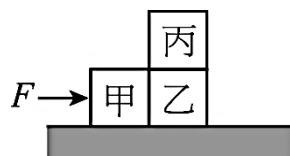


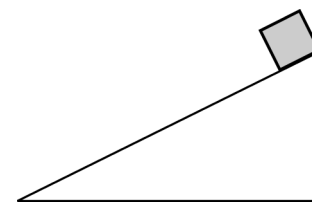
國立彰化高級中學 115 學年度資優班甄選—複選【物理科】 試題卷

第一部分，單選題 (14 題，每題 2.5 分)，將答案填入答案卡中

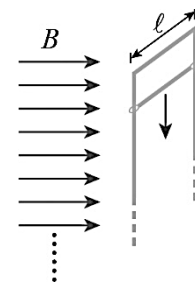
- 一質點從靜止開始作等加速度直線運動，已知第 t 秒內的位移是第 $t-1$ 秒內之位移的 $\frac{17}{15}$ 倍，則 t 為多少？(A)5 (B)6 (C)7 (D)8 (E)9。
- 一列長為 48 公尺之火車在一直線軌道上作等加速度運動，已知車頭通過某定點之速率為 2 公尺/秒，車尾通過該點時的速率為 14 公尺/秒，則當車速為 6 公尺/秒時，車頭與該點之距離為 a 公尺；火車由 v 加速到 $3v$ 經歷的時間為 b 秒。則 (a,b) 為 (A)4,1 (B)6,1 (C)6,2 (D)8,2 (E)12,1。
- 有一小石子自塔頂落下 5 公尺後，另一小石子於離塔頂下方 7 公尺處自由落下，結果兩石子同時著地，則塔高為何？ (A) $\sqrt{35}$ (B) $\frac{36}{5}$ (C)9 (D) $\frac{36}{7}$ (E)12。
- 甲、乙、丙三物體質量分別為 4 公斤、6 公斤和 2 公斤，靜止並排置於一水平桌上，以一水平力 $F=10$ 牛頓施於物體 A，如圖所示。設該處的重力加速度 $g=10 \text{ m/s}^2$ ，則若靜摩擦係數 $\mu_s=0.15$ 、動摩擦係數 $\mu_k=0.1$ 時，物體甲對物體乙的作用力為多少牛頓？(A)4 (B)5 (C)6 (D)7.5 (E)8。
- 一個高度為 a 、底面積為 a^2 的圓柱形近乎無質量的輕質燒杯，空杯開口朝上並正立漂浮於水面時，有 $\frac{h}{5}$ 的高度露出水面。現緩慢注入比重為 d 的甘油，並假設燒杯始終保持直立且不傾斜。在燒杯尚未完全沒入水中，最多可注入甘油的體積為多少？
(A) $\frac{a}{3a^3}$ (B) $\frac{a^3}{3d}$ (C) $\frac{a^3}{5d}$ (D) $\frac{5a^3}{d}$ (E) $3a^3d$ 。
- 一人造衛星繞地球作等速率圓周運動。關於衛星的受力與運動情形，下列敘述何者正確？ (A)衛星所受合力為零，因此速率為零。(B)地球引力對衛星做功為零，因此加速度為零。(C)地球引力對衛星作正功，使其加速度保持不變。(D)地球引力對衛星作正功，使衛星的動能改變。(E)地球引力對衛星施加連心線方向的萬有引力，使衛星的加速度保持改變。



- 一物體由靜止開始，沿固定於光滑水平地面上的光滑斜面向下滑動，如圖所示。相對於地面參考系，物體在下滑過程中，斜面對物體作用力的方向及其做功情形，下列敘述何者正確？ (A)作用力垂直於物體與斜面的接觸面，且做功為零。(B)作用力不垂直於物體與斜面的接觸面，且做功不為零。(C)作用力不垂直於物體與斜面的接觸面，且做功為零。(D)作用力垂直於物體與斜面的接觸面，且做功不為零。



