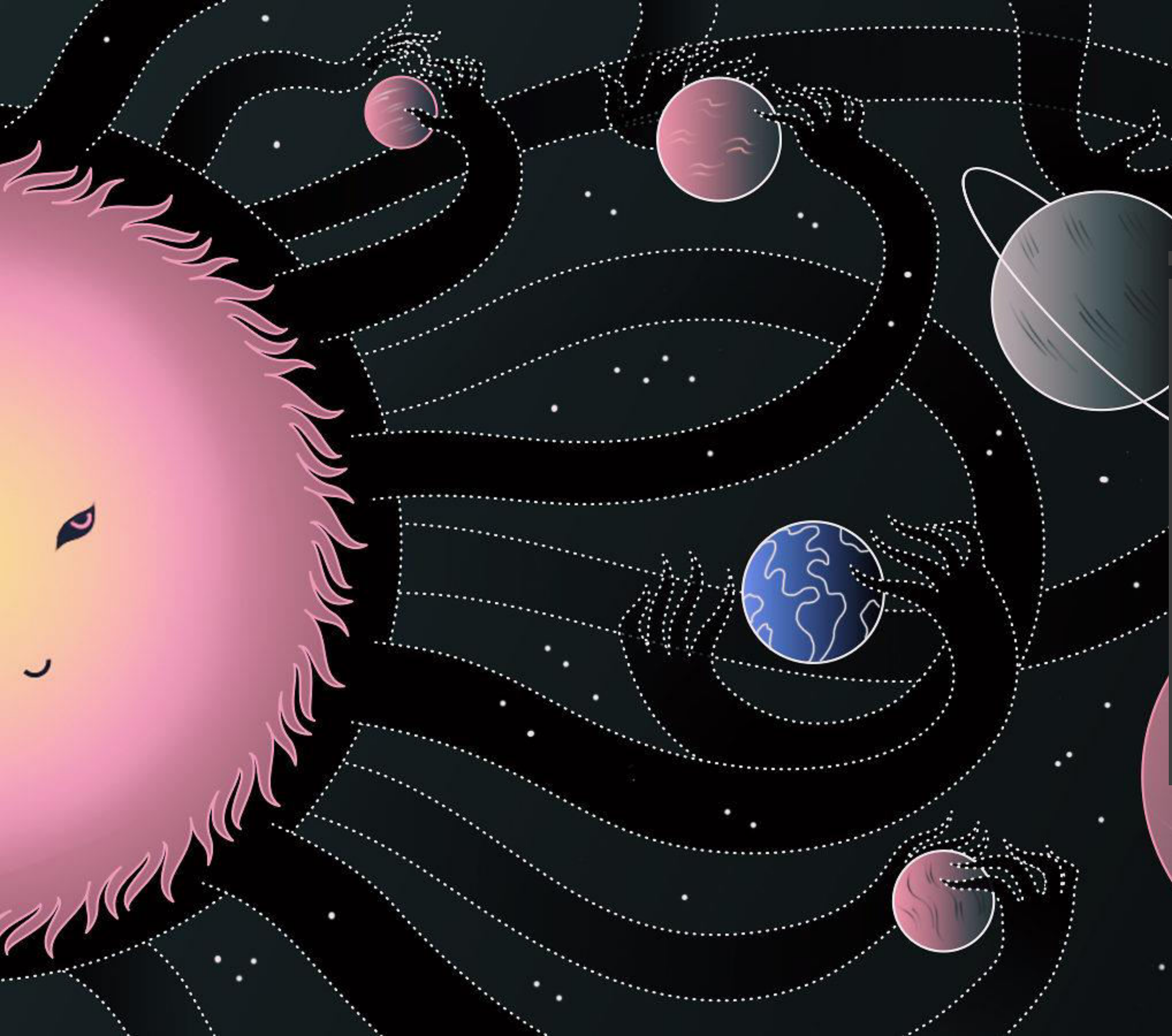


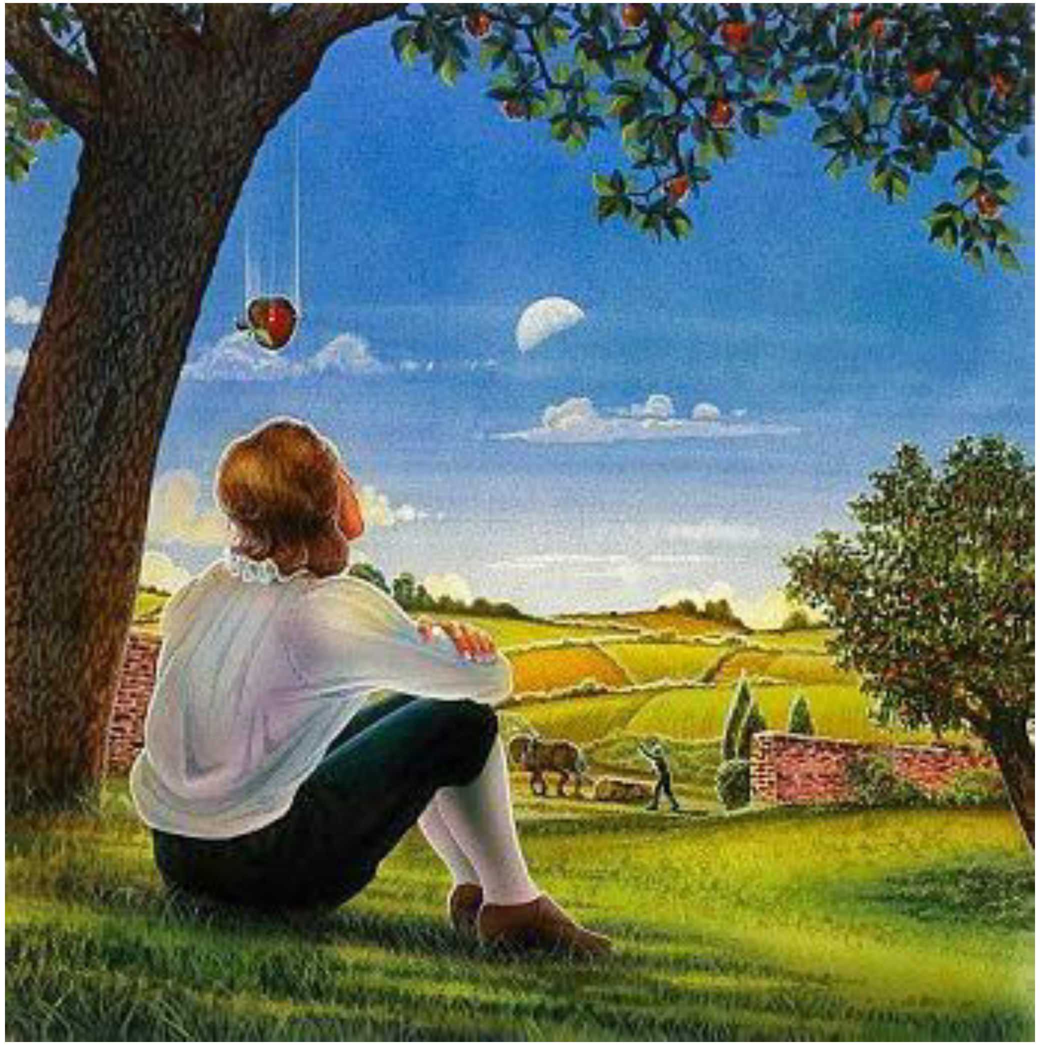
BAB 3 KEGRAVITIAN

FIZIK TINGKATAN 4 KSSM
OLEH CIKGU NORAZILA KHALID
SMK ULU TIRAM,JOHOR

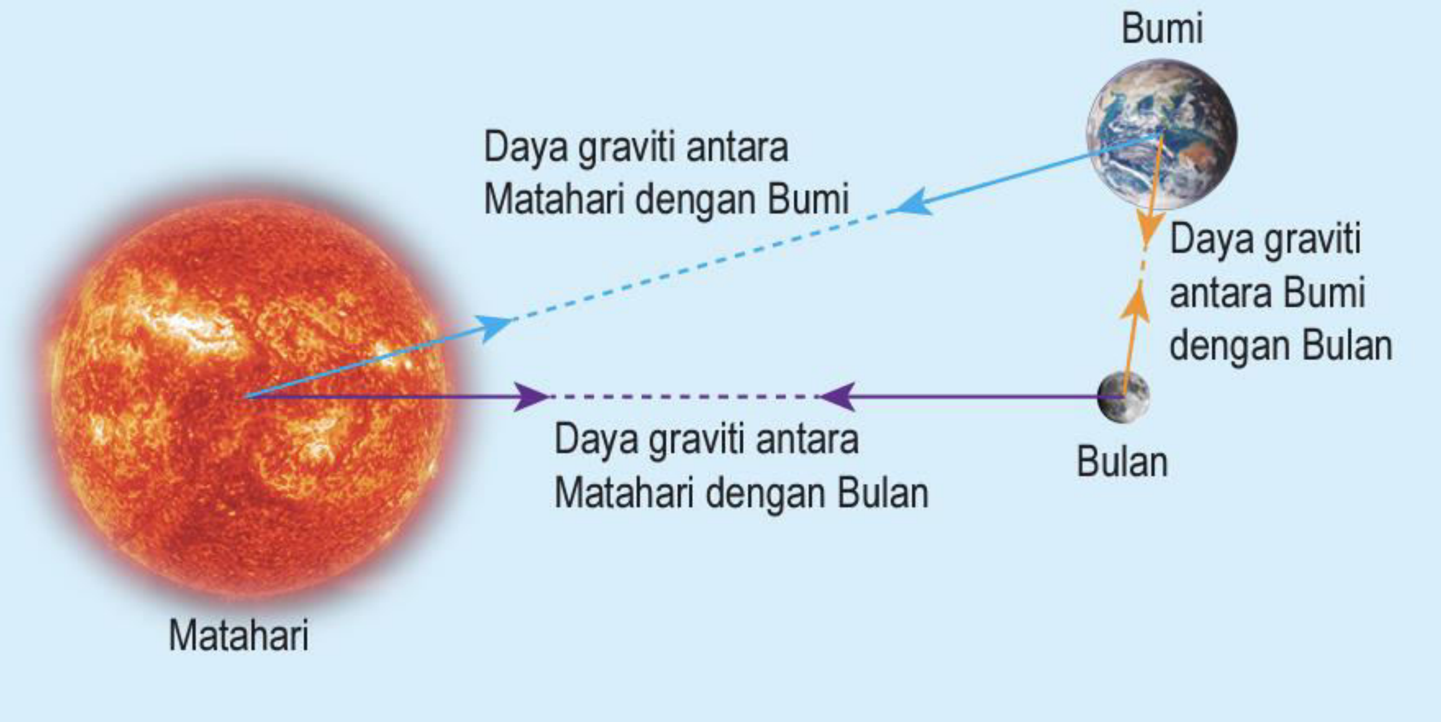
3.1 HUKUM KEGRAVITIAN SEMESTA NEWTON

HUKUM KEGRAVITIAN SEMESTA NEWTON

- **Pada tahun 1667, saintis Isaac Newton telah memerhatikan buah epal yang jatuh secara tegak ke Bumi dan gerakan Bulan mengelilingi Bumi.**
- **Beliau menyimpulkan suatu daya tarikan bukan sahaja wujud antara Bumi dengan buah epal tetapi juga antara Bumi dengan Bulan.**



- **Daya graviti dikenali sebagai daya semesta kerana daya graviti bertindak antara mana-mana dua jasad dalam alam semesta**
- **Rajah 3.3 menunjukkan daya graviti antara Matahari, Bumi dengan Bulan.**



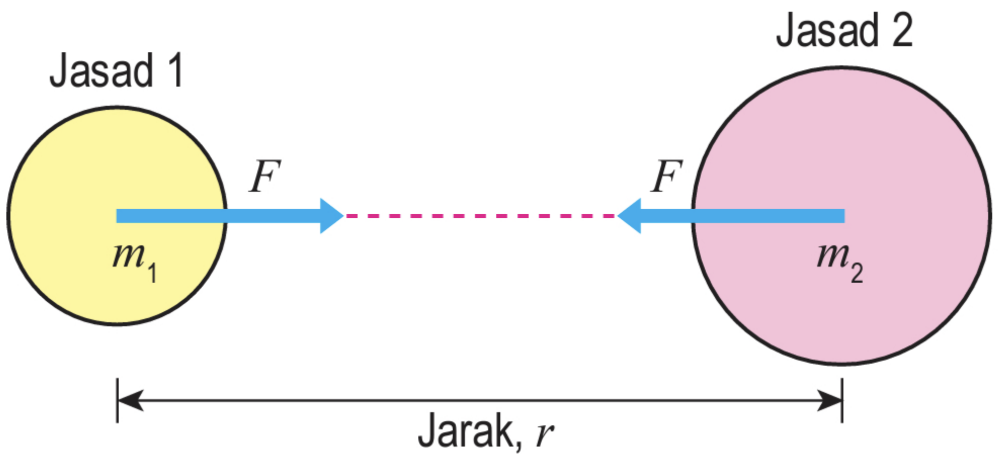
***Rajah 3.3** Daya graviti sebagai daya semesta*

Pada tahun 1687, Isaac Newton mengemukakan dua hubungan yang melibatkan daya graviti antara dua jasad.

- Daya graviti berkadar terus dengan hasil darab jisim dua jasad, iaitu $F \propto m_1 m_2$
- Daya graviti berkadar songsang dengan kuasa dua jarak di antara pusat dua jasad tersebut, iaitu $F \propto \frac{1}{r^2}$

- **Daya graviti wujud secara berpasangan.**
- **2 Dua jasad itu masing-masing mengalami daya graviti dengan magnitud yang sama**

- Kedua-dua daun dan Bumi mengalami daya graviti yang sama.
- Hal ini menyebabkan daun dan Bumi bergerak mendekati satu sama lain
- Oleh sebab jisim Bumi jauh lebih besar daripada jisim daun, daya graviti tidak ada kesan yang ketara ke atas pergerakan Bumi.
- Oleh itu, pemerhati di Bumi hanya memerhati daun itu jatuh ke arah Bumi.



Rajah 3.4 *Daya graviti antara dua jasad*

$$F \propto m_1 m_2$$

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Rajah 3.5 *Rumusan Hukum Kegravitian Semesta Newton*

- **Dua hubungan diatas dirumuskan seperti dalam untuk memperoleh Hukum Kegravitian Semesta Newton**

HUKUM KEGRAVITIAN SEMESTA NEWTON

- **Hukum Kegravitian Semesta Newton menyatakan bahawa daya graviti antara dua jasad adalah berkadar terus dengan hasil darab jisim kedua-dua jasad dan berkadar songsang dengan kuasa dua jarak di antara pusat dua jasad tersebut.**

- **Sekiranya anda mengetahui jisim dua jasad dan jarak di antara pusat dua jasad tersebut, anda boleh menghitung magnitud daya graviti antara dua jasad**

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

F = daya graviti antara dua jasad
m_1 = jisim jasad pertama
m_2 = jisim jasad kedua
r = jarak di antara pusat jasad pertama dengan pusat jasad kedua
G = pemalar kegravitian ($G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2})

Contoh 1

Hitungkan daya graviti antara sebiji buah durian dengan Bumi.

Jisim durian = 2.0 kg

Jisim Bumi = 5.97×10^{24} kg

Jarak di antara pusat durian dengan pusat Bumi = 6.37×10^{6} m

Rajah 3.6

Penyelesaian:

Langkah ❶
Senaraikan maklumat yang diberi dengan simbol.

$$\begin{cases} m_1 = 2.0 \text{ kg} \\ m_2 = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg} \\ r = 6.37 \times 10^6 \text{ m} \\ G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \end{cases}$$

Langkah ❷
Kenal pasti dan tulis rumus yang digunakan.

