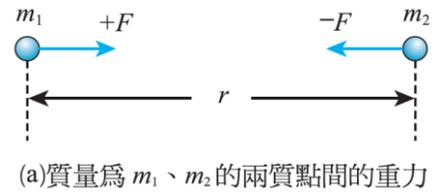


萬有引力定律

壹、內容

一、定義：若 m_1 、 m_2 是兩質點的質量， r 是兩質點間的距離，則兩質點間的重力會沿著兩質點的連心線，且相互吸引。

若以數學公式來表達，則兩者間萬有引力的量值為 $F =$ _____。



二、 G 稱為**重力常數**或**萬有引力常數** (universal gravitational constant)。經精密測定， G 的大小為 6.67×10^{-11} 公尺³/公斤 \cdot 秒²。

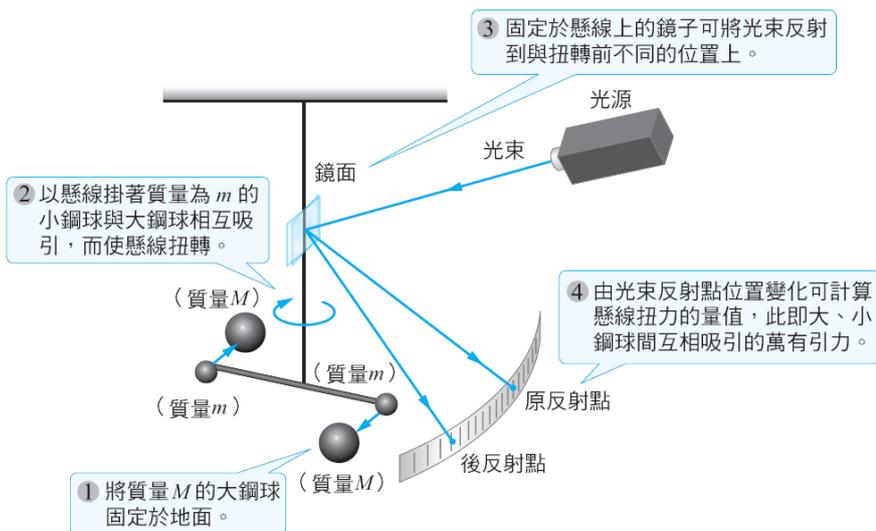
三、適用範圍

1. _____ 2. _____ 3. _____



四、重力常數的測定

- 測定重力常數的人為 _____。
- 利用扭秤實驗來測量



3. 扭秤實驗的成就：

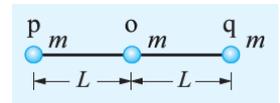
- (1) 證實萬有引力的存在。
- (2) 求出重力常數約為 $G=6.67 \times 10^{-11}$ 牛頓·公尺²/公斤²。
- (3) 可計算出地球的重量約為 5.98×10^{24} 公斤。

五、萬有引力可以解釋的現象：水星軌道不規則運動、發現新行星、月球的軌道運行、潮汐現象等。

範例 1

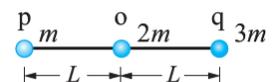
質量皆為 m 的三個質點排在一直線上，間距皆為 L ，如右圖所示，則

- (1) 質點 p 所受的引力為何？
- (2) 若將質點 q 拿走，則質點 p 所受的引力為何？



類題 1

質量分別為 m 、 $2m$ 、 $3m$ 的三個質點 p 、 o 、 q 排在一直線上，間距皆為 L ，如右圖所示，則



- (1) 質點 p 所受的引力為何？
- (2) 質點 o 所受的引力為何？

(1) $\frac{11Gm^2}{4L^2}$ ，方向指向右 (2) $\frac{4Gm^2}{L^2}$ ，方向指向右

範例 2

質量分別為 2.0×10^6 公斤及 3.2×10^7 公斤的兩物體組成一孤立系統，兩物體相距為100公尺；將一質點置於兩物體的連線上，欲使此質點所受的合力為零，則此質點需置於距離 2.0×10^6 公斤多少公尺處？
(A)10 (B)20 (C)40 (D)60 (E)80。

類題 2

地球的質量為月球質量的 81 倍，兩者連心線的距離為 r ，設有一太空船在此連心線上，若地球、月球對太空船的引力和為零，則太空船距離地心的距離為何？

(A) $\frac{80}{81}r$ (B) $\frac{1}{81}r$ (C) $\frac{9}{10}r$ (D) $\frac{1}{10}r$ 。 (C)

範例 3

設地球半徑為 R ，某人造衛星位於地表上空高度 R 處時，所受的萬有引力大小為 F 。若將衛星的高度升至地表上空 $2R$ 處，則所受的萬有引力大小變為 _____。

類題 3

設地球的半徑為 R ，一火箭在離地面的高度為 h 時，所受的重力為在地表時的 $\frac{1}{4}$ ，則此時的高度 h = _____（假設該火箭的質量不變）。

R

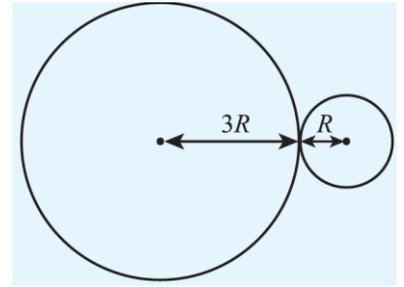
範例 4

如圖所示，將密度相同且皆均勻分布的大、小兩實心球彼此緊靠。已知半徑為 r 的球，其體積為 $\frac{4}{3}\pi r^3$ ，若小球的質量為 m ，兩球的半徑

分別為 R 及 $3R$ ，則

(1) 大球的質量為 _____。

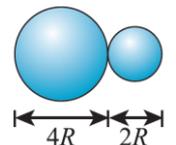
(2) 兩球間的萬有引力為 _____。



類題 4

如圖所示，將密度相同且皆均勻分布的大、小兩實心球彼此緊靠。已知小球的質量

為 m ，則大、小兩球間的萬有引力為 (A) $\frac{Gm^2}{R^2}$ (B) $\frac{2Gm^2}{3R^2}$ (C) $\frac{8Gm^2}{9R^2}$ (D) $\frac{4Gm^2}{9R^2}$ (E)

