_B$$

Kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi pada sebuah massa yang dipindahkan dari titik A ke titik B bergantung pada ketinggian dinantara kedua titik tersebut. Ketika benda berada pada titik A serta pada ketinggian B pada gambar 5.6 maka energi benda tersebut pada kedua titik tersebut adalah:



$$U_A = mgh_A = 0.3\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 12\text{m}$$

$$K_A = \frac{1}{2} m \times 0^2 = 0$$

Energi mekanik ketika di titik A = $U_A + K_A = 35.3\text{J} + 0\text{J} = 35.3\text{J}$

$$U_B = mgh_B = mg \times 0 = 0$$

$$K_B + U_B = \frac{1}{2} mV^2$$

$$V = \sqrt{\frac{2(35.3\text{J})}{0.3\text{m}}} = 15.3\text{m/s}$$

Energi Potensial Gravitasi

► Energi potensial Gravitasi adalah energi yang berkaitan dengan posisi relatif sebuah benda dalam ruang di atas permukaan bumi

- Benda berinteraksi dengan bumi melalui gaya gravitasi
- Sebenarnya energi potensial dari sistem bumi-benda

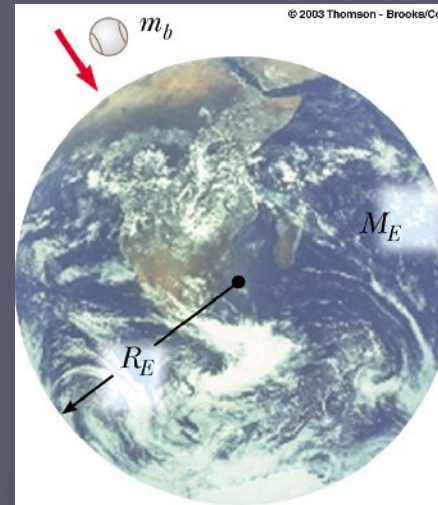


TABLE 7.1

Free-Fall Acceleration g at Various Altitudes

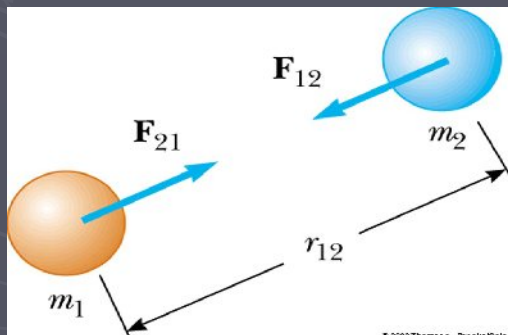
Altitude (km) ^a	g (m/s ²)
1 000	7.33
2 000	5.68
3 000	4.53
4 000	3.70
5 000	3.08
6 000	2.60
7 000	2.23
8 000	1.93
9 000	1.69
10 000	1.49
50 000	0.13

^a All values are distances above Earth's surface.

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

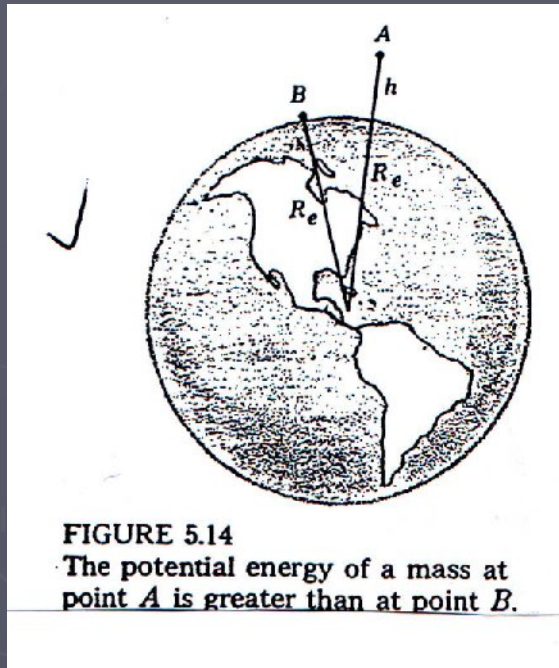
$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} (-\hat{r}_{12})$$

$$\vec{F}_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r_{21}^2} (-\hat{r}_{21})$$



Animasi 10.1

Contoh Energi Potensial



$$U_A = \frac{-Gm_e m}{R_e + h}$$

$$U_B = \frac{-Gm_e m}{R_e}$$

$$U_A - U_B = gR_e^2 m \left(\frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_e + h} \right)$$

$$= mgR_e^2 \frac{h}{R_e(R_e + h)}$$

Jika ketinggian h kecil dibandingkan jari-jari bumi

$$U_A - U_B = mgh$$

Energi Potensial Gravitasi

Gaya Gravitasi adalah Gaya Konservatif !!!