Daya graviti,

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

Langkah ❸
Buat gantian numerikal ke dalam rumus dan lakukan penghitungan.

$$F = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times 2.0 \times (5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^6)^2}$$

$$= 19.63 \text{ N}$$

Contoh 2

Sebuah roket yang berada di tapak pelancaran mengalami daya graviti 4.98×10^5 N. Berapakah jisim roket itu?
[Jisim Bumi = 5.97×10^{24} kg, jarak di antara pusat Bumi dengan roket itu = 6.37×10^6 m]

Penyelesaian:

Daya graviti, $F = 4.98 \times 10^5$ N
Jisim Bumi, $m_1 = 5.97 \times 10^{24}$ kg
Jisim roket = m_2
Jarak di antara pusat Bumi dengan roket itu,
$r = 6.37 \times 10^6$ m
$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}

Daya graviti,

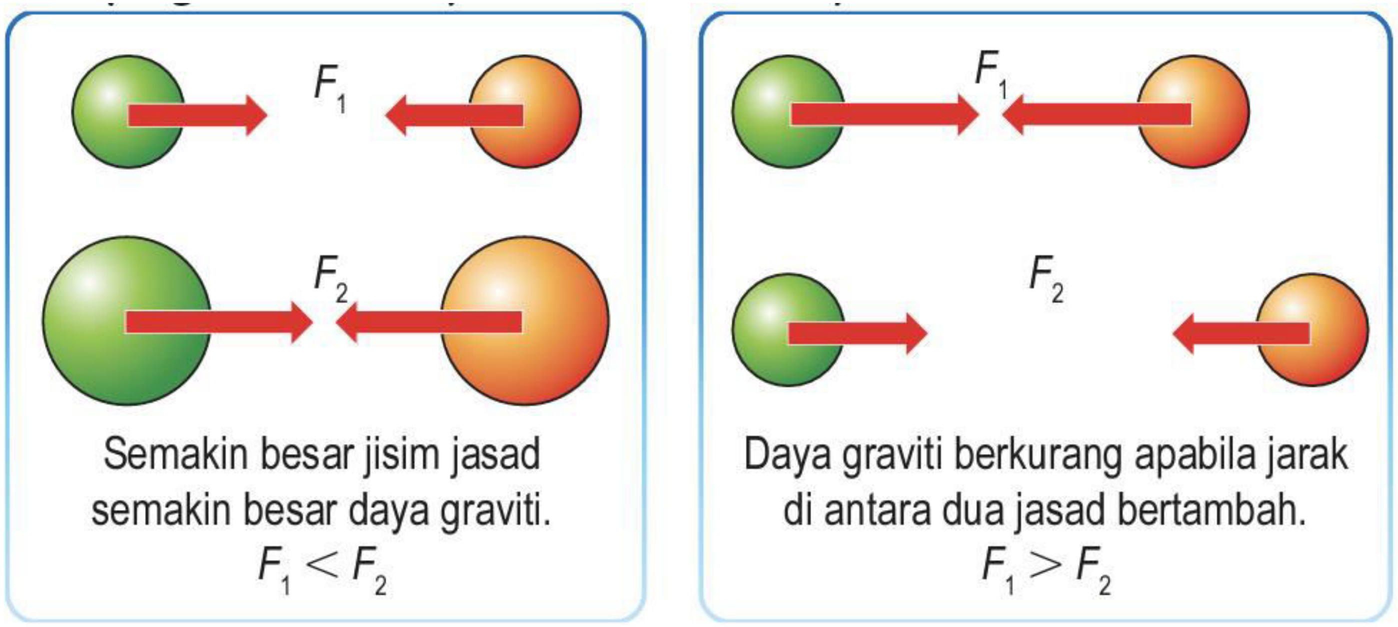
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$4.98 \times 10^5 = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24}) \times m_2}{(6.37 \times 10^6)^2}$$

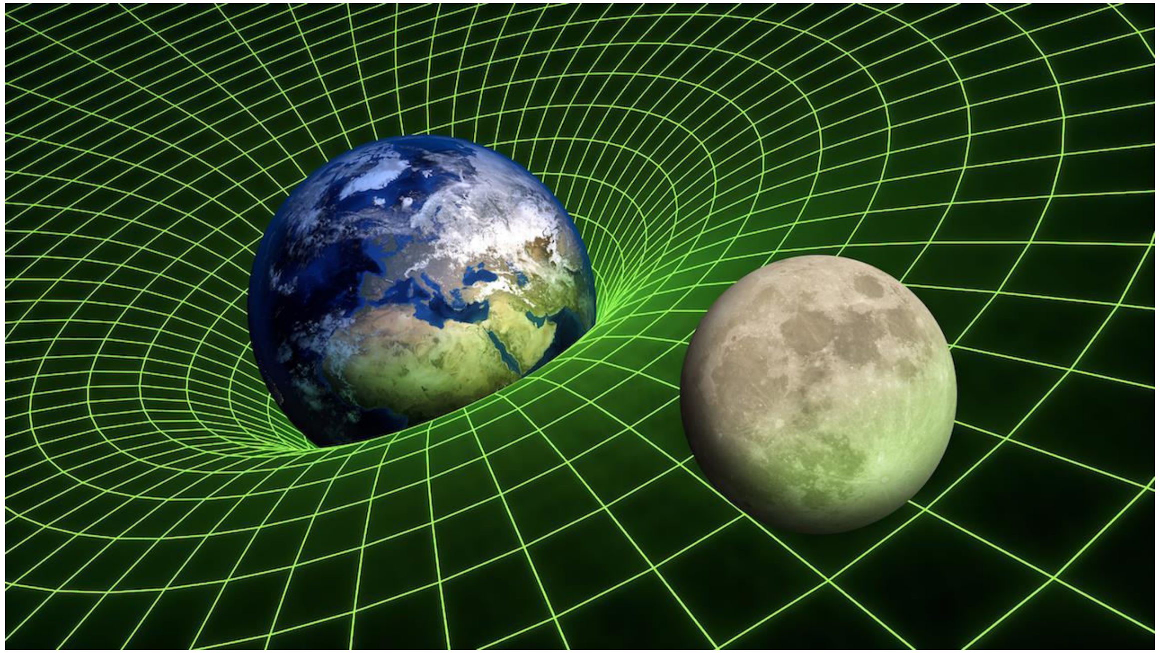
$$m_2 = \frac{(4.98 \times 10^5) \times (6.37 \times 10^6)^2}{(6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24})}$$

$$= 5.07 \times 10^4 \text{ kg}$$

- **Kesan jisim dan jarak di antara dua jasad pegun di Bumi ke atas daya graviti**



***Rajah 3.7** Kesan jisim dan jarak antara dua jasad ke atas daya graviti*

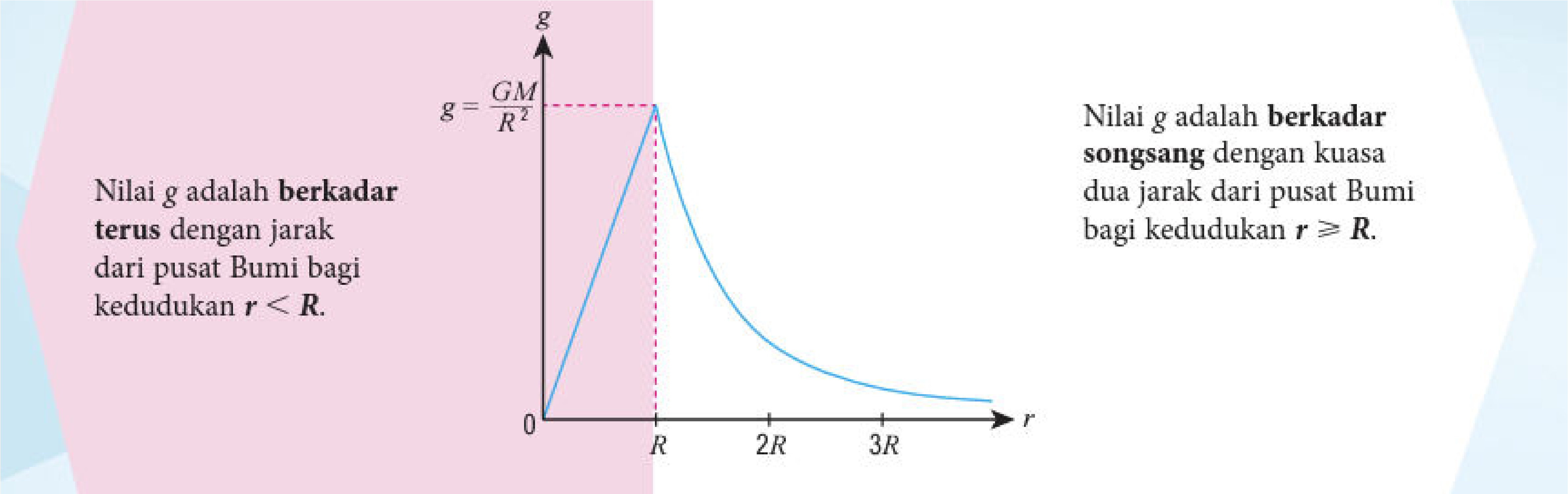


- Walaupun daya graviti merupakan daya semesta, dua orang di permukaan Bumi tidak akan merasai kesan daya graviti antara satu sama lain.
- Hal ini kerana daya graviti antara dua jasad berjisim kecil mempunyai magnitud yang sangat kecil.
- Contohnya dua orang yang masing-masing berjisim 50 kg dan 70 kg hanya mengalami daya graviti sebanyak 2.3 × 10–7 N jika mereka berdiri sejauh 1 m dari satu sama lain.

Menurut Hukum Gerakan Newton Kedua, daya graviti boleh diungkapkan sebagai, $F = mg$. Daripada Hukum Kegravitian Semesta Newton, daya graviti, diungkapkan sebagai $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.

Apakah hubung kait antara g dengan G?

MENGHUBUNG KAIT PECUTAN GRAVITI, G DI PERMUKAAN BUMI DENGAN PEMALAR KEGRAVITIAN SEMESTA, G



LAKARAN GRAF BAGI VARIASI NILAI PECUTAN GRAVITI, G DENGAN JARAK, R DARI PUSAT BUMI.

- Rajah 3.12 menunjukkan sebuah satelit pada ketinggian, h dari permukaan Bumi
- R merupakan jejari Bumi dan r ialah jarak satelit itu dari pusat Bumi, iaitu jejari orbit.
- Dikedudukandenganketinggian, h dari permukaan Bumi, jarak daripusat Bumi ialah r = (R + h)

Dengan itu, pecutan graviti,

$$g = \frac{GM}{(R + h)^2}$$

Contoh 1

Jisim Bumi ialah 5.97×10^{24} kg dan jejari Bumi ialah 6.37×10^{6} m. Hitungkan pecutan graviti di permukaan Bumi. [$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}]

Penyelesaian:

Langkah 1
Senaraikan maklumat yang diberi dengan simbol.

$$\begin{cases} M = 5.97 \times 10^{24} \text{ kg} \\ G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \\ r = 6.37 \times 10^{6} \text{ m} \end{cases}$$

Langkah 2
Kenal pasti dan tulis rumus yang digunakan.

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Langkah 3
Buat gantian numerikal ke dalam rumus dan lakukan perhitungan.

$$g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^{6})^2}$$

$$= 9.81 \text{ m s}^{-2}$$

Contoh 2

Sebuah satelit pengimejan radar mengorbit mengelilingi Bumi pada ketinggian 480 km. Berapakah nilai pecutan graviti di kedudukan satelit itu?

[$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2 kg^{-2}, $M = 5.97 \times 10^{24}$ kg, $R = 6.37 \times 10^6$ m]

Penyelesaian:

Ketinggian orbit, $h = 480$ km
$= 480\ 000$ m

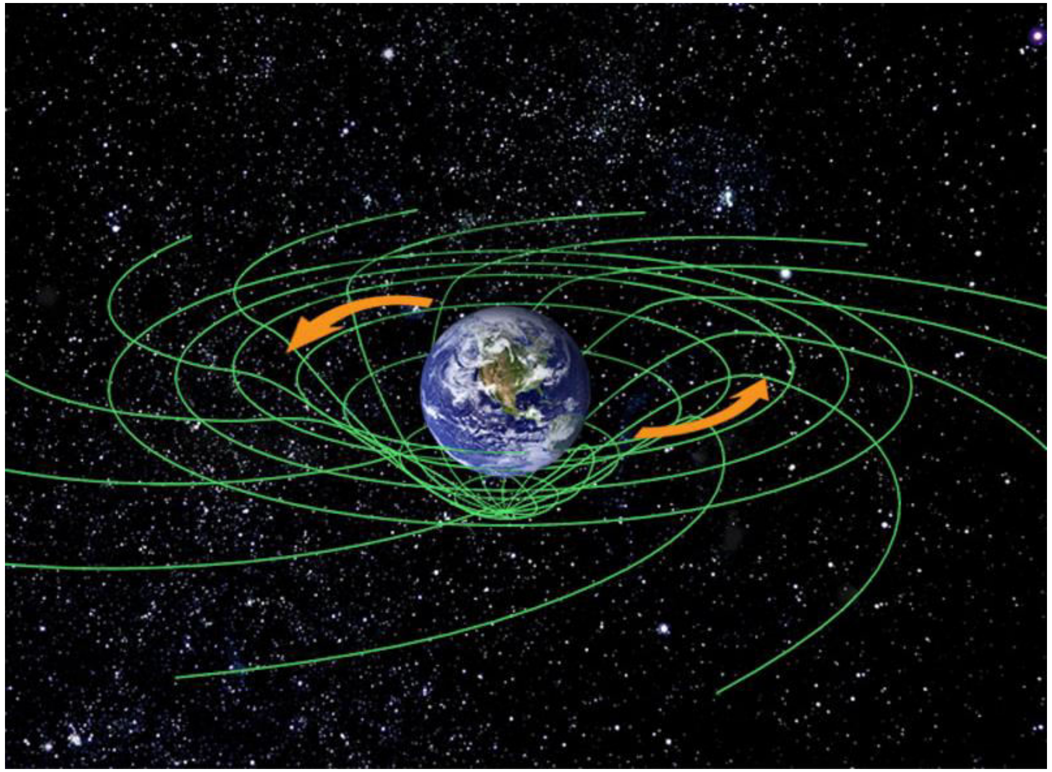
$$g = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

$$= \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^6 + 480\ 000)^2}$$

$$= 8.49 \text{ m s}^{-2}$$

Daya graviti merupakan daya semesta. Oleh itu, rumus $g = \frac{GM}{R^2}$ boleh digunakan untuk menghitung pecutan graviti di permukaan jasad lain seperti planet, Bulan dan Matahari. Planet yang manakah mempunyai pecutan graviti yang paling besar? Planet yang manakah mempunyai pecutan graviti paling kecil?

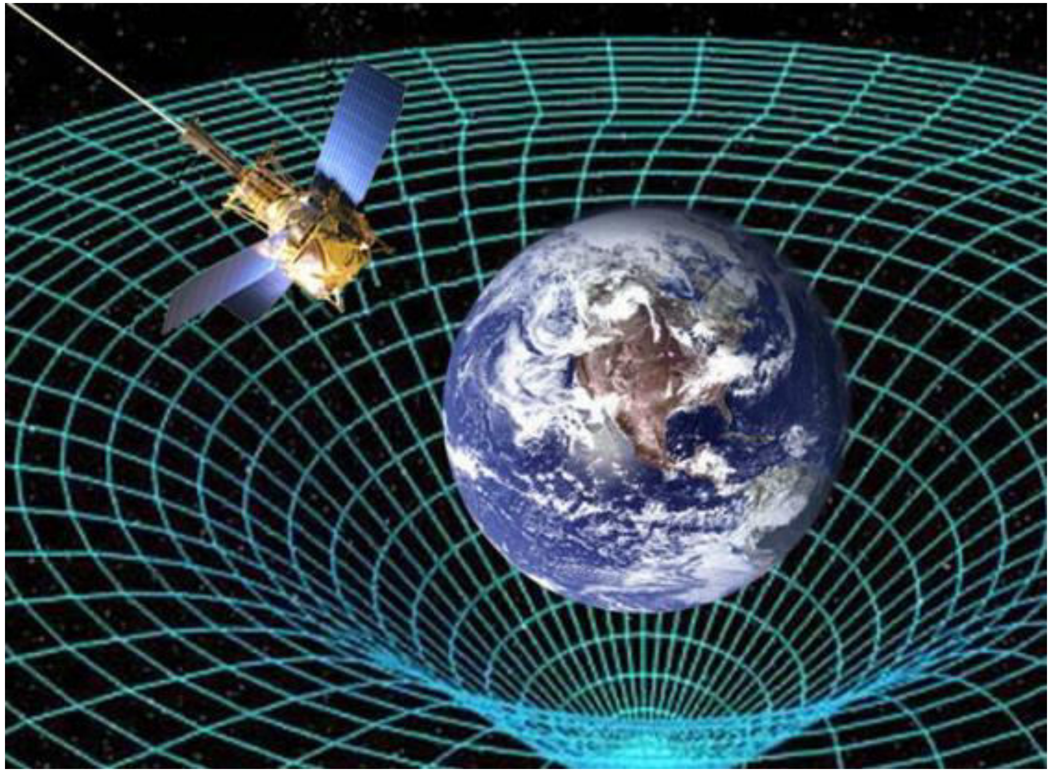
KEPENTINGAN MENGETAHUI NILAI PECUTAN GRAVITI



- Apabila nilai pecutan graviti di permukaan sebuah planet diketahui, magnitud daya graviti yang bertindak ke atas sesuatu objek di permukaan planet boleh dihitung.
- Pengetahuan mengenai nilai pecutan graviti memainkan peranan yang penting dalam penerokaan angkasa dan kelangsungan kehidupan

