

Fisika Dasar I (FI-321)

Topik hari ini

Gravitasi



Interaksi (Gaya) Fundamental di alam

1. Interaksi Kuat
2. Interaksi Elektromagnetik
3. Interaksi Lemah
4. **Interaksi Gravitasi**

Merupakan Interaksi Yang paling Lemah

Tidak Berpengaruh/Diabaikan
Dalam Bahasan
Fisika Partikel Elementer
(massa sangat kecil)

Sangat Berpengaruh
Dalam Bahasan
Tata Surya,
Kosmologi (lebih luas)
(massa sangat besar)

Model Alam Semesta

Ptolomeus (± 140 M)

Bumi berada di pusat alam semesta, matahari dan bintang-bintang mengelilingi bumi

Copernicus (± 1543 M)

Matahari dan bintang-bintang diam, sedangkan planet-planet termasuk bumi berputar dalam lingkaran mengelilingi matahari

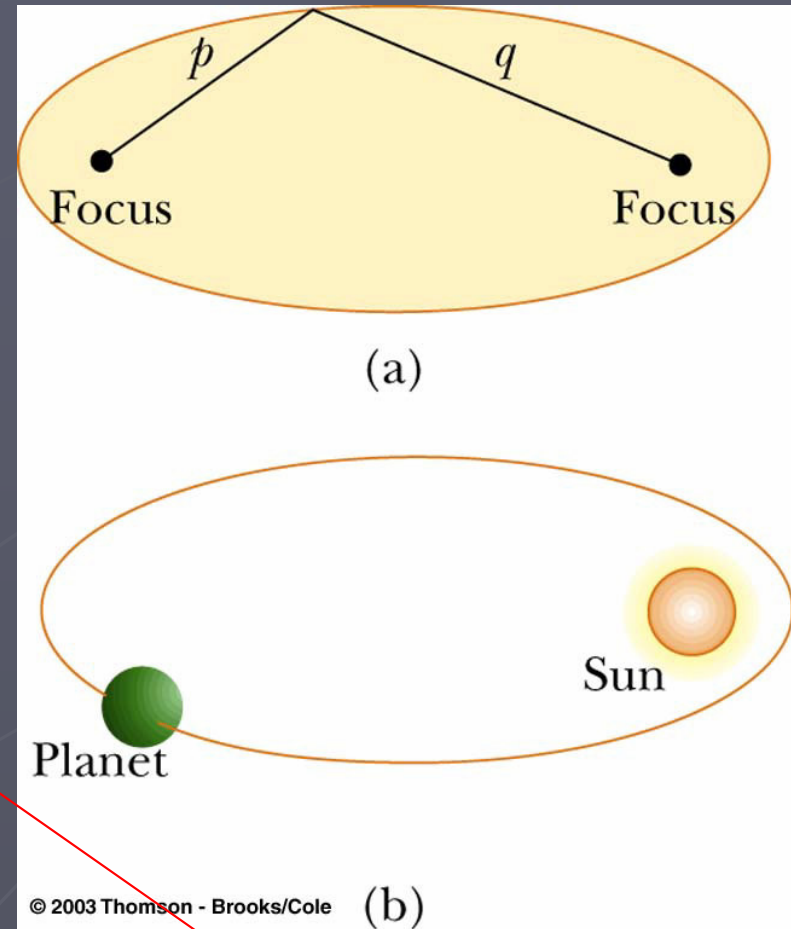
Tycho Brahe (1546-1601 M) dan Johannes Kepler (1571-1630 M)

1. Semua planet bergerak dalam orbit elips dengan matahari di salah satu fokusnya
2. Garis yang menghubungkan tiap planet ke matahari menyapu luasan yang sama dalam waktu yang sama
3. Kuadrat perioda dari setiap planet sebanding dengan pangkat tiga dari jarak planet tersebut ke matahari

Dikenal dengan Hukum Kepler

Hukum I Kepler

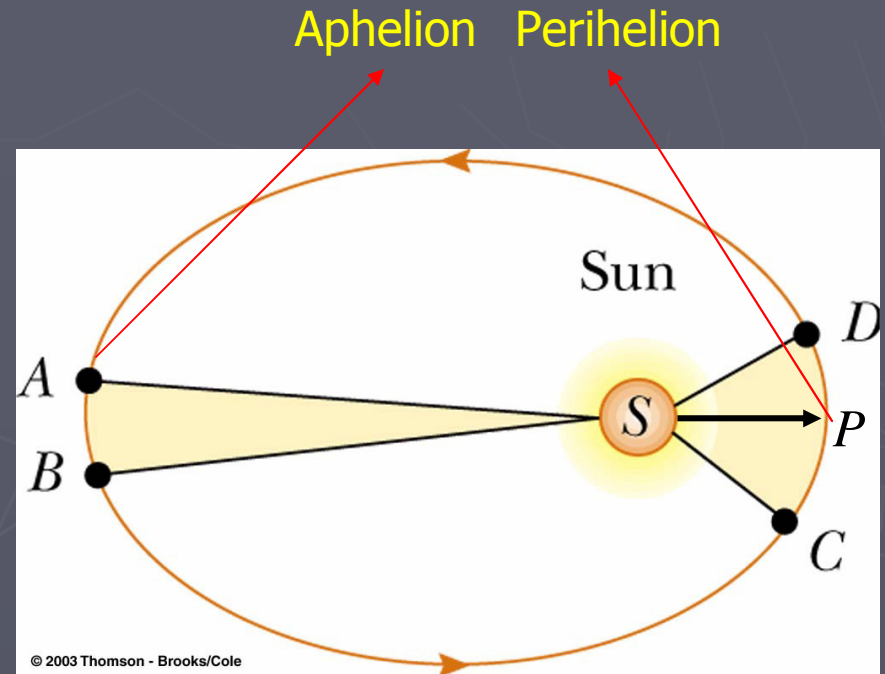
- ▶ Semua planet bergerak dalam orbit **elips** dengan matahari di salah satu fokusnya
 - Benda yang terikat benda lain oleh gaya berbentuk "**inverse square law**" akan bergerak dalam lintasan elips (salah satunya, kemungkinan lain adalah parabola dan hiperbola)



