新北市立海山高級中學

高二(B)物理
複習課程教材

翁鴻仁老師編授

班級：　　　　　　　　座號：

姓　名：

課程計劃

堂數	課程內容	複習日期	已熟悉	待加強	備 註
1	直線運動				
2	平面運動				
3	靜力平衡				
4	牛頓運動定律				
5	圓周運動				
6	簡諧運動				
7	動量守恆定律				
8	萬有引力定律				
9	轉動				
10	功與能				
11	力學能守恆				
12	碰撞				
13	作業評量				
14	總結性評量				

說明：

1.第 1 至第 12 堂課，每出席一堂課程且表現優良者，每次加三分。

2.第 13 堂課務必攜帶本教材，以供檢查評分，不可任意缺席。

3.第 14 堂課為本課程之總結性評量，採口試及紙筆測驗，不可任意缺席。

§第 1 堂 直線運動

※重點整理

1.直線運動圖形的物理意義：

(1)x-t 圖的切線斜率表瞬時速度，割線斜率表平均速度。

(2)v-t 圖的斜率表加速度；面積表位移，或位置的變化量。【註】t 軸下的面積取負值(表位移方向)。

(3)a-t 圖的面積表速度變化量。【註】t 軸下的面積取負值。

2.基本公式：

(1) $v=v_0+at$；　　v 末速，v_0 初速，a 加速度，t 時間。

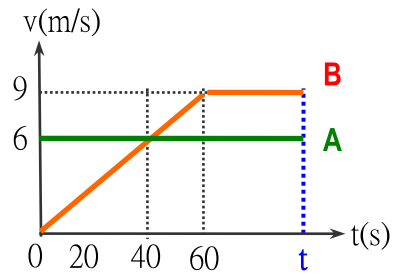
(2) $S=v_0t+\frac{1}{2}at^2=\frac{v_0+v}{2}t$；　　S 位移，v_0 初速，a 加速度，v 末速，t 時間。

(3) $v^2=v_0^2+2aS$；　　v 末速，v_0 初速，a 加速度，S 位移。

※範例講解

《範例》

停在十字路口之 B 車當綠燈亮時，加速前進，同時另一 A 車以一定速度穿過十字路口，其速度對時間關係如圖，則，(1)B 車最初加速度為多少公尺/秒 ^{2}？(2)何時 B 車趕上 A 車?此時兩車離十字口多遠？(3)何時兩車速率相等？此時，兩車相距多遠？



《範例》

在塔頂一物自靜止起落下，已知最後兩秒內落下的高度為塔高的$\frac{16}{25}$，則塔高為多少。$(g=9.8m/s^2)$

《範例》

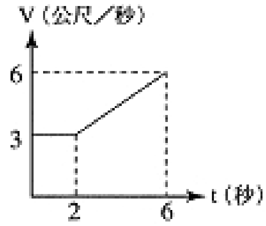
一物體質量為 m，從一長 24 公尺的光滑斜面頂端由靜止下滑，經 4 秒到達斜面底部。今將此物體從斜面底部以初速 v_0，沿斜面上滑，經 6 秒後又滑回斜面底部，則 v_0 為多少公尺/秒？

《範例》

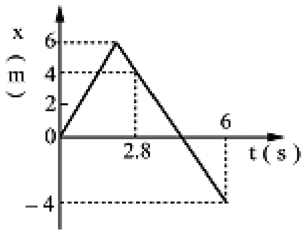
兩質點自同高處同時從靜止開始運動，質點 A 沿斜傾角為 θ 之光滑斜面下滑，質點 B 自由下落。則，(1)兩球著地的時間比？(2)著地時的速率比？

※隨堂演練

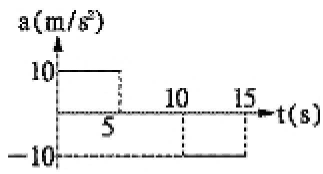
1.(　　)右圖描述汽車在一直線上運動的速度與時間圖，則汽車在 6 秒內，總共行走的距離為多少公尺？ (A)6　(B)12　(C)18　(D)24　(E)36。



2.(　　)某物體作直線運動，其位置對時間的關係圖（即 x–t 圖）如附圖所示，則此物體的路徑長與位移量值之比為多少？(A)3：2　(B)2：3　(C)4：1　(D)3：1　(E)1：1。



3.(　　)一直線運動物體自靜止開始運動，其中 a-t 關係如附圖，則關於此物體之敘述，何者錯誤？ (A)在 10 秒時速率最大　(B)在 10 秒後即反向運動　(C)在 5 秒時速率最大　(D)在 15 秒後即靜止不動　(E)在整個運動過程中運動方向均不改變。



4.(　　)有一網球自離地高 4 m 處下落，與草地碰撞後的反彈高度為 1 m。若網球與地面接觸時間為 0.3 s，則網球與草地接觸過程的平均加速度為（$g=10 m/s^2$）　(A)$10\sqrt{5}$ m/s^2、↑　(B)$10\sqrt{5}$ m/s^2、↓　(C)$20\sqrt{5}$ m/s^2、↑　(D)$20\sqrt{5}$ m/s^2、↓　(E)$20\sqrt{2}$ m/s^2、↑。

5.(　　)作等加速度直線運動的物體，第 1 s 末速度為＋6 m/s，第 2 s 末速度為＋10 m/s，則第 3 s 內的平均速度為　(A)8 m/s　(B)10 m/s　(C)12 m/s　(D)14 m/s。

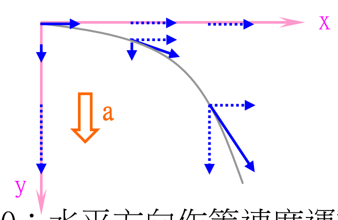
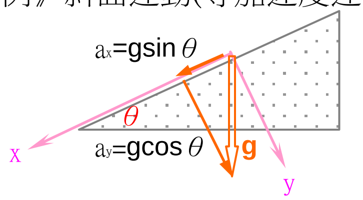
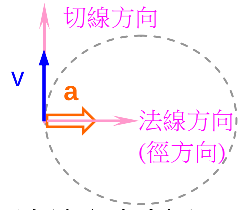
6.(　　)某人自海拔高 135 m 的海邊山崖，以 30 m/s 的初速鉛直上拋一塊小石頭（$g=10$ m/s^2），石頭幾秒後掉落到海面？　(A)7　(B)8　(C)9　(D)12。

§第 2 堂　平面運動

※重點整理

1.運動的獨立性：

將質點的平面運動(二維運動)拆解為兩個相互垂直方向上的直線運動(一維運動)。

水平方向和鉛直方向	平行於斜面和垂直於斜面	切線方向與法線方向
《例》拋體運動(等加速度運動)  $a_x=0$；水平方向作等速度運動。 $a_y=g$；鉛直方向作等加速度運動。	《例》斜面運動(等加速度運動)  平行斜面作等加速度運動。 垂直斜面方向為靜止。	《例》等速率圓周運動(等加速率)  $a_n=a_c$；法線方向靜止。 $a_t=0$；切線方向作等速率運動。

