

# Fisika Umum (MA-301)

Topik hari ini (minggu 3)

- Hukum Gerak
- Momentum
- Energi
- Gerak Rotasi
- Gravitasi



# Hukum Gerak

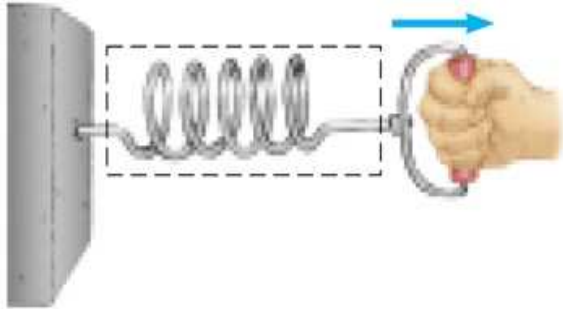
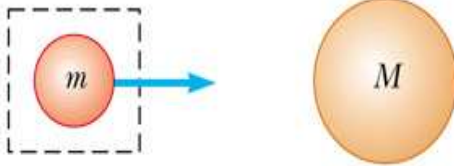

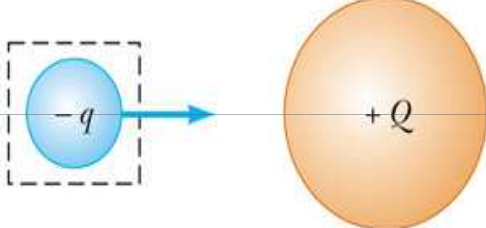

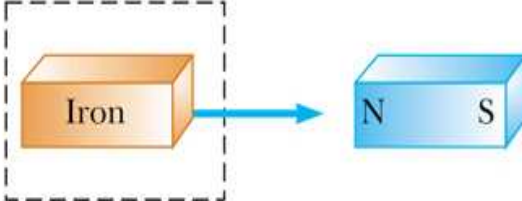


# Mekanika Klasik

- ▶ Menjelaskan hubungan antara gerak benda dan gaya yang bekerja padanya
- ▶ Kondisi ketika Mekanika Klasik tidak dapat diterapkan
  - benda yang sangat **kecil** ( $<$  ukuran atom)
  - benda bergerak **mendekati** kecepatan cahaya

# Gaya

- Biasanya dibayangkan sebagai dorongan atau tarikan
- Besaran Vektor
- Bisa bersentuhan (contact forces) atau tak bersentuhan (medan gaya/field forces)

Contact forces	Field forces
 <p>(a)</p>	 <p>(d)</p>
 <p>(b)</p>	 <p>(e)</p>
 <p>(c)</p>	 <p>(f)</p>

# Gaya Fundamental

## ► Tipe

- Gaya inti kuat
- Gaya elektromagnetik
- Gaya inti lemah
- Gravitasi

## ► Karakteristik

- Semuanya termasuk **gaya tak sentuh** (medan gaya/field forces)
- Berurut dengan kekuatannya yang **menurun**
- Hanya **gravitasi** dan **elektromagnetik** dalam mekanika

# Hukum I Newton

- ▶ Jika tidak ada gaya yang bekerja pada sebuah benda, maka keadaan gerak benda akan sama seperti semula, kecuali jika ada gaya eksternal yang bekerja padanya; dengan kata lain, sebuah benda akan selamanya diam atau terus menerus bergerak dengan kecepatan tetap jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja padanya

# Hukum I Newton (lanjutan)

- ▶ Gaya eksternal

- Gaya yang berasal dari interaksi antara benda dengan lingkungannya

- ▶ Pernyataan lain dari **Hukum I Newton**

- Ketika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada benda, percepatan benda akan sama dengan nol.

# Inersia dan Massa

- ▶ **Inersia** adalah kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan geraknya semula
- ▶ **Massa** adalah sebuah **ukuran dari inersia**, yaitu ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan geraknya karena pengaruh gaya
- ▶ Ingat: massa adalah sebuah **kuantitas skalar**

Satuan Massa	
SI	kilogram (kg)
CGS	gram (g)
USA & UK	slug (slug)



# Inersia and Massa: Contoh

## Kereta nyasar

- ▶ **Inersia** adalah kecenderungan sebuah benda untuk mempertahankan keadaan geraknya semula
- ▶ **Massa** adalah sebuah ukuran dari inersia, yaitu ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan geraknya karena pengaruh gaya



# Hukum II Newton

- ▶ Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya netto yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya

$$\vec{a} \propto \frac{\sum \vec{F}}{m} \quad \text{atau} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

- **F** dan **a** keduanya adalah vektor

# Satuan Gaya

- ▶ Satuan gaya (SI) adalah Newton (N)

$$1 \text{ N} \equiv 1 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2}$$

Satuan Gaya	
SI	Newton (N=kg m/ s <sup>2</sup> )
CGS	Dyne (dyne=g cm/s <sup>2</sup> )
USA & UK	Pound (lb=slug ft/s <sup>2</sup> )

- ▶  $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne} = 0.225 \text{ lb}$

# Tes Konsep

Sebuah mobil melewati belokan dengan tidak mengubah laju. Apakah terdapat gaya netto pada mobil tersebut ketika sedang melewati belokan?



- a. Tidak—lajunya tetap
- b. Ya
- c. Bergantung ketajaman belokan dan laju mobil
- d. Bergantung pengalaman pengemudi mobil

**Jawab b**

Cat : **Percepatan** muncul karena adanya **perubahan laju** dan atau **arah** dari sebuah benda. Jadi, karena arahnya telah berubah, percepatan muncul dan sebuah gaya pasti telah diberikan pada mobil tersebut.

# Keseimbangan

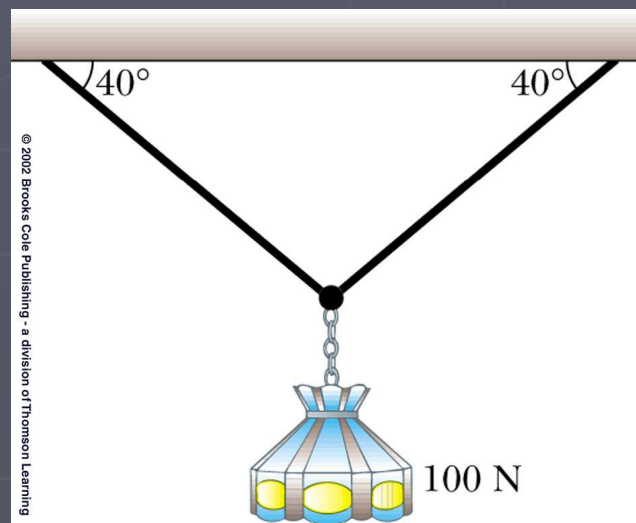
- ▶ Sebuah benda yang diam atau bergerak dengan kecepatan konstan dikatakan berada dalam **keseimbangan**
- ▶ Gaya netto yang bekerja pada benda sama dengan nol

$$\sum \vec{F} = 0 \begin{array}{l} \nearrow \sum F_x = 0 \\ \searrow \sum F_y = 0 \end{array}$$

- ▶ Memudahkan bekerja dengan persamaan di atas dalam komponennya

# Contoh 1. Soal Kestimbangan

Carilah tegangan pada kedua tali bila keduanya diberikan beban 100 N seperti pada gambar?