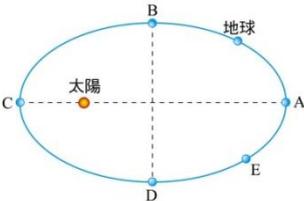


$\frac{5Gm^2}{27R^2}$ 。

(C)

課後練習

單選題

- () 1. 兩球的質量均為 m 克，相距 1.00 公尺時，萬有引力量值為 F ；今有另外兩個球質量均為 $3m$ ，相距 2 公尺時，萬有引力量值為：(視球為質點)
- (A) $9F$ (B) $3F$ (C) $\frac{3}{2}F$ (D) $\frac{9}{4}F$ (E) F
- () 2. 太空梭自地球飛往月球的過程中，太空梭所受的地球與月球引力之合力：
- (A)逐漸變大，方向恆指向地球 (B)逐漸變大，方向恆指向月球 (C)逐漸變小，方向恆指向地球 (D)逐漸變小，方向恆指向月球 (E)先變小後變大
- () 3. 下列有關萬有引力之說法何者正確？
- (A)它的作用存在於任意兩物體之間 (B)物體在地面上所受的萬有引力方向，彼此均互相平行 (C)物體之重量就是它所受的萬有引力之量值，它和物體的質量成反比 (D)物體在地面上受地球作用產生之萬有引力，其量值和太陽有關 (E)兩物間之萬有引力量值和其距離之平方成正比
- () 4. 提出萬有引力定律的是哪一位科學家？
- (A)哥白尼 (B)克卜勒 (C)伽利略 (D)牛頓 (E)亞里斯多德
- () 5. 地球公轉太陽的軌道為一橢圓，以太陽為焦點，如右圖，則地球公轉至圖中哪一個位置所受到太陽引力最小？
- (A) A (B) B (C) C (D) D (E) E
- 
- () 6. 在牛頓萬有引力定律中，兩球體間的引力可寫為 $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ ，其中 m_1 、 m_2 為質量， r 為距離。若將力的單位表為牛頓時，則式中的係數 G 的單位應寫為：
- (A)牛頓·公尺/公斤 (B)牛頓·公尺²/公斤 (C)牛頓·公尺²/公斤² (D)牛頓²·公尺/公斤² (E)係數是沒有單位的
- () 7. 甲、乙、丙三物體的質量分別為 10 kg、50 kg、25 kg；甲距乙 1 m，甲距丙 2 m，乙距丙 3 m，哪兩個物體間的萬有引力最大？
- (A)甲乙 (B)乙丙 (C)甲丙 (D)一樣大
- () 8. 某物體在離地面上空多高處，其重量為在海平面時重量的 1/4？(設地球半徑為 R)
- (A) $(\sqrt{3}-1)R$ (B) $(\sqrt{2}-1)R$ (C) $R/2$ (D) R (E) $\sqrt{2}R$
- () 9. 若地球質量為月球質量的 81 倍，則物體置於地球與月球連線的中點時，所受地球引力與月球引力的比為何？
- (A) 81 : 1 (B) 1 : 1 (C) 1 : 9 (D) 9 : 1 (E) 1 : 81
- () 10. 地球質量為月球的 81 倍，兩者相距 d ，則重力為零的位置距地心多遠？
- (A) $\frac{3}{5}d$ (B) $\frac{7}{10}d$ (C) $\frac{3}{4}d$ (D) $\frac{4}{5}d$ (E) $\frac{9}{10}d$

- () 11. 萬有引力的量值與兩質點之距離有何關係？
 (A)成正比 (B)平方成反比 (C)平方根成正比 (D)成反比 (E)平方成正比
- () 12. 一物體由高空落下抵達地表的過程中，其所受重力會如何變化？
 (A)維持不變 (B)一直增大 (C)變化不定 (D)先減後增 (E)先增後減
- () 13. 設地球的半徑為 R ，則一火箭的重量為在海平面上重量的一半時，此火箭距離地面的高度 h 為何？
 (A) $2R$ (B) R (C) $\sqrt{2}R$ (D) $(\sqrt{2}-1)R$ (E) $\frac{R}{2}$ 。
- () 14. 若地球的半徑增為兩倍，而其質量不變，則地球上的人重量會變為原來的多少倍？
 (A)2 (B) $\frac{1}{2}$ (C) $\frac{1}{4}$ (D)4 (E)1。
- () 15. 依據牛頓萬有引力定律的描述，若地球質量為 M 、半徑為 R ，而質量為 m 的哈伯太空望遠鏡在距離地面高度 h 處的軌道上運行，則哈伯與地球間的萬有引力為何？
 (A) $\frac{GMm}{R^2}$ (B) $\frac{GMm}{h^2}$ (C) $\frac{GMm}{(R+h)^2}$ (D)0
- () 16. 設地球的半徑為 R ，一火箭由地面垂直升高，當其質量剩餘量為出發時的 $\frac{1}{2}$ 時，其重量變為出發時的 $\frac{1}{8}$ ，則此時火箭距離地面的高度為何？
 (A) $2R$ (B) R (C) $\frac{1}{2}R$ (D) $\frac{1}{4}R$ (E) $\frac{1}{8}R$
- () 17. 將兩個大、小實心球靠在一起，如右圖所示，已知小球的質量為 m ，大球的質量為 $3m$ ，則大、小兩球間的萬有引力為何？
 (A) $\frac{3Gm^2}{4R^2}$ (B) $\frac{3Gm^2}{8R^2}$ (C) $\frac{Gm^2}{3R^2}$ (D) $\frac{3Gm^2}{16R^2}$ 。
- () 18. 一般認為銀河系中心有一個超大質量的黑洞。有些天文學家估計這黑洞的質量大約是太陽的四百萬倍，太陽離此超大質量黑洞的距離約為 28,000 光年。如果太陽、該超大質量黑洞與地球排成一直線，且二者對地球的主要影響只有萬有引力，則這個超大質量黑洞和地球之間的萬有引力，大約是地球和太陽之間萬有引力的多少倍？（28,000 光年大約是 1.8×10^9 天文單位） (A) 1.2×10^{-12} (B) 2.5×10^{-7} (C) 2.2×10^{-3} (D) 4×10^6 (E) 8.1×10^{11} 。