2.常見的平面運動：

(1)水平拋射：　$v_x=v_0$；$x=v_0t$；$v_y=gt$；$y=\frac{1}{2}gt^2$。

(2)斜向上拋射：$v_x=v_0\cos\theta_0$；$x=v_0\cos\theta_0\cdot t$；$v_y=v_0\sin\theta_0-gt$；$y=v_0\sin\theta_0\cdot t-\frac{1}{2}gt^2$。

(3)斜向下拋射：$v_x=v_0\cos\theta$；$x=v_0\cos\theta\cdot t$；$v_y=v_0\sin\theta+gt$；$y=v_0\sin\theta_0 t+\frac{1}{2}gt^2$。

※範例講解

《範例》

以初速 10 m/s 水平拋出一物體，當其水平位移大小與鉛直位移大小的比值為 $\frac{3}{2}$，求(1)所需時間？及此刻的(2)速度量值？($g=10m/s^2$)

《範例》

一物自斜角 45°之斜面底端的正上方 h 高處，水平拋向斜面。當落於斜面時，速度方向與斜面垂直，求拋出之初速？

《範例》

在傾角為 30°之斜坡底端，以仰角 60°處將球拋出，若斜坡高度為 1 公尺，則球初速至少應為多少，球才可越過坡頂？（$g = 10\ m/s^2$)

《範例》

砲彈自岸邊海平面上方高度 80 公尺處，以初速 50 m/s、仰角為 37°射出，恰好擊正向岸邊以速率 5 m/s 行駛過來之敵艦，求(1)砲彈飛行的時間？(2)砲彈的水平射程？(3)發砲時艦離岸邊的距離？(g ＝10 m/s^2)

※隨堂演練

1.(　　)有關運動學之敘述下列何者正確？　(A)物體運動時速度必沿運動路線的切線方向，而加速度必沿運動路線的法線方向　(B)作直線運動之物體任何時間內平均速度之大小恆等於平均速率　(C)若物體任意瞬間的瞬時速度恰等於平均速度，則該物體必定作等速度運動　(D)直線運動中，物體加速度對時間的關係曲線與時間軸所圍之面積表示速度的大小　(E)速度為 0 時，加速度必為 0。

2.(　　)若不計空氣阻力，則有關斜向拋射運動，下列敘述何者錯誤？　(A)上升時間與下降時間相等　(B)拋出之初速度與落至同一水平面時之末速度大小相等　(C)物體達軌跡最高點時速度為 0，加速度大小為 g　(D)水平拋射物體其飛行時間與初速無關　(E)仰角 45°水平位移最遠。

3.(　　)一質點以 10 m/s 的速度向東運動，今受到向北加速度 1 m/s^2 作用 10 秒，繼而受向東加速度 2 m/s^2 作用 5 秒，則全程質點的速度變化量為　(A)向東 10 m/s　(B)向北 10 m/s　(C)向東北 10 m/s　(D)向東北 $10\sqrt{2}$ m/s　(E)向北 $10\sqrt{2}$ m/s。

4.(　　)一物體自高度為 h 的塔頂水平拋射,著地時的瞬間速度和水平方向成 45°,其水平位移為多少?
(A) $\sqrt{2}$h　(B)$\sqrt{3}$h　(C)$\frac{h}{\sqrt{2}}$　(D)h　(E)2h。

5.(　　)若忽略空氣阻力的影響，一物體以 40 公尺／秒的初速由地面仰角 30°被斜向上拋，則該物體所能到達的最大高度接近下列哪一數據？(重力加速度 10 公尺／秒^2) (A)4 公尺　(B)20 公尺　(C)40 公尺　(D)60 公尺　(E)80 公尺。

6.(　　)斜向拋射在上升過程中，最後一秒上升高度為　(A)2.45 公尺　(B)4.90 公尺　(C)7.35 公尺　(D)9.60 公尺　(E)14.7 公尺。

§第 3 堂　靜力平衡

※重點整理

1.虎克定律：大小 $F=k\Delta x$ ； k 為彈力常數(N/m)， Δx 為形變量(m)。

2.彈簧串聯 $\frac{1}{k}=\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\cdots+\frac{1}{k_n}$ ；並聯 $k=k_1+k_2+\cdots+k_n$ 。

3.力矩： $\tau=rFsin\theta=r_{\perp}F=rF_{\perp}$ (N·m，方向)； θ 為 $\vec{r}$ 和 $\vec{F}$ 之夾角， $r_{\perp}$ 為力臂。

4.靜力平衡表示物體不移動且不轉動，此時 $\sum\vec{\tau}=0$ 且 $\sum\vec{F}=0$ 。

5.重心位置 (x_G,y_G) ；其中 $x_G=\frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$ ； $y_G=\frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i}$ 。

6.最大靜摩擦力 $f_{s,\max}=\mu_s N$ ，動摩擦力 $f_k=\mu_k N$ ， N 為正向力。

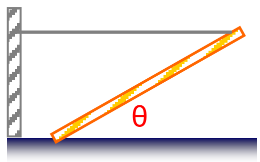
※範例講解

《範例》

一長度為 d，質量略去的細桿，其中心點 O 固定，兩端各置有質量為 m 及 2m 的質點；細桿與鉛垂方向之夾角為 θ 設重力加速度為 g，則重力對 O 點所產生的力矩之量值為何？

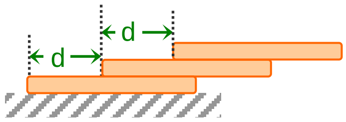
《範例》

在有一木棒，一端置於水平地面上，另一端以水平細繩繫至一鉛直牆壁，使木棒與地面夾 θ 角。若 $\tan\theta=\frac{3}{4}$，則木棒與地面之間的靜摩擦力至少應為多少，木棒才不會滑動？



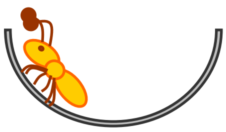
《範例》

如圖，三均質木塊長度都為 L，且質量皆相同，欲保持平衡，則 d 的最大值為何？



《範例》

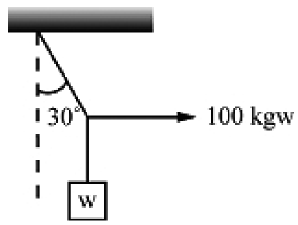
一螞蟻沿著半球形碗的內壁爬行　，已知碗的半徑為 R，螞蟻與碗壁間的靜摩擦係數為 μ ，求螞蟻所能夠爬昇的最大鉛直高度為何？