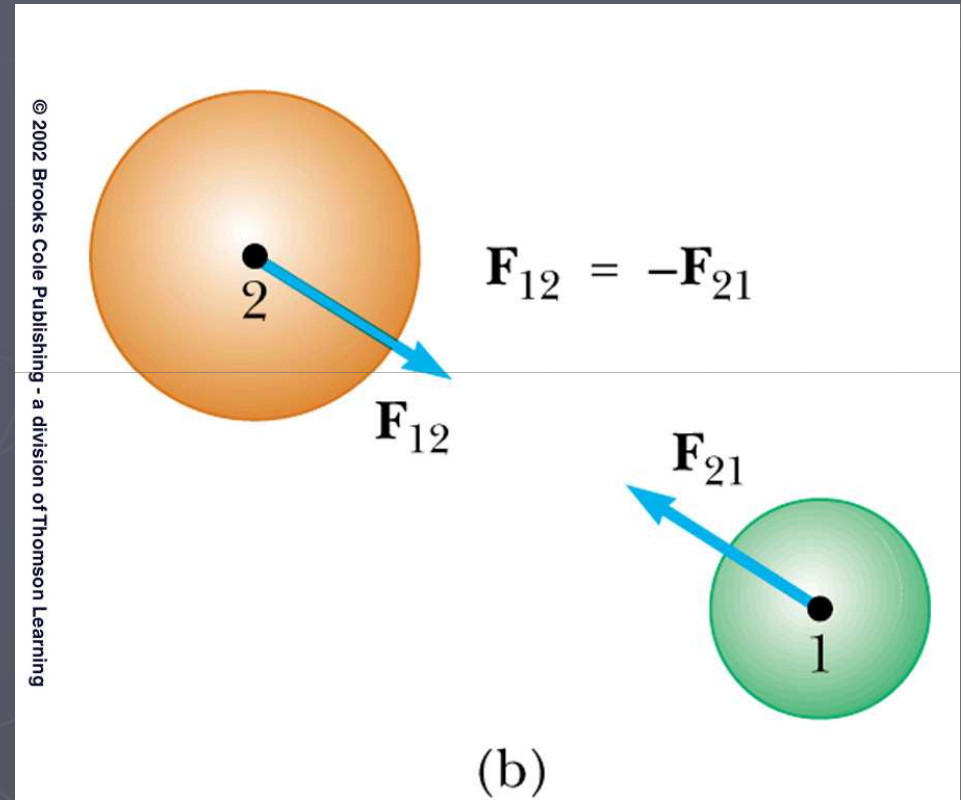


# Hukum III Newton

- ▶ Jika dua benda berinteraksi, gaya  $F_{12}$  yang dikerjakan oleh benda 1 pada benda 2 adalah sama besar tetapi berlawanan arah dengan gaya  $F_{21}$  yang dikerjakan oleh benda 2 pada benda 1.

# Contoh: Hukum III Newton

- ▶ Tinjau tumbukan antara dua bola
- ▶  $F_{12}$  dapat dinamakan gaya **aksi** dan  $F_{21}$  gaya **reaksi**
  - Sebenarnya, salah satu gaya dapat sebagai aksi ataupun reaksi
- ▶ Gaya aksi dan reaksi bekerja pada benda **yang berbeda**





# Momentum



# Momentum

- ▶ Dari Hukum Newton: Gaya harus hadir untuk mengubah kecepatan sebuah benda (laju dan/atau arah)
- Ingin meninjau efek dari tumbukan dan kaitannya dalam perubahan kecepatan



Bola golf pada awalnya diam, energi kinetik dari tongkat golf ditransfer untuk menghasilkan gerak dari bola golf (mengalami perubahan kecepatan)

- Metode untuk menjelaskannya digunakan konsep momentum linier

$$\text{Momentum Linier} = \text{massa} \times \text{kecepatan}$$

skalar

vektor

# Impuls

- ▶ Untuk **mengubah** momentum dari sebuah benda (misal bola golf), sebuah **gaya harus hadirkan**
- ▶ **Laju perubahan momentum sebuah benda sama dengan gaya neto yang bekerja pada benda tsb**

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m(\vec{v}_f - \vec{v}_i)}{\Delta t} = m \vec{a} \text{ atau } : \Delta \vec{p} = \vec{F}_{net} \Delta t$$

- Memberikan pernyataan lain Hukum II Newton
- $(F \Delta t)$  didefinisikan sebagai **impuls**
- Impuls adalah **besaran vektor**, arahnya sama dengan arah gaya

# Contoh: Impuls diaplikasikan pada Mobil

- ▶ Faktor terpenting adalah **waktu benturan** atau **waktu yang diperlukan pengemudi/penumpang untuk diam**
  - Ini akan mengurangi kemungkinan kematian pada tabrakan mobil

- ▶ Cara untuk menambah waktu
  - Sabuk pengaman
  - Kantung udara



- ▶ kantung udara menambah **waktu tumbukan** dan **menyerap energi dari** tubuh pengemudi/penumpang

# Tes Konsep

Misalkan sebuah bola pingpong dan bola bowling meluncur ke arah anda. Keduanya mempunyai momentum yang sama, dan anda mengerjakan gaya yang sama untuk menghentikan masing-masing bola. Bagaimana perbandingan selang untuk menghentikan kedua bola tersebut?

- a. lebih singkat untuk menghentikan bola pingpong
- b. sama
- c. lebih lama untuk menghentikan bola pingpong

**Jawab b**

# Kekekalan Momentum

- ▶ Definisi: sebuah sistem terisolasi adalah sistem yang tidak dikenai gaya eksternal padanya

Momentum dalam sebuah sistem terisolasi dimana terjadi peristiwa tumbukan adalah konstan

- Tumbukan merupakan kontak fisik antara dua benda (atau lebih)

# Kekekalan Momentum (lanjutan)

Prinsip kekekalan momentum menyatakan bahwa ketika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sebuah sistem yang terdiri dari dua benda yang saling bertumbukan, momentum total dari sistem sebelum tumbukan adalah sama dengan momentum total sistem setelah tumbukan

# Kekekalan Momentum (lanjutan)

► Secara matematik:  $m_1 \vec{v}_{1i} + m_2 \vec{v}_{2i} = m_1 \vec{v}_{1f} + m_2 \vec{v}_{2f}$

- Momentum adalah konstan untuk *sistem* benda
- Sistem mencakup semua benda yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya
- Diasumsikan hanya gaya internal yang bekerja selama terjadi tumbukan
- Dapat digeneralisasi untuk jumlah benda lebih dari dua



# Tes Konsep

Misalkan seseorang loncat dari pesawat dan menumbuk permukaan bumi. Maka bumi...