Dapat didefinisikan Fungsi Energi Potensial Gravitasi $U(r)$

Bila partikel bermassa m dipindahkan dari suatu posisi awal r_1 ke suatu posisi akhir r_2 , maka perubahan energi potensialnya adalah

$$\Delta U = U(r_2) - U(r_1) = -W_{r_1 r_2} = \frac{GM_E m}{r_1} - \frac{GM_E m}{r_2}$$

Pilih $U(r_1 = R_E) = 0$
di permukaan bumi

$$U(r) = \frac{GM_E m}{R_E} - \frac{GM_E m}{r} = mgy \frac{R_E}{r} \quad \text{dengan } y = r - R_E \text{ dan } r > R_E$$
$$U_{\text{maks}} = \frac{GM_E m}{R_E} = mgR_E$$

Pilih $U(r_1 = \infty) = 0$
di jauh tak hingga

$$U(r) = -\frac{GM_E m}{r}$$

Laju Lepas

- ▶ Laju lepas adalah laju yang dibutuhkan sebuah benda untuk mencapai ruang angkasa dan tidak kembali

$$\frac{1}{2}mv_{\text{esc}} = U_{\text{maks}} = \frac{GM_E m}{R_E}$$

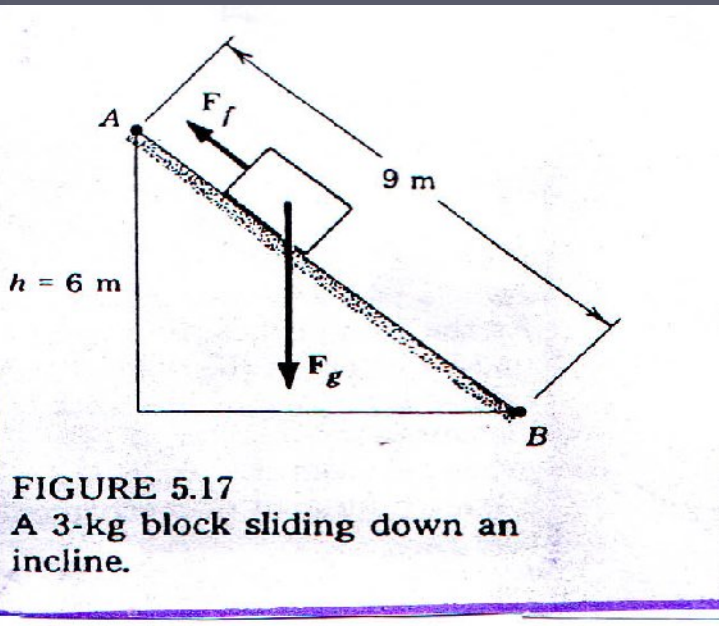
$$v_{\text{esc}} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}}$$

- ▶ Untuk bumi, v_{esc} adalah sekitar 11.2 km/s
- ▶ Cat, v tidak bergantung massa benda

Titik Acuan untuk Energi Potensial Gravitasi

- ▶ Tempat dimana energi potensial gravitasi bernilai nol harus dipilih untuk setiap problem
 - Pemilihannya bebas karena **perubahan energi potensial** yang merupakan kuantitas penting
 - Pilih tempat yang tepat untuk titik acuan nol
 - ▶ Biasanya permukaan bumi
 - ▶ Dapat tempat lain yang disarankan oleh problem