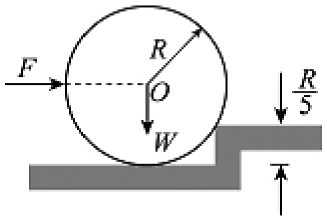
※隨堂演練

1.(　　)對於力常數的描述何者有錯？　(A)質料粗細相同，愈長彈簧，力常數愈大　(B)並聯愈多條，組合彈簧的力常數愈大（以相同彈簧並聯）　(C)愈易伸長的彈簧力常數愈小　(D)若截取彈簧的一段，則力常數變大　(E)同質料、長度、愈粗彈簧力常數愈大。

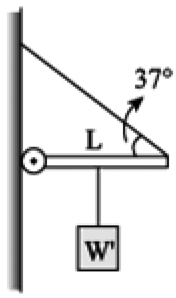
2.(　　)當圖中系統達成平衡時，物體之重量 w 之值為　(A)50kgw　(B)$50\sqrt{3}$ kgw　(C)100kgw　(D)$100\sqrt{3}$ kgw。



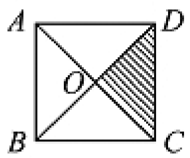
3.(　　)如圖，一球重為 W，半徑為 R，球心為 O，欲以通過球心之方向施一水平推力 F 使球滾上一高 $\frac{R}{5}$ 之臺階，則 F 之最小值為　(A)W　(B)$\frac{4}{5}$W　(C)$\frac{5}{4}$W　(D)$\frac{4}{3}$W　(E)$\frac{3}{4}$W。



4.(　　)有一重 w、長 L 的均勻木棒，在其中點懸一重 w'的物體；木棒一端以樞紐固定於牆上，另一端用 37°角懸於牆，其平衡狀態如圖所示，則此繩的張力為　(A)$\frac{5(w+w')}{6}$　(B)$\frac{3(w+w')}{10}$　(C)$\frac{5(w+w')}{8}$　(D)$\frac{7(w+w')}{10}$。



5.(　　)邊長 a 的正方形均勻木板 ABCD，將圖中斜線部分 COD 切除後，則 ABCOD 之質心與 O 點的距離是 (A)$\frac{a}{3}$　(B)$\frac{a}{4}$　(C)$\frac{a}{6}$　(D)$\frac{a}{9}$　(E)$\frac{a}{12}$。



§第 4 堂　牛頓運動定律

※重點整理

1.**牛頓第一運動定律 (慣性定律)**：

(1)慣性：物體反抗運動狀態被改變，或保持原有運動狀態的特性；其反抗的程度以質量來表示。

(2)第一運動定律：物體不受外力作用或所受外力的合力為零時，將保持靜止或作等速度運動。

2.**牛頓第二運動定律**：

(1)力的定義：物體受力的作用後會在受力(合力)的方向上產生一加速度；反之，若物體具有加速度，則物體必受力的作用。

(2)力的大小：符合 $\vec{F}=m\vec{a}$ ；其中 $\vec{F}$ 為物體所受合力(淨力)。此式僅適用於巨觀低速運動之物體。

3.**牛頓第三運動定律**：

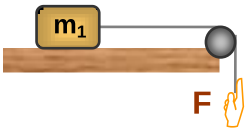
(1)意義：凡有一作用力產生，必同時伴隨有一反作用力隨之產生；且此二力大小相等，方向相反，作用於同一直線上不同的物體。

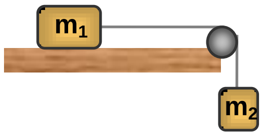
(2)性質：因為此二力作用於不同的物體上，故不能互相抵消。

※範例講解

《範例》

如圖，m_1=10kg，　m_2=5kg，F=5kgw，物體的加速度分別為 a_1 及 a_2，若不計重及各項阻力，則 a_1 與 a_2 的關係為何？



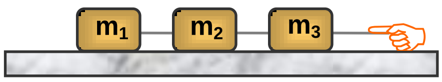


《範例》

一皮箱質量 50kg，以 200N 的力拉之，使其在光滑的水平地面上運動，拉力與水平地面夾角 37° 仰角，則(1)皮箱的加速度為多少？(2)水平地面的支持力為多少？(重力加速度 $g=10\ m/s^2$)

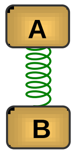
《範例》

有三個質量分別 m_1，m_2 及 m_3 之木塊以輕繩相連接，且被置於一光滑的水平桌面上，其中 $m_1=4kg$，$m_2=2kg$，$m_3=2kg$ 。今以一水平力 T_3 向右拉，使各木塊皆以等加速度 a 前進，則各繩的張力比 $T_1 : T_2 : T_3$ 為何？



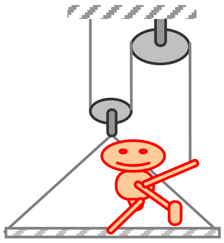
《範例》

質量分別為 1 kg、2kg 的 A、B 兩物，其間繫一 k＝100 N/m 的輕彈簧，以一力 F=36N 向上作用於 A 時，彈簧伸長量為若干？(g = 10 m/s^2)



《範例》

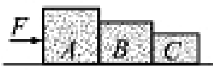
如圖，一人重 60 公斤站在一重 30 公斤之平台上，垂直拉下一繞過滑輪之繩索，設滑輪及繩索之摩擦與質量可略去不計，則 (1)此人至少要施力多少公斤重始能將平台拉起？(2)若希望人與平台一起以 2 公尺/秒 ^{2}的加速度向上，則此人需施力多少？(3)此時平台給人的正向力？(g=10m/s^2)



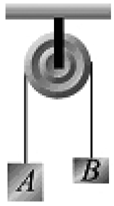
※隨堂演練

1.(　　)有兩個彈簧，彈力常數分別為 k_1、k_2，將此二彈簧串聯，並以此彈簧組拉一物體，使物體可得加速度值 a_1；若改以並聯的方式連接，並使其伸長量與前組相同，此時加速度值為 a_2，則 a_1 與 a_2 之比值為　(A)$\frac{k_1k_2}{k_1+k_2}$　(B)$\frac{k_1k_2}{(k_1+k_2)^2}$　(C)$\frac{k+_1k_2}{k_1k_2}$　(D)$\frac{\sqrt{k_1k_2}}{k_1+k_2}$ 。

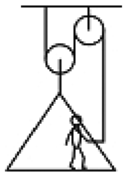
2.(　　)不計摩擦力，以一力 F 水平推物 A，若 A、B 兩物體間的作用力為 T_1，而 B、C 兩物體間的作用力為 T_2，若 m_A：m_B：m_C＝3：2：1，則 T_1和 T_2之比為　(A)2：1　(B)4：3　(C)3：1　(D)5：3　(E)6：5。



3.(　　)如圖中物體 A 的重量為 2W，B 的重量為 W，忽略滑輪的轉動及摩擦力，自靜止釋放二物後，繩張力大小為　(A)$\frac{W}{3}$　(B)$\frac{2W}{3}$　(C)W　(D)$\frac{4W}{3}$　(E)$\frac{5W}{3}$ 。