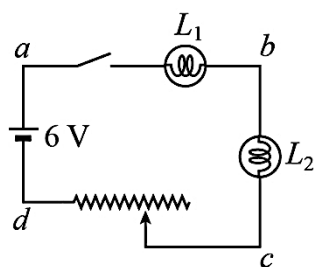
- 吸盤固定物體時，是利用吸盤內外的壓力差，使大氣壓對吸盤產生向上的合力。現有一圓形吸盤吸附於水平天花板，其有效吸附面積為 10 cm^2 ，已知外界大氣壓力 $P_0=1033 \text{ gw/cm}^2$ ，吸盤內部氣壓為 783 gw/cm^2 ，若吊掛過程中吸盤保持密封，且內部氣壓維持不變，忽略吸盤本身重量，則吸盤所能支撐的最大吊掛重量為多少公斤重？(A)2.5 (B)3 (C)3.5 (D)4 (E)5
- 夜晚，路燈可近似為點光源，因此人的頭頂、燈泡與影子末端始終位於同一直線上。小民身高 180 cm，站在路燈前方時，測得影長為 3.6 m，小民與路燈底部相距 2.4 m。假設地面水平且光線沿直線傳播，若小民以 0.9 m/s 的速度自路燈下方沿直線遠離路燈，則小民頭頂影像（影子頂端）在地面上的移動速度量值為多少公尺？
(A)2 (B)2.25 (C)2.5 (D)3.5 (E)3.75
- 一均勻帶電的金屬圓環，半徑為 2×10^{-2} 公尺，總電量為 2 微庫侖，電荷均勻分布於整個圓環上。圓環繞通過圓心且垂直於環面的固定轉軸，以 150 Hz 的頻率做等速轉動。若在圓環邊緣選定一固定位置，則每秒鐘通過該位置的電荷數約為多少個基本電荷？(A) $5\pi \times 10^{15}$ (B) $2.5\pi \times 10^{15}$ (C) 2.5×10^{15} (D) 1.6×10^{15} (E) 1.875×10^{15} 。
- 如圖所示，一固定的 Γ 形金屬導軌豎直放置，其兩側導軌足夠長，整個裝置位於一個垂直於導軌平面的均勻磁場 B 中。一根長度為 ℓ 、電阻為 R 的均勻導體棒，其兩端與導軌保持良好接觸，可沿導軌自由滑動，並與導軌形成閉合迴路。現將導體棒由靜止釋放，使其沿導軌向下滑動。忽略空氣阻力、摩擦力、地磁影響、導軌電阻，以及感應電流所產生磁場對外加磁場的影響。關於導體棒下滑過程中的運動情形，下列敘述何者正確？



- (A) 導體棒作等加速度下滑。
 (B) 導體棒先加速下滑，再逐漸減速至靜止。
 (C) 導體棒先加速下滑，再減速至靜止，之後反向上升回到原位置。
 (D) 導體棒先加速下滑，速度逐漸增加至終端速度後，改以等速下滑。
 (E) 導體棒先加速至某一最大速度，再減速至另一固定速度後，改以等速下滑。

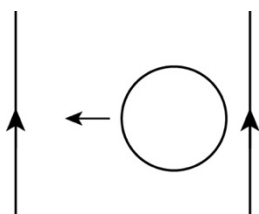
12. 如圖所示，電路中的開關閉合後，燈泡 L_1 與 L_2 皆未發光。假設電池正常，且線路中僅有一個元件發生斷路故障。

利用伏特計量測各節點間電壓，得到 $V_{ab} = 0V$, $V_{bc} = 6V$, $V_{bd} = 6V$ 根據上述量測結果，判斷最可能發生故障的元件為何？
 (A) L_1 、 L_2 皆損壞 (B) L_1 、可變電阻皆損壞
 (C) 可變電阻 (D) 燈泡 L_1 (E) 燈泡 L_2



13. 一只電熱快煮壺的最大容量為 1 L。將壺內裝滿水，初溫為 23°C ，接上 110 V 的交流電源後開始加熱，經 5 分鐘 恰可將水加熱至沸騰。已知水的比熱為 $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ ，且 $1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J}$ ，若忽略快煮壺本身吸熱及加熱過程中的熱散失，則快煮壺工作時的電流約為多少安培？
 (A) 6.8 (B) 7.2 (C) 9.3 (D) 9.8 (E) 10.3