- a. tidak akan bergerak sama sekali
- b. akan terpental dengan kecepatan yang sangat kecil
- c. mungkin terpental, tapi tidak cukup informasi untuk melihat apa yang terjadi

**Jawab b**

Cat: momentum adalah kekal. Mari kita hitung kecepatan bumi setelah orang bermassa 80-kg menumbuknya. Misalkan laju ketika menumbuk bumi 4 m/s, maka:

$$\underline{\text{Orang}} : \Delta p = 320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\underline{\text{Bumi}} : \Delta p = M_{\text{Bumi}} V_{\text{Bumi}} = -320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}, \text{ so}$$

$$V_{\text{Bumi}} = \frac{-320 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{6 \times 10^{24} \text{ kg}} = \underline{\underline{-5.3 \times 10^{-23} \text{ m/s}}}$$

# Jenis Tumbukan

- ▶ Momentum adalah kekal disetiap tumbukan

Bagaimana dengan energi kinetik?

- ▶ Tumbukan **Inelastik**

- Energi kinetik tidak kekal  $EK_i = EK_f + \text{energi hilang}$ 
  - ▶ Diubah menjadi jenis energi yang lain seperti panas, suara
- Tumbukan **inelastik sempurna** terjadi ketika benda saling menempel
  - ▶ Tidak semua energi kinetik hilang

# Jenis Tumbukan (lanjutan)

## ▶ Tumbukan **Elastik**

- momentum dan energi kinetik kekal

## ▶ Tumbukan **Sebenarnya**

- banyak tumbukan terjadi antara elastik dan inelastik sempurna

# Energi



# Pendahuluan

## ▶ Bentuk dari energi:

- mekanik
  - ▶ Fokus saat ini ✓
- kimia
- elektromagnet
- Inti

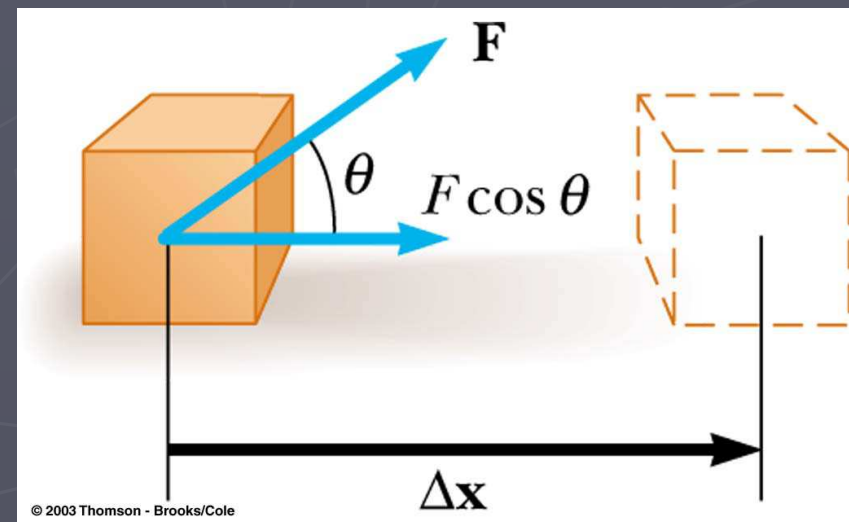
## ▶ Energi bisa ditransformasi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain

# Usaha

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

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

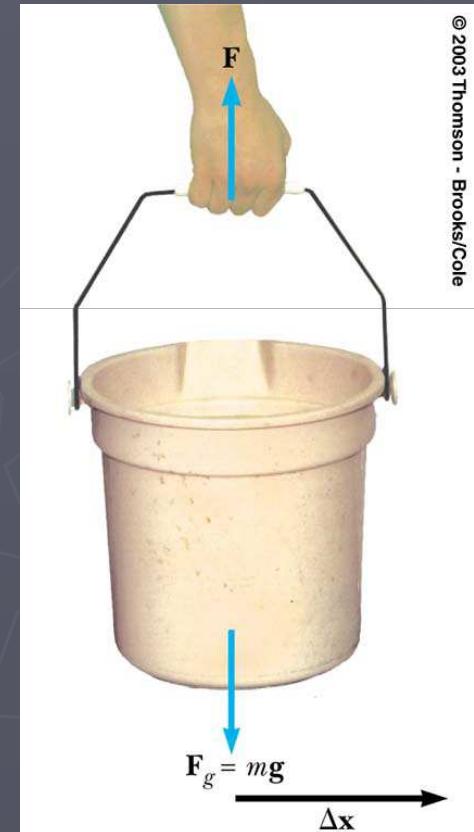
- $(F \cos \theta)$  komponen dari gaya sepanjang arah perpindahan
- $\Delta x$  adalah besar perpindahan



# Usaha (lanjutan)

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

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



# Usaha (lanjutan)

- Besaran **Skalar**

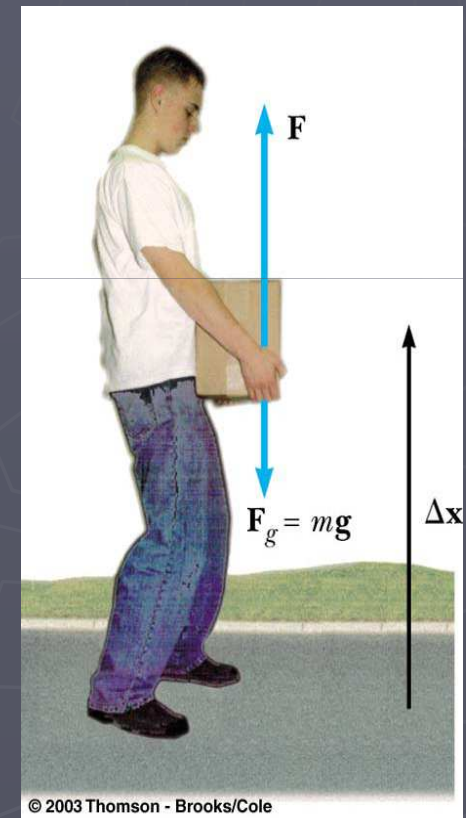
Satuan Usaha	
SI	joule ( $J=N \text{ m}$ )
CGS	erg ( $\text{erg}=\text{dyne cm}$ )
USA & UK	foot-pound ( $\text{foot-pound}=\text{ft lb}$ )

- Jika terdapat banyak gaya yang bekerja pada benda, usaha total yang dilakukan adalah penjumlahan aljabar dari sejumlah usaha yang dilakukan tiap gaya