4.(　　)如圖所示，人的質量為 60 kg，平臺的質量為 40 kg，人在平臺上以一向下的力拉繩，欲使平臺與人以 2 m/s^2的加速度上升，則拉力應為多少牛頓？（g＝10 m/s^2）(A)400　(B)600　(C)100　(D)150　(E)240。



5.(　　)一木塊沿一傾斜角為 θ 的斜面以等速滑下。然後將它以初速度 v_0沿同一斜面向上滑行，它在停止前所前進之距離為　(A)$\frac{{v_0}^2}{g\sin\theta}$　(B)$\frac{{v_0}^2}{2g\sin\theta}$　(C)$\frac{{v_0}^2}{3g\sin\theta}$　(D)$\frac{{v_0}^2}{4g\sin\theta}$　(E)$\frac{{v_0}^2}{5g\sin\theta}$ 。

§第 5 堂　圓周運動

※重點整理

1.圓周運動之各項物理量：

切線速度 $v = r\omega$ (m/s)；法線加速度 $a_n = \dfrac{v^2}{r} = r\omega^2$ (m/s)；切線加速度 $a_t = r\alpha$ (m/s)。

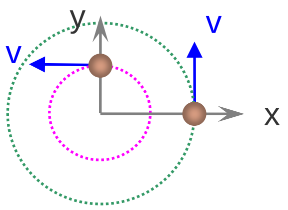
2.等速率圓周運動：

$v = \bar{v} = \dfrac{2\pi r}{T}$；$\omega = \bar{\omega} = \dfrac{2\pi}{T}$；$a_n = \dfrac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 r f^2$；$a_t = 0$。

※範例講解

《範例》

甲、乙兩質點之速率均為 v，分別在半徑為 a 及 b 的同心圓周上作等速圓周運動。若在某一瞬間質點甲的速度方向為朝−x 方向，質點乙的速度方向為朝+y 方向，則在此瞬間兩質點的相對加速度之量值為何。

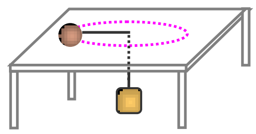


《範例》

一枚錢幣平放於半徑為 R 之轉盤邊緣上，已知錢幣與轉盤間的靜摩擦係數為 μ，若欲使錢幣停於轉盤上，則轉盤轉動的最大頻率為何？

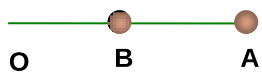
《範例》

質量為 m 和 M 兩物體以輕繩所繫，其中 m 在光滑水平面桌上旋轉，旋轉半徑為 R，若 M 保持靜止，則此時(1)m 的速度大小為何？(2)旋轉週期為何？



《範例》

質量均為 m 的二物體，置於光滑水平面上，被長度相同的 A、B 輕繩所繫，繞 O 點作週期為 T 的等速率圓周運動，求 B 與 A 二繩的張力比值？

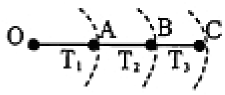


※隨堂演練

1.(　　)一物體作半徑為 R 的等速圓周運動，若其所受的向心力為 F，則其動能為　(A)FR^2　(B)FR　(C)$2\dfrac{F}{R^2}$　(D)$\dfrac{F^2}{2R}$　(E)$\dfrac{FR}{2}$ 。

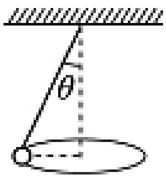
2.(　　)一質點作等速率圓周運動時，向心加速度量值為 a，則半周內平均加速度為　(A)$\dfrac{a}{2}$　(B)$\dfrac{a}{\pi}$　(C)$\dfrac{2a}{\pi}$　(D)2a。

3.(　　)A、B、C 三物質均為 m，繫於繩上，三段繩長均為 L，今以 O 點為圓心作等速圓周運動，則'張力比為 T_1：T_2：T_3＝(A)1：2：3　(B)3：2：1　(C)6：5：3　(D)4：3：2　(E)1：1：1。



4.(　　)質量 m 的質點作半徑 R 的等速率圓周運動，若其向心力為 F，則其動量的量值為　(A)$\sqrt{FmR}$　(B)$\dfrac{1}{2}\sqrt{FmR}$　(C)$\sqrt{\dfrac{FmR}{2}}$　(D)$\sqrt{3FmR}$ 。

5.(　　)長 25 cm 的輕繩，上端固定於天花板，下端懸掛 6 kg 的物體，若物體沿水平作等速圓周運動（如圖所示），θ＝53°，則其張力與週期分別為（g＝10 m/s^2）(A)張力為 100 N，週期為 $\dfrac{\sqrt{6}}{10}\pi$ 秒　(B)張力為 80 N，週期為 $\dfrac{2\sqrt{6}}{3}$ 秒　(C)張力為 100 N，週期為 $\dfrac{2\sqrt{6}\pi}{3}$　(D)張力為 80 N，週期為 $\dfrac{\sqrt{6}}{10}$ 秒。



§第 6 堂　簡諧運動

※重點整理

1.滿足 $\vec{F}=-k\vec{x}$ 之運動稱為簡諧運動，其中為 $\vec{x}$ 質點相對於平衡點之位移，$\vec{F}$ 為恢復力，k 為力常數。

2.簡諧運動之週期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ ；小角度單擺之週期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$ 。

3.簡諧運動之各項物理量：

① $x=R\cos\theta=R\cos\omega t$ ； $v_x=-v_{max}\sin\theta=-\omega R\sin\omega t$ ； $a_x=-a_{max}\cos\theta=-\omega^2R\cos\omega t$ 。

② $x=R\sin\theta=R\sin\omega t$ ； $v_x=v_{max}\cos\theta=\omega R\cos\omega t$ ； $a_x=-a_{max}\sin\theta=-\omega^2R\sin\omega t$ 。

※範例講解

《範例》

一物體作簡諧運動，其位置與時間的關係式為 $x(t)=2\sin(4t+\dfrac{\pi}{3})$ 公分，式中 t 中以秒計。求其 (1)最大速率，(2)最大加速度的量值，(3)當物體自其初始位置運動至振幅之半所需時間。

《範例》

地震時，如果地面運動的加速度太大，地面上的建築物會被破壞。某建築物可以承受的最大地面水平加速度為 0.32g(g 為重力加速度)。假設地震時，該建築物基地的運動可視為水平簡諧運動，則角頻率為 5.6 弧度/秒的地震發生時，此建築物可承受的最大地面水平振幅為多少公分？

《範例》

質量 200 公克的木塊繫於一條力常數 5 牛頓/公尺的輕彈簧上，木塊可在一光滑水平面上移動。若將木塊自其平衡位置向左推移 10 公分後由靜止釋放，求 (1)木塊受力的最大值，(2)木塊運動的週期，及(3)木塊的位移隨時刻 t 的關係函數。