14. 如圖所示，兩條相互平行且可視為無限長的直導線，通有大小相同、方向相同的穩定電流。兩導線之間放置一個圓形導線迴路，且整個裝置位於同一平面內。現保持兩條直導線固定不動，使圓形導線迴路以等速向左平移，則在移動過程中，圓形導線迴路中的感應電流方向為何？

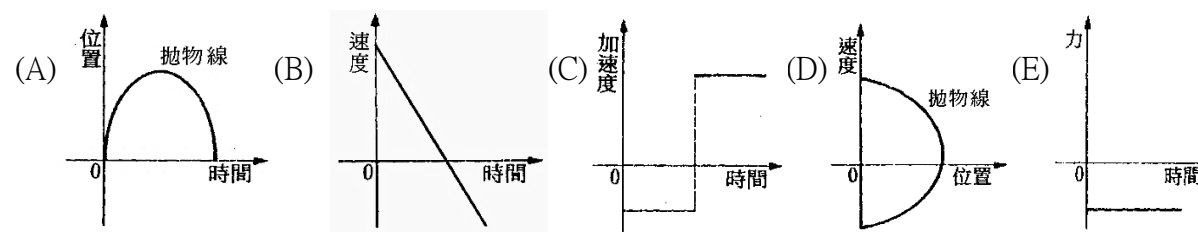


- (A) 由逆時針方向轉為順時針方向 (B) 由順時針方向轉為逆時針方向 (C) 順時針方向
 (D) 逆時針方向 (E) 無法判斷

第二部分、多選題(9 題，每題 3 分，錯一個選項倒扣 1/5 題分)，將答案填入答案卡中

15. 某生整理了幾個與浮力、密度及排水體積有關的生活現象，希望利用阿基米德原理判斷各種情況是否合理。請根據浮力原理、物體密度及排開液體體積的概念，選出下列敘述哪些正確？
 (A) 盛滿水的容器中漂浮著一塊冰，待冰塊完全融化後，容器內水面會上升。
 (B) 兩個重量相同的鐵球，其中一個為實心、另一個為空心，同時放入水中時，空心鐵球所受的浮力較大。
 (C) 一顆鉛球放置於漂浮在水面的碗中，再將鉛球取出直接放入水中，水位會下降。
 (D) 在操作步驟(C)後，碗浸入水中的體積仍維持不變。
 (E) 一艘船由海面航行進入淡水河後，吃水深度會增加。

16. 假定向上為正方向，向下為負方向。將一石子從地面鉛垂上拋又落向原地的過程(不計空氣阻力)，可用下列哪些圖定性的描述？

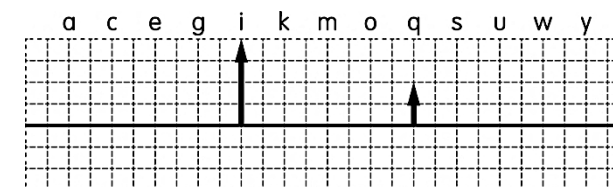


17. 下列各情境中，所描述的力對物體做功為零的敘述有哪些？

- (A) 人推著嬰兒車沿斜坡等速向下行進時，手推力對嬰兒車所作的功。
 (B) 火箭升空過程中，地球重力對火箭所作的功。
 (C) 鉛球離手後，在空中飛行期間，手對鉛球所作的功。
 (D) 物體懸掛於彈簧下端，達到靜力平衡並保持靜止後，彈力對物體所作的功。
 (E) 電子在均勻且不隨時間改變的磁場中作圓周運動時，磁力對電子所作的功。

18. 一物體位於凸透鏡主軸上，並沿主軸由遠處緩慢向凸透鏡移動。依據薄透鏡成像原理，下列敘述何者正確？
 (A) 當物體位於焦點外且逐漸接近焦點時，所形成的實像會逐漸變小。
 (B) 與主軸平行且距主軸愈遠的入射光線，經凸透鏡折射後，其與主軸的交點距離透鏡愈遠。
 (C) 不同顏色的光線通過同一凸透鏡後，其焦點位置相同。
 (D) 當物體由焦點外移至焦點內後，所形成的像由實像轉為虛像；此後，虛像始終與物體位於透鏡同一側，且移動方向與物體相同。
 (E) 當物體位於焦點內並逐漸接近透鏡時，所形成的虛像會逐漸變小。