# Usaha (lanjutan)

- Usaha dapat bernilai **positif** atau **negatif**
  - **Positif** jika gaya dan perpindahan **berarah sama**
  - **Negatif** jika gaya dan perpindahan **berlawanan arah**
- Contoh 1: mengangkat kotak...
  - Usaha yang dilakukan oleh **orang**:
    - **positif** ketika menaikkan kotak
    - **negatif** ketika menurunkan kotak
- Contoh 2: ... kemudian bergerak horisontal
  - Usaha yang dilakukan oleh **gaya gravitasi**:
    - **negatif** ketika menaikkan kotak
    - **positif** ketika menurunkan kotak
    - **nol** ketika bergerak horisontal



$$\underline{\text{Usaha total}}: W = W_1 + W_2 + W_3 = \underbrace{-mgh}_{\text{naik}} + \underbrace{mgh}_{\text{turun}} + \underbrace{0}_{\text{gerak}} = \underbrace{0}_{\text{total}}$$

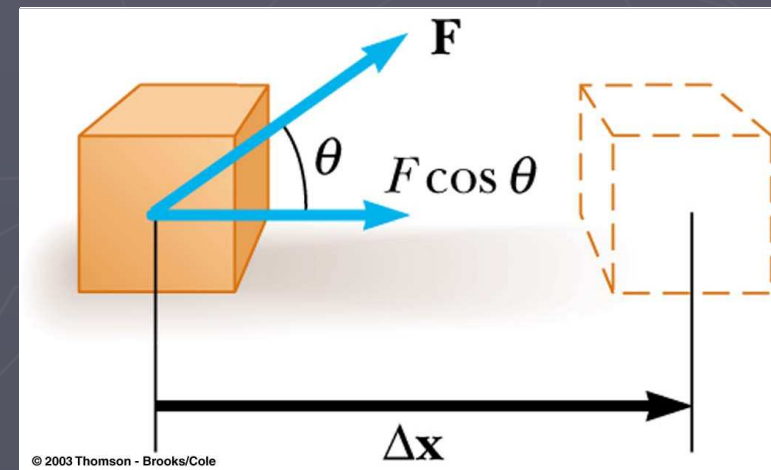
# Energi Kinetik

- ▶ 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

# Usaha dan Energi Kinetik (lanjutan)

Palu yang bergerak mempunyai energi kinetik dan dapat melakukan usaha pada paku (palu mengalami perubahan kecepatan)



# Tes Konsep

Dua buah kelereng, salah satu lebih berat dua kali dari yang lain, dijatuhkan ke tanah dari atap sebuah bangunan. Sesaat sebelum menumbuk tanah, kelereng yang lebih berat memiliki energi kinetik

- a. sama dengan kelereng yang lebih ringan
- b. dua kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- c. setengah kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- d. seperempat kali lebih besar dari kelereng yang lebih ringan
- e. tidak dapat ditentukan

**Jawab b**

# Energi Potensial

- ▶ **Energi Potensial** diasosiasikan dengan **posisi** sebuah benda dalam sebuah sistem
  - Energi potensial adalah sifat dari sistem, bukan benda
  - Sebuah sistem adalah kumpulan dari benda atau partikel yang saling berinteraksi melalui gaya
- ▶ **Satuan** dari **Energi Potensial** adalah sama dengan Usaha dan **Energi kinetik**

# Energi Potensial Gravitasi

- ▶ Energi potensial Gravitasi adalah energi yang berkaitan dengan posisi relatif sebuah benda dalam ruang di **dekat permukaan bumi**
  - Benda berinteraksi dengan bumi melalui gaya gravitasi
  - Sebenarnya energi potensial dari sistem bumi-benda

# Usaha dan Energi Potensial Gravitasi

- ▶ Tinjau sebuah buku bermassa  $m$  pada ketinggian awal  $y_i$
- ▶ Usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi:

$$W_{\text{grav}} = (F \cos \theta)s = (mg \cos \theta)s, \text{ dengan :}$$

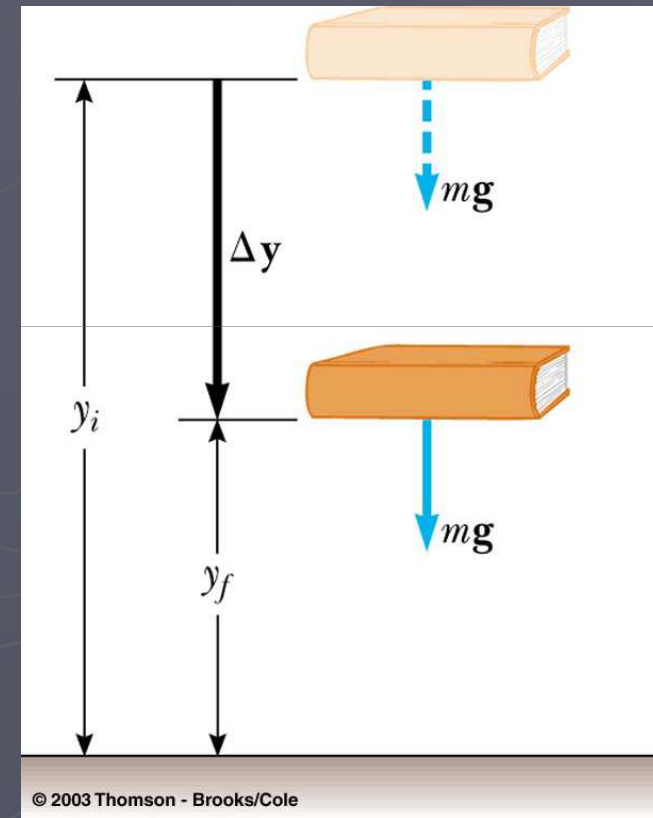
$$s = y_i - y_f, \cos \theta = 1,$$

$$\text{Sehingga : } W_{\text{grav}} = mg(y_i - y_f) = \underbrace{mgy_i} - \underbrace{mgy_f}.$$

Besaran ini disebut **energi potensial**:

$$EP = mgy$$

■ Catatan:  $W_{\text{gravity}} = EP_i - EP_f$





# 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 ketinggian acuan nol
    - ▶ Biasanya permukaan bumi
    - ▶ Dapat tempat lain yang disarankan oleh problem

# 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

# Tes Konsep

Sebuah balok dari keadaan diam diluncurkan pada sebuah bidang miring tanpa gesekan dan mencapai batas bawah bidang miring dengan laju  $v$ . Untuk mencapai laju  $2v$  pada batas bawah bidang miring, berapa kali ketinggian semula balok harus dilepaskan?