《範例》

一擺長 ℓ 之單擺，在其懸點的正下方擺長一半處有一細鐵釘可擋住擺繩的運動，今將擺錘向左側提起使其擺角為 5°後靜止釋放，求釋放後擺錘擺至原出發點所需之最短時間？

※隨堂演練

1.(　　)在光滑平面上，一彈力常數為 k 的彈簧，一端固定於牆上，另一端繫一質量為 m 的木塊，使之作簡諧運動，則木塊做簡諧運動的週期為何？　(A) $\sqrt{\frac{m}{k}}$　(B) $\sqrt{\frac{k}{m}}$　(C) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m}{k}}$　(D) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$　(E) $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 。

2.(　　)一物體作 S.H.M 運動，振幅 R，最大速度為 v，則當位移 $x=\frac{3R}{5}$ 時速率為　(A) $\frac{3v}{5}$　(B) $\frac{v}{2}$　(C) $\frac{v}{3}$　(D) $\frac{2v}{5}$　(E) $\frac{4v}{5}$ 。

3.(　　)作簡諧運動的物體其位置與時間的關係為 $x=10\sin(\frac{\pi}{3}t+\frac{\pi}{6})$（M.K.S 制），則由運動開始（t=0）至平衡點費時至少要多少秒？　(A)0.5　(B)1　(C)1.5　(D)2.0　(E)2.5。

4.(　　)某質點作 S.H.M，其振幅為 10 公分，週期為 24 秒，求質點由平衡位置移至距平衡點 5 公分處之最短時間為　(A)12 秒　(B)8 秒　(C)4 秒　(D)2 秒　(E)1 秒。

5.(　　)有甲、乙兩單擺，已知在相同的時間內，甲單擺擺動的次數為乙單擺的 2 倍，則甲單擺的擺長為乙單擺擺長的　(A) $\sqrt{2}$ 倍　(B) $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍　(C)2 倍　(D) $\frac{1}{4}$ 倍。

§第 7 堂　動量守恆定律

※重點整理

1.動量(p)： $\vec{p}=m\vec{v}$ (kg·m/s，方向) 或 (N·s，方向)。

2.力與動量：力為動量的時變率。 $\vec{F}=\lim_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\dfrac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t}=m\vec{a}$ (N，方向)。

3.衝量(J)：力與力作用時間的乘積。

(1)定力下的衝量： $\vec{J}=\vec{F}t$ (N·s，方向) 或 (kg·m/s，方向)。

(2)非定力之衝量：F-t 圖之面積。

4.動量-衝量定理： $\vec{J}=\Delta\vec{p}$ 。

5.動量守恆定律：系統無外力作用或所受外力和為零時，系統的總動量保持不變(守恆)。

若 $\vec{F}=\lim_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}=0$ ，則 $\Delta\vec{p}=0$ ，即 $\vec{p}'-\vec{p}=0$ ， $\vec{p}'=\vec{p}$ ，或 $\vec{p}=$定值 。

※範例講解

《範例》

牛頓坐在蘋果樹下，忽然有顆成熟的蘋果落下，打在他頭上，並在接觸 0.10 秒後靜止於頭上。設蘋果質量為 0.20 公斤，落下的距離為 5 公尺，求牛頓的頭對蘋果作用力平均值為何？($g=10m/s^2$)

《範例》

質量 150 kg、長度 8 m 的台車靜止於光滑水平面上，質量為 50 kg 的人自台車的右端走至左端，求(1)系統質心對地移動距離？(2)台車對地移動距離？(3)人對地移動距離？

《範例》

一人質量 50 kg，立於一質量 100 kg，速率 4 m/s 的台車上，求(1)人以水平速度為 10 m/s 向前跳離台車後，車速變為多少？(2)若人跳離車後，相對於台車的速度為 6 m/s 向前，則車速變為多少？

《範例》

自水平地面作斜拋運動之物體，在最高點時之動量量值恰為拋出時的 3/5；此時突然分裂為質量相等的兩塊，其中一塊以初速為零落下，則另一裂塊落地時的動量量值與原拋出時物體動量量值之比值為何？

※隨堂演練

1.(　　)某人坐在蘋果樹下，忽然有顆成熟的蘋果落下，打在他頭上，並在接觸 0.1 秒後靜止於頭上。設蘋果質量為 0.20 公斤，落下的距離為 2.5 公尺，則在碰撞過程中，它所受淨力平均值為　(A)20 牛頓　(B)14 牛頓　(C)28 牛頓　(D)16 牛頓。

2.(　　)一個大樓的大玻璃，受到大風沙的衝擊，風沙以每秒 μ 公斤的總質量，速度 v 公尺／秒，入射角 θ 撞擊玻璃窗上。如風沙以相同的角度與速率反彈，則玻璃窗所受的力為多少牛頓？　(A)$\mu v\cos\theta$　(B)$\mu v\sin\theta$　(C)$2\mu v\cos\theta$　(D)$2\mu v\sin\theta$　(E)$\mu v\cos 2\theta$。

3.(　　)質量為 3 kg 的物體，沿一直線受一變力作用，速度由 10 m/s 增加至 18 m/s，而作用力由 4 牛頓均勻增加至 8 牛頓，則作用時間為　(A)6 秒　(B)8 秒　(C)3 秒　(D)4 秒　(E)5 秒。

4.(　　)一塊黏土鉛直落在水平移動的滑車上並黏住，若滑車移動的表面為光滑面，則將黏土與滑車視為一系統來看時，整個過程中下列敘述何者正確？　(A)這個系統鉛直方向有動量守恆　(B)黏土的動量沒有變化　(C)此系統的總動量始終維持不變　(D)滑車的動量始終不變　(E)這個系統在水平方向的動量始終維持不變。

5.(　　)一靜止的炸彈爆裂成兩塊，一塊質量為 1 kg，以速度 12 m/s 飛向北方；已知另一塊質量 2 kg，則其速度為　(A)4 m/s、南方　(B)4 m/s、東方　(C)6 m/s、南方　(D)8 m/s、南方。

6.(　　)質量 100 kg 臺車內裝有 300 kg 的水，今臺車在光滑水平面上，以速度 10 m/s 等速滑行的過程中，水由臺車的底部滴出，則當水量減為原來的一半時，當時臺車的車速為　(A)5 m/s　(B)10 m/s　(C)20 m/s　(D)40 m/s。