多選題

- () 19. 下列有關萬有引力之說法，何者正確？（應選 2 項）
 (A)物體在地面上受地球作用之萬有引力量值和地球之自轉無關 (B)物體之重量就是它所受的萬有引力量值，和物體的質量成反比 (C)物體在地面上所受的萬有引力方向彼此均互相平行 (D)它的作用存在於任意兩物體之間 (E)兩物間之萬有引力量值和其距離之平方成正比

- () 20. 考慮地球的自轉時，則在赤道的物體，下列敘述何者正確？（應選 3 項）
 (A)物體放在高山時，所需的向心力比放在平地時所需的向心力還大 (B)物體放在高山時，所需的向心力與放在平地時所需的向心力一樣大 (C)物體放在高山時，地球對它的引力比放在平地時地球對它的引力還小 (D)物體所需的向心力就等於地球對它的合力 (E)物體所需的向心力就等於物體所受的重力
- () 21. 下列有關萬有引力的敘述，何者正確？（應選 3 項）
 (A)均勻球體間的引力必在兩球的連心線上 (B)質點間的萬有引力與質點質量的乘積成正比 (C)質點間的萬有引力與質點的距離成反比 (D)兩塊方糖間的萬有引力恆與方糖幾何中心距離的平方成反比 (E)兩均勻球體間的萬有引力公式與質點間的引力公式相同
- () 22. 下列何者能用萬有引力定律解釋？（應選 3 項）
 (A)地球上的海水潮汐現象 (B)光的反射現象 (C)水星軌道不規則運動的大部分原因 (D)電磁感應 (E)月球的軌道運行
- () 23. 下列敘述哪些正確？（應選四項）
 (A)物體與地球間的萬有引力，就是物體所受的地球引力
 (B)物體在地球表面附近時，受到的地球引力與到地心的距離成正比
 (C)地表上相同位置處，質量愈大的物體所受到的重力愈大
 (D)物體的重量即為物體在此處所受的引力量值
 (E)物體的重量可表示為 $W = \frac{GMm}{R^2} = mg$
- () 24. 下列有關萬有引力的敘述，哪些是正確的？（應選四項）
 (A)宇宙中具有質量的物體都會存在有互相吸引的力，皆可適用於萬有引力定律
 (B)地球對地表外物體之間的萬有引力為 $F = \frac{GMm}{r^2}$ ，式中的 r 是指物體至地心的距離
 (C)兩物體之間的萬有引力為 $F = \frac{GM_1M_2}{r^2}$ ，式中的 r 是指兩物體重心與重心之間的距離
 (D)萬有引力常數 G 值的 SI 制單位為牛頓·公尺²/公斤²
 (E)萬有引力常數 G 的數值，會隨著單位的不同而不同

答案 1.D 2.E 3.A 4.D 5.A 6.C 7.A 8.D 9.A 10.E 11.B 12.B 13.D 14.C 15.C
 16.B 17.C 18.A 19.AD 20.ACD 21.ABE 22.ACE 23.ACDE 24.ABDE

地表附近的重力與重力加速度

壹、重力、重量與重力加速度

一、重力：

1. 地表附近的物體與地球間有萬有引力。
2. 物體受地球吸引的力，稱為地球引力或重力，方向鉛直朝向地心，故又稱為地心引力。
3. 因地球的質量不變，故重力與物體質量成_____、與物體到地心的距離平方成_____。
4. 質量不變的物體，在地表附近所受重力可視為定值。

二、物體所受地球引力之大小就是物體所具有的_____。

三、物體由高處落下時，因受到重力的作用而有加速度，此加速度稱為_____，以符號 g 表示。

四、重力加速度與地球萬有引力的數學關係

五、重量與質量

1. 物體的重量實際上就是物體受到地球的引力，常以符號 W 表示。其量值為

2.

物理量	質量 m	重力加速度 g	重量 $W=mg$	
單位	公斤 (kg)	公尺/秒 ² (m/s^2)	牛頓 (N)	公斤重(kgw)

3. 不同星球上物體的重量與質量

六、不同重力重力加速度對物體運動造成的影響

範例 1

小牛問小費：如果有天地球的質量與體積發生改變時，我們的重量會變嗎？以下幾個問題請你一起想想看：

- (1) 假設地球的體積突然膨脹 27 倍，則半徑會變成原來的幾倍？
- (2) 承(1)，若地球的總質量不變，則重力將變成原來的幾倍？
- (3) 承(1)，自由落體每秒的速度增加量變成原來的幾倍？
- (4) 承(1)，若地球的平均密度不變，則地球的質量應增為原來的幾倍？
- (5) 承(1)，我們的體重將是現在的幾倍？
- (6) 承(1)，5公斤的物體在新的地球上重量多重？

類題1

若地球的質量增為現在的 2 倍，而密度變為現在的 $\frac{1}{9}$ 倍，已知球體體積與半徑的立方成正比，則下

列敘述哪些正確？(A)地球的半徑會變為現在的 2 倍 (B)地表的物重會變為現在的 $\frac{1}{9}$

(C)地表單擺的振動週期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ ，其中 ℓ 為擺長) 會變為現在的 $\sqrt{2}$ 倍

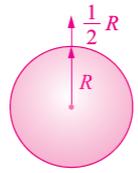
(D)若高度不變，物體由靜止而自由落下所需的時間會變為 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍 $\sqrt{2}$

(E)地球的體積會變為現在的2倍。

(A)(C)

範例2

地球的半徑約為6400公里，則太空梭在離地面3200公里高處的重力加速度應為地表重力加速度的多少倍？



類題2

地表上空某處的重力加速度為地表的 $\frac{1}{4}$ 倍，則此處離地表的高度為多少倍的地球半徑？ 1倍

範例3

假設月球表面的重力加速度為地球表面重力加速度的 $\frac{1}{6}$ ，則

- (1)在月球表面重量為 1 公斤重的岩石，其質量為多少公斤？
- (2)某太空人在地球上最多可舉起質量為 120 公斤的物體，則在月球上可舉起質量為多少公斤的物體？
- (3)某太空人在地球上最多可舉起重量為 120 公斤重的物體，則在月球上可舉起重量為多少公斤重的物體？
- (4)某太空人在地球上最高可跳起1.8公尺的高度，則在月球上可跳起的最大高度為多少公尺？