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

Hukum II Kepler

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



Akibatnya, V_C atau V_D lebih besar dari V_A atau V_B

Hukum III Kepler

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

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

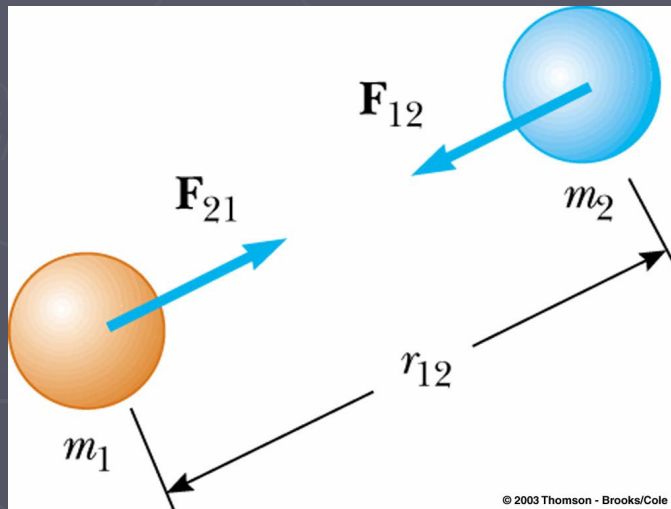
- Untuk orbit yang mengelilingi matahari,
 $K_M = 2.97 \times 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^3$
- K tidak bergantung massa planet

Hukum Kepler (lanjutan)

Newton kemudian menunjukkan 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 massanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar mereka



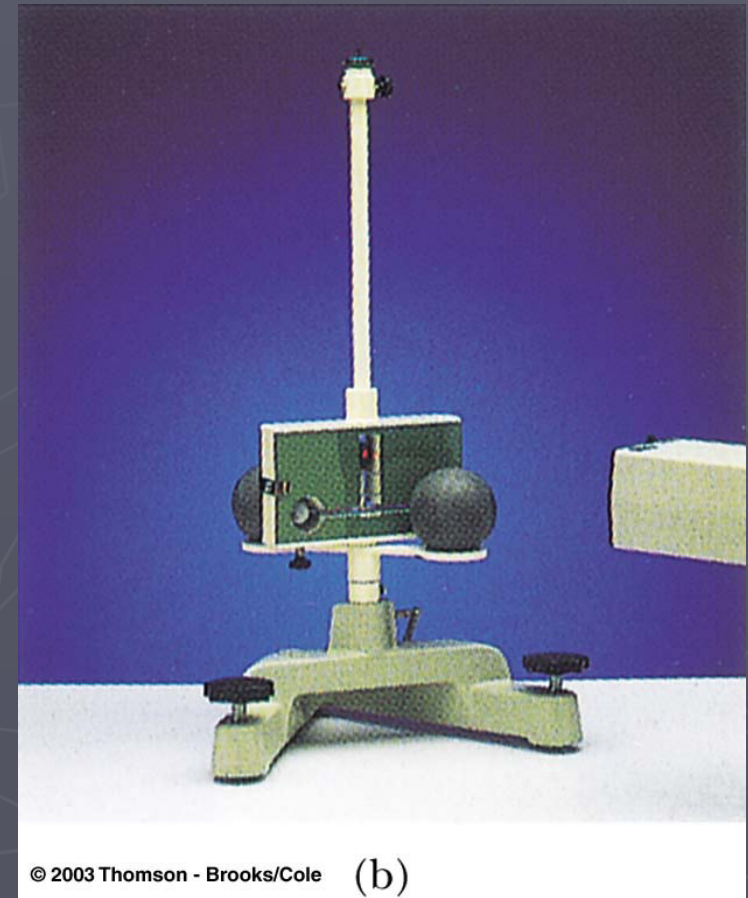
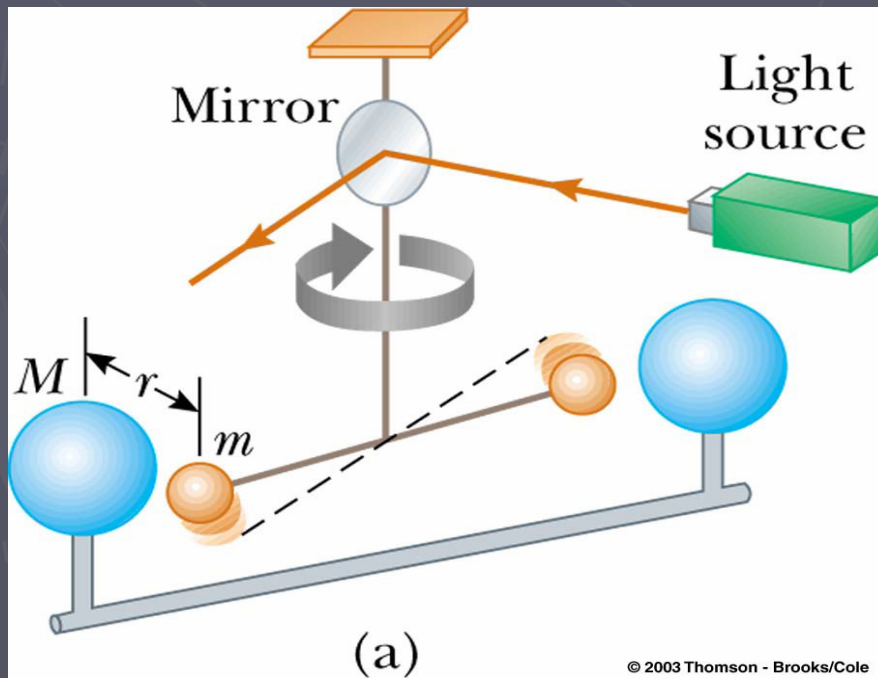
$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} (-\hat{r}_{12})$$