19. 如圖所示，在主軸上放置一個物體及其經薄透鏡所形成的像，其中較短的箭頭代表物體，較長的箭頭代表其成像後的位置。



- 已知物體與像皆位於主軸上，且未標示透鏡位置。根據圖示判斷，下列敘述哪些正確？
 (A) 此薄透鏡為凹透鏡 (B) 與物體位於同側的透鏡焦點位於物體左側主軸上。
 (C) 與物同側之透鏡焦點位於物體的右側主軸上 (D) 透鏡鏡心位於 m 與 o 之間 (包含 m, o)
 (E) 透鏡鏡心位於 w 與 y 之間 (包含 w, y)。

20. 某生想探討固體施力大小與接觸面積與桌面所受壓力的關係。

他準備一塊均勻木製角柱，其重量為 W 、高度為 h ，底面為邊長固定的正方形，底面積為 a 。

實驗中，將角柱依圖(1)、圖(2)及圖(3)三種方式放置於水平桌面，其中圖(3)有 $\frac{1}{3}$ 的底面積懸空於桌面外，其餘

部分及圖(1)圖(2) 角柱底面積皆與桌面接觸。

若忽略角柱變形，並假設角柱保持靜止，依物理靜力學討論，下列敘述哪些正確？

- (A) 三種擺放方式中，角柱對桌面的壓力大小比為 $3a:3h:2h$ (B)三種擺放方式中，角柱對桌面的壓力大小比為 $2a:2h:3h$ (C)三種擺放方式中，角柱對桌面的壓力量值比為 $1:1:1$ (D) 三種擺放方式中，角柱對桌面的作用力量值比為 $1:1:1$ (E) 三種擺放方式中，角柱對桌面的作用力大小比為 $3:3:2$

21. 如圖所示，一塊 N 極朝右 的條形磁鐵置於光滑水平桌面上，並與彈簧相連。

當彈簧處於自然長時，磁鐵中心位於座標 $x=0$ ；在該位置的鉛直平面上固定一個圓形導線線圈，線圈與燈泡形成閉合迴路。

當磁鐵在振動過程中進入或離開線圈附近時，穿過線圈的磁通量將隨時間改變，因此線圈中會產生感應電流，使燈泡亮度隨時間變化。

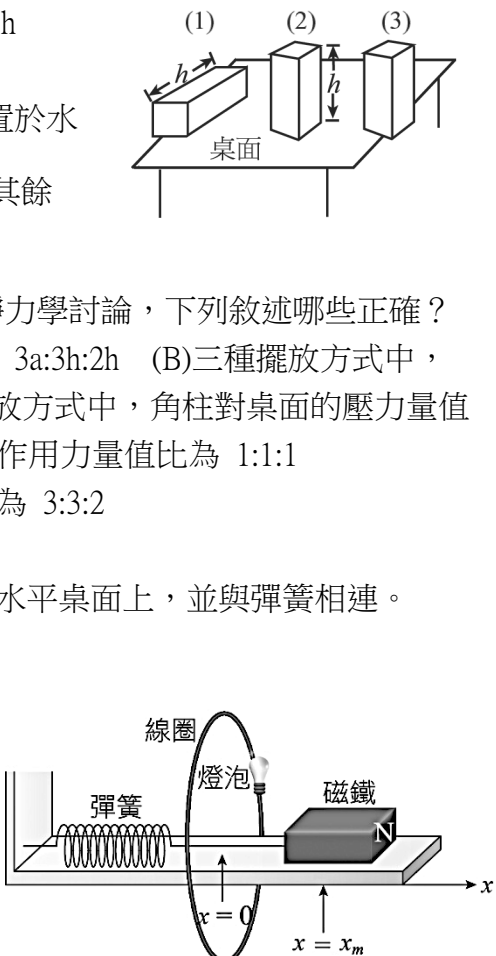
若將磁鐵自 $x = x_m$ 公尺 處由靜止釋放，使其作往復運動，忽略桌面摩擦力與空氣阻力，