課後練習

單選題

- () 1. 下列有關重力加速度 g 與重力常數 G 的敘述，何者正確？
 (A)單位相同 (B)數值相同 (C)意義相同 (D)測法相同 (E) G 為不變量，而 g 會隨地點改變
- () 2. 地球半徑 R ，一人在距地面高 $0.25R$ 處之重量為在地表的幾倍？
 (A) $\frac{1}{4}$ (B) $\frac{5}{4}$ (C) $\frac{25}{16}$ (D) $\frac{16}{25}$ (E) $\frac{1}{16}$
- () 3. 地球為正圓球且半徑為 R ，質量為 M ，若地表的重力加速度為 g 時，則重力常數值為：
 (A) $\frac{gM}{R^2}$ (B) $2\frac{gM}{R^2}$ (C) $\frac{gR^2}{M}$ (D) $2\frac{gR^2}{M}$ (E) $\frac{g^2}{MR}$
- () 4. 某星球之質量約為地球的10倍，半徑為地球的0.5倍，若只計重力作用，則以同樣初速率於星球表面之鉛直拋射體的最大高度約為在地球表面之多少倍？
 (A)10 (B)40 (C)0.1 (D)0.025 (E)1
- () 5. 火星表面的重力加速度為 3.92 m/s^2 ，1997年7月登陸火星的六輪驅動小車「逗留者」(Sojourner)，質量為16公斤，則其在火星上的重量相當於多少公斤重？
 (A) 6.4 (B) 5.8 (C) 4.2 (D) 3.6 (E) 16
- () 6. 若地球的半徑增加2倍，密度不變，則地面上物體之重量變為多少倍？
 (A) $\sqrt{2}$ (B) 3 (C) $2\sqrt{2}$ (D) 4 (E) 8
- () 7. 設地球半徑為 R ，地表處重力加速度的量值為 g ，則物體置於距離地表為 R 處的重力加速度的量值為多少？
 (A) $\frac{1}{9}g$ (B) $\frac{1}{4}g$ (C) $2g$ (D) $4g$ (E) $9g$
- () 8. 月球運行的軌道半徑為地球半徑的60倍，已知地球表面的重力加速度為 g ，則月球繞地球運行的向心加速度為：
 (A) $\frac{g}{60}$ (B) $\frac{g}{3600}$ (C) g (D) $60g$ (E) $3600g$
- () 9. 太空梭在地面上空 h 高度處時，其重量為在海平面上時的 $\frac{1}{9}$ ，若地球半徑為 R ，則 h 為 R 的幾倍？(A) 1 (B) 2 (C) 3 (D) 4 (E) 5。
- () 10. A 與 B 兩星球之半徑比為 2 : 1，密度比為 1 : 3，則兩者表面之重力加速度比為若干？
 (A) 1 : 3 (B) 2 : 3 (C) 4 : 9 (D) $\sqrt{2} : \sqrt{3}$ (E) $\sqrt{3} : \sqrt{2}$ 。
- () 11. 一個密度均勻的星球分裂為 8 個密度不變、質量相等的星球，則每個星球表面的重力加速度變為原來的多少倍？(A) 1 (B) 2 (C) $\frac{1}{2}$ (D) $\frac{1}{4}$ (E) $\frac{1}{8}$ 。

- () 12. 假設地球的半徑為 R ，地球的重力加速度為 10 m/s^2 ，若有一物體在離地表為 $\frac{R}{2}$ 處，測得其重量為 200 N ，則該物體的質量應為多少 kg ？(A) 10 (B) 15 (C) 20 (D) 30 (E) 45。
- () 13. 假設地球為正圓球且半徑為 R ，質量為 M ，若地表的重力加速度值為 g 時，則重力常數為(A) $\frac{gM}{R^2}$ (B) $\frac{2gM}{R^2}$ (C) $\frac{gR^2}{M}$ (D) $\frac{2gR^2}{M}$ (E) $\frac{g^2}{MR}$ 。
- () 14. 若地球半徑為 6400 km ，地表處的 $g=9.8 \text{ m/s}^2$ ，某太空梭在飛到距地面為 6400 km 的高空處，則該處的重力加速度值為多少 m/s^2 ？(A) 9.8 (B) 4.9 (C) 2.45 (D) 1.25 (E) 0.98。
- () 15. 假設地球的體積縮為原來的 $\frac{1}{27}$ 倍，且質量不變，則吾人在地表的重量將變為原來的(A) 3 (B) 9 (C) 27 (D) $\frac{1}{3}$ (E) $\frac{1}{9}$ 倍。
- () 16. 假設某星球表面的重力加速度為地球表面上的 10 倍，若不計任何阻力，則以同樣的速度鉛直上拋一物體，在該星球上所能達到的最大高度為地球表面上的(A) $\frac{1}{100}$ (B) $\frac{1}{10}$ (C) 1 (D) 10 (E) 100。

多選題

- () 17. 下列有關重力的敘述，哪些正確？（應選2項）
 (A)物體的重量來自於地球引力的作用，所以地球引力又稱為重力 (B)不考慮空氣阻力，4公斤的物體在地表處自由落下時的加速度，是1公斤物體的4倍 (C)所謂失重狀態是指沒有重力作用的狀態 (D)作等速圓周運動的人造衛星，因為等速率，所以不受地球引力的作用 (E)就地球外部而言，物體的重量隨離地高度的增加而減小
- () 18. 物質在月球表面上受到的引力僅為地球表面上的六分之一，則下列敘述何者正確？（應選2項）
 (A)在地球上用天平量等重的鐵塊與棉花，在月球上依然等重 (B)在地球上用磅秤量等重的鐵塊與棉花，在月球上鐵塊重為棉花的6倍 (C)在地球上用磅秤量得人的體重為42公斤重，則在月球上為7公斤重 (D)在地球與月球各用天平量同體積的黏土，則在地球上的質量為月球上的6倍 (E)在地球與月球各用磅秤量得42公克重的黏土，則在地球上的體積為月球上的6倍
- () 19. 地表上的物理量哪些會受到地球重力加速度之影響？（應選3項）
 (A)重量 (B)質量 (C)自由落體之時間 (D)大氣壓力 (E)重力常數 G