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5
- f. 6

**Jawab d**

# Transfer Energi

- ▶ Melalui **Usaha**
  - Dengan memberikan gaya
  - Menghasilkan perpindahan dari sistem



# Transfer Energi

## ► Panas

- Proses transfer panas melalui tumbukan antar molekul



# Transfer Energi

## ► Gelombang Mekanik

- Gangguan yang menjalar melalui medium
- Contoh: suara, air, seismik



# Transfer Energi

## ▶ Transmisi Elektrik

- Transfer oleh arus listrik





# Transfer Energi

- ▶ **Radiasi Elektromagnetik**
  - Berbagai bentuk gelombang elektromagnetik
    - ▶ cahaya, gelombang mikro (microwave), gelombang radio



# 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
  - Diaplikasikan ke bidang lain selain FISIKA

# Daya

- ▶ *Daya* didefinisikan sebagai **laju transfer (aliran) energi**

- $\bar{P} = \frac{W}{t} = F\bar{v}$

- Satuan SI adalah **Watt** (W) :  $W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$

- USA & UK : hp (horsepower) :

$$1 \text{ hp} = 550 \frac{\text{ft lb}}{\text{s}} = 746 \text{ W}$$

- kilowatt hours (kWh) digunakan dalam tagihan listrik

# Gerak Rotasi



# Momen Inersia

- ▶ Terdapat perbedaan yang penting antara **massa inersia** dan **momen inersia**
- ▶ **Massa inersia** adalah ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan gerak **translasi** nya (karena pengaruh gaya) sedangkan **Momen inersia** adalah ukuran kemalasan suatu benda untuk mengubah keadaan gerak **rotasi** nya (karena pengaruh torsi)
- ▶ Momen inersia bergantung pada kuantitas materi dan ***distribusinya***
- ▶ Momen inersia juga bergantung pada **posisi sumbu rotasi**

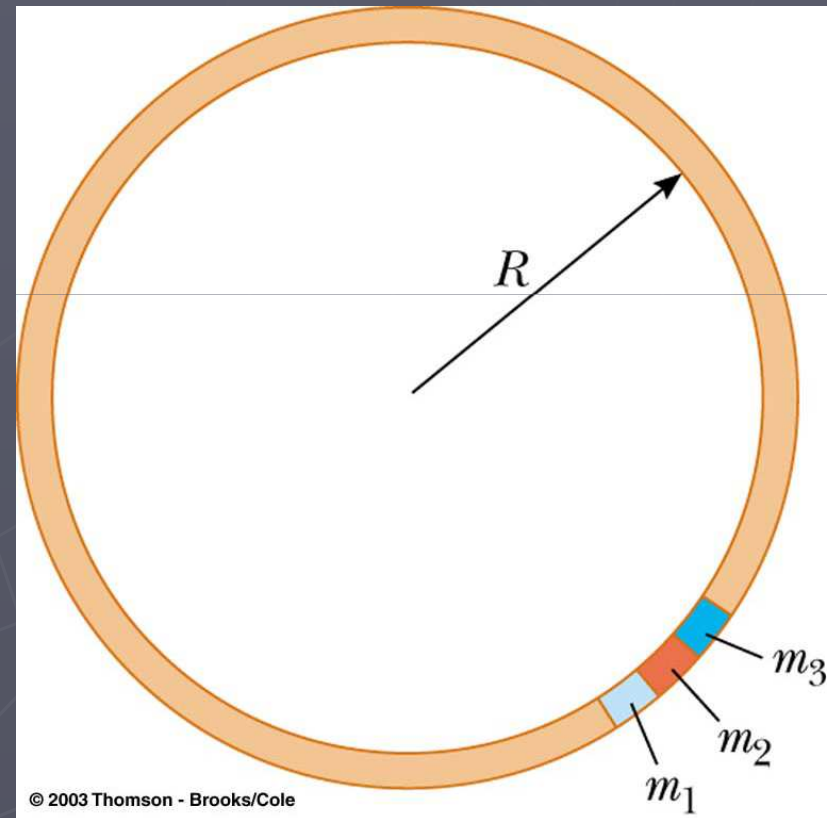
# Contoh: Momen Inersia dari Cincin Uniform

- ▶ Bayangkan Cincin terbagi atas sejumlah bagian kecil,  $m_1 \dots$
- ▶ Bagian kecil ini berjarak sama dari sumbu

$$I = \sum m_i r_i^2 = MR^2$$

- ▶ Benda Kontinu:

$$I = \int r^2 dm$$

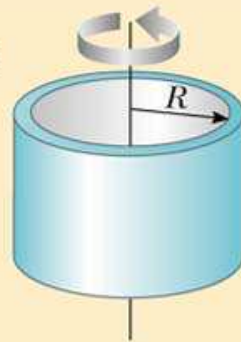


# Momen Inersia yang Lain

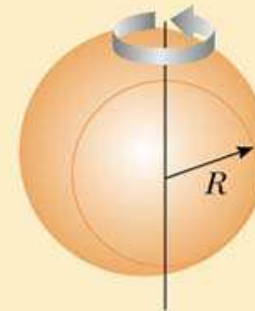
**TABLE 8.1**

**Moments of Inertia for Various Rigid Objects of Uniform Composition**

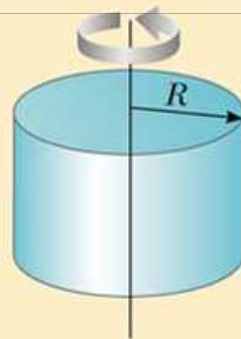
Hoop or thin cylindrical shell  
 $I = MR^2$



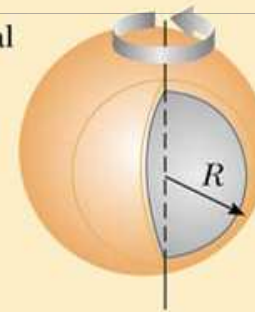
Solid sphere  
 $I = \frac{2}{5} MR^2$



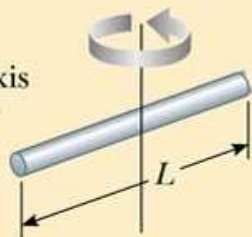
Solid cylinder or disk  
 $I = \frac{1}{2} MR^2$



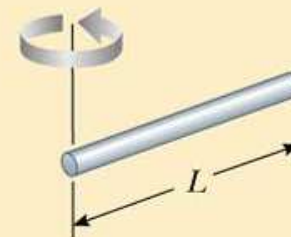
Thin spherical shell  
 $I = \frac{2}{3} MR^2$



Long thin rod with rotation axis through center  
 $I = \frac{1}{12} ML^2$



Long thin rod with rotation axis through end  
 $I = \frac{1}{3} ML^2$



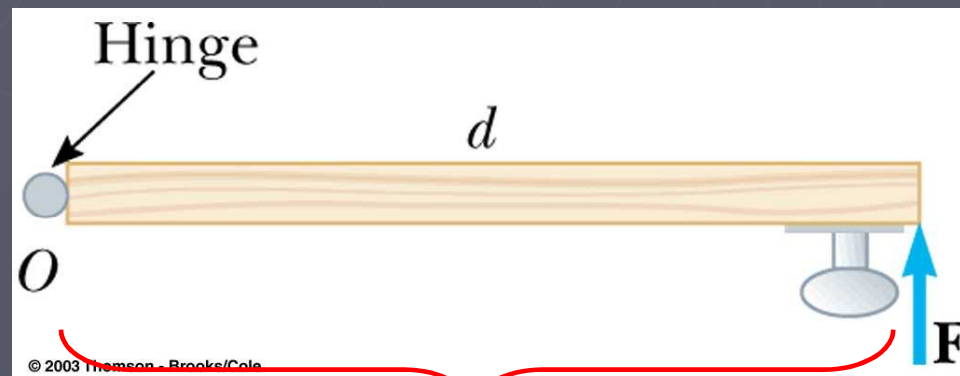
# Torsi

- ▶ **Torsi,  $\tau$** , adalah **kecenderungan dari sebuah gaya** untuk merotasikan sebuah benda terhadap sumbu tertentu