則下列敘述哪些正確？ (A)磁鐵接近線圈時，線圈對磁鐵會產生排斥力

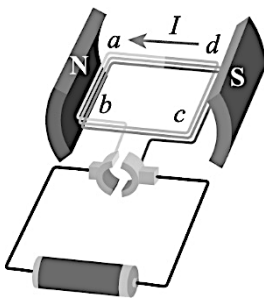
(B)磁鐵接近線圈時，線圈對磁鐵會產生吸引力 (C)磁鐵離開線圈時，線圈對磁鐵

會產生排斥力 (D)即使桌面無摩擦並忽略空氣阻力，磁鐵振動的幅度仍會持續減小

(E)不論磁鐵離開或接近線圈時，線圈對磁鐵的作用力皆為零



22. 如圖所示，為一具永久磁鐵的直流電動機模型，其中 N、S 分別表示磁鐵兩極，I 表示導線中的電流方向。閉合電路後，線圈受磁力作用開始轉動。根據圖示及電流磁效應，下列敘述哪些正確？ (A) 在圖示瞬間，線圈所受合磁力矩為零。 (B) 在圖示瞬間，若由電池朝電動機方向觀察，線圈轉動方向為順時針。 (C) 其能量轉換方式為將機械能轉換成電能。 (D) 在圖示瞬間，若由電池朝電動機方向觀察，導線 ab 所受磁力方向向下。 (E) 此裝置為直流電動機。



23.下列有關質子、中子及電子的敘述，哪些正確？

- (A) 質子、中子與電子皆由更小的夸克所組成。 (B) 拉塞福 (Ernest Rutherford) 根據散射實驗推論，原子核中含有帶正電的粒子，後來稱為質子。 (C) 若兩個原子核具有相同中子數，但質子數不同，則互稱為同位素。 (D) 查兌克於實驗中發現原子核內存在中子，其質量遠大於質子，因此將其命名為中子。 (E) 將質子與中子束縛於原子核內的基本作用力稱為強作用力。

第三部分、題組題(4 題單選, 每題 2.5 分 ;3 題複選題, 每題 3 分, 錯一個選項倒扣 1/5 題分)，將答案填入答案卡中

【看得見的聲音】

聲音除了可供人耳辨識音高與音色之外，也能透過振動形成具有規律性的幾何圖案。18 世紀德國物理學家暨音樂家恩斯特·克拉尼 (Ernst Chladni) 發現：將細沙均勻灑在薄金屬板表面，再利用琴弓沿著金屬板邊緣摩擦，使金屬板產生共振，不同振動模式會形成不同的沙粒排列圖形，此現象後來稱為克拉尼圖形 (Chladni patterns)。

如此由於不同正常模態具有不同的節線 (nodal lines) 與腹部 (antinodes) 分布，因此形成的克拉尼圖形可視為二維駐波振動模式的直接呈現。

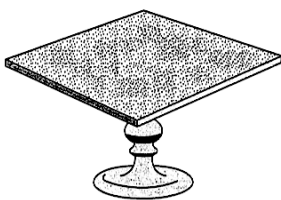


圖 (4)

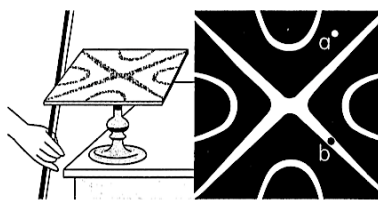


圖 (5)



圖 (6)

圖 (4) 所示，在一塊固定於中央的正方形金屬板上均勻撒布細沙，再以小提琴弓持續摩擦金屬板邊緣，使金屬板振動。當驅動頻率接近金屬板的某一固有頻率時，金屬板會形成二維駐波。振動較劇烈的位置，沙粒會因持續受到振動而跳離原處；振動較微弱的位置，沙粒則逐漸聚集，最後形成穩定的圖案，此題圖 (5) (有標號 a,b 位置的圖) 所示，其中白色線條為沙粒聚集的位置。

若改變琴弓摩擦的位置或施力方式，使金屬板激發出不同的正常振動模態 (normal modes)，則共振頻率及駐波分布皆可能改變，因此可觀察到不同的克拉尼圖形，圖(6)所示。