- () 20. 下列有關物體質量、重量與重力的敘述，何者正確？（應選三項）(A)地表處的重力加速度最大 (B)地面上同一位置物體的重量與質量成正比 (C)在真空中，不能測得物體的重量 (D)同一物體在任何地方質量不變 (E)地表處的重力加速度最小。
- () 21. 現有 10 kg 的鐵球和 5 kg 的鐵球自同一高度由靜止同時自由落下，且兩球同時著地，其原因為（應選兩項）(A)作用力與反作用力大小相等 (B)兩球都是鐵做的 (C)兩球的加速度相同 (D)兩球所受的重力相等 (E)兩球所受重力與質量的比值相同。
- () 22. 設月球表面的重力加速度為地球表面重力加速度的 $\frac{1}{6}$ ，則下列敘述何者正確？（應選三項）(A)在月球表面質量為 1 公斤的岩石，帶回地球後秤其質量為 6 公斤 (B)在月球上重量為 2 公斤重的岩石，其質量為 12 公斤 (C)舉重選手在月球上可舉起質量為 1200 公斤的物體，則在地球上可舉起質量為 200 公斤的物體 (D)舉重選手在地球上可舉起 200 公斤重的物體，則在月球上可舉起 1200 公斤重的物體 (E)太空人在地球上可跳 2 公尺高，則在月球上可跳 12 公尺高。

答案 1.E 2.D 3.C 4.D 5.A 6.B 7.B 8.B 9.B 10.B 11.C 12.E 13.C 14.C 15.B 16.B 17.AE 18.AC 19.ACD 20.ABD 21.CDE 22.BCE
--

行星與人造衛星

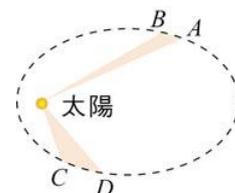
壹、行星運動三大定律與萬有引力

一、第一運動定律：

各行星在不同的橢圓形軌道上繞太陽公轉，太陽的位置在其中一個焦點處。

二、第二運動定律：

1. 行星與太陽的連線在相同的時間間隔內，掃過相同的面積。
2. 如右圖所示，若行星從圖中 A 至 B 與從 C 至 D 的時間相等，則兩橘色部分面積相等。
3. 行星在離太陽較近處，運行速率較快；而在離太陽較遠處，運行速率較慢。

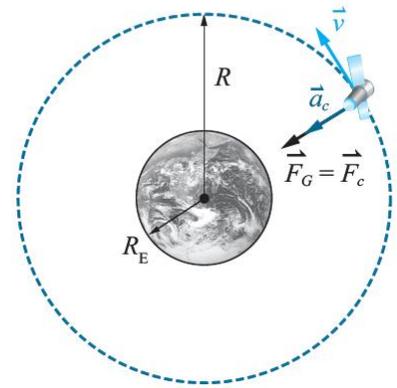


三、第三運動定律：

行星公轉週期 T 的平方，和其橢圓軌道半長軸 R (平均軌道半徑) 的三次方成正比，即 $\frac{R^3}{T^2} = K$ 。

貳、人造衛星

一、設地球的質量為 M ，衛星的質量為 m ，衛星繞行地球的圓周軌道半徑為 R ，衛星在軌道上運動的速率為 v ，而地球對衛星的萬有引力提供作為衛星圓周運動所需的向心力。



二、圓周運動的速率與衛星的質量無關，只與衛星運行的軌道半徑有關。

三、衛星的週期

四、行星質量

物理量	和高度的關係
速度	
週期	
重力加速度	
面積速率	

參、特殊人造衛星

一、同步衛星

1. 同步衛星是指其繞地球運轉之週期與地球自轉週期相同，不僅公轉方向與地球自轉方向一致，而且衛星的軌道面和地球的赤道面須重合。所以從地球上的人看來，衛星好像靜止在空中的同一位置。
2. 如果在同步衛星的軌道上等間隔配置三顆衛星(恰在太平洋、大西洋及印度洋上空)，如右圖所示，就可建立一個除靠近兩極地區外的全球通訊網。

二、表面衛星

1. 在地球表面運行的衛星，運動的軌道半徑約為地球半徑，約 6400 公里（實際上為去除空氣阻力的影響，衛星的離地高度約 200 公里）。

$$2. \text{ 運轉速率 } v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{Rg} = \sqrt{6400000 \times 9.8} = 8000 \text{ m/s}$$

$$3. \text{ 運轉週期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{6400000}{9.8}} = 5075 \text{ 秒} = 84 \text{ 分鐘}$$

三、全球定位系統

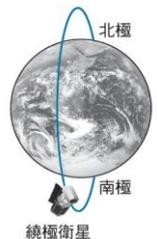
1. 利用 24 個週期等於地球自轉週期一半的人造衛星，離地高度約為 20200 公里，它們平均分佈於 6 個軌道面上，構成全球定位系統，簡稱 GPS。衛星發出的電磁波訊息由地面的接收裝置接收並解析，以達定位的目的。

四、低軌道衛星

1. 軌道半徑約為地球的半徑，沿地球的表面運動，故稱為低軌道衛星。
2. 在各種衛星中是屬於高度最低、速率最快、週期最短的衛星

五、繞極衛星

1. 軌道繞經地球的南北極正上方，軌道面則垂直於地球的赤道面。
2. 離地高度約為 800~1500 公里，週期約為 100~115 分鐘。繞極衛星
3. 主要用在氣象觀測、軍事偵查等。



範例 1

若人造衛星繞地球運行的軌跡為一圓形（如下圖所示），則關於人造衛星所作「等速圓周運動」的敘述，下列何者正確？（應選兩項）

- (A)人造衛星受定力作用，故作等加速運動
- (B)人造衛星作等速率運動，故合力必為零
- (C)人造衛星受變力作用，故作變加速運動
- (D)人造衛星受變力作用，故作變速運動
- (E)人造衛星受定力作用，但作變速運動。