Contoh pada pintu:

$$\tau = Fd$$

- $\tau$  adalah torsi
- $d$  adalah **lengan gaya**
- $F$  adalah gaya

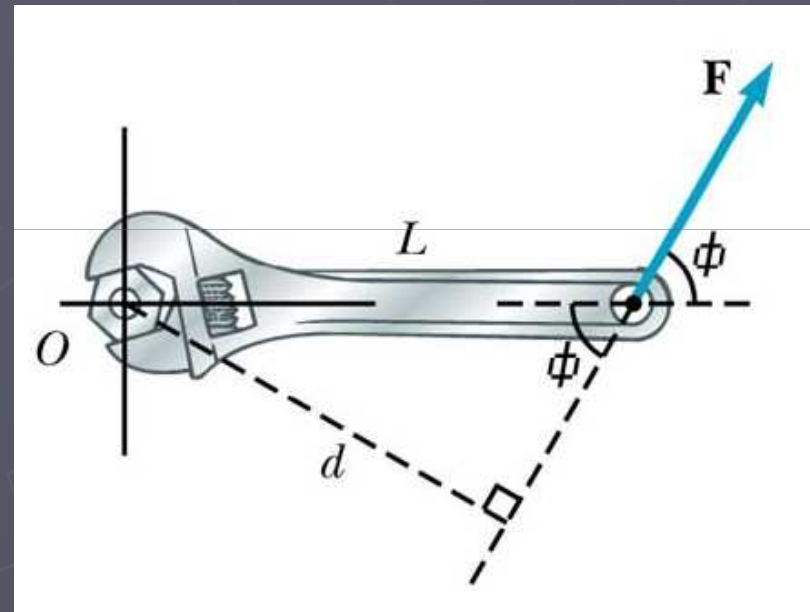




# Lengan Gaya

- ▶ Lengan gaya,  $d$ , adalah jarak terdekat (*tegak lurus*) dari sumbu rotasi ke garis searah perpanjangan gaya

- $d = L \sin \phi$



# Momentum Sudut

- ▶ Serupa dengan hubungan antara gaya dan momentum dalam sistem linier, kita dapat tunjukkan hubungan antara torsi dan momentum sudut

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (\text{bandingkan dengan } \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} )$$

- ▶ **Momentum sudut** didefinisikan sebagai  $L = I \omega$

# Kekekalan Momentum Sudut

- ▶ Jika torsi neto nol, momentum sudut konstan
- ▶ Pernyataan *Kekekalan momentum sudut* :  
Momentum sudut dari sebuah sistem adalah kekal ketika torsi neto eksternal yang bekerja pada sistem adalah nol
  - Ini terjadi ketika:

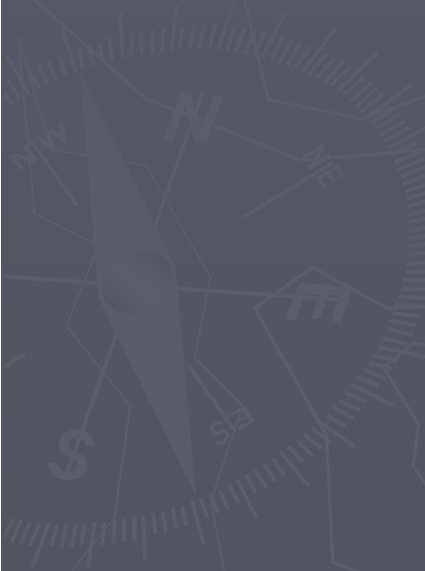
$$\Sigma \tau = 0, L_i = L_f \text{ atau } I_i \omega_i = I_f \omega_f$$

# Tes Konsep

Seorang penari ski es berputar dengan kedua lengannya terlentang (anggap tidak ada gaya gesekan). Kemudian dia menarik kedua lengan dan merapatkannya pada tubuhnya. Dibandingkan dengan energi kinetik rotasi awal, energi kinetik rotasi setelah penari tersebut menarik lengannya haruslah bernilai ...

- a. sama
- b. lebih besar
- c. lebih kecil

# Hukum Gravitasi

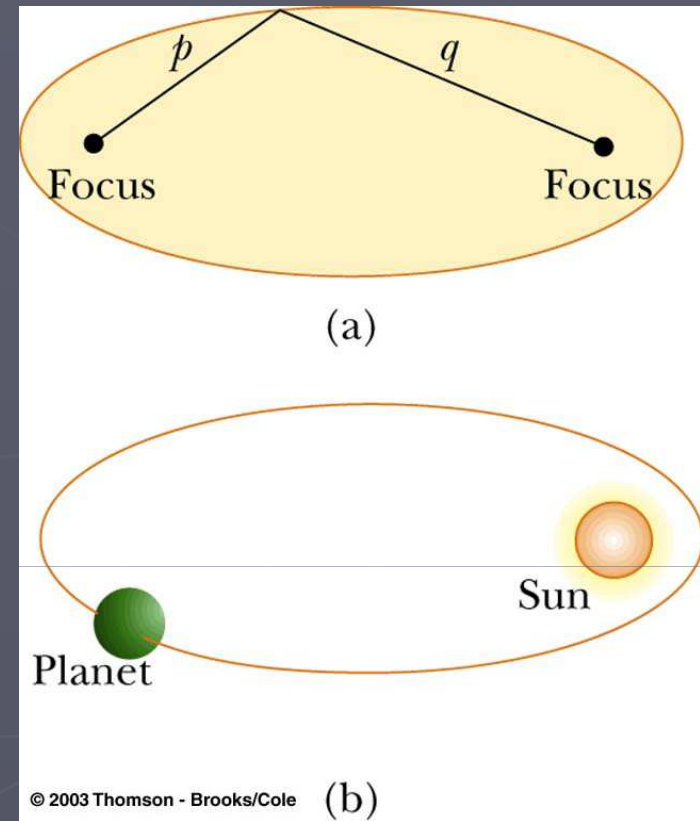


# Hukum Kepler

- ▶ Semua planet bergerak dalam orbit elips dengan matahari sebagai pusatnya.
- ▶ Garis yang menghubungkan tiap planet ke matahari menyapu luasan yang sama dalam waktu yang sama.
- ▶ Kuadrat perioda dari setiap planet berbanding lurus dengan pangkat tiga dari jarak planet tersebut ke matahari.