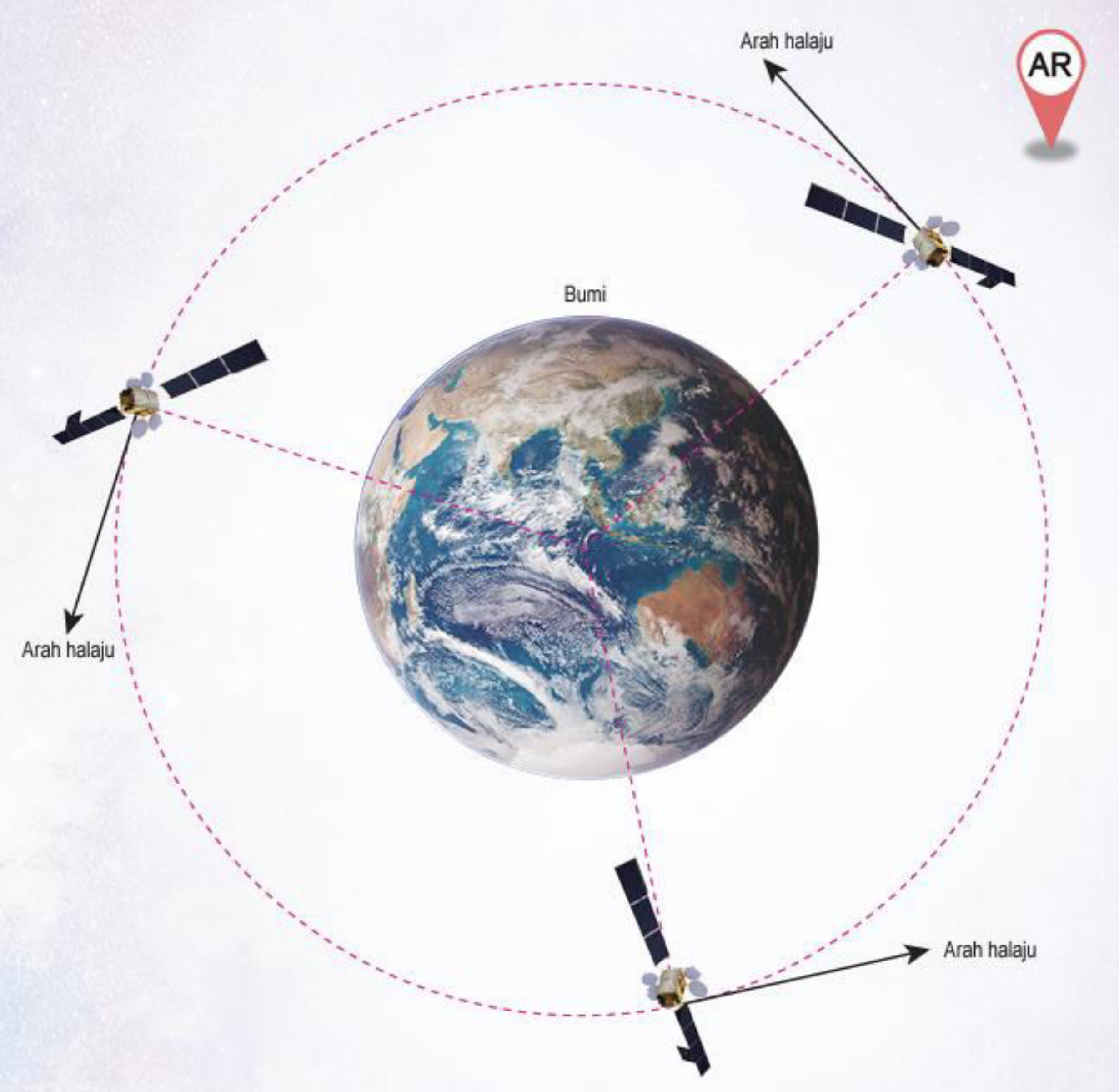
- **Semasa penerokaan angkasa sama ada jauh dari Bumi atau berhampiran dengan planet lain, badan angkasawan boleh terdedah kepada keadaan graviti rendah atau graviti tinggi**

DAYA MEMUSAT DALAM SISTEM GERAKAN SATELIT DAN PLANET



- **Rajah 3.13 menunjukkan tiga kedudukan bagi sebuah satelit yang sedang mengorbit Bumi dengan laju seragam.**
- **Perhatikan arah halaju satelit di setiap kedudukan satelit itu.**

- Jasad yang sedang membuat gerakan membulat sentiasa mengalami perubahan arah gerakan walaupun lajunya tetap.
- Oleh itu,halaju jasad adalah berbeza



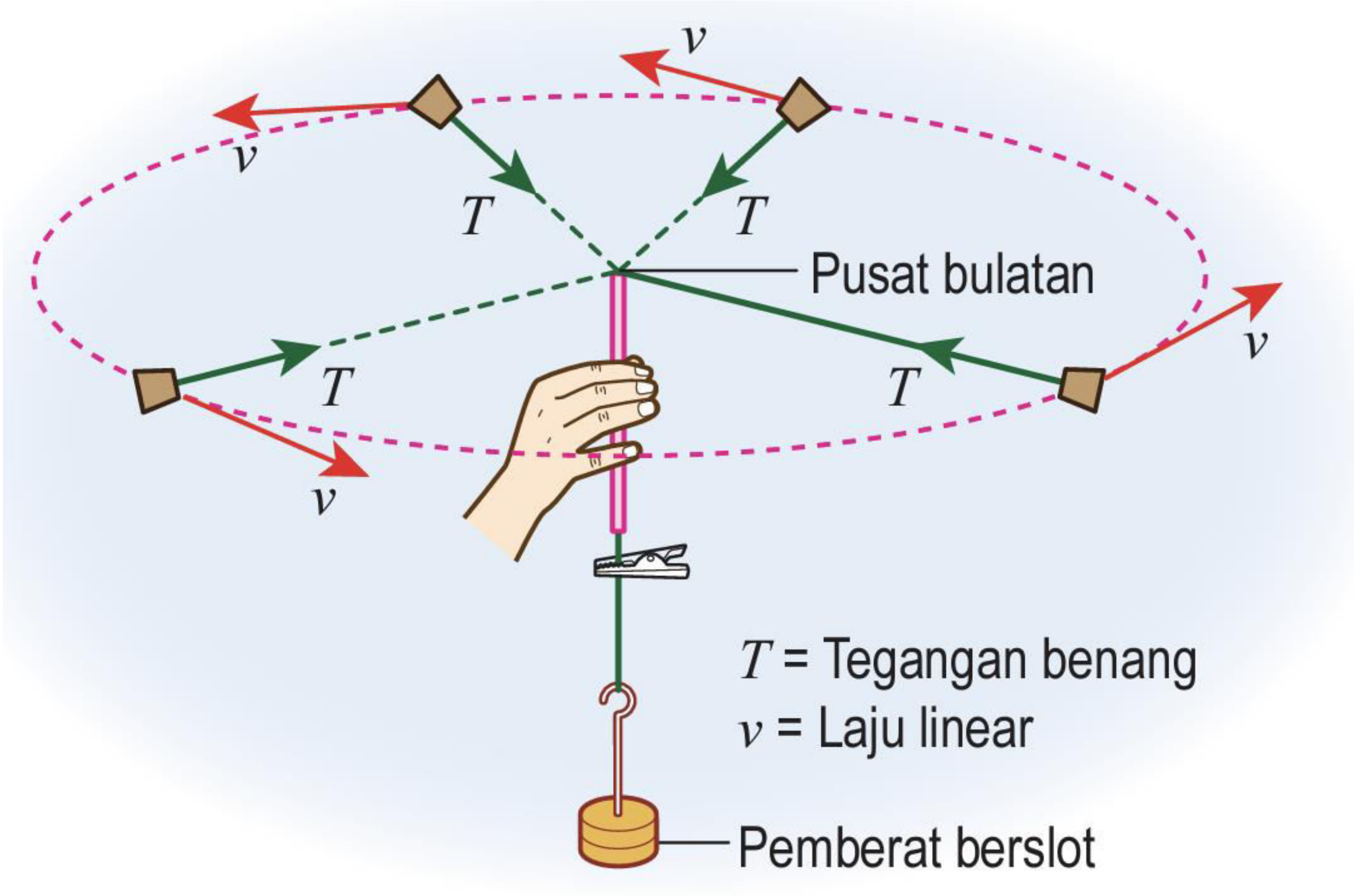
Rajah 3.13 *Satelit membuat gerakan membulat*

- Bagi suatu jasad yang melakukan gerakan membulat, terdapat suatu daya yang bertindak keatasnya dengan arah yang sentiasa menuju kepusat bulatan itu.
- Daya ini dikenali sebagai daya memusat
- Rajah 3.16 menunjukkan tegangan benang yang bertindak sebagai daya memusat untuk gerakan penyumbat getah.
- Magnitud daya memusat bergantung pada jisim jasad, laju linear gerakan membulat dan jejari bulatan

$$F = \frac{mv^2}{r},\quad \begin{aligned} F &= \text{daya memusat} \\ m &= \text{jisim} \\ v &= \text{laju linear} \\ r &= \text{jejari bulatan} \end{aligned}$$

- **Apabila suatu jasad diputar pada laju seragam tertentu sehingga benang menjadi hampir mengufuk, kesan daya graviti ke atas gerakan membulat jasad itu boleh diabaikan.**
- **Walaupun laju jasad adalah seragam, arah gerakan jasad sentiasa berubah**

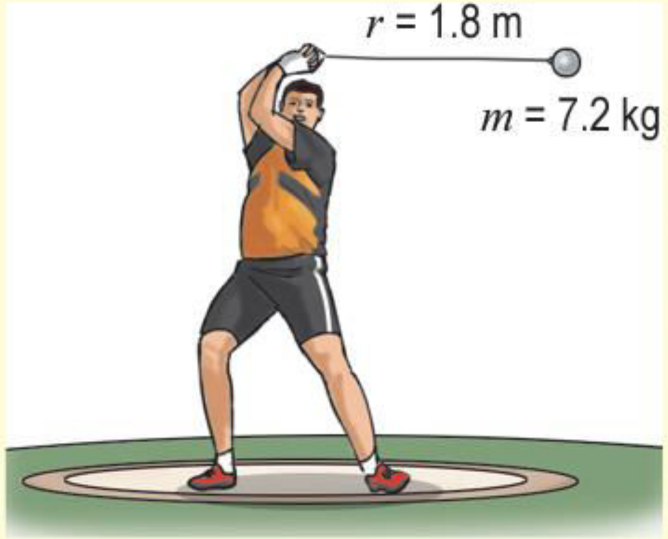
- **Laju linear merujuk kepada laju jasad pada suatu ketika tertentu semasa jasad membuat gerakan membulat**



***Rajah 3.16** Tegangan benang sebagai daya memusat*

Contoh 1

Rajah 3.17 menunjukkan seorang atlet acara lontar tukul besi yang sedang memutarkan tukul besi dalam suatu bulatan ufuk sebelum melepaskannya. Berapakah daya memusat yang bertindak ke atas tukul besi apabila tukul besi itu sedang bergerak dengan laju seragam 20 m s^{-1}?



Penyelesaian:

Langkah 1
Senaraikan maklumat yang diberi dengan simbol.

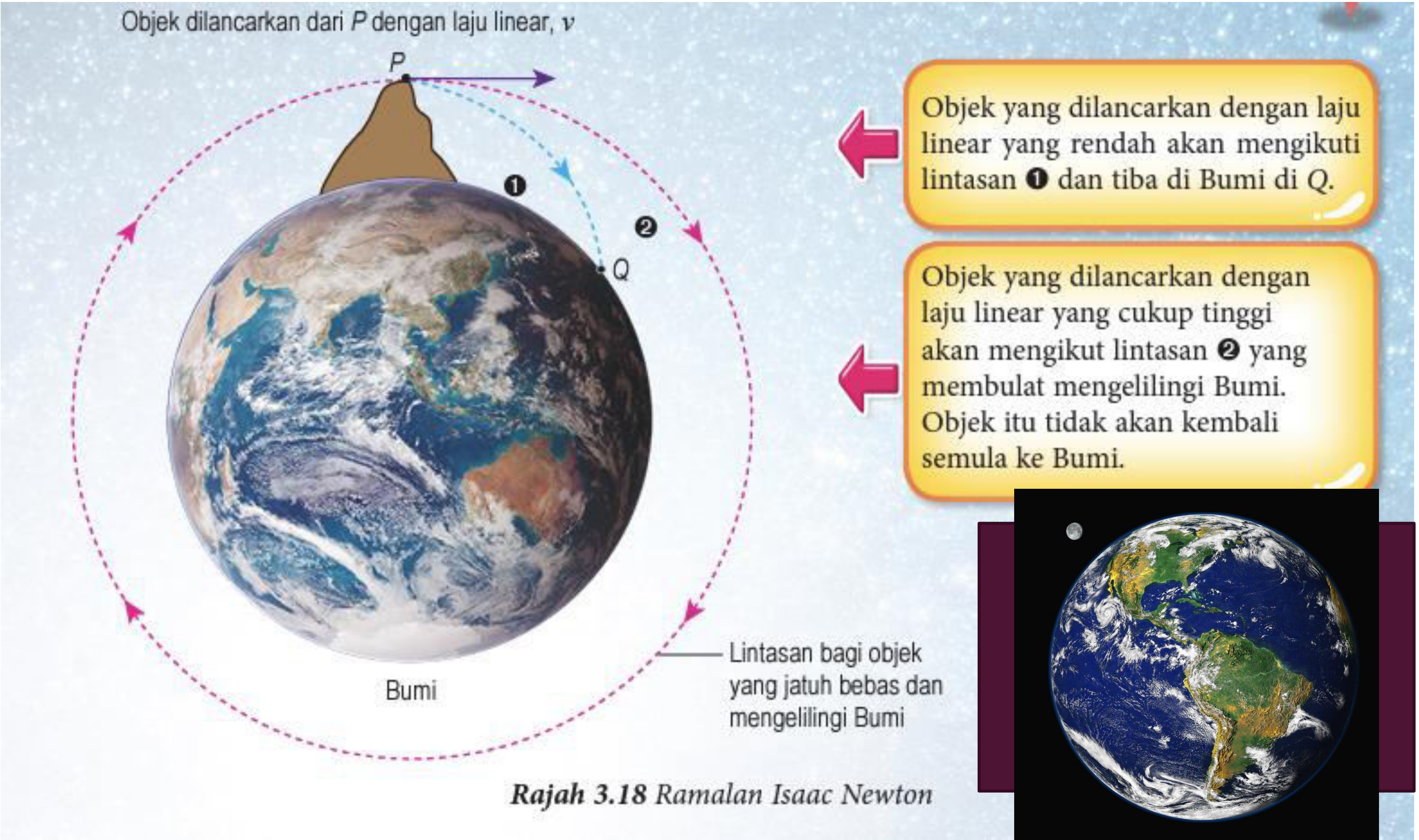
$$\begin{cases} m = 7.2 \text{ kg} \\ v = 20 \text{ m s}^{-1} \\ r = 1.8 \text{ m} \end{cases}$$

Langkah 2
Kenal pasti dan tulis rumus yang digunakan.

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

Langkah 3
Buat gantian numerikal ke dalam rumus dan lakukan penghitungan.

$$\text{Daya memusat, } F = \frac{7.2 \times 20^2}{1.8} = 1\,600 \text{ N}$$



Rajah 3.18 *Ramalan Isaac Newton*

RAMALAN ISAAC NEWTON

- **Ramalan Isaac Newton menjadi kenyataan pada masa kini dengan begitu banyak satelit buatan manusia mengorbit mengelilingi Bumi tanpa dipacu oleh sebarang tujahan roket.**
- **Satelit-satelit sentiasa mengalami daya graviti yang bertindak kearah pusat Bumi**
- **Daya graviti keatas satelit bertindak sebagai daya memusat.**

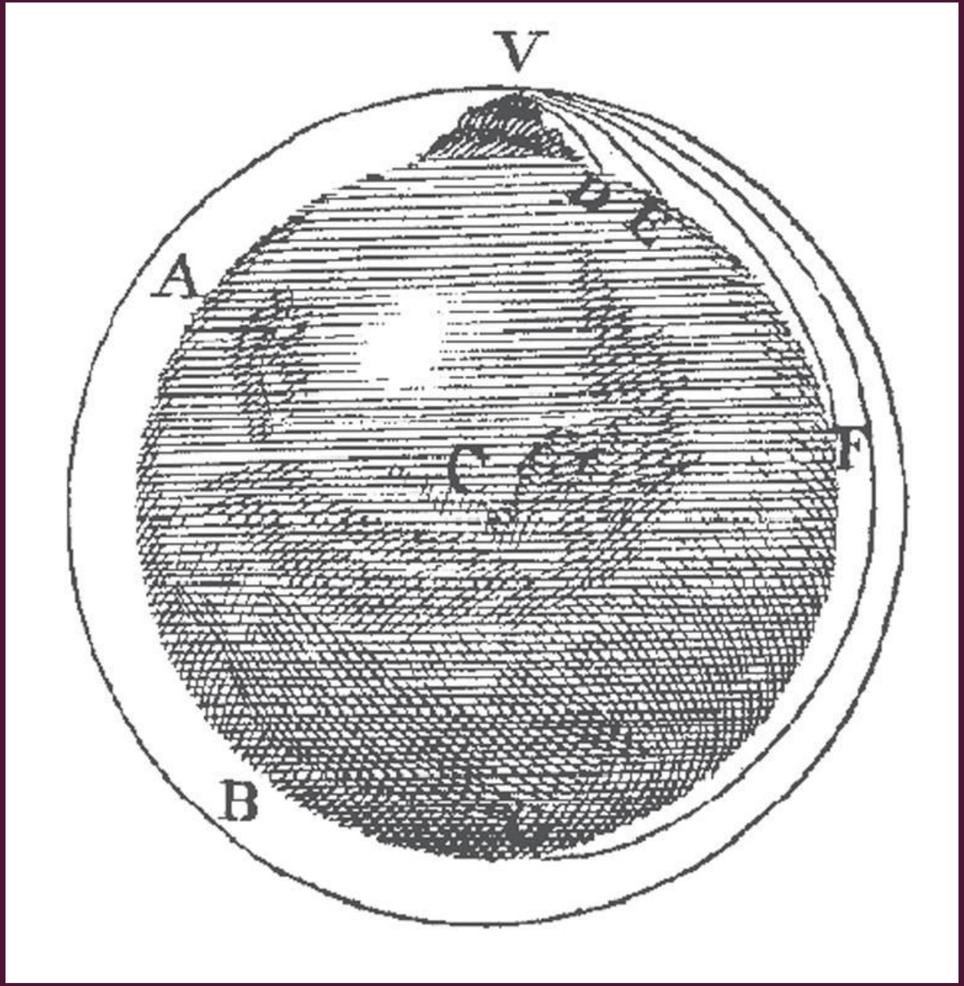
Dengan membanding rumus untuk daya, $F = ma$

dan rumus untuk daya memusat, $F = \frac{mv^2}{r}$, kita peroleh:

Pecutan memusat, $a = \frac{v^2}{r}$, iaitu

v = laju linear satelit

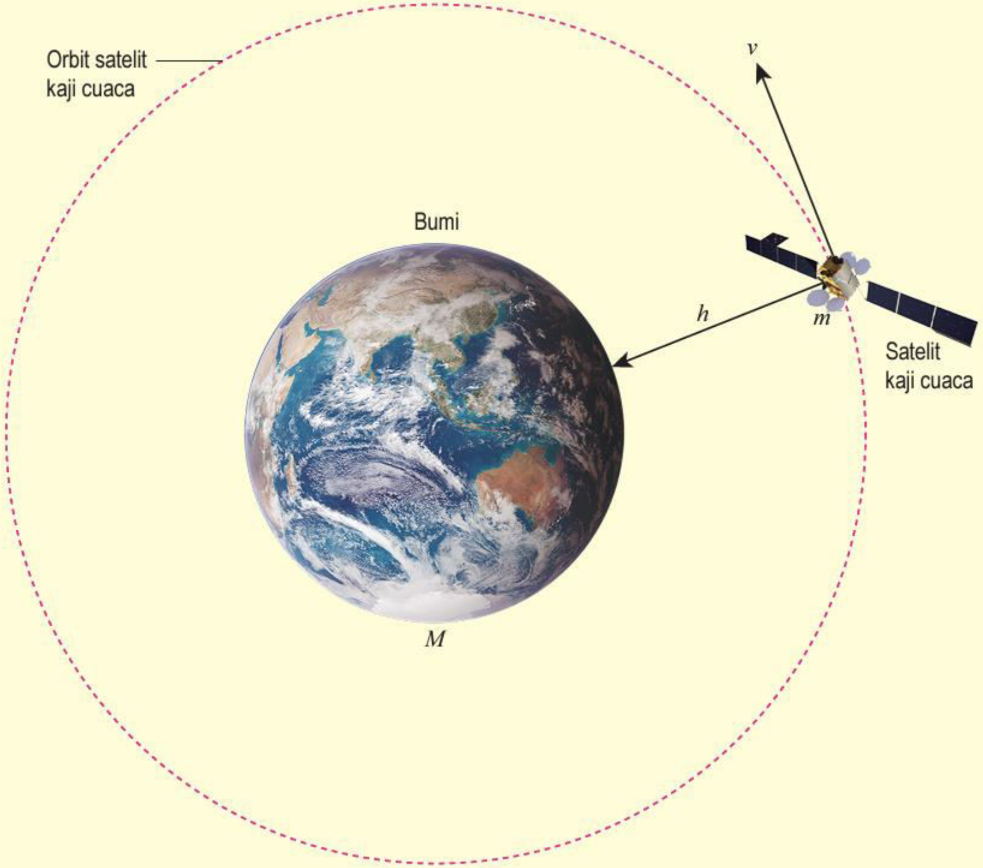
r = jejari orbit satelit



- Walaupun Isaac Newton tidak ada kemudahan untuk melakukan simulasi atau eksperimen, beliau mampu membayangkan eksperimen tentang pergerakan jasad mengelilingi Bumi.
- Lakaran asal beliau ditunjukkan dalam rajah.

Contoh 1

Rajah 3.19 menunjukkan sebuah satelit kaji cuaca yang sedang mengorbit mengelilingi Bumi pada ketinggian, h = 480 km. Laju linear satelit itu ialah 7.62×10^3 m s^{-1}. Jejari Bumi, $R = 6.37 \times 10^6$ m. Berapakah pecutan memusat satelit itu?



Rajah 3.19

Penyelesaian:

Langkah ❶
Senaraikan maklumat yang diberi dengan simbol.

Ketinggian satelit, $h = 480$ km
$= 480\ 000$ m
Laju linear satelit, $v = 7.62 \times 10^3$ m s^{-1}
Jejari Bumi, $R = 6.37 \times 10^6$ m

Langkah ❷
Kenal pasti dan tulis rumus yang digunakan.

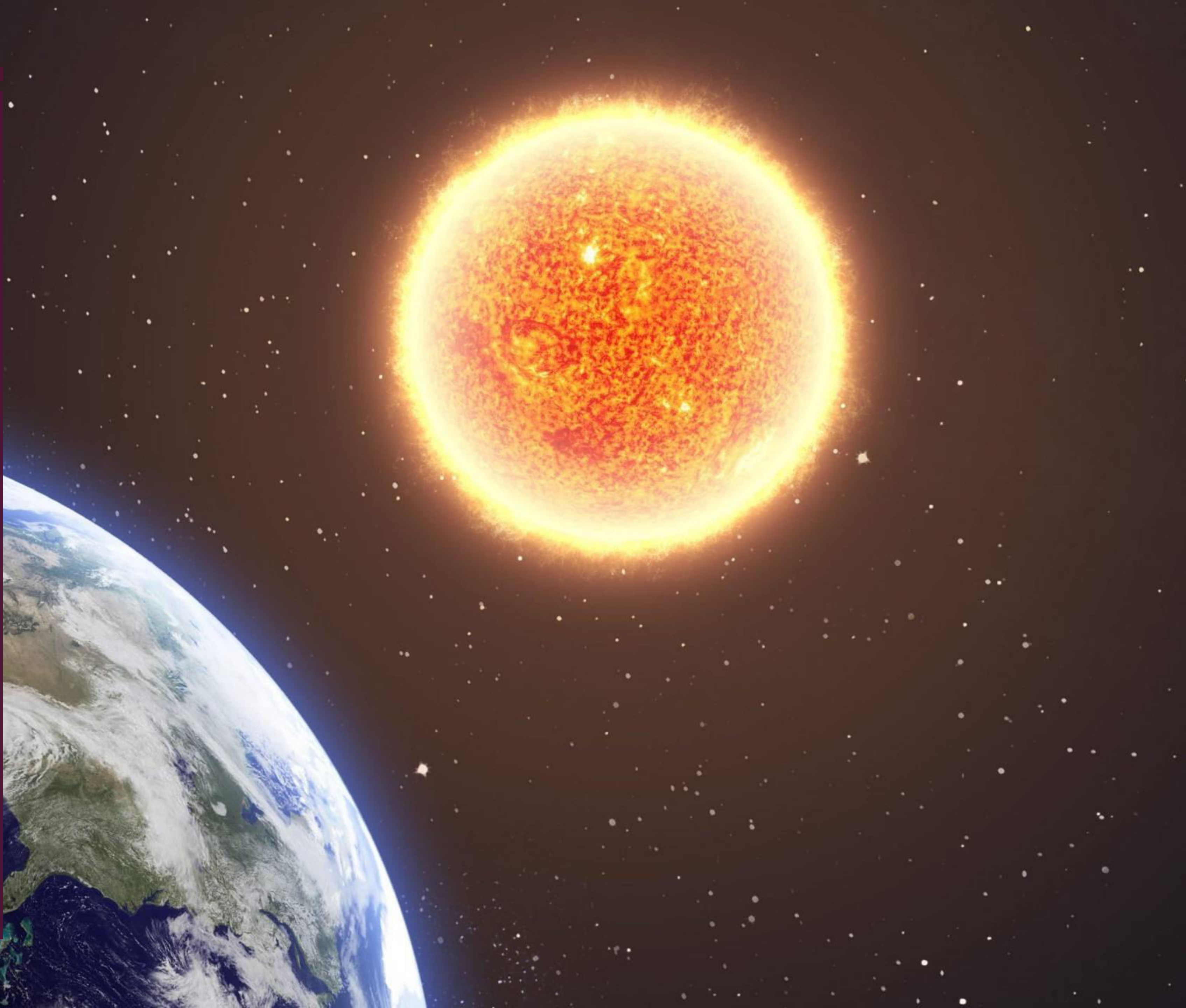
$$a = \frac{v^2}{r}$$

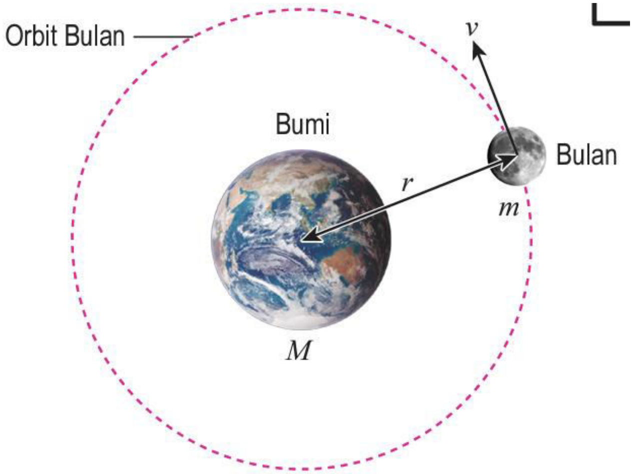
Langkah ❸
Buat gantian numerikal ke dalam rumus dan lakukan penghitungan.

$$a = \frac{v^2}{(R + h)}$$
$$= \frac{(7.62 \times 10^3)^2}{(6.37 \times 10^6 + 480\ 000)}$$
$$= 8.48 \text{ m s}^{-2}$$

JISIM BUMI DAN MATAHARI

- **Rumus jisim Bumi dan Matahari boleh diterbitkan menggunakan rumus Hukum Kegravitian Semesta Newton dan rumus daya memusat.**



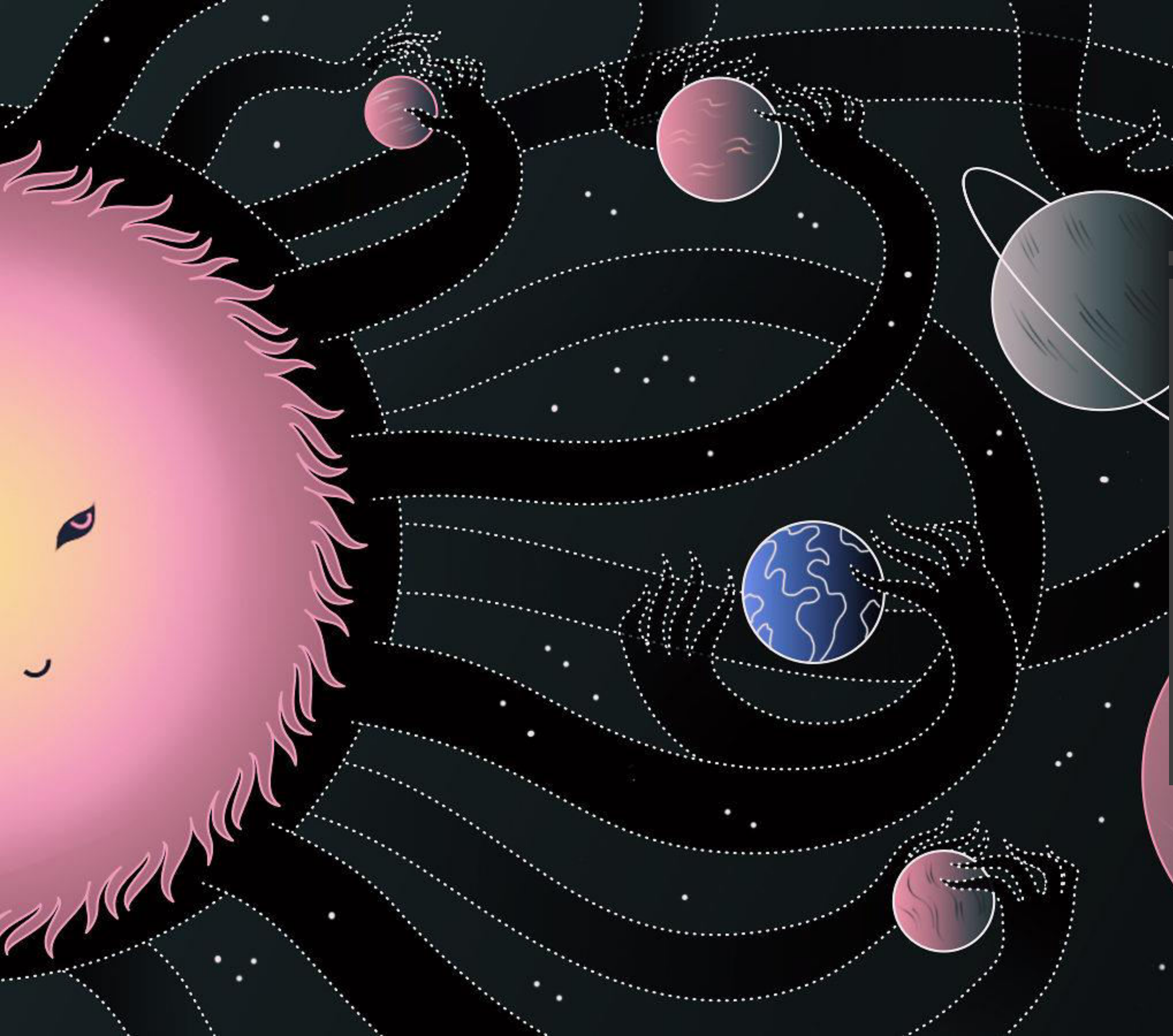


Rajah 3.20

M = jisim Bumi
m = jisim Bulan
r = jejari orbit Bulan
T = tempoh peredaran Bulan mengelilingi Bumi
v = laju linear Bulan

Rumus yang digunakan untuk menentukan jisim Bumi atau Matahari	$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$
Data yang diperlukan untuk menghitung jisim Bumi	• jejari orbit mana-mana satelit atau Bulan • tempoh peredaran
Data yang diperlukan untuk menghitung jisim Matahari	• jejari orbit mana-mana planet • tempoh peredaran planet tersebut

Rajah 3.22 *Rumus dan data yang digunakan untuk menghitung jisim Bumi dan Matahari*



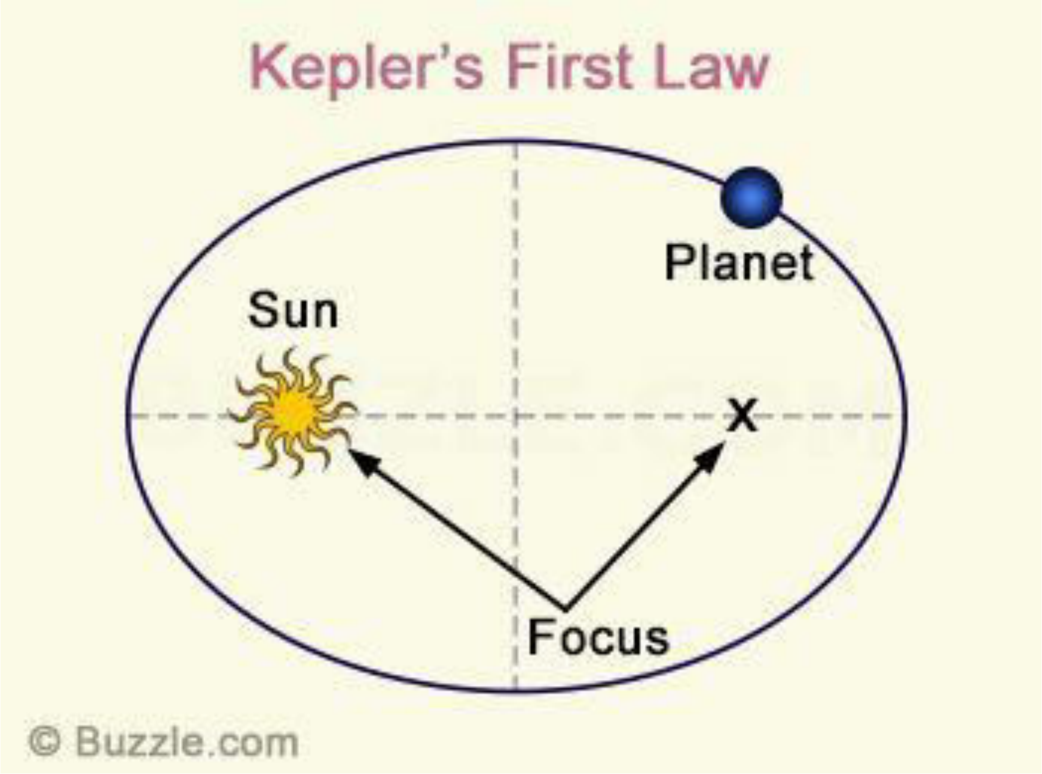
3.2 HUKUM KEPLER

HUKUM KEPLER

- **Johannes Kepler bekerja sebagai pembantu kepada ahli astronomi Tycho Brahe.**
- **Sifat keazaman yang tinggi mendorong beliau untuk mengkaji data astronomi Brahe selama lebih daripada sepuluh tahun.**
- **Akhirnya Kepler berjaya merumuskan tiga hukum yang menghuraikan gerakan planet mengelilingi Matahari.**