類題 1-1

福衛三號衛星系統的衛星繞行於距離地面約 800 公里高度的軌道上，假設衛星作等速圓周運動，則下列有關此衛星繞地球運轉的敘述，哪些正確？（應選兩項）(A)萬有引力作為衛星繞地球運轉所需的向心力 (B)衛星的加速度沿其軌道切線方向，並與其切線速度同向 (C)衛星的加速度沿其軌道切線方向，並與其切線速度反向 (D)衛星的加速度方向和衛星與地心之連線方向平行，且為指向地心方向 (E)衛星的加速度方向和衛星與地心之連線方向平行，且為指離地心方向。 (A)(D)

類題 1-2

下列有關人造衛星的敘述，何者正確？

- (A)兩物體間的萬有引力與兩物體質心距離平方成反比
 - (B)衛星繞地球的運轉軌道是圓形的
 - (C)同步衛星的軌道面與地球的赤道面是一致的
 - (D)克卜勒行星週期定律可適用於所有繞同一固定行星運轉的衛星系統
 - (E)衛星離開地表的高度愈高，則其環繞地球的週期就愈長
- C D E

類題 1-3

在大氣中飛行的民航飛機，與在太空中沿圓形軌道運行的人造衛星，都受到地球重力的作用。下列有關民航飛機與人造衛星的敘述，何者正確？ (A)飛機在空中飛行時，機上乘客受到的地球重力為零 (B)人造衛星內的裝備受到的地球重力為零，因此是處於無重量的狀態 (C)人造衛星在圓形軌道上等速率前進時，可以不須耗用燃料提供前行的動力 (D)飛機在空中等速率前行時，若飛行高度不變，則不須耗用燃料提供前行的動力。 (C)

範例 2

甲行星的質量是乙行星的 25 倍，兩衛星分別以半徑為 $R_{甲}$ 、 $R_{乙}$ 的圓軌道繞行甲、乙兩行星。若 $\frac{R_{甲}}{R_{乙}} = 4$ ，則兩衛星分別繞行甲、乙兩行星的週期之比值 $\frac{T_{甲}}{T_{乙}}$ 為何？ (A)6.25 (B)2.5 (C)1.6 (D)0.4 (E)0.16。

類題 2

設有兩相距甚遠之恆星 A 與 B，質量比 $M_A : M_B = 4 : 1$ ，兩恆星旁各有一質量同為 m 的小行星分別以圓軌道繞 A 與 B 運動，假設繞行的軌道半徑相等，則兩行星之週期比 $T_A : T_B$ 為_____

1:2

範例 3

在望遠鏡中觀察某一行星外有一小衛星以 T 的週期繞其公轉，其軌道為半徑 R 的圓周，則該行星的質量應為若干？ (A) $\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ (B) $\frac{4\pi^2 R}{GT}$ (C) $\frac{4\pi^2 R}{GT^2}$ (D) $\frac{4\pi^2 T}{GR^2}$ (E) $\frac{8\pi^2 T}{GR^3}$ 。

類題 3

已知某衛星繞木星公轉，其軌道半徑為 R 、週期為 T 、速率為 v ，則木星之質量為（應選三項）(A) $\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ (B) $\frac{GT^3}{2\pi R^2}$ (C) $\frac{Tv^3}{2\pi G}$ (D) $\frac{Rv^2}{G}$ (E) $\frac{Gv^2}{4\pi^2 T^3}$ 。 ACD

範例 4

洲際通訊衛星繞地球赤道運轉，其週期等於地球自轉週期，此種衛星稱為同步衛星，由地面見此衛星懸於空中靜止不動，下列有關同步衛星之敘述，何者正確？（應選 3 項）

(A) 它所受月球引力等於地球對它之引力 (B) 它之所以看起來不動，乃因其所受向心力與離心力互相抵銷 (C) 它所受的地心引力恰等於繞地球作圓周運動所需之向心力 (D) 月球與同步衛星各自平均軌道半徑立方與週期平方之比值相同 (E) 此衛星繞地球運行，需在特殊的高度

類題 4

下列有關人造衛星的敘述，哪些正確？（應選 2 項）

(A) 環繞地球的同步衛星，是指繞地球週期 365 天的衛星 (B) 為了偵察地球北緯 60 度的地理環境、氣候，必須發射人造衛星，使環繞北緯 60 度圓周運行 (C) 人造衛星環繞地球必須具有速度才不會掉下來，所以即使在遠離大氣層的高空，也必須不斷的用火箭加速，人造衛星才能持續環繞地球運行 (D) 人造衛星離地高度愈高，週期就愈長 (E) GPS 導航系統是依靠在高空運行的人造衛星協助導航任務

DE

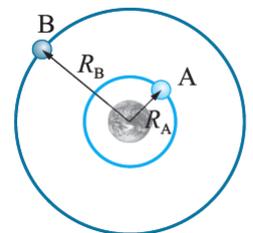
範例 5

兩個繞地球作圓周運動的人造衛星，距離地面的高度不同；已知圓周運動的向心加速度與速度的關係可表示為 $a = \frac{v^2}{r}$ ，則下列敘述哪些正確？

- (A) 軌道愈高者，衛星的速率愈快 (B) 衛星質量愈大者，週期愈長
 (C) 週期愈長者，衛星的速率愈慢 (D) 軌道愈高者，受到的重力加速度愈小
 (E) 軌道愈高者，衛星的角速率愈小。

類題 5

兩人造衛星 A、B 以不同的軌道半徑繞著地心作等速圓周運動，如右圖所示，若軌道半徑比為 1：4，則



- (1) 向心加速度 $a_A : a_B$ 為何？
 (A) 1 : 16 (B) 1 : 4 (C) 1 : 1 (D) 4 : 1 (E) 16 : 1。
 (2) 軌道速率 $v_A : v_B$ 為何？
 (A) 1 : 4 (B) 1 : 2 (C) 1 : 1 (D) 2 : 1 (E) 4 : 1。
 (3) 週期 $T_A : T_B$ 為何？
 (A) 1 : 16 (B) 1 : 8 (C) 1 : 1 (D) 8 : 1 (E) 16 : 1。

答 (1)(E) (2)(D) (3)(B)