# Hukum I Kepler

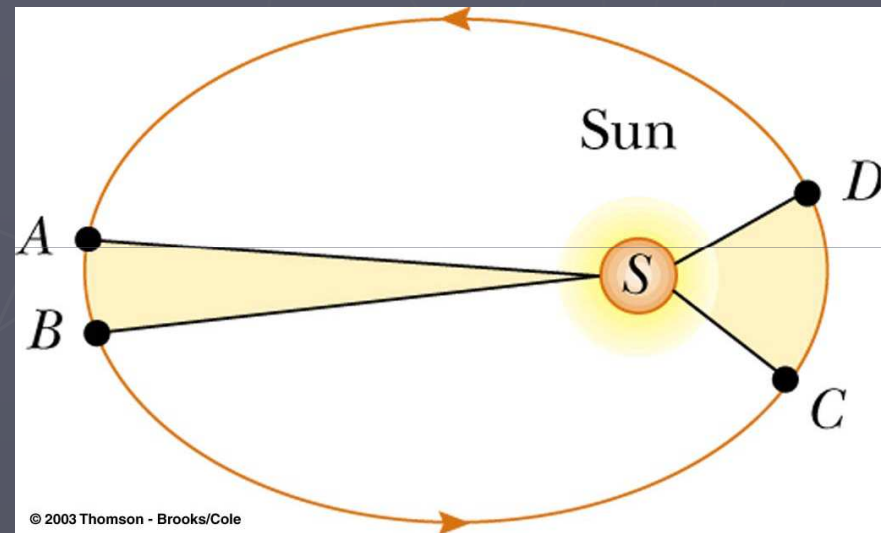
- ▶ Semua planet bergerak dalam orbit **elips** dengan matahari sebagai pusatnya.
  - Benda yang terikat benda lain oleh gaya berbentuk “**inverse square law**” akan bergerak dalam lintasan elips



$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

# Hukum II Kepler

- ▶ Garis yang menghubungkan tiap planet ke matahari menyapu **luas** yang sama dalam waktu yang sama
  - Luas A-S-B dan C-S-D adalah sama





# Hukum III Kepler

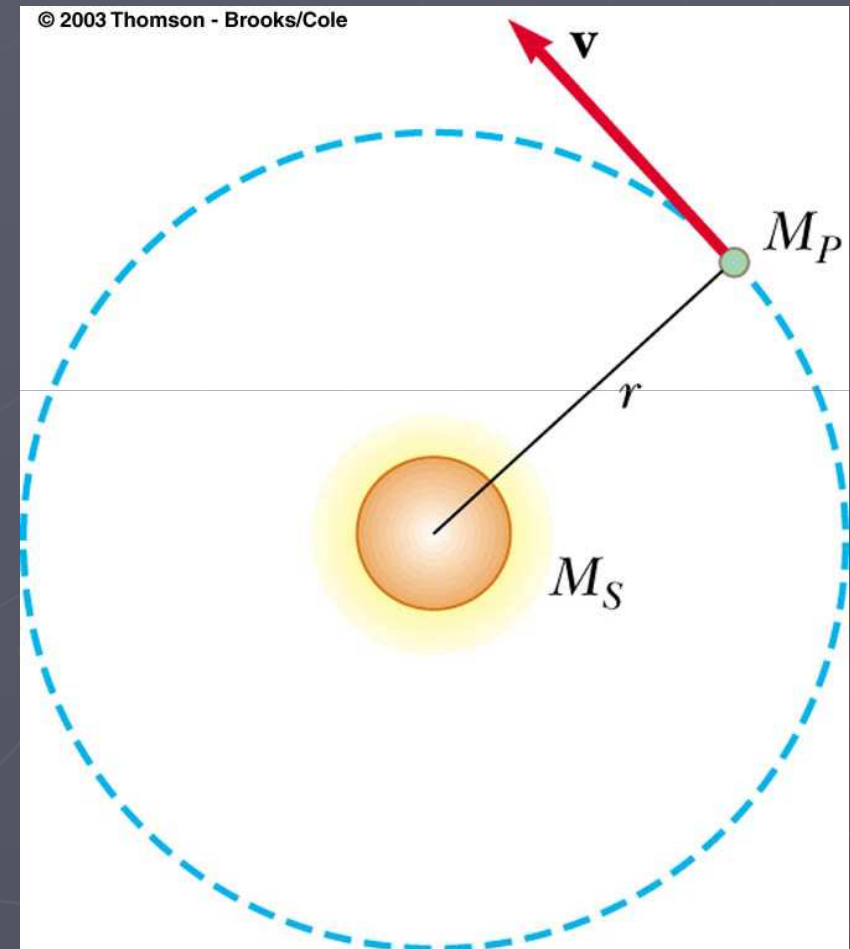
- ▶ Kuadrat perioda dari setiap planet berbanding lurus dengan pangkat tiga dari jarak planet tersebut ke matahari

$$T^2 = Kr^3 \quad \text{dengan} \quad K = \frac{4\pi^2}{GM}$$

- Untuk orbit yang mengelilingi matahari,  
 $K_M = 2.97 \times 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^3$
- K tidak bergantung massa planet

# Aplikasi Hukum III Kepler

- ▶ Menentukan massa matahari atau **benda lain** yang mempunyai satelit yang mengelilinginya
- ▶ Asumsinya adalah orbit berupa lingkaran



# Hukum Kepler (lanjutan)

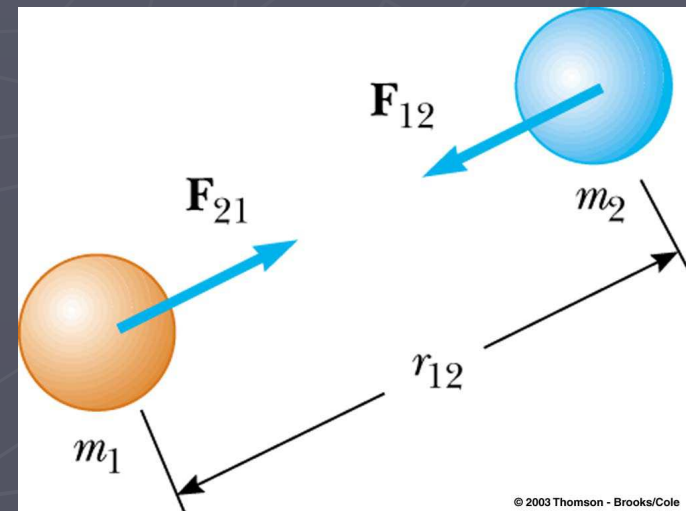
- ▶ Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Brahe
- ▶ Newton kemudian mendemonstrasikan bahwa hukum ini adalah konsekuensi dari gaya gravitasi antara dua benda bersamaan dengan hukum gerak Newton

# Hukum Newton tentang Gravitasi Umum

- ▶ Setiap partikel dalam alam semesta menarik partikel lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan perkalian massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar mereka