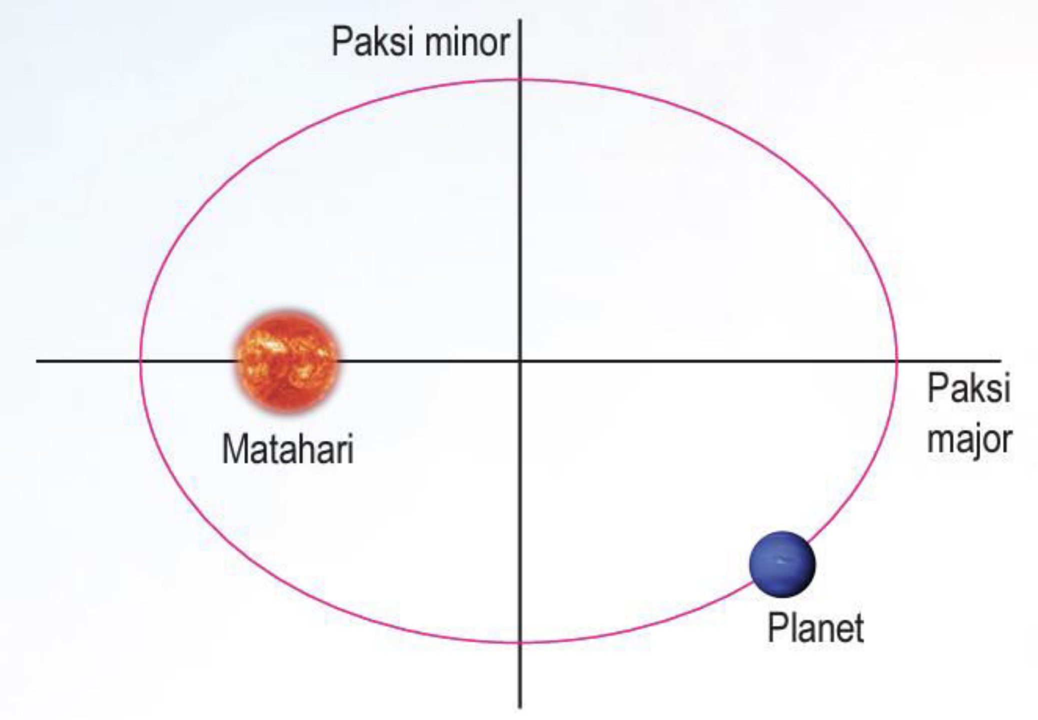
HUKUM KEPLER PERTAMA

- **Kepler, seorang ahli astronomi, matematik dan astrologi Jerman yang mengubah suai model heliosentrik mengikut Hukum Kepler.**
- **Hukum Kepler Pertama ialah Orbit bagi setiap planet adalah elips dengan Matahari berada di satu daripada fokusnya.**



HUKUM KEPLER PERTAMA

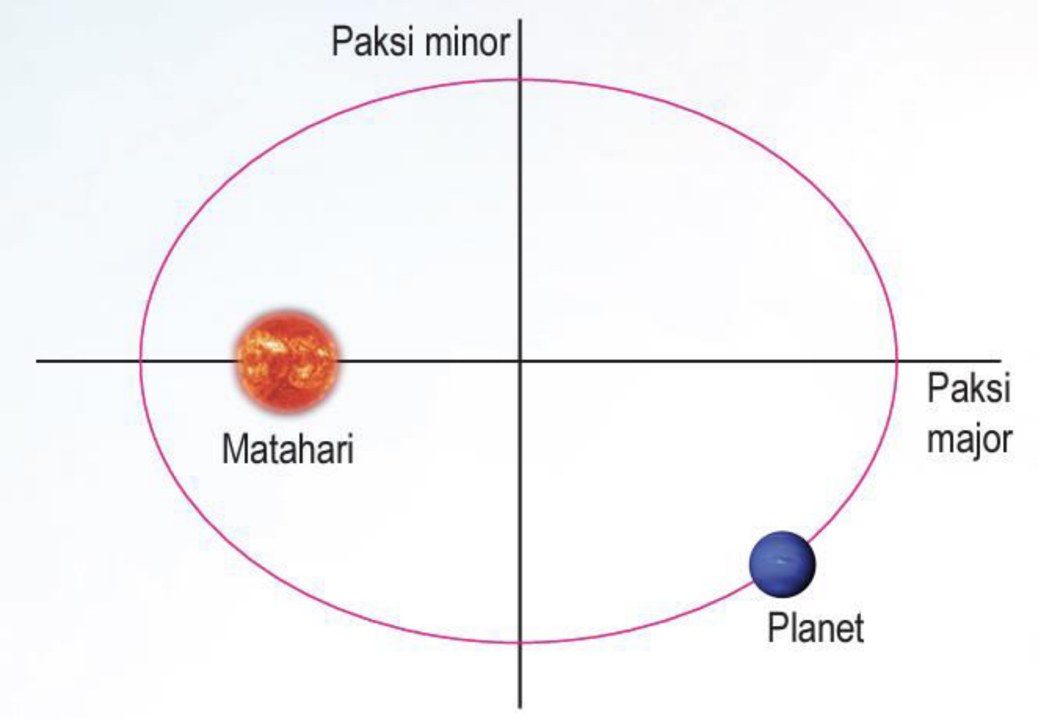
- **Planet-planet dalam Sistem Suria mempunyai orbit berbentuk elips.Rajah menunjukkan Matahari sentiasa berada di satu fokus bagi elips itu.**
- **Paksi major adalah lebih panjang daripada paksi minor.**
- **Kebanyakan orbit planet dalam Sistem Suria mempunyai paksi major hampir sama panjang dengan paksi minor.**



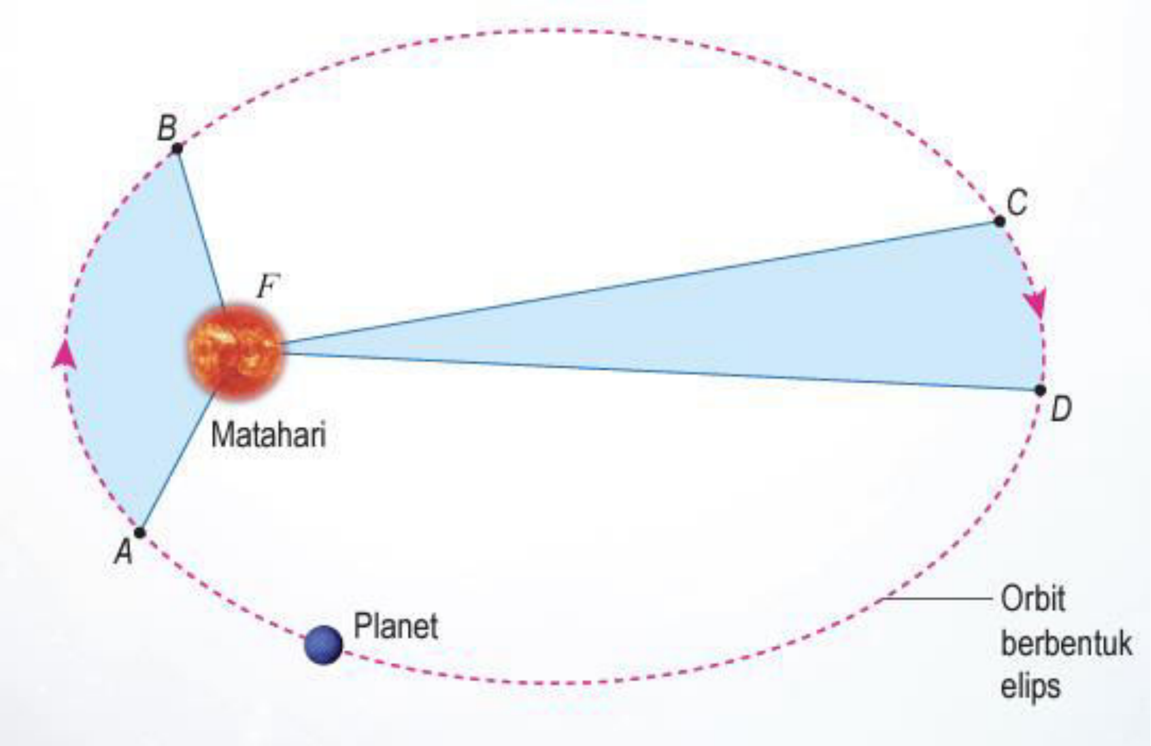
Rajah 3.25 *Orbit planet mengelilingi Matahari*

HUKUM KEPLER PERTAMA

- **Oleh itu,bentuk elips orbit planet-planet dalamSistem Suria adalah hampir bulat.**
- **Planet-planet boleh dianggap membuat gerakan membulat mengelilingi Matahari**
- **Jejari orbit ialah nilai purata bagi jarak di antara planet dengan Matahari.**



Rajah 3.25 *Orbit planet mengelilingi Matahari*



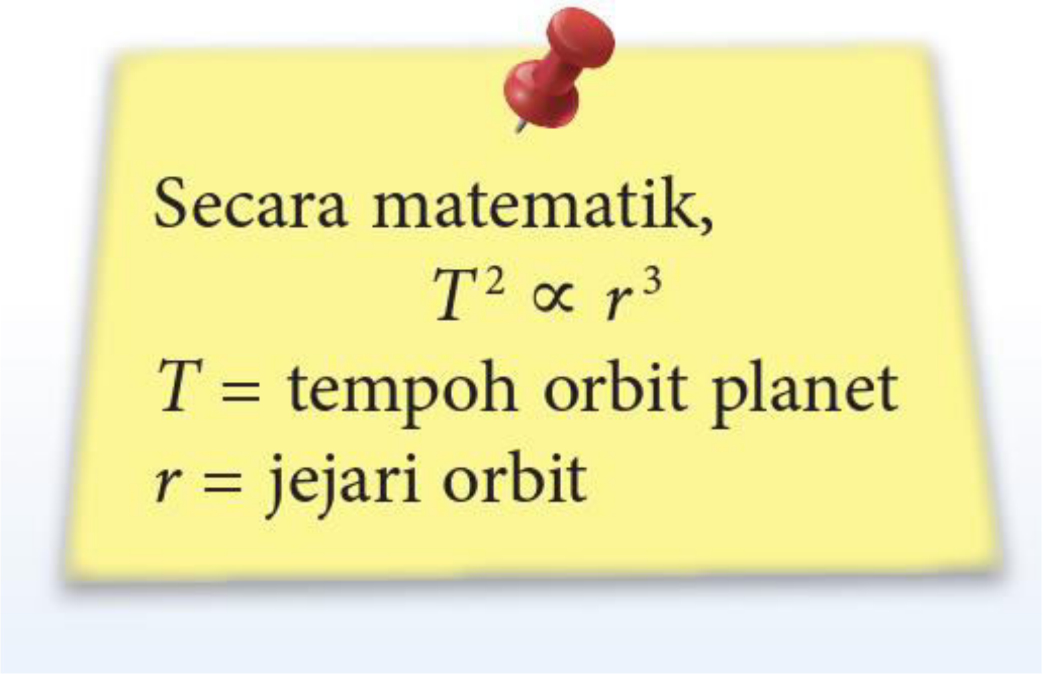
Rajah 3.26 Pergerakan planet dalam orbit

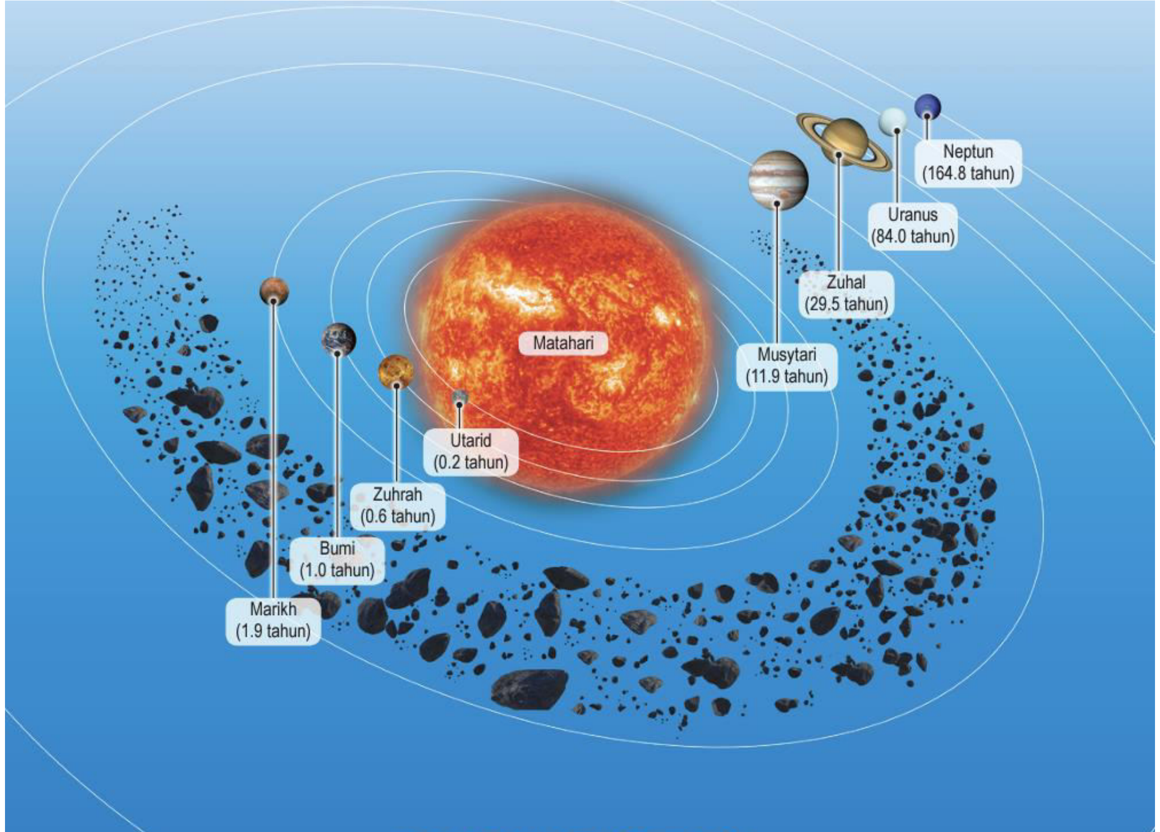
HUKUM KEPLER KEDUA

- **Perhatikan Rajah 3.26. Jika sebuah planet mengambil masa yang sama untuk bergerak dari A ke B dan C ke D, luas kawasan AFB adalah sama dengan luas kawasan CFD.**
- **Jarak AB adalah lebih besar daripada jarak CD. Hal ini bermakna planet itu bergerak dengan laju linear yang lebih tinggi dari A ke B berbanding dengan dari C ke D**

HUKUM KEPLER KETIGA

- **Kuasa dua tempoh orbit planet adalah berkadar terus dengan kuasa tiga jejari orbitnya.**