課後練習

單選題

- () 1. 同步衛星繞地球運行時，相對於地面上某處而言是靜止於空中的，則下列何者正確？
 (A) 衛星不受到地球引力的作用 (B) 衛星仍受到地球引力的作用 (C) 衛星所受淨力為零
 (D) 衛星受到一對量值相等、方向相反之力的作用 (E) 衛星可能位在北極上空
- () 2. 一衛星繞某行星表面運轉週期為 T ，則該行星之密度為：

(A) $\frac{\pi}{3GT^2}$ (B) $\frac{T^2\pi}{3G}$ (C) $\frac{3\pi}{GT^2}$ (D) $\frac{\pi}{GT^2}$ (E) $\frac{\pi^2}{GT}$

- () 3. 若地球質量突然變成 64 倍，且半徑不變，則在原軌道半徑上之人造衛星，其運轉速率應變成多少倍？

(A) $\frac{1}{4}$ (B) 4 (C) $\frac{1}{8}$ (D) 8 (E) 1

- () 4. 質量各為 m_1 及 m_2 之兩衛星在同一軌道上繞地運轉，則其週期之比為：

(A) $m_1 : m_2$ (B) $m_2 : m_1$ (C) $\sqrt{m_1} : \sqrt{m_2}$ (D) $\sqrt{m_2} : \sqrt{m_1}$ (E) 1 : 1

- () 5. 人造衛星在距地表 $3R$ 處繞地球運行，若地表的重力加速度為 g ，則衛星的繞轉速率為多少？（ R 為地球半徑）

(A) $\sqrt{\frac{gR}{3}}$ (B) $\sqrt{\frac{gR}{2}}$ (C) $\frac{1}{2}\sqrt{gR}$ (D) \sqrt{gR} (E) $\sqrt{2gR}$

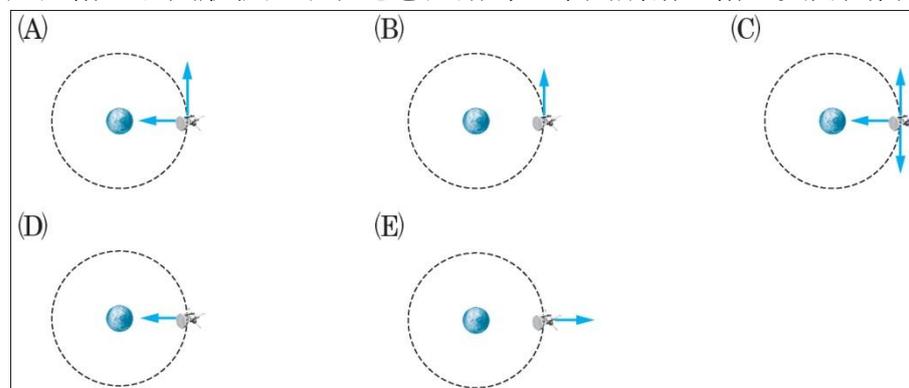
- () 6. 若月球繞地球之週期為 27 日，而地月之距離為 $60R$ （ R 為地球半徑），則地球上之同步衛星應距地面：

(A) $\frac{16}{9}R$ (B) $\frac{31}{9}R$ (C) $\frac{40}{9}R$ (D) $\frac{51}{9}R$ (E) $\frac{65}{9}R$

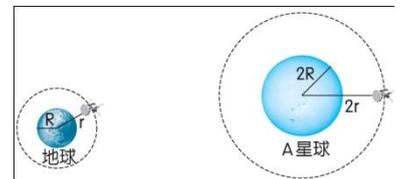
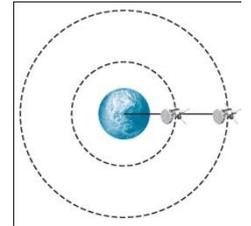
- () 7. 人造衛星以圓軌道繞地運行時，則：

- (A) 加速度恆在圓周的切線上 (B) 向心力恆在圓周的切線上 (C) 加速度恆與向心力垂直
 (D) 加速度恆在半徑的方向上 (E) 向心力恆與速度同方向

- () 8. 人造衛星以圓形軌道環繞地心運動時，下列所繪之衛星受力圖何者正確？



- () 9. 地球半徑為 R ，質量為 M 。距地表 R 高度處的人造衛星，質量為 m ，求運行速率 v 為何？(A) $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ (B) $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ (C) $\sqrt{\frac{3GM}{2R}}$ (D) $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ (E) $\sqrt{\frac{3GM}{R}}$ 。
- () 10. 人造衛星在距地表 $3R$ 處繞地球運行，若地表的重力加速度為 g ，則衛星的繞轉速率為何？（ R 為地球半徑）(A) $\sqrt{\frac{gR}{3}}$ (B) $\sqrt{\frac{gR}{2}}$ (C) $\frac{1}{2}\sqrt{gR}$ (D) \sqrt{gR} (E) $\sqrt{2gR}$ 。
- () 11. 質量各為 m_1 及 m_2 的兩衛星在同一軌道上繞地運轉，則其週期比為(A) $m_1:m_2$ (B) $m_2:m_1$ (C) $\sqrt{m_1}:\sqrt{m_2}$ (D) $\sqrt{m_2}:\sqrt{m_1}$ (E) $1:1$ 。
- () 12. 兩衛星繞地球作圓周運動，若軌道半徑比為 $1:2$ ，求速率比為多少？(A) $4:1$ (B) $1:2$ (C) $2:1$ (D) $1:\sqrt{2}$ (E) $\sqrt{2}:1$ 。
- () 13. 承上題，加速度大小比為多少？(A) $4:1$ (B) $1:2$ (C) $2:1$ (D) $1:\sqrt{2}$ (E) $\sqrt{2}:1$ 。
- () 14. 地球半徑為 R ，距地心 r 處有一同步衛星。密度和地球相同之 A 星球，半徑 $2R$ ，距其球心 $2r$ 處有一同步衛星，則 A 星球之自轉週期應為(A) 8 日 (B) $\frac{1}{8}$ 日 (C) $\frac{1}{4}$ 日 (D) $\frac{1}{2}$ 日 (E) 1 日。
- () 15. 一人造衛星繞地球作等速圓周運動，則下列敘述何者正確？
 (A) 衛星所受的合力為零，所以速率維持不變
 (B) 衛星受到來自於地球的吸引力，此力用於改變衛星的運動方向
 (C) 衛星的加速度為零
 (D) 衛星所受的向心力使衛星愈轉愈快
- () 16. 同步衛星是指相對於地面而言靜止不動的人造衛星，則下列敘述何者正確？
 (A) 它可以在地面上任一點的正上方，且離地面的高度可按需要而選擇不同的高度
 (B) 它可以在地面上任一點的正上方，但離地面的高度須固定
 (C) 它只能在赤道的正上方，但離地面的高度可按需要而選擇不同的高度
 (D) 它只能在赤道的正上方，且離地面的高度須固定
- () 17. 有一人造衛星距地表上高度為 $2R$ 處的圓軌道上運行（ R 為地球的半徑），如果地表處的重力加速度為 g ，則該衛星的運行週期為何？
 (A) $2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ (B) $6\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$ (C) $4\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$ (D) $6\pi\sqrt{\frac{3R}{g}}$ (E) $6\pi\sqrt{\frac{R}{2g}}$
- () 18. 假設地球的半徑為 R ，地表的重力加速度為 g ，一距離地表高度為 R 的人造衛星，其繞轉地球的速率為何？
 (A) $\sqrt{\frac{1}{2}gR}$ (B) $\frac{1}{2}\sqrt{gR}$ (C) \sqrt{gR} (D) $\sqrt{2gR}$ (E) $2\sqrt{gR}$