Contoh gaya non konservatif



$$W_g = U_A - U_B = mgh = 3\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 6\text{m} = 176\text{J}$$

$$W = W_g + W_f + W_c = 176\text{J} - 108\text{J} + 0 = 68\text{J}$$

$$W = W_g - W_f = U_A - U_B + W_f = K_B - K_A = 68\text{J}$$

$$K_B + U_B = K_A + U_A + w_f$$

$$E_m(B) - E_m(A) = W_f = -108\text{J}$$

Usaha dan Energi Potensial Gravitasi

$$U_A = mgh = 375m$$

$$Ek_A = 0$$

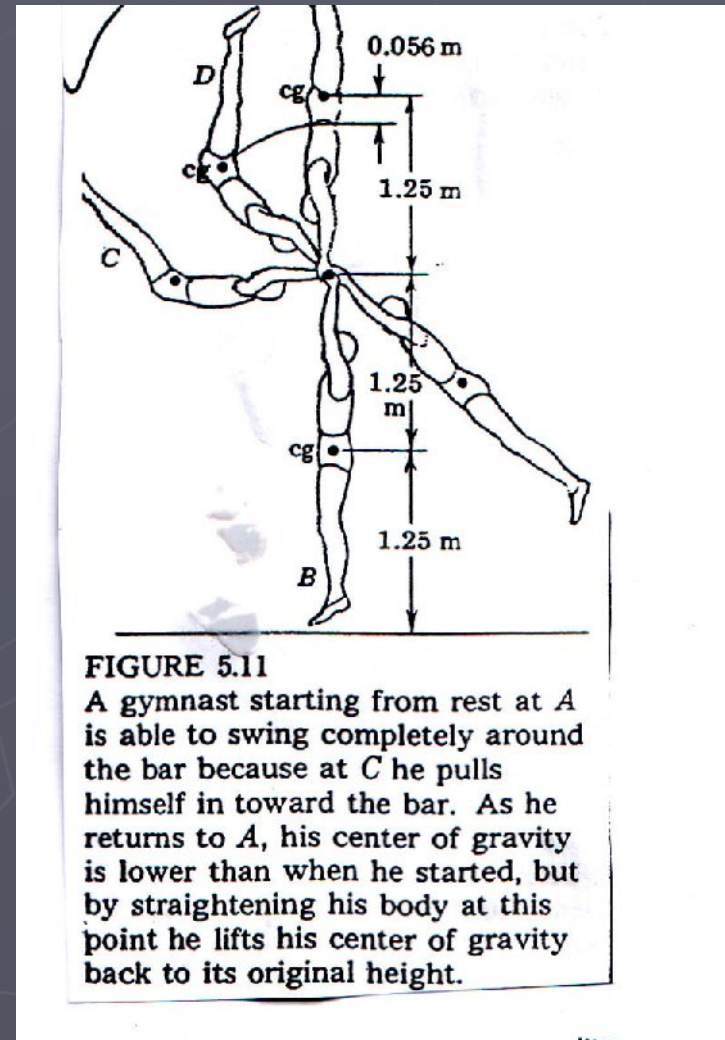
$$Em_A = U_A = mgh = 375m$$

$$90\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 3.75 = 3308\text{J}$$

$$E_m(D) = 3308\text{J} - 50\text{J} = 3258\text{J}$$

$$mgh_d = 3258\text{J}$$

$$h_d = \frac{3258\text{J}}{90\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2} = 3.694\text{m}$$



Berarti pada titik D pusat gravitasinya telah berkurang sebesar = $3.75 - 3.694 = 0.0556\text{m}$