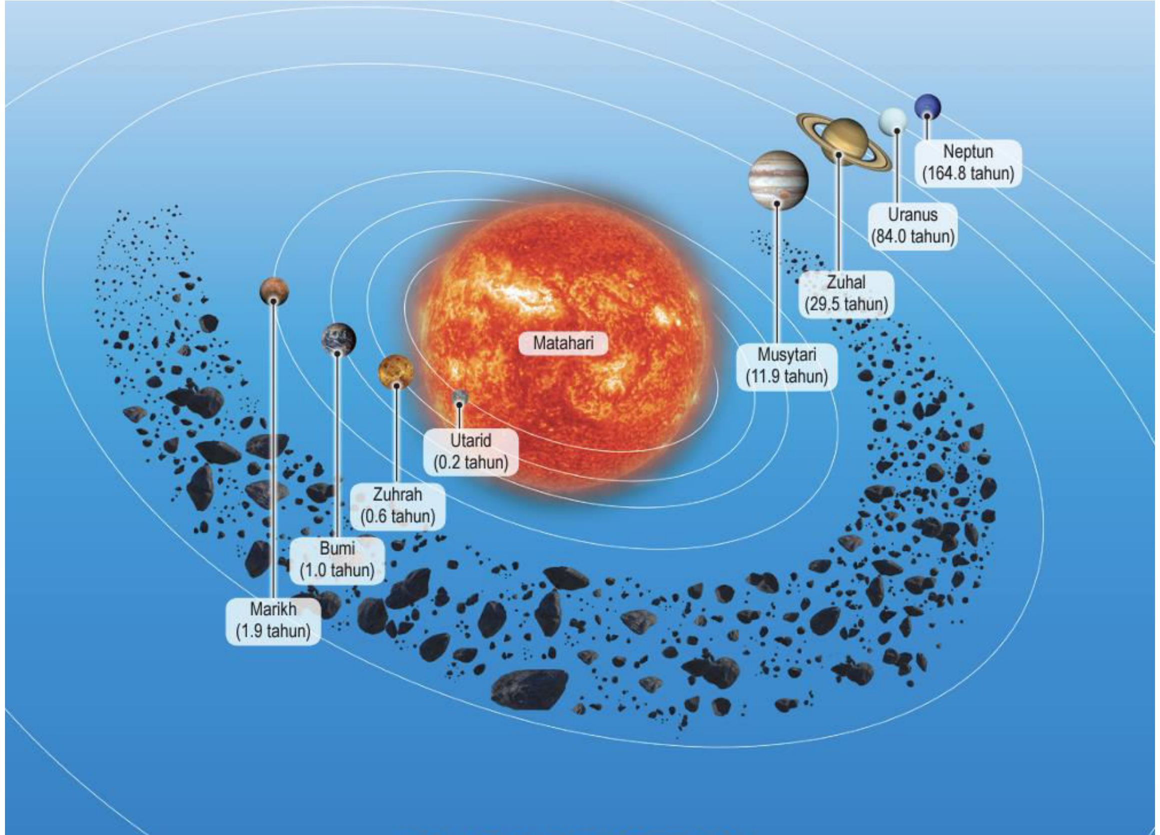




Rajah 3.27 Orbit planet dan tempoh orbit

HUKUM KEPLER KETIGA

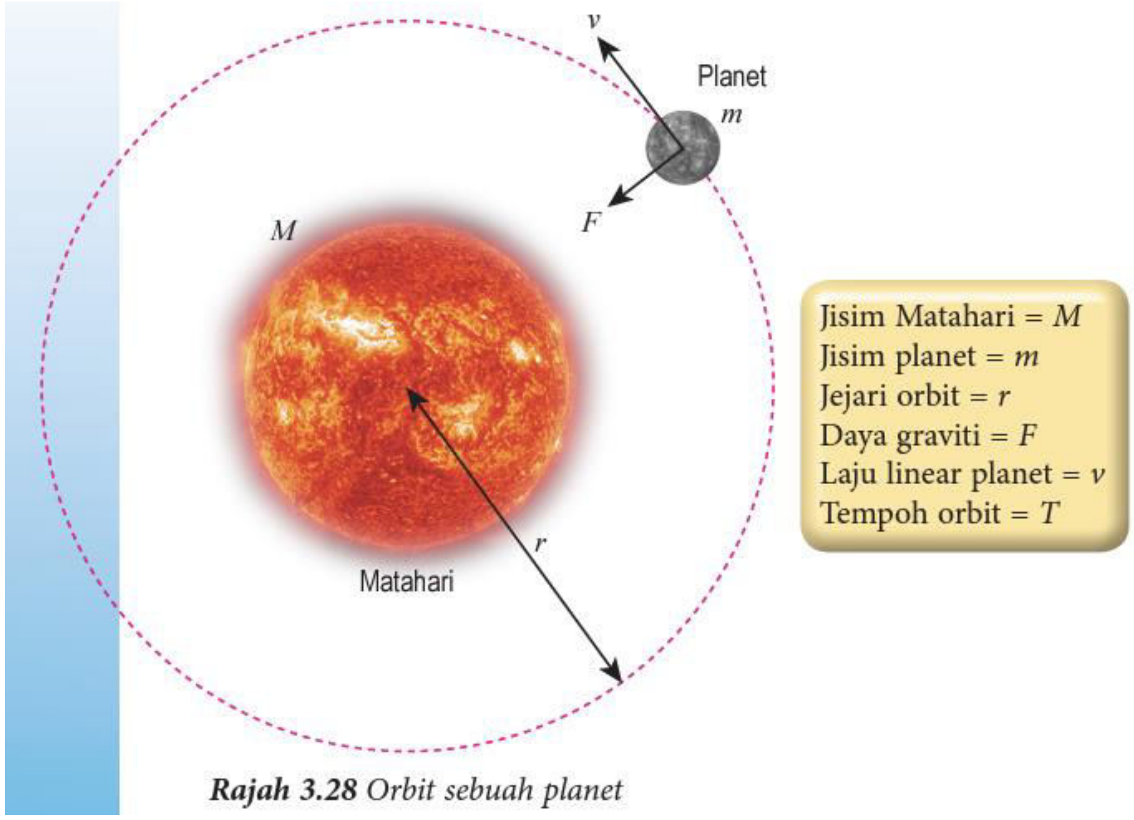
- **Planet yang mengorbit dengan jejari yang lebih besar akan mempunyai tempoh orbit yang lebih panjang.**
- **Oleh yang demikian, planet yang lebih jauh daripada Matahari mengambil masa yang lebih lama untuk melengkapkan satu orbit mengelilingi Matahari.**



Rajah 3.27 Orbit planet dan tempoh orbit

HUKUM KEPLER KETIGA

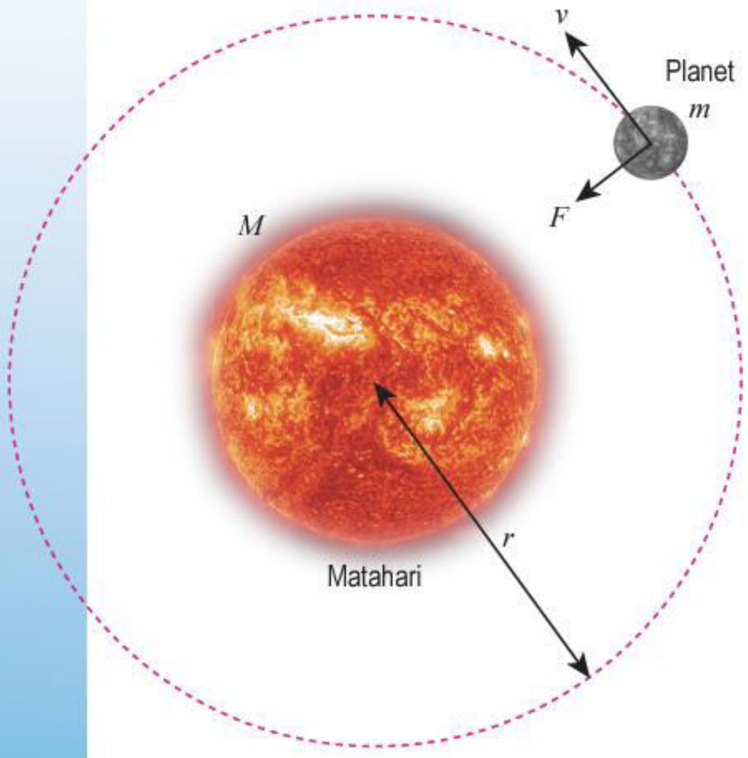
- **Sebagai contoh, Bumi mengambil masa 1 tahun untuk satu orbit lengkap manakala planet Zuhal mengambil masa29.5tahun.**
- **Rajah 3.27 menunjukkan orbit dan tempoh orbit planet.**



Rajah 3.28 *Orbit sebuah planet*

HUKUM KEPLER KETIGA

- **Hukum Kepler Ketiga boleh dirumus menggunakan Hukum Kegravitian Semesta Newton dan konsep gerakan membulat.**
- **Planet melakukan gerakan membulat mengelilingi Matahari.**
- **Daya memusat yang bertindak ialah daya graviti antara Matahari dengan planet itu.**



***Rajah 3.28** Orbit sebuah planet*

Jisim Matahari = M
Jisim planet = m
Jejari orbit = r
Daya graviti = F
Laju linear planet = v
Tempoh orbit = T

HUKUM KEPLER KETIGA

- **Perhatikan Rajah 3.28 yang menunjukkan orbit sebuah planet mengelilingi Matahari.**
- **Dengan menganggap orbit planet yang mengelilingi Matahari adalah bulatan,kita boleh terbitkan hubungan antara tempoh orbit planet dengan jejari orbit seperti dalam Hukum Kepler Ketiga.**

Daya graviti yang bertindak ke atas planet, $F = \frac{GMm}{r^2}$

Daya graviti itu bertindak sebagai daya memusat untuk planet membuat gerakan membulat mengelilingi Matahari.

Daya memusat, $F = \frac{mv^2}{r}$

Maka,

Daya memusat = Daya graviti

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$v^2 = \frac{GM}{r} \text{ .... [1]}$$

Laju linear planet, $v = \frac{\text{Jarak dilalui dalam satu orbit lengkap}}{\text{Tempoh orbit}}$

$$= \frac{2\pi r}{T} \text{ .... [2]}$$

Gantikan, [2] ke [1]

$$\left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 = \frac{GM}{r}$$

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right)r^3$$

Oleh sebab, GM adalah malar, $T^2 \propto r^3$

$T^2 \propto r^3$ ialah Hukum Kepler Ketiga.

INFO BESTARI

Perimeter orbit = $2\pi r$

Hukum Kepler Ketiga, iaitu $T^2 \propto r^3$

dapat dirumuskan dengan menyamakan

daya memusat,

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

daya graviti,

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

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Oleh itu,

hubungan antara tempoh planet, T dengan jejari orbitnya, r ialah

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3$$

$$T^2 = kr^3$$

iaitu pemalar,

$$k = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Rajah 3.29 *Merumuskan Hukum Kepler Ketiga*

Daripada Hukum Kepler Ketiga, hubungan antara tempoh orbit, T dengan jejari orbit, r ialah

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3$$

Katakan dua planet dibandingkan.

Bagi planet 1, $T_1^{\,2} = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r_1^{\,3}$ .... (1)

Bagi planet 2, $T_2^{\,2} = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r_2^{\,3}$ .... (2)

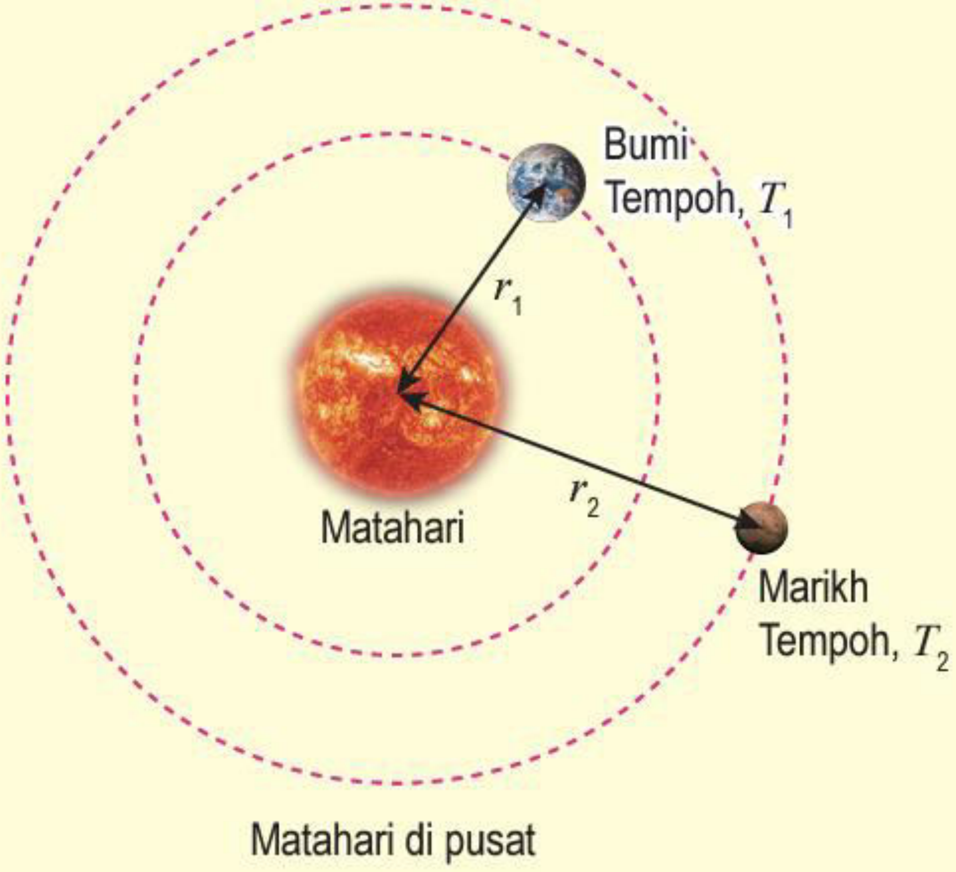
(1) ÷ (2) memberikan $\frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \frac{r_1^{\,3}}{r_2^{\,3}}$

Persamaan $\frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \frac{r_1^{\,3}}{r_2^{\,3}}$ boleh digunakan untuk menghitung tempoh orbit, T atau jejari orbit, r.

MENYELESAIKAN MASALAH MENGGUNAKAN RUMUS HUKUM KEPLER KETIGA

Contoh 1

Rajah 3.30 menunjukkan planet Bumi dan Marikh yang mengorbit Matahari.



Rajah 3.30

(a) Jejari orbit planet Marikh boleh ditentukan dengan membandingkan orbit Marikh dengan orbit Bumi. Apakah maklumat yang diperlukan untuk menentukan jejari orbit Marikh?

(b) Jejari orbit Bumi ialah 1.50×10^{11} m, tempoh orbit Bumi dan Marikh ialah masing-masing 1.00 tahun dan 1.88 tahun. Hitungkan jejari orbit Marikh.

Penyelesaian:

(a) Jejari orbit Bumi, tempoh orbit Bumi dan tempoh orbit Marikh.

(b)

Langkah ❶
Senaraikan maklumat yang diberi dengan simbol.

$$\begin{cases} \text{Jejari orbit Bumi, } r_1 = 1.50 \times 10^{11} \text{ m} \\ \text{Jejari orbit Marikh} = r_2 \\ \text{Tempoh orbit Bumi, } T_1 = 1.00 \text{ tahun} \\ \text{Tempoh orbit Marikh, } T_2 = 1.88 \text{ tahun} \end{cases}$$

Langkah 2
Kenal pasti dan tulis rumus yang digunakan.

$$\frac{T_1^{\ 2}}{T_2^{\ 2}} = \frac{r_1^{\ 3}}{r_2^{\ 3}}$$

Langkah 3
Buat gantian numerikal ke dalam rumus dan lakukan penghitungan.

$$\frac{1.00^2}{1.88^2} = \frac{(1.50 \times 10^{11})^3}{r_2^{\ 3}}$$

$$r_2^{\ 3} = \frac{(1.50 \times 10^{11})^3 \times 1.88^2}{1.00^2}$$

$$r_2 = \sqrt[3]{\frac{(1.50 \times 10^{11})^3 \times 1.88^2}{1.00^2}}$$

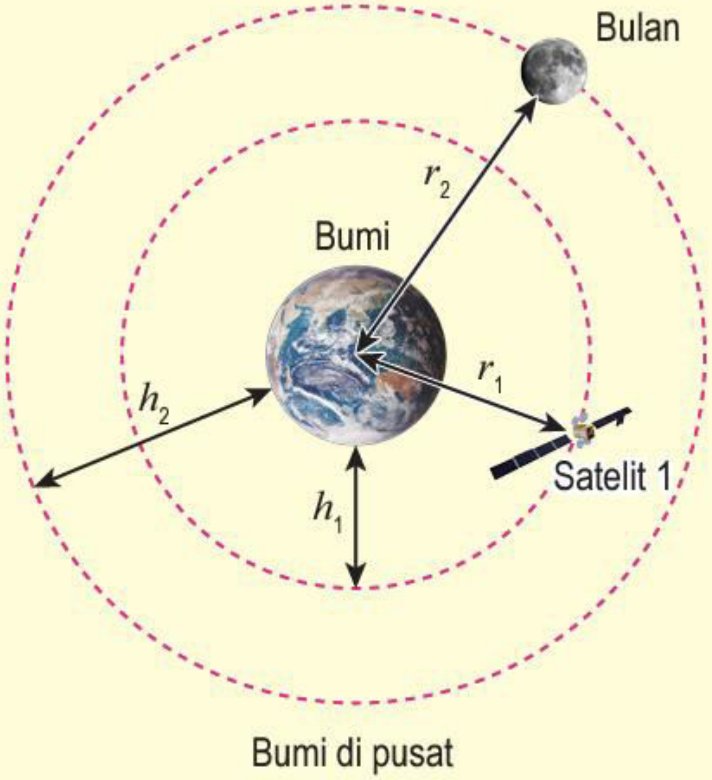
$$= 2.28 \times 10^{11}\ \text{m}$$

INFO BESTARI

Persamaan $\frac{T_1^{\ 2}}{T_2^{\ 2}} = \frac{r_1^{\ 3}}{r_2^{\ 3}}$ melibatkan tempoh orbit sebuah planet bahagi tempoh orbit sebuah planet yang lain. Unit yang sama perlu digunakan untuk kedua-dua tempoh.