§第 8 堂 萬有引力定律

※重點整理

1.克卜勒第一行星運動定律(軌道定律) 太陽系內的各行星均在以太陽為焦點的橢圓形軌道繞上運行。

$$r_{\min}=a-c\;;\;r_{\max}=a+c\;;\;R=\frac{r_{\min}+r_{\max}}{2}=a$$

a 橢圓之半長軸，b 半短軸，c 焦距，R 平均軌道半徑。

2.克卜勒第二行星運動定律(等面積定律) 對同一行星，行星與太陽的連線在相等的時間內掃過相同的面積。

$$面積速率=\frac{1}{2}rv\sin\theta=\frac{1}{2}r^2\omega=定值$$

3.克卜勒第三行星運動定律(週期定律) 對同繞太陽的不同行星，各行星至太陽平均軌道半徑(R)的立方與其公轉週期(T)平方的比值均相等。

$$\frac{R^3}{T^2}=定值$$

4.萬有引力定律：$F_g=\dfrac{GMm}{r^2}$ (N)，方向相吸；G=6.67x10^{-11} N/m^2·kg^2；r 為兩質點連心線的距離。

5.重力場強度：$g(r)\equiv\dfrac{F_g}{m}=\dfrac{GM}{r^2}$ (m/s^2)，方向向 M 球心；$r\geq R$

※範例講解

《範例》

行星繞太陽在橢圓形軌道上運行，其橢圓長軸與短軸各為 10R 與 8R，而太陽 S 至橢圓中心 O 點的距離為 3R，且行星在近日點 A 之速率為 v，求行星在遠日點 B 點之速率？

《範例》

地球與太陽之平均距離為 1 天文單位，已知某彗星繞太陽做橢圓軌道運行，週期為 64 年，此彗星與太陽之最近距離約為 2 天文單位。假設所有行星對此彗星的影響均可略去不計，則可推算此彗星與太陽之最遠距離約為多少天文單位？

《範例》

假設克卜勒行星第三運動定律為 $\dfrac{R^5}{T^2} = K$ ，其中 K 為一常數，則萬有引力與兩物體間距離的幾次方成反比？

《範例》

兩相距 d 且質量分別為 M 與 m 的星體，以兩星體間的萬有引力為向心力各自繞共同的質心作等速率圓周運動，但兩星體繞圓的軌道半徑並不相同。試求質量 m 的星體，其(1)軌道半徑，及(2)軌道速率為何？

※隨堂演練

1.(　　)一衛星環繞一行星做橢圓軌道之運動，設此衛星至行星最遠距離與最近距離之比為 3：1，則兩位置的速率之比為　(A)1：1　(B)1：3　(C)3：1　(D)1：9　(E)9：1。

2.(　　)某行星繞日之週期為 64 年，而測得此行星與太陽最近之距離為 2 A.U，則此行星繞日之最遠之距離為　(A)24 A.U.　(B)16 A.U.　(C)30 A.U.　(D)32 A.U.　(E)64 A.U.

3.(　　)行星質量 m，繞日運行時，在近日點之速率為 v，與日距離為 r。若此行星在近日點與遠日點時，至太陽距離之比為 1：4，則行星在遠日點時對太陽之角動量值為　(A)8mrv　(B)4mrv　(C)mrv　(D)$\frac{1}{2}$mrv。

4.(　　)若重力定律中，兩質點引力的大小與其距離的 n 次方（n≠2）成反比，考慮一群以圓形軌道繞行同一恆星的行星，設各行星的週期與其軌道半徑的平方成正比，則 n 的值應為何？　(A)1　(B)$\frac{3}{2}$　(C)$\frac{5}{2}$　(D)3。

5.(　　)若 R 為地球半徑，有一人造衛星，其質量為 M，在距離地球表面為 R 的圓形軌道上運轉，如其所受向心力為 F，則此衛星的速率為何？　(A)$\sqrt{\frac{FR}{2M}}$　(B)$\sqrt{\frac{2MR}{F}}$　(C)$\sqrt{\frac{2RF}{M}}$　(D)$\sqrt{\frac{M}{2RF}}$　(E)$\sqrt{\frac{RF}{M}}$

§第 9 堂　轉動

※重點整理

1.移動物理量與轉動物理量的比較：

移動(線)物理量	轉動(角)物理量	關係
$\Delta\ell$　圓弧長	$\Delta\theta$　角位移	$\Delta\ell=\Delta\theta\times r$
v　(瞬時)切線速度	ω　(瞬時)角速度	$v=\omega\times r$
a_T　(瞬時)切線加速度	α　(瞬時)角加速度	$a_T=\alpha\times r$

2.公式比較：

等加速度直線運動	等角加速度圓周運動
$v=v_0+at$	$\omega=\omega_0+\alpha t$
$S=v_0t+\frac{1}{2}at^2=\frac{v_0+v}{2}t$	$\Delta\theta=\omega_0t+\frac{1}{2}\alpha t^2=\frac{\omega_0+\omega}{2}t$
$v^2=v_0^2+2aS$	$\omega^2=\omega_0^2+2\alpha\Delta\theta$

3.轉動慣量：(2)選定參考軸，則相對於此參考軸之轉動慣量為 $I=mr^2$ (kg-m^2)； r 為繞軸半徑。

4.移動物理量與轉動物理量的比較：

移動物理量	轉動物理量	關係
$\vec{p}=m\vec{v}$ 動量 = 質量 x 速度	$\vec{\ell}=I\vec{\omega}$ 角動量 = 轉動慣量 x 角速度	$\ell=rp\sin\theta$ θ 為 $\vec{r}$ 和 $\vec{p}$ 的夾角
$\vec{F}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}=m\vec{a}$ 力 = 動量的時變率	$\vec{\tau}=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\ell}}{\Delta t}=I\vec{\alpha}$ 力矩 = 角動量的時變率	$\tau=rF\sin\theta$ θ 為 $\vec{r}$ 和 $\vec{F}$ 的夾角

※範例講解

《範例》

一圓輪在做等角加速度運動，經過 25 轉之後，角速度由 100 轉/秒增至 150 轉/秒，其角加速度為多少弧度/秒^2？

《範例》

正方形的四個頂點分別置有質量為 m 的質點，以四支長度均為 a 的細桿連結。求下列各情形之轉動慣量：(1)以通過正方形中心點且垂直於正方形平面為轉軸；(2)以對角線為轉軸；(3)以正方形之一邊為轉軸？

《範例》

兩小球質量分別為 m_1 及 m_2，由一長度為 L 之細桿相連，並以通過兩球質量中心且垂直於細桿的軸，做等角速度 ω 的轉動，求系統的角動量的量值？

《範例》

一長度為 L 而質量可忽略的細桿，兩端各置有質量為 m 及 2m 的質點，以通過細桿中心點 O 且垂直於細桿為軸，細桿與鉛垂方向的夾角為 θ。設重力加速度為 g，(1)重力對 O 點所產生的力矩其量值為何？(2)若由此處靜止釋放，則此瞬間的角加速度為多少？

※隨堂演練

1.(　　)下列敘述何者正確？　(A)作等速率圓周運動的物體，其角加速度為一不為零的常數　(B)作等角加速度旋轉的物體，切線速度的大小作均勻增加　(C)作等角加速度運動的物體，其向心加速度大小一定　(D)作等角加速度運動的物體，切線加速度大小為一定值　(E)作等角加速度運動的物體，任一時刻，其加速度指向圓心。