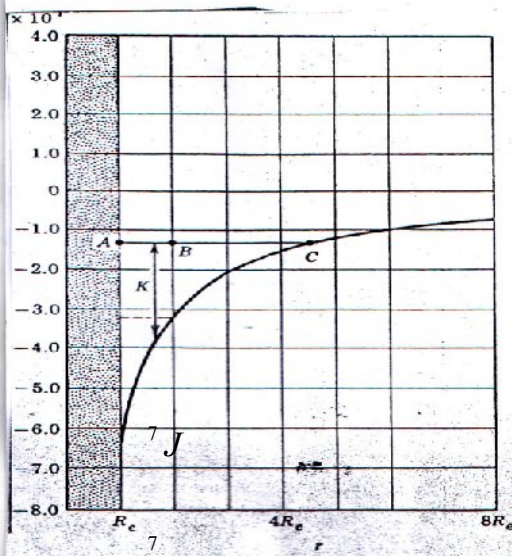
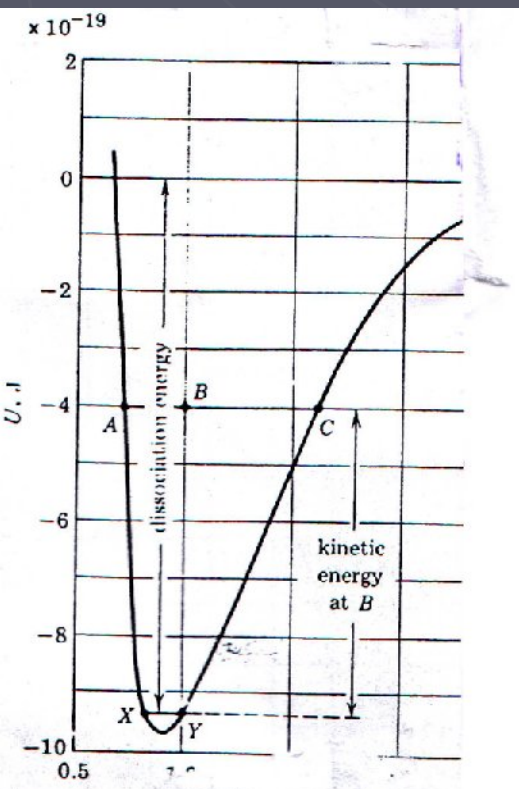


FIGURE 5.15
Plot of the potential energy U of a 1-kg mass against its distance r from the center of the earth.

Energi potensial akan bertambah dan energi kinetika akan berkurang apabila suatu objek dipindahkan pada ketinggian yang lebih tinggi dari pusat permukaan bumi



Pada gambar 5.16 merupakan plot energi potensial dari atom hidrogen dengan atom Fluor pada jarak r . Kedua atom tersebut saling bervibrasi, apabila atom hidrogen dekat dengan atom Fluor maka energi potensialnya nol sedangkan energi kinetiknya maksimum dan apabila pada simpangan terjauhnya maka akan berlaku sebaliknya

Gaya Konservatif

- ▶ Sebuah gaya dinamakan **konservatif** jika usaha yang dilakukannya pada benda yang bergerak diantara dua titik **tidak bergantung pada lintasan** yang dilalui benda
 - Usaha hanya bergantung pada posisi akhir dan awal dari benda
 - Gaya konservatif dapat mempunyai fungsi energi potensial yang berkaitan

Catatan: Sebuah gaya dikatakan **konservatif** jika usaha yang dilakukan pada benda yang bergerak melalui **lintasan tertutup** adalah nol.

Gaya Konservatif (lanjutan)

► Contoh gaya konservatif:

- Gaya Gravitasi
- Gaya Pegas
- Gaya Elektromagnetik

► Karena kerjanya tidak bergantung lintasan:

- $W_c = EP_i - EP_f$: hanya bergantung pada titik akhir dan awal

Gaya Non-Konservatif

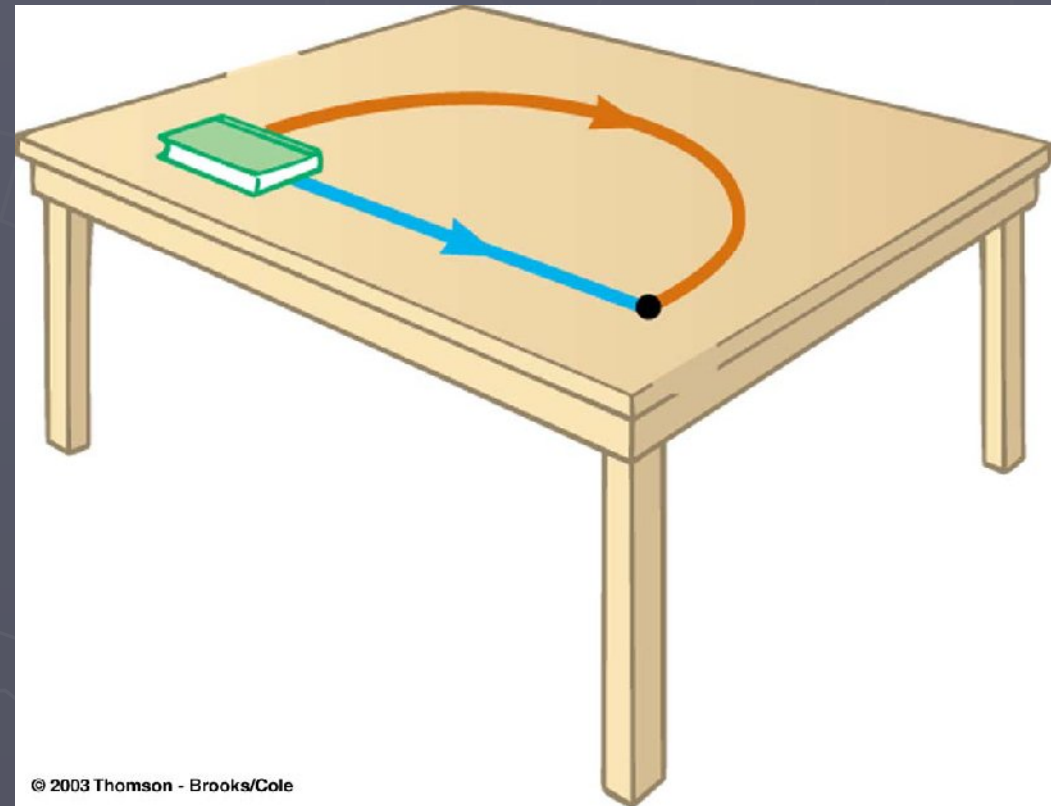
- ▶ Sebuah gaya dikatakan **nonkonservatif** jika kerja yang dilakukannya pada sebuah benda **bergantung pada lintasan** yang dilalui oleh benda antara titik akhir dan titik awal
- ▶ Contoh gaya non-konservatif
 - Gaya gesek

Contoh: Gaya Gesekan sebagai Gaya Non-konservatif

- ▶ Gaya gesek mentransformasikan energi kinetik benda menjadi energi yang berkaitan dengan temperatur
 - Benda menjadi lebih panas dibandingkan sebelum bergerak
 - *Energi Internal* adalah bentuk energi yang digunakan yang berkaitan dengan temperatur benda

Gaya Gesek Bergantung Lintasan

- ▶ Lintasan **biru lebih pendek** dari lintasan **merah**
- ▶ Kerja yang dibutuhkan lebih kecil pada lintasan biru daripada lintasan merah
- ▶ Gesekan **bergantung** pada lintasan dan merupakan **gaya non-konservatif**



Kekekalan Energi Mekanik

► Kekekalan secara umum

- Untuk mengatakan besaran fisika *kekal* adalah dengan mengatakan nilai numerik besaran tersebut konstan

► Dalam kekekalan energi, energi mekanik total tidak berubah (konstan)

- Dalam sebuah sistem yang terisolasi yang terdiri dari benda-benda yang saling berinteraksi melalui gaya konservatif, energi mekanik total sistem tidak berubah

Kekekalan Energi

- ▶ Energi **mekanik** total adalah jumlah dari energi **kinetik** dan energi **potensial** sistem

$$E_i = E_f$$

$$EK_i + EP_i = EK_f + EP_f$$

- Energi bentuk lain dapat ditambahkan guna memodifikasi persamaan di atas

Gaya Non-konservatif dengan Tinjauan Energi

- ▶ Ketika gaya non-konservatif hadir, energi mekanik sistem **tidak konstan**
- ▶ Usaha total yang dilakukan oleh semua gaya konservatif dan non-konservatif pada sistem sama dengan **perubahan energi kinetik sistem**

$$W_{total} = W_k + W_{nk} = \Delta EK$$

- ▶ Usaha yang dilakukan oleh semua gaya non-konservatif pada bagian dari sistem sama dengan **perubahan energi mekanik sistem**

$$W_{nk} = \Delta Energi$$

Catatan Tentang Kekekalan Energi

- ▶ Kita tidak dapat menciptakan atau memusnahkan energi
 - Dengan kata lain energi adalah kekal
 - Jika energi total sebuah sistem tidak konstan, energi pasti telah berubah ke bentuk lain dengan mekanisme tertentu