Contoh 2

Rajah 3.31 menunjukkan sebuah satelit penyelidikan perlu mengorbit pada ketinggian 380 km untuk membuat pengimejan jelas muka Bumi. Berapakah tempoh orbit satelit itu?



Rajah 3.31

[Jejari orbit Bulan = 3.83×10^8 m, tempoh orbit Bulan = 655.2 jam]

Penyelesaian:

Jejari orbit satelit, $r_1 = (6.37 \times 10^6) + (380 \times 10^3)$
$= 6.75 \times 10^6$ m

Jejari orbit Bulan, $r_2 = 3.83 \times 10^8$ m

Tempoh orbit satelit $= T_1$

Tempoh orbit Bulan, $T_2 = 655.2$ jam

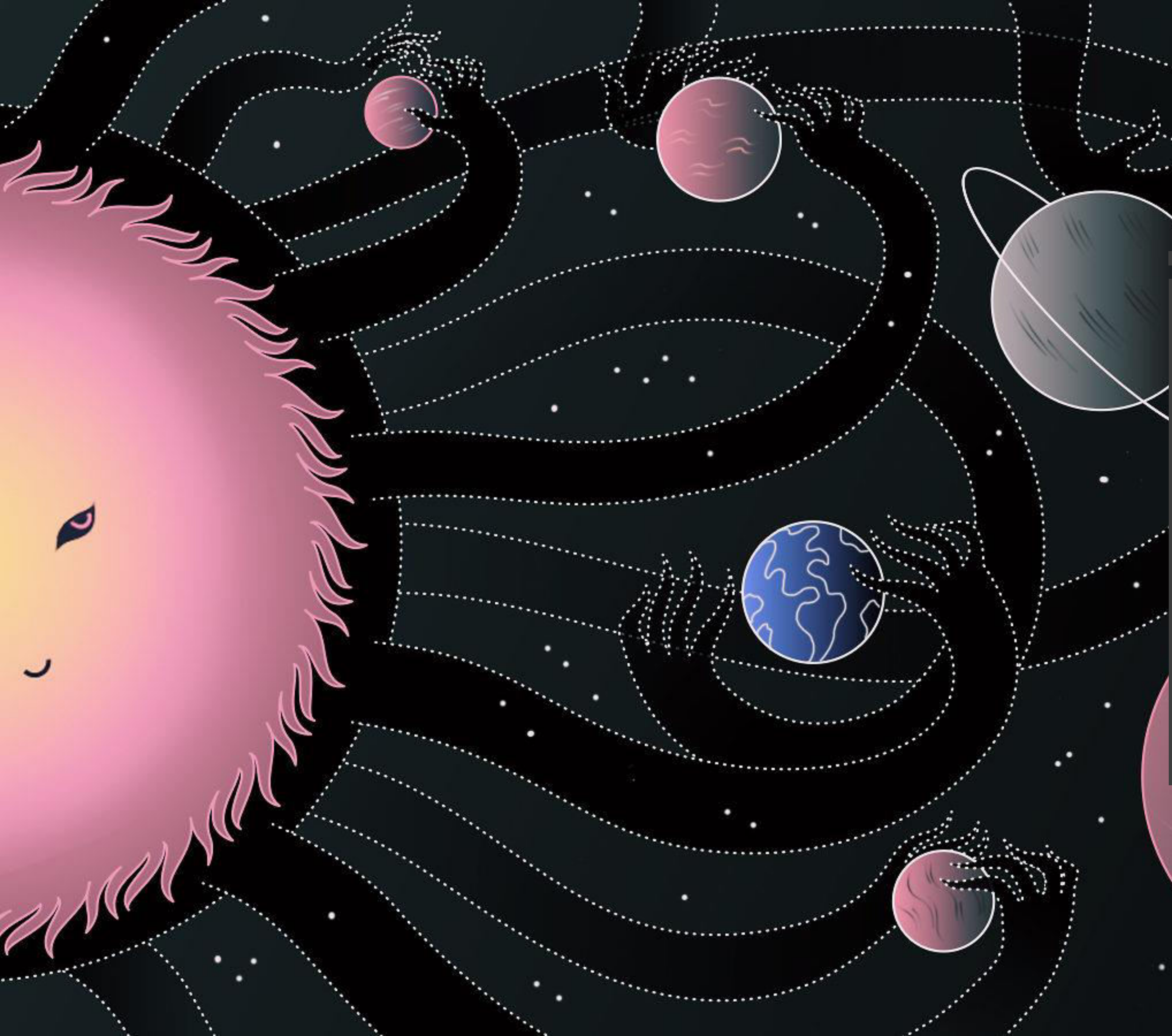
$$\frac{T_1^{\,2}}{T_2^{\,2}} = \frac{r_1^{\,3}}{r_2^{\,3}}$$

$$\frac{T_1^{\,2}}{655.2^2} = \frac{(6.75 \times 10^6)^3}{(3.83 \times 10^8)^3}$$

$$T_1^{\,2} = \frac{(6.75 \times 10^6)^3 \times 655.2^2}{(3.83 \times 10^8)^3}$$

$$T_1 = \sqrt{\frac{(6.75 \times 10^6)^3 \times 655.2^2}{(3.83 \times 10^8)^3}}$$

$= 1.53$ jam



3.3 SATELIT BUATAN MANUSIA

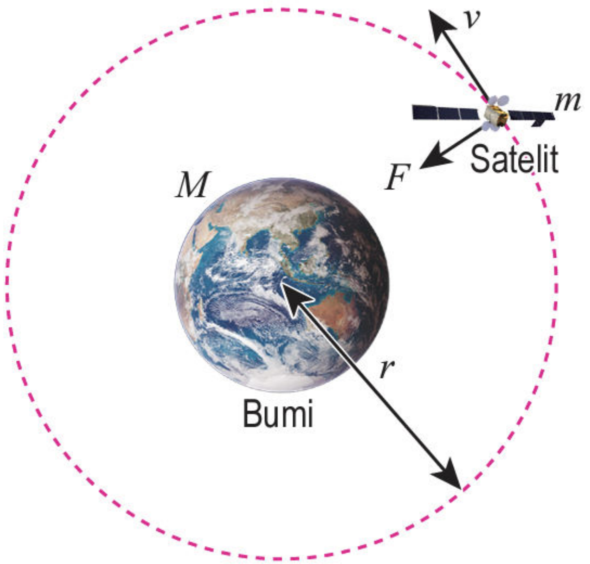
ORBIT SATELIT

- **Rajah 3.33 menunjukkan Stesen Angkasa Antarabangsa, ISS (International Space Station) dan satelit MEASAT.**
- **ISS boleh dilihat dari Bumi kerana bersaiz besar dan mengorbit pada ketinggian 408 km.**
- **Satelit MEASAT sukar untuk dilihat kerana bersaiz kecil dan mengorbitpadaketinggian35786km**
- **Satelit akan bergerak dalam orbit pada ketinggian tertentu dengan laju linear satelit yang sesuai.**

Rajah 3.33 *Satelit buatan manusia mengorbit Bumi*

ORBIT SATELIT

- **Rumus daya memusat dan Hukum Kegravitian Semesta Newton digunakan untuk menerbitkan dan menentukan laju linear satelit.**
- **Rajah 3.34 menunjukkan orbit sebuah satelit yang mengelilingi Bumi.**



Jisim Bumi = M
Jisim satelit = m
Jejari orbit satelit = r
Laju linear satelit = v
Tempoh orbit = T

Rajah 3.34 *Orbit sebuah satelit*

- **Satelit yang bergerak dalam orbit membulat mengelilingi Bumi akan mengalami daya memusat, iaitu daya graviti**

Daya graviti antara satelit dengan Bumi, $F = \frac{GMm}{r^2}$

Daya memusat pada satelit, $F = \frac{mv^2}{r}$

Daya memusat = Daya graviti

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$$

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

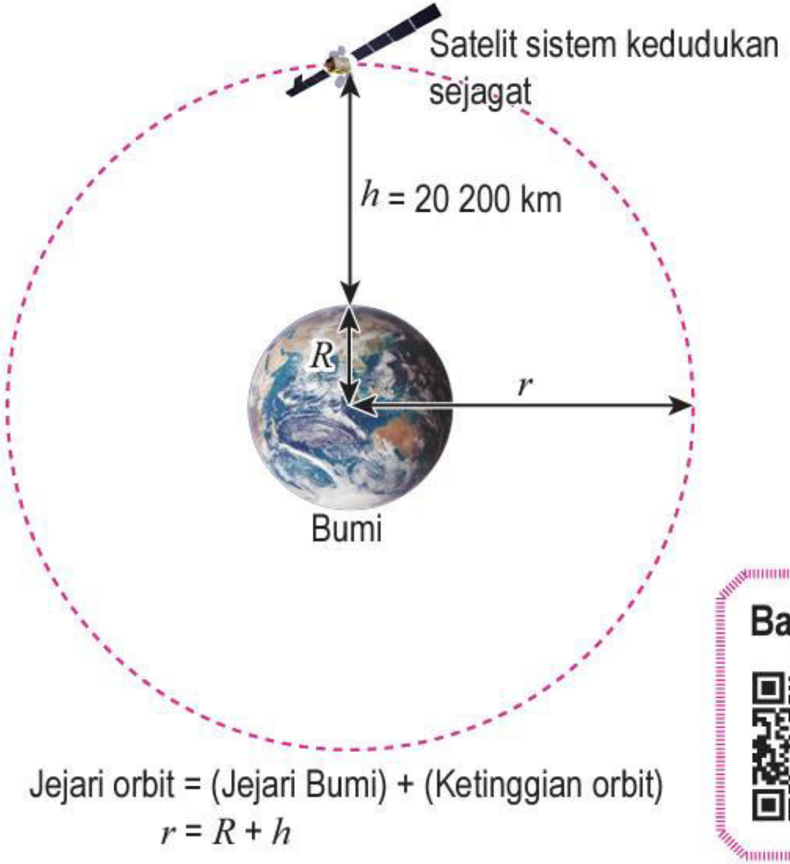
$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

- **Oleh sebab GM adalah malar, laju linear satelit hanya bergantung kepada jejari orbitnya.**
- **Jika sebuah satelit berada pada ketinggian, h di atas permukaan Bumi,**

Jejari orbit, $r = R + h$
iaitu R = jejari Bumi.

Dengan itu, laju linear satelit, $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R + h}}$

Satelit buatan manusia boleh dilancar untuk kekal mengorbit pada ketinggian yang tertentu mengelilingi Bumi dengan jejari orbit, r jika satelit itu diberikan laju linear satelit $v = \sqrt{\dfrac{GM}{r}}$. Rajah 3.35 menunjukkan sebuah satelit Sistem Kedudukan Sejagat (GPS).



Bagaimana GPS berfungsi?

http://bit.ly/2LzaMxz

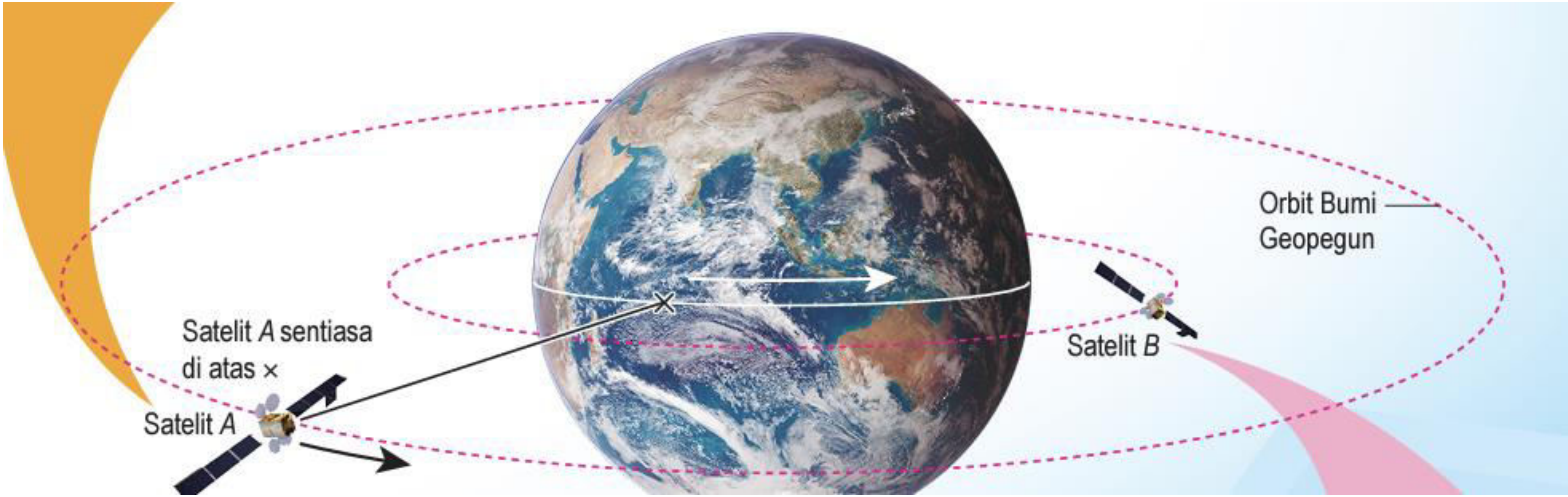
Rajah 3.35 *Satelit GPS mengorbit Bumi*

$$\text{Ketinggian, } h = 20\,200 \times 1000 \text{ m}$$
$$= 2.02 \times 10^7 \text{ m}$$

$$\text{Jejari orbit, } r = (6.37 \times 10^6) + (2.02 \times 10^7)$$
$$= 2.657 \times 10^7 \text{ m}$$

$$\text{Laju linear satelit, } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$
$$= \sqrt{\frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24})}{2.657 \times 10^7}}$$
$$= 3.87 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

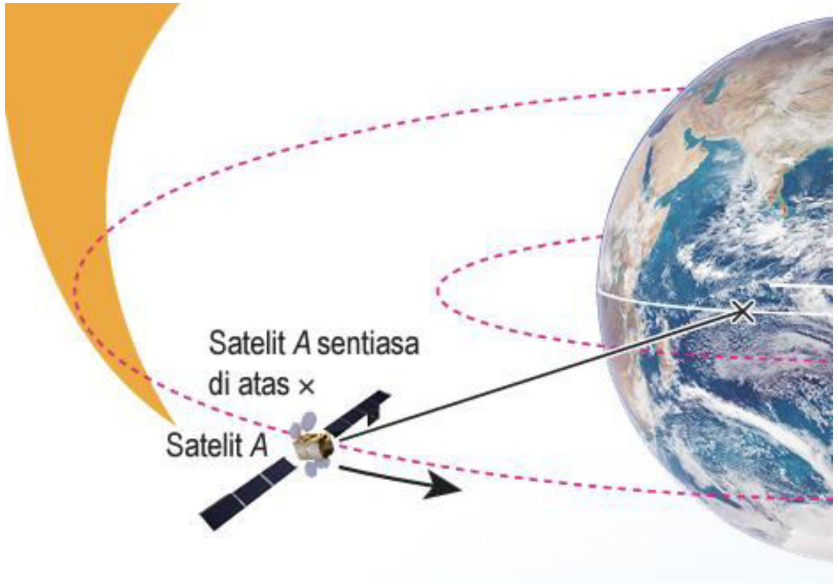
- Laju linear ini adalah cukup besar untuk satelit itu bergerak dalam orbit membulat mengelilingi Bumi.
- Pecutan memusat satelit itu adalah sama dengan pecutan graviti
- Jika laju linear satelit menjadi kurang daripada laju linear satelit yang sepatutnya, satelit itu akan jatuh ke orbit yang lebih rendah, dan terus memusar mendekati Bumi sehingga memasuki atmosfera
- Gerakan satelit dengan laju linear tinggi bertentangan dengan rintangan udara akan menjana haba dan boleh menyebabkan satelit itu terbakar.