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

- 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



Hk III Kepler

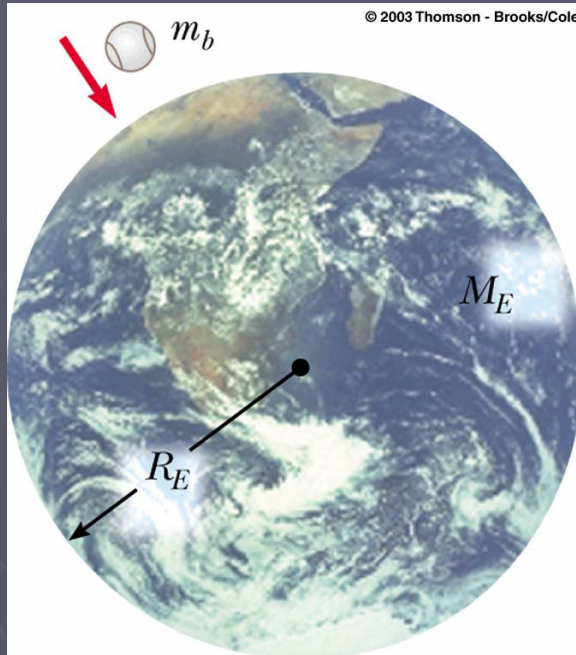
$$\text{Hk. Gravitasi Newton : } F = \frac{GMm}{r^2}$$

$$\text{Hk. II Newton tentang Gerak (Orbit Lingkaran) : } F = m a = m \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad \text{dengan } v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM} r^3$$

Medan Gravitasi Bumi



Besar gaya pada m_b oleh Bumi:

$$F = \frac{GM_E m_b}{r^2}$$

Besar medan gravitasi bumi adalah besar gaya gravitasi pada m_b oleh Bumi dibagi dengan m_b :

$$g(r) = \frac{F}{m_b} = \frac{GM_E}{r^2}$$

Catt: $r > R_E$

Bagaimana jika $r < R_E$!

PR Buktikan bahwa jika bumi berbentuk bola pejal homogen, besar percepatan gravitasi bumi di $r < R$ semakin kecil.

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.

Massa Gravitasi dan Massa Inersial

Hk. Newton tentang Gravitasi

$$F = \frac{GMm_G}{r^2}$$

Hk. Newton tentang Gerak

$$F = m_I a$$

Gaya pada benda bermassa m dipermukaan bumi adalah

$$F = \frac{GM_E m_G}{r_E^2}$$

Jadi percepatan benda bermassa m dipermukaan bumi adalah

$$a = \frac{F}{m_I} = \left(\frac{GM_E}{r_E^2} \right) \frac{m_G}{m_I}$$

Hasil Eksperimen m_G ekuivalen dengan m_I

Dasar Prinsip Ekuivalensi dalam Teori Relativitas Umum Einstein

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

Energi Total dan Orbit

Energi Total (E) = Energi Potensial (U) + Energi Kinetik (K)


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


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

$E < 0$, sistem terikat



Orbit: Lingkaran dan Elips

$E = 0$, sistem tak terikat



Orbit: Parabola

$E > 0$, sistem tak terikat



Orbit: Hiperbola