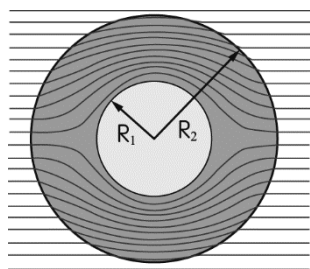
24.根據上述實驗現象及波動概念，判斷下列敘述哪些正確？（複選，應選 2 項）

- (A) 位於圖（5） a 位置的沙粒持續跳動，是因為琴弓施加於金屬板的作用力直接傳遞至 a 點，使該處沙粒劇烈振動。
- (B) 位於圖（5） b 位置的沙粒最後會聚集於該處，主要是因為此處金屬板表面的摩擦力較其他位置大。
- (C) 位於圖（5） b 位置的沙粒最後會聚集於該處，是因為金屬板形成駐波，而 b 位置接近駐波的節點。
- (D) 位於圖（5）所有黑色區域的沙粒皆會劇烈跳動，因為黑色區域全部都是駐波的腹點。
- (E) 若圖（6）對應另一種正常振動模態，則其駐波節線數量比中間圖更多，因此產生右圖時所聽到的共振頻率應高於圖（5）。

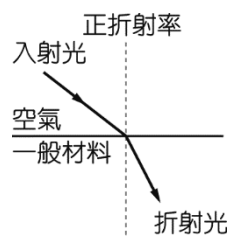
【25, 26 題組：光學隱形技術與超材料】

使物體不易被外界觀察的「隱形技術」，長久以來一直是人類想像與科學研究的重要主題。近年來，科學家設計出一種稱為「超材料」的特殊材料，使操控光線繞過物體的構想逐漸具有實現的可能。超材料並不是自然界中直接存在的物質，而是由人為設計的奈米尺度結構所組成的特殊複合材料。

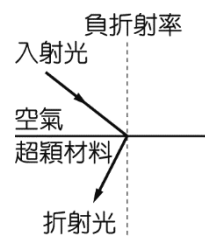
天然材料的物理性質通常取決於其組成元素及原子、分子的排列方式；超材料則可由科學家依照需求，調整其最小結構單元的內部構造、外在形狀、尺寸及排列方式，進而產生自然材料通常不具備的電磁特性。若能適當配置這些微小結構，便可引導光波沿著特定路徑傳播，使光線繞過物體，並在物體的另一側重新回到原來的傳播方向，彷彿光線只是通過一處沒有物體存在的空間，因而產生使物體隱形的效果，如圖（7）所示。圖中淺色區域（半徑小於 R_1 ）代表欲隱形的物體，深色區域（半徑介於 R_1 、 R_2 之間）則表示包覆物體的隱形裝置；由圖可看出，入射光線進入裝置後產生彎曲，繞過中央物體再繼續向前傳播。



圖（7）



圖（8）



圖（9）

一般材料的折射率通常大於 1。依據折射定律，當光線由真空或空氣斜向射入一般材料時，光線會在介面處改變傳播方向；入射光線與折射光線分別位於法線兩側，而且當光由

空氣射入折射率較大的材料時，折射角通常小於入射角。不同於自然界中常見材料的折射現象，經過特殊設計的超材料可以表現出負折射率。此時，光由空氣射入超材料後，折射光線與入射光線會分布在法線的同一側，如圖（8）、圖（9）所示。圖（8）表示光由空氣射入一般材料時的正折射現象；圖（9）則表示光由空氣射入超材料時所產生的負折射現象。

電漿子技術是近年來相當受到重視的新興研究領域。當金屬材料中的結構尺寸縮小到與可見光波長相近，甚至比可見光波長更小時，金屬內的自由電子會與外加電磁場產生特殊的交互作用，使材料的電磁性質發生改變，進而呈現負折射率等特殊光學特性。