SATELIT GEOPEGUN DAN BUKAN GEOPEGUN

Satelit geopegun

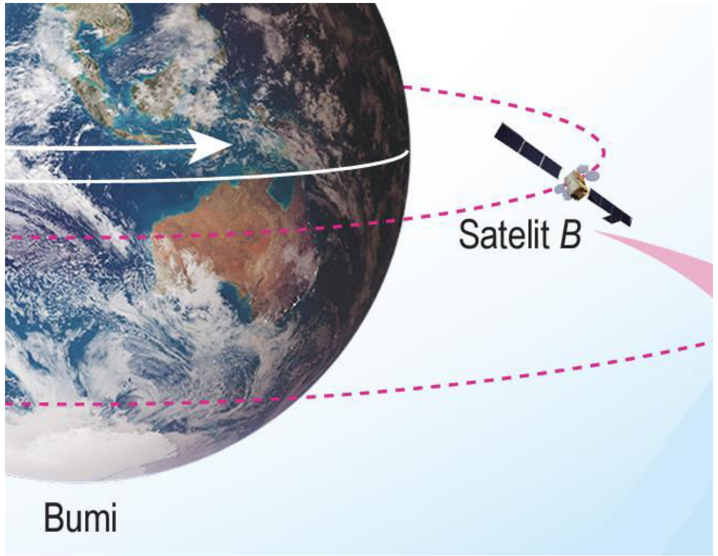
- Berada dalam suatu orbit khas yang dinamakan Orbit Bumi Geopegun
- Bergerak mengelilingi Bumi dalam arah yang sama dengan arah putaran Bumi pada paksinya
- Tempoh orbit $T = 24$ jam, iaitu sama dengan tempoh putaran Bumi.
- Sentiasa berada di atas kedudukan geografi yang sama di permukaan Bumi



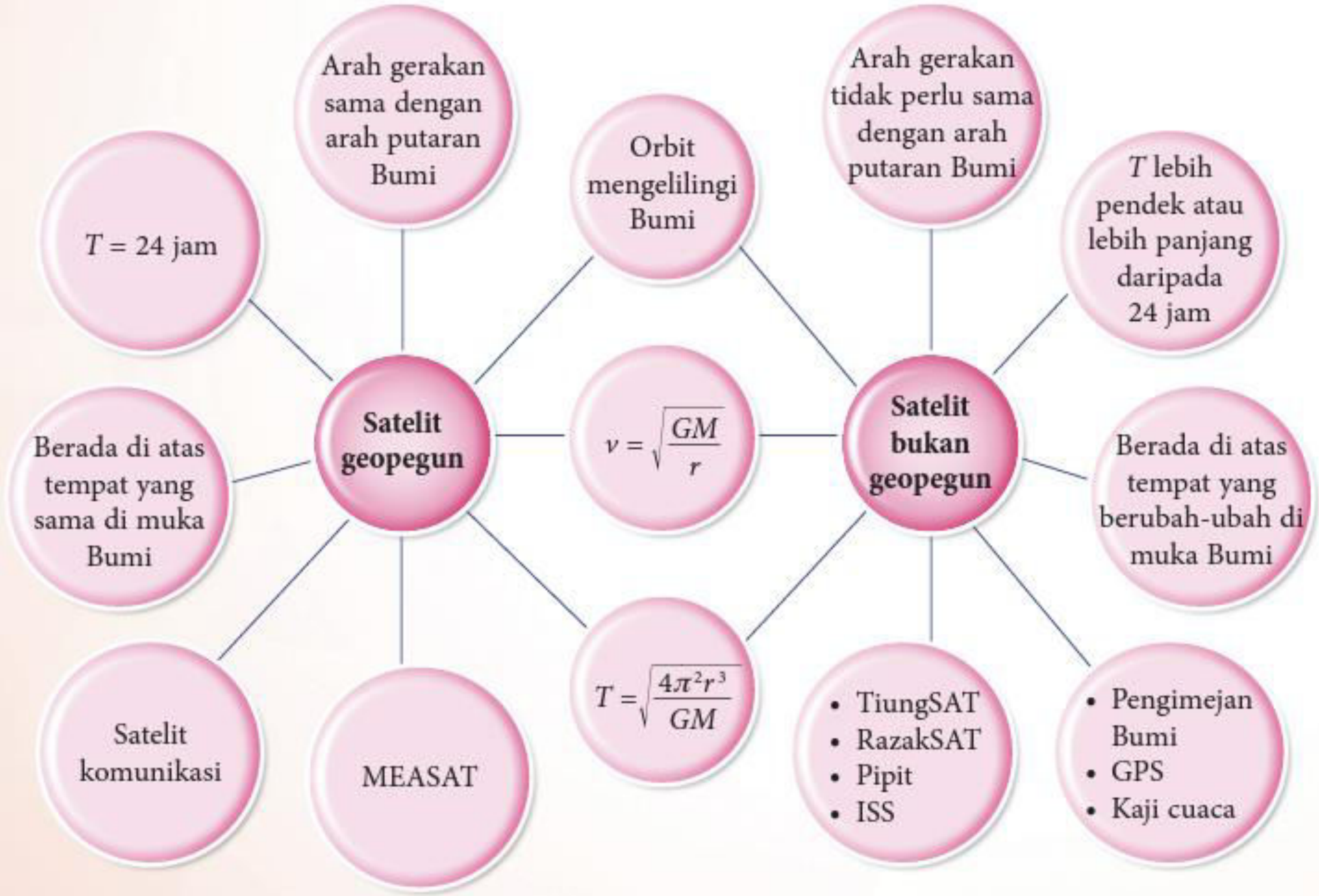
SATELIT GEOPEGUN

Satelit bukan geopegun

- Biasanya berada dalam orbit lebih rendah atau lebih tinggi daripada orbit Bumi geopegun
- Mempunyai tempoh orbit yang lebih pendek atau lebih panjang daripada 24 jam
- Berada di atas kedudukan geografi yang berubah-ubah di permukaan Bumi



SATELIT BUKAN GEOPEGUN



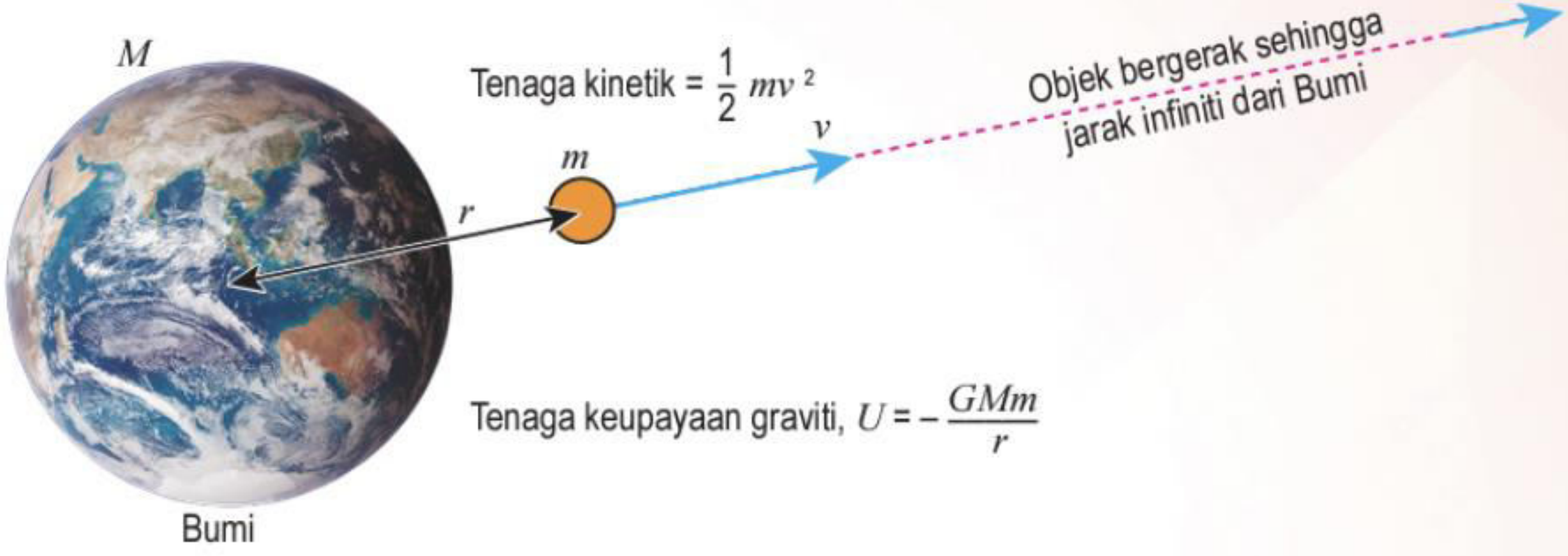
Rajah 3.37 *Perbandingan satelit geopegun dan bukan geopegun*

HALAJU LEPAS

- **Halaju lepas, v ialah halaju minimum yang diperlukan oleh objek di permukaan Bumi untuk mengatasi daya graviti dan terlepas ke angkasa lepas.**

Katakan suatu objek berada pada jarak r dari pusat Bumi. Jisim objek ialah m dan jisim Bumi ialah M. Objek itu mempunyai tenaga keupayaan graviti, $U = -\frac{GMm}{r}$

Rajah 3.38 menunjukkan sebuah objek dilancar dengan halaju lepas, v. Objek itu boleh mengatasi daya graviti dan bergerak sehingga jarak infiniti dari Bumi.



Rajah 3.38 *Objek dilancar dengan halaju lepas*

Tenaga kinetik minimum + Tenaga keupayaan = 0

Iaitu, $\frac{1}{2}mv^2 + \left(-\frac{GMm}{r}\right) = 0$

$$v^2 = \frac{2GM}{r}$$

Halaju lepas, $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

- Halaju lepas dicapai apabila tenaga kinetik minimum yang dibekalkan kepada objek itu dapat mengatasi tenaga keupayaan gravitinya.

Jisim Bumi, $M = 5.97 \times 10^{24}$ kg

Jejari Bumi, $R = 6.37 \times 10^{6}$ m

Halaju lepas dari Bumi, $v = \sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times (6.67 \times 10^{-11}) \times (5.97 \times 10^{24})}{(6.37 \times 10^{6})}}$$

$$= 1.12 \times 10^{4} \text{ m s}^{-1}$$

$$= 11.2 \times 10^{3} \text{ m s}^{-1}$$

$$= 11.2 \text{ km s}^{-1}$$

- Halaju lepas, v bagi suatu objek bergantung kepada jisim Bumi, M dan jarak, r objek dari pusat Bumi. Halaju lepas tidak bergantung kepada jisim objek, m yang dilepaskan ke angkasa lepas.

MANFAAT DAN IMPLIKASI HALAJU LEPAS

ATMOSFERA BUMI

- **Halaju lepas dari Bumi yang tinggi, iaitu 11 200 m s–1 membawa manfaat dan implikasi kepada manusia**
- **Antara manfaatnya ialah Bumi berupaya mengekalkan lapisan atmosfera di sekelilingnya.**
- **Molekul-molekul dalam atmosfera bergerak dengan laju linear purata 500ms–1, iaitu jauh lebih kecil daripada halaju lepas dari Bumi.**
- **Oleh yang demikian,molekul-molekul udara yang bergerak secara rawak tidak mungkin terlepas dari Bumi dan meresap ke angkasa lepas.**

KAPAL TERBANG KOMERSIAL

- **Halaju lepas dari Bumi yang tinggi juga membolehkan kapal terbang komersial atau jet pejuang terbang sehingga aras yang tinggi dalam atmosfera tanpa kemungkinan terlepas ke angkasa lepas**
- **Laju linear kedua-duanya masih lebih rendah daripada halaju lepas dari Bumi.**
- **Kapal terbang komersial boleh terbang dengan laju linear250ms–1 manakala jet pejuang boleh mencapai laju linear supersonik sehingga 2 200 m s–1.**

PELANCARAN ROKET

- **Pelancaran roket memerlukan kuantiti bahan api yang besar.**
- **Pembakaran bahan api perlu menghasilkan kuasa rejang yang tinggi bagi membolehkan roket mencapai halaju lepas dari Bumi dan menghantar kapal angkasa ke angkasa lepas.**

MENYELESAIKAN MASALAH YANG MELIBATKAN HALAJU LEPAS

- **Halaju lepas adalah berbeza antara setiap planet.**
- **Halaju lepas dari Marikh yang kecil menyebabkan atmosfera Marikh 100 kali kurang tumpat daripada Bumi**
- **Musytari pula mempunyai halaju lepas yang begitu tinggi sehingga gas panas di permukaan tidak dapat terlepas ke angkasa lepas.**
- **Pengetahuan tentang halaju lepas adalah penting untuk menentukan bagaimana kapal angkasa dapat mendarat dan berlepas semula dengan selamat dari sebuah planet.**

Contoh 1

Bulan dan Matahari ialah dua jasad dalam Sistem Suria. Jadual 3.5 menunjukkan nilai jisim dan jejari bagi Bulan dan Matahari. Bandingkan

(i) pecutan graviti di Bulan dan di Matahari, dan

(ii) halaju lepas dari Bulan dan dari Matahari

berdasarkan data yang diberikan dalam Jadual 3.5.

Jadual 3.5

Jasad	Jisim, M / kg	Jejari, R / m
Bulan	7.35×10^{22}	1.74×10^{6}
Matahari	1.99×10^{30}	6.96×10^{8}

Penyelesaian:

(i) Pecutan graviti dihitung dengan rumus $g = \dfrac{GM}{R^2}$

Bulan

$$g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (7.35 \times 10^{22})}{(1.74 \times 10^{6})^2}$$

$$= 1.62 \text{ m s}^{-2}$$

Matahari

$$g = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (1.99 \times 10^{30})}{(6.96 \times 10^{8})^2}$$

$$= 274.0 \text{ m s}^{-2}$$

(ii) Halaju lepas dihitung dengan rumus $v = \sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$

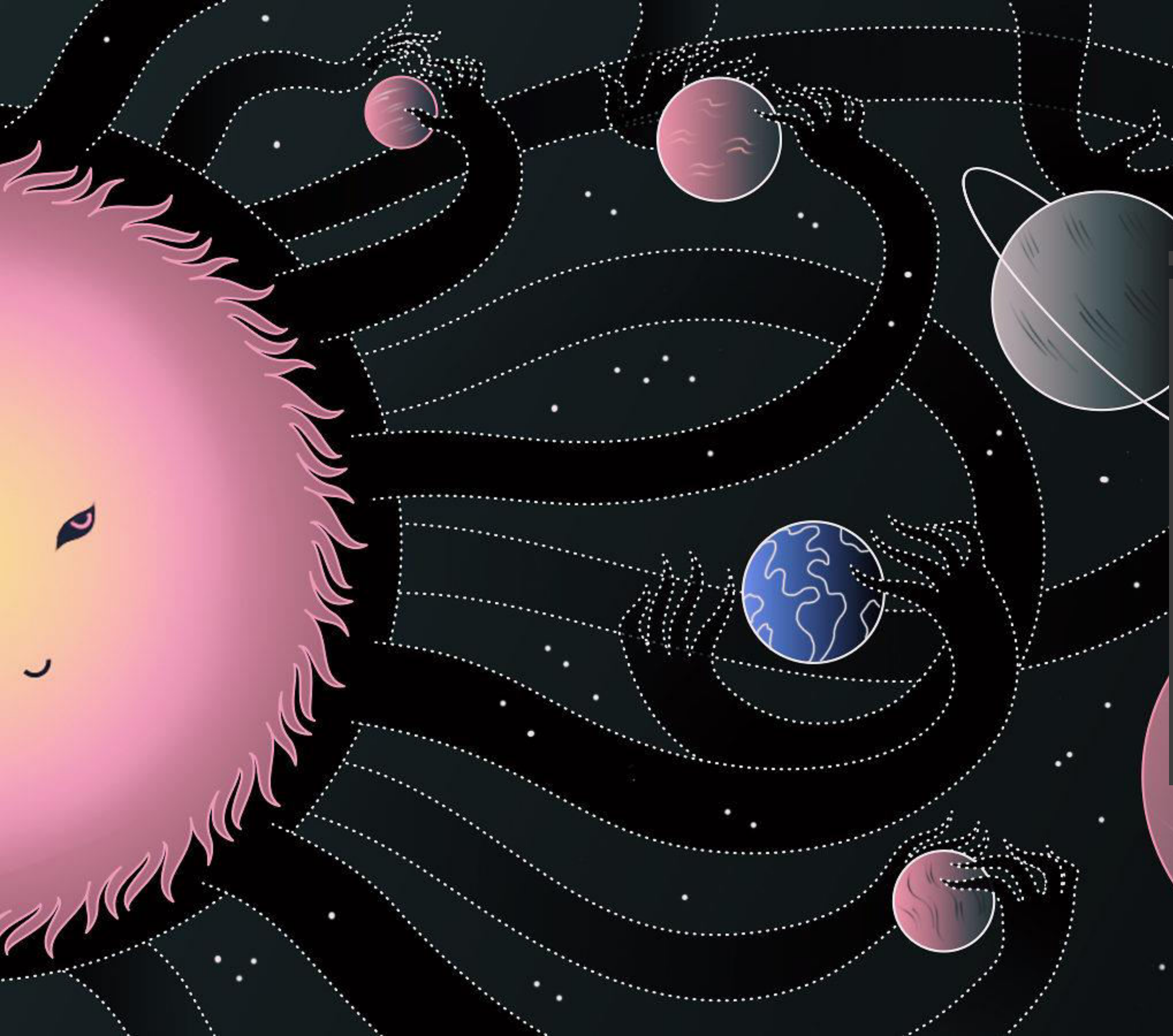
Bulan

$$v = \sqrt{\frac{2 \times (6.67 \times 10^{-11}) \times (7.35 \times 10^{22})}{1.74 \times 10^{6}}}$$
$$= 2.37 \times 10^{3} \text{ m s}^{-1}$$

Matahari

$$v = \sqrt{\frac{2 \times (6.67 \times 10^{-11}) \times (1.99 \times 10^{30})}{(6.96 \times 10^{8})}}$$
$$= 6.18 \times 10^{5} \text{ m s}^{-1}$$

- Bulan mempunyai pecutan graviti dan halaju lepas yang kecil kerana jisim Bulan adalah lebih kecil daripada Matahari.
- Matahari merupakan jasad yang terbesar dalam Sistem Suria. Pecutan graviti di Matahari dan halaju lepas dari Matahari mempunyai nilai yang tertinggi berbanding dengan Bulan serta planet-planet lain.



TAMAT