2.(　　)一圓輪作等角加速度運動，初角速度為 200π 弧度／秒，經 0.2 秒其角速度為 300π 弧度／秒，圓輪已轉過多少轉？　(A)25　(B)50　(C)100　(D)150。

3.(　　)有一陀螺以 9 弧度／秒角速度旋轉，其中某點的轉動半徑為 0.5 公尺，則該點的切線速率為　(A)4.5 公尺／秒　(B)3.5 公尺／秒　(C)2.5 公尺／秒　(D)1.5 公尺／秒。

4.(　　)三個質量均為 m 的質點，置於邊長為 a 的正三角形的三個頂點，則以三角形的重心為轉軸，垂直於三角形的平面轉動，則轉動慣量為　(A)$2ma^2$　(B)$\sqrt{2}\ ma^2$　(C)$\sqrt{3}\ ma^2$　(D)ma^2

5.(　　)下列有關角動量守恆的敘述，何者正確？　(A)質點角動量守恆時,必無外力作用　(B)質點角動量守恆時，必作等速圓周運動　(C)質點組角動量守恆時，其角速度保持一定　(D)衛星繞行時，角動量守恆　(E)鉛直圓周運動的質點，角動量守恆。

§第 10 堂　功與能

※重點整理

1.功的定義：

(1)定力作功：$W=F\cdot S\cos\theta=FS_{//}=F_{//}\cdot S$ (J)。

(2)變力作功：$F-x$函數圖中曲線與位置軸所圍面積即變力所作的功。

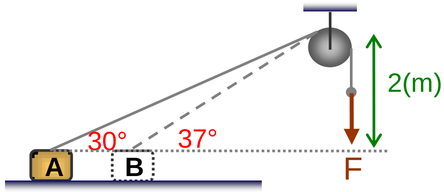
2.功能定理：$W_{合力}=\Delta K=K_2-K_1$

3.平均功率 $\overline{P}=\dfrac{W}{\Delta t}$ (W；瓦特)；瞬時功率 $P=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta W}{\Delta t}=Fv\cos\theta=F_{//}v=Fv_{//}$ (W；瓦特)

※範例講解

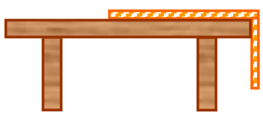
《範例》

質量 4 公斤的物靜置於光滑平面，受一質量不計的繩子繫著，繩繞過無摩擦的定滑輪，它端施以 10 牛頓向下的定力拉動，使物體沿光滑水平面由 A 至 B，則施力作功多少焦耳？



《範例》

一長度 L、質量 m 的均勻繩子，其長度的三分之二置於光滑水平桌面上，長度的三分之一掛於桌外，如圖。已知重力加速度 g，今欲將此繩全部拉回桌面上，所需作功至少為多少？



《範例》

一質量為 m 的小球，以初速 v_0、仰角 60°，自地面斜向拋射，求在下列各點重力對球的功率：(1)最高點，(2)著地點，及(4)自拋出至頂點的平均功率？

《範例》

某汽艇在水面等速運動時，所受阻力與速度成正比，今以 v 等速運動時，馬達功率為 P 馬力，若改以 3v 等速，則馬達功率為何？

※隨堂演練

1.(　　)下列有關功的敘述，何者正確？　(A)在 F-x 圖中橫軸上的面積皆表示正功　(B)萬有引力對物體可作負功　(C)彈簧力對物體可作負功　(D)摩擦力對物體必作負功　(E)阻力可作正功。

2.(　　)一物體受力與位置的關係為 F＝（3x＋4）牛頓，其方向在＋x 方向，則物體由 x＝1 公尺移至 x＝5 公尺時，此力對物體作功　(A)40 焦耳　(B)48 焦耳　(C)52 焦耳　(D)60 焦耳　(E)72 焦耳。

3.(　　)一繩子質量均勻，質量為 1 公斤，全長 1 公尺其中 30 公分懸於桌緣外，設兩者間無摩擦力作用，則把繩子拉 10 公分回桌面，至少須作功？（設 g＝10 公尺／秒^2）　(A)0.15 焦耳　(B)0.25 焦耳　(C)0.30 焦耳　(D)0.50 焦耳　(E)1.0 焦耳。

4.(　　)速度 20 公尺／秒的物體於水平面上移動 10 公尺後，速度變為 10 公尺／秒，問：此物可再行走多遠？　(A)10 公尺　(B)5 公尺　(C)2.5 公尺　(D)4 公尺　(E)$\frac{10}{3}$公尺。

5.(　　)若船在水中航行時，其所受的阻力和其速率成正比，若欲使船速變為原來的 n 倍，則船的輸出功率需為原來的幾倍？　(A)2n　(B)n^2　(C)$\frac{1}{n}$　(D)n　(E)n^3

§第 11 堂　力學能守恆

※重點整理

1.均勻重力場的位能大小，與位能零點(零位面)的選擇有關，其公式為；
$U = mgh$ (J)； h 為與位能零點的垂直高度(m)，物體在位能零點上方時為正值，下方則取負值。

2.重力位能的一般式：令 $U_{\infty} = 0$ ，則 $U_r = -\dfrac{GMm}{r}$ 。

3.彈力位能：令平衡點之位能為零，則 $Us(x) = \dfrac{1}{2}k\,x^2$ ；其中 x 為與平衡點的位移(m)。

4.力學能守恆公式：
(1) $K + U = K' + U'$ ；初狀態的動能與位能和，等於末狀態的動能與位能和。
(2) $|\Delta K| = |\Delta U|$ ；系統減少的動能等於增加的位能，或，系統增加的動能等於減少的位能。

5.衛星繞行星的等速率圓周運動： $K = \dfrac{GMm}{2r}$ ； $U = -\dfrac{GMm}{r}$ ； $E = -\dfrac{GMm}{2r}$

6.行星繞恆星的橢圓形運動： $U = -\dfrac{GMm}{r}$ ； $K = \dfrac{1}{2}mv^2 \neq \dfrac{GMm}{2r}$ ； $E = -\dfrac{GMm}{r} + \dfrac{1}{2}mv^2$ 。

※範例講解

《範例》

一光滑圓軌道半徑為 R，軌道平面與水平面垂直。一質點受重力及軌道正向力的作用，在軌道上運動時，其最大速率是最小速率的 $\dfrac{6}{5}$ 倍。設重力加速度為 g，則此質點的最小速率為何？

《範例》

質量 m 的物體從距地面高 R 處自由落下，已知地球質量 M，半徑 R，若不考慮空氣阻力，則該物體落至地面的速率為何？

《範例》

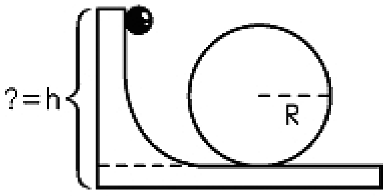
設地球半徑為 R，質量 M，有一質量為 m 的人造衛星在距地表高度為 R 處的軌道上作圓周運動。若欲使衛星脫離原軌道至距地面高為 2R 處的新軌道，則衛星速率應增加至多少？