- () 19. 月球繞地球公轉的圓周半徑是地球的 60 倍，則可推知月球公轉圓周運動的向心加速度 a ，與地表上蘋果自由落地所所受的重力加速度 g ，大小關係如何？
 (A) $a = g$ (B) $a = 60g$ (C) $a = \frac{1}{60}g$ (D) $a = 3600g$ (E) $a = \frac{1}{3600}g$ 。

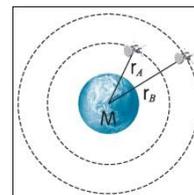
若甲、乙兩衛星繞其行星的公轉週期比為 27 : 64，且假設兩衛星的運行軌道可視為正圓，則

- () 20. 甲、乙兩衛星的軌道半徑比為何？
 (A) 27 : 64 (B) 64 : 27 (C) 9 : 16 (D) 16 : 9 (E) 33 : 8。
- () 21. 甲、乙兩衛星繞日公轉的速率比為何？
 (A) 16 : 9 (B) 3 : 4 (C) 4 : 3 (D) 64 : 27 (E) 9 : 16。
- () 22. 甲、乙兩衛星於單位時間內所掃過的面積比為何？
 (A) 27 : 64 (B) 64 : 27 (C) 1 : 1 (D) 3 : 4 (E) 4 : 3。
- () 23. 依據克卜勒第三運動定律，地球的同步衛星運行一圈的週期為 1 天，而月球公轉一圈的週期為 30 天，若月球的軌道半徑為 38 萬公里，則同步衛星的軌道半徑約為多少公里？
 (A) 6400 (B) 12800 (C) 21000 (D) 42000
- () 24. 土星與地球的質量比約為 100 : 1，半徑比約為 10 : 1，而繞日軌道的半徑比約為 10 : 1，則土星上一年約相當於地球上的多少年？
 (A) 1 (B) 10 (C) 20 (D) 30 (E) 100

多選題

- () 25. 有關人造衛星的問題，下列敘述何者正確？（應選 3 項）
 (A) 人造衛星環繞地球運轉所需的向心力來自於所受的地球引力 (B) 衛星的軌道平面不一定通過地心 (C) 同步衛星的軌道面必須與赤道面重合 (D) 表面衛星的軌道半徑大約等於地球的半徑 (E) 作等速圓周運動的衛星沒有加速度
- () 26. 在地球赤道上空有顆通訊衛星，自地表看來似乎停留在空中不動，設月球繞地球中心運動之週期為 27 天，衛星與月球繞地球的公轉軌道均為圓形，則：（應選 2 項）
 (A) 此衛星之運動方向為自東向西 (B) 此衛星繞地球中心作圓周運動之週期為 1 天 (C) 此衛星與月球之軌道半徑比為 1 : 9 (D) 此衛星與月球之運行切向速率比為 9 : 1 (E) 此衛星與月球受到地球引力量值之比為 81 : 1
- () 27. 利用萬有引力可解釋下列哪些現象？（應選四項）(A) 潮汐現象 (B) 行星的攝動現象 (C) 雙星運動 (D) 電子繞核運轉 (E) 地球繞太陽運轉。

- ()28. 人造衛星 A、B 以不同的軌道半徑 r_A 、 r_B 繞著地心運動，則(應選兩項)
 (A)向心加速度比為 $r_B^2 : r_A^2$ (B)所受萬有引力之比為 $r_B^3 : r_A^2$ (C)週期之比為 $r_B^3 : r_A^3$ (D)軌道速率之比為 $\sqrt{r_B} : \sqrt{r_A}$ (E)角速率之比為 $r_A : r_B$ 。



- ()29. 兩個繞地球作圓周運動的人造衛星 A 與 B，其軌道速率比為 1 : 2，質量比為 2 : 1，則下列有關 A 與 B 各項物理量的比較，哪些正確？
 (A)軌道半徑比為 4 : 1 (B)週期比為 8 : 1 (C)向心加速度的量值比為 1 : 16 (D)向心力的量值比為 1 : 8 (E)動量比為 1 : 8
- ()30. 下列有關地球同步衛星的敘述，哪些正確？
 (A)同步衛星因不受到地球引力的作用，所以可以停留在軌道上運動，而不被地球引力吸引墜地
 (B)同步衛星是指在地球表面上運行的衛星
 (C)同步衛星的週期為一天
 (D)同步衛星可以停留在北回歸線的正上方
 (E)同步衛星看起來恆停留在赤道某處正上方

答案 1.B 2.C 3.D 4.E 5.C 6.D 7.D 8.D 9.A 10.C 11.E 12.E 13.A 14.E 15.B
 16.D 17.D 18.A 19.E 20.C 21.C 22.D 23.D 24.D 25.ACD 26.BC 27.ABCE 28.AD
 29.ABCD 30.CE