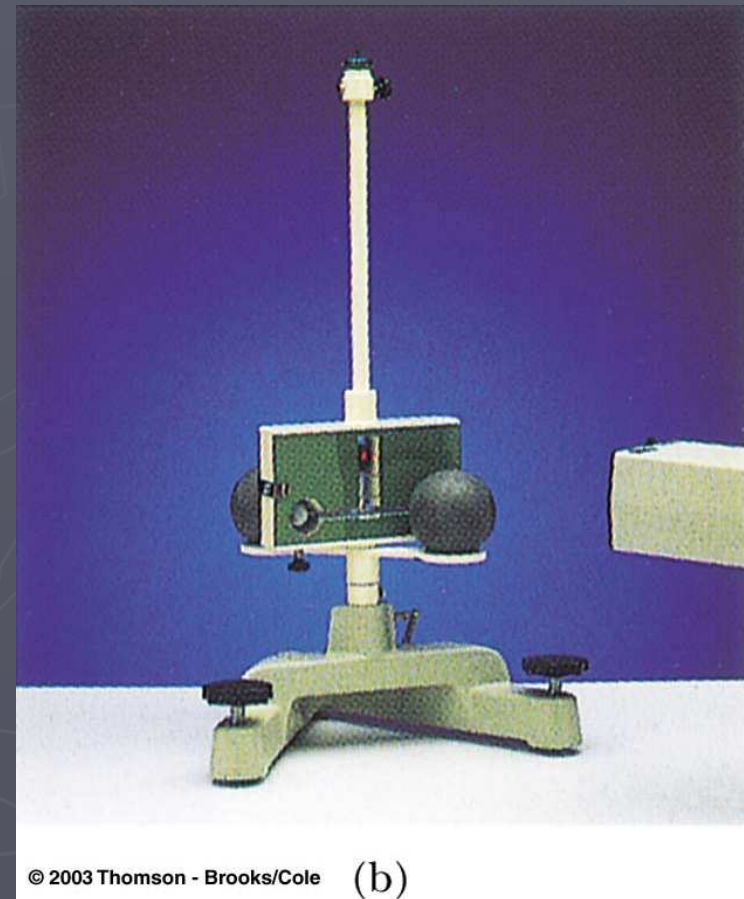
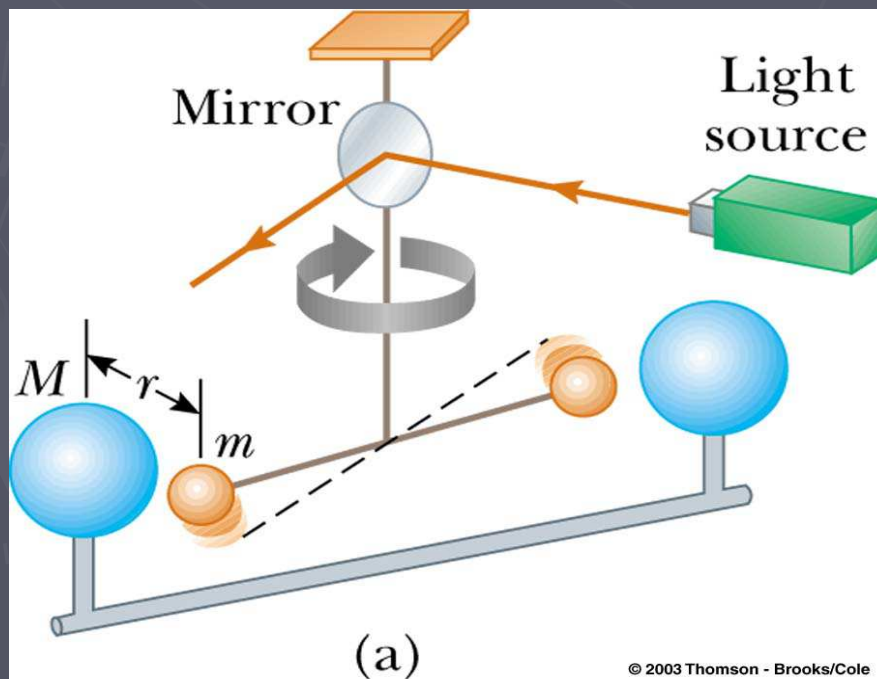
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

- G adalah konstanta gravitasi
- $G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$



# Konstanta Gravitasi

- ▶ Ditentukan secara eksperimen
- ▶ Henry Cavendish
  - 1798
- ▶ Berkas cahaya dan cermin membuat jelas gerak



# Contoh:

Pertanyaan: Hitung gaya tarik gravitasi antara dua mahasiswa yang berjarak 1 meter

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \frac{N m^2}{kg^2} \frac{70kg \ 90kg}{(1m)^2} \approx 4.2 \times 10^{-7} N$$

Sangat kecil

Bandingkan:

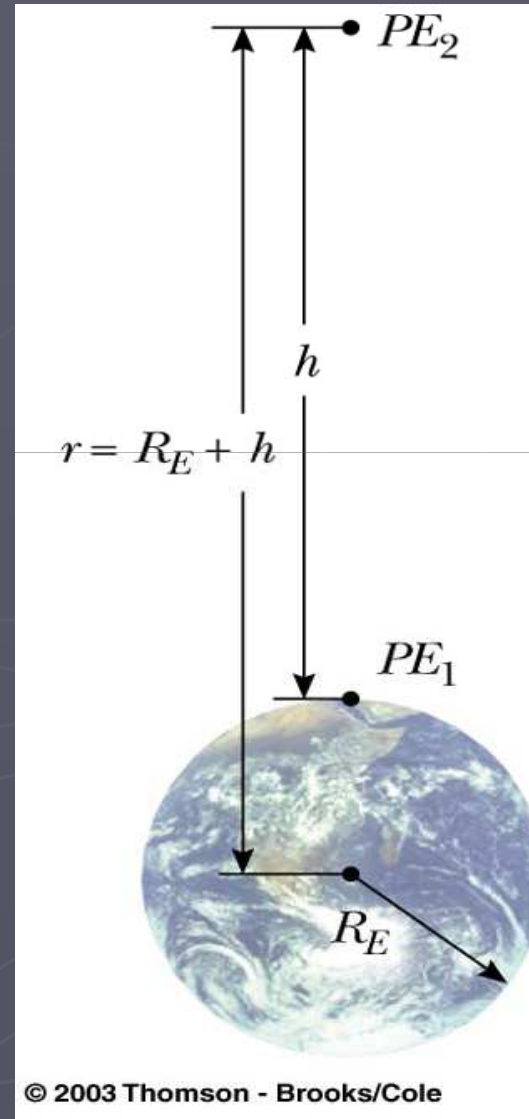
$$F = mg = \underline{686 N}$$

# Energi Potensial Gravitasi

- ▶  $EP = mgy$  berlaku hanya yang dekat dengan permukaan bumi
- ▶ Untuk benda yang letaknya jauh dari permukaan bumi, dibutuhkan perumusan yang lain, yaitu:

$$EP = -G \frac{M_E m}{r}$$

- Energi potensial nol dipilih di jauh tak berhingga dari bumi



# Laju Lepas

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

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

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



# Pertanyaan

1. Bagaimana terjadinya pasang surut air laut?
2. Bagaimanakah besarnya medan gravitasi di dalam bumi?
3. Seperti apakah teori Einstein tentang Gravitasi?
4. Apa itu Black Hole?