《範例》

某質量 m 的人造衛星以橢圓形軌道繞地球運轉，已知遠地點距離地球球心 4R，近地點與地球球心的距離為 2R，其中 R 為地球半徑。(1)求人造衛星在近地點的軌道速率？(2)求人造衛星從遠地點至近地點的過程中，地球對人造衛星所作的功？

※隨堂演練

1.(　　)如圖所示，自高處自由滑下一物，使能沿半徑 R 的光滑軌道繞一周，則最小的高度 h 應為 (A)R　(B)2R　(C)$\frac{5R}{2}$　(D)3R　(E)5R。



2.(　　)單擺的擺錘質量為 M，質量可忽略的繩子長度為 L。今將擺錘由底端拉到繩與鉛直線成 θ 角後才放開，求：最低點的速率為　(A) $\sqrt{gL\sin\theta}$　(B) $\sqrt{gL\cos\theta}$　(C) $\sqrt{2gL(1-\cos\theta)}$

(D) $\sqrt{2gL(1-\sin\theta)}$　(E) $\sqrt{2gL}$

3.(　　)地球質量為 M，半徑為 R_e，如以距地心 R 處物體的重力位能為零（$R > R_e$），則距地心 2R 的質量 m，其重力位能為何？　(A) $\frac{GMm}{2R}$　(B) $-\frac{GMm}{6R}$　(C) $\frac{GMm}{2R_e}$　(D) $-\frac{GMm}{2R}$

4.(　　)地球質量為 M，人造衛星的質量為 m，若以無窮遠處為零位面，則衛星由半徑 2R 的軌道要升高為半徑 3R 的軌道，至少要補充多少能量？　(A) $\frac{GMm}{2R}$　(B) $\frac{GMm}{3R}$　(C) $\frac{GMm}{6R}$　(D) $\frac{GMm}{9R}$

(E) $\frac{GMm}{12R}$

§第 12 堂　碰撞

※重點整理

1.彈性碰撞：碰撞前後的總動能不變

動量守恆 $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$；　總動能守恆 $\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$

2.彈性碰撞速度公式：

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2}v_2 \quad ; \quad v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}v_2$$

3.完全非彈性碰撞：兩物體在碰撞後合成一體，此時兩物速度同為質心速度，彼此無相對運動。

總動量守恆　$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)v_C \Rightarrow v_C = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$　。

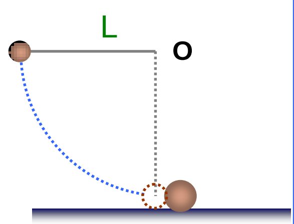
※範例講解

《範例》

兩相同木塊(質量 $m_1=m_2=m$)，中間連以彈力常數為 k 的彈簧(質量不計)，靜置於光滑的水平面上，如圖所示。假設左方木塊(m_1)瞬間由系統外獲得向右的速度 $\vec{v}$，試求隨後整個木塊與彈簧系統的(1)質心速度？(2)最大彈性位能？

《範例》

如圖，一擺長為 L，擺錘質量為 m 之單擺懸於 O 點，被拉至水平後放開；當擺錘擺至最低點時，恰碰上一個靜止於光滑地面且質量為 2m 的小球。假設擺錘與小球碰撞後即黏在一起，問擺錘上升的最大高度為何？

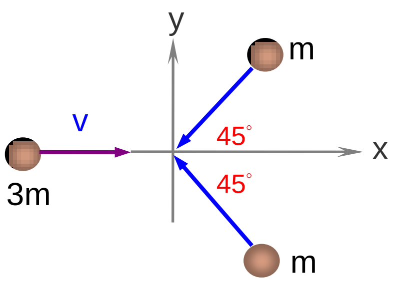


《範例》

A、B 兩小球質量均為 m，設 A 以 v 之初速與靜止之 B 球作非正面之彈性碰撞，碰撞後 A 球運動方向與原入射方向之夾角為+30 度。則 B 球碰撞後射出方向與原入射方向之夾角為何？其速率為何？

《範例》

三質點在原點發生碰撞而結合為一體，其質量分別為 3m、m 和 m，而速度大小分別為 v、$\sqrt{2}v$ 和 $\sqrt{2}v$，方向皆指向原點，如右圖所示。求在此碰撞過程中，損失的動能與碰撞前的總動能之比值為何？



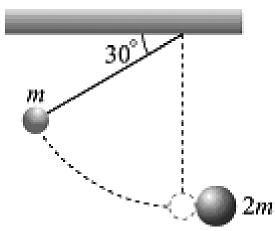
※隨堂演練

1.(　　)由兩者的質量中心坐標，看兩物體的運動狀況，則兩物體對質心的速度彼此間的關係為何？(A)維持相等，但可不為定值　(B)維持大小相同，方向相反，但可不為定值　(C)大小和兩者質量成正比，而方向相反但可不為定值　(D)大小和兩者質量成反比，而方向相反但可不為定值　(E)大小相同，方向相反，且為定值。

2.(　　)質量不相等的兩物體作完全彈性碰撞，關於碰撞過程，下列敘述何者正確？　(A)碰撞的交互作用之力必相等　(B)動量變化量的量值必相等　(C)速度的變化量必相等　(D)碰撞前後的動能變化量必相等　(E)所受衝量的量值必相等。

3.(　　)一質量為 m 的子彈，以速度 v 水平射入一個放在光滑平面上的靜止木塊，木塊的質量為 M，子彈射入木塊後嵌入其中。下列敘述何者正確？（g 為重力加速度）　(A)碰撞前後，動量守恆　(B)碰撞前後，動能守恆　(C)碰撞前後，總能量守恆　(D)嵌有子彈的木塊，其速度為 $\frac{\mathrm{mv}}{(\mathrm{M}+\mathrm{m})}$　(E)若木塊用一質量可忽略之輕繩吊著，則嵌有子彈的木塊上升之高度為 $\frac{v^2}{2g}(\frac{m}{m+M})^2$

4.(　　)一單擺長 ℓ，擺錘質量 m。今將 m 拉至擺線在水平之下 30°俯角之位置放開，如圖所示。當 m 擺至最低點時與一質量為 2m 的靜止小球發生正向碰彈性碰撞後的速率為何？(A) $\frac{1}{2}\sqrt{g\ell}$　(B) $\frac{1}{3}\sqrt{g\ell}$　(C) $\frac{2}{3}\sqrt{g\ell}$　(D) $\sqrt{2g\ell}$　(E) $\sqrt{\frac{2}{3}g\ell}$。



~ 好好把握改變一生的假期 ~