光波在介質中的傳播情形，與介電常數 ϵ 及磁導率 μ 有關。若某物質的介電常數與磁導率均接近零，電磁波與該物質之間的交互作用便可能顯著減弱，使光波得以繞過物體而不易受到散射，因而有助於產生隱形效果。超材料可利用具有特殊折射性質的電漿子結構與一般介電材料組合，經過適當的尺寸設計與空間排列，使材料的等效電磁參數趨近於所需要的數值，這是目前較可能實現隱形裝置的方法之一。

然而，現階段多數負折射率與光學隱形實驗，主要仍是在單一頻率或範圍有限的波段中完成。若要讓人眼無法察覺物體，裝置必須能在可見光波段約 400~700 nm 的廣泛波長範圍內同時發揮作用，目前仍有許多技術困難需要克服。依照現今超材料的發展程度，距離製造出能在日常生活中廣泛使用的隱形裝置尚有一段距離；然而，隨著奈米製造與材料控制技術持續進步，未來仍可能研發出具有實際應用價值的隱形材料。

閱讀上文，回答下列問題：

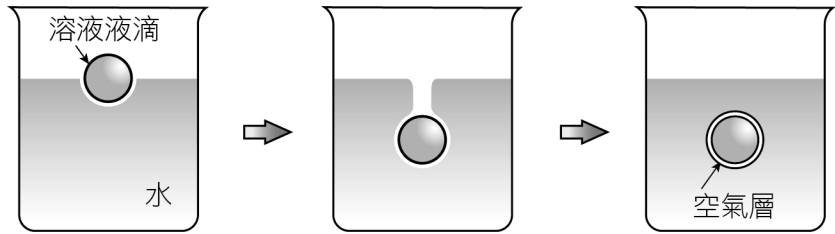
25. 某單色光以相同的入射角，分別由空氣射入甲、乙、丙三種不同的天然介質。已知其折射角大小依序為甲 > 乙 > 丙。根據上述條件，判斷下列敘述何者正確？
- (A) 光在甲、乙、丙三種介質中因光波長不同而有不同的折射角
 - (B) 光在丙介質中的光波長最大
 - (C) 光進入甲介質後的頻率最大
 - (D) 光在甲介質中的光波長最小
 - (E) 光進入丙介質後的頻率最大

26. 依據本文所述，隱形裝置使中央物體不易被觀察到的主要原因為何？

- (A) 裝置吸收物體發出的全部光線，使外界完全接收不到光
- (B) 裝置遮蔽物體，使光線無法進入裝置內部
- (C) 裝置使物體本身轉變為透明介質，讓光線直接穿過物體
- (D) 裝置改變光線的傳播路徑，使光線繞過物體後再繼續前進

【題組：反氣泡的結構與穩定性】Antibubbles: Factors that affect their stability

一般氣泡是由一層薄液膜包圍氣體所形成；反氣泡的結構則相反，它由一層極薄的空氣膜包圍液體，整個反氣泡再浸沒於液體之中。若將含有界面活性劑的水溶液緩慢注入相同的溶液中，注入的液體會先使液面向下凹陷，並將一層空氣帶入液體內部。當液柱與液面分離後，便可能形成外圍包覆空氣薄膜的反氣泡。



反氣泡能夠暫時存在，表示包覆在其外圍的空氣膜不會立刻消失。然而，在浮力、液體阻力、表面張力、外界壓力及空氣膜排流等作用下，空氣膜會逐漸重新分布並變薄；當局部膜厚小到無法維持時，反氣泡便會破裂。因此，研究空氣膜的厚度及其變化，是了解反氣泡穩定性的重要途徑。

研究人員以含有界面活性劑的水溶液製造不同大小的反氣泡，並利用攝影方式測量反氣泡的半徑 r 、上升速率 v 及存在時間。實驗發現，反氣泡在液體中上升一小段距離後，會以近似固定的速率運動。此時可視為反氣泡所受的合力近似為零，即向上的浮力與向下的流體阻力達到平衡。反氣泡的平均密度略小於周圍液體，因此其所受淨浮力可表示為 $F_B = (\rho_\ell - \rho_a)Vg$ 其中， ρ_ℓ 為周圍液體密度， ρ_a 為反氣泡的平均密度， V 為反氣泡體積， g 為重力加速度。由於實驗中的反氣泡雷諾數約為 80，研究人員未直接採用低雷諾數下的史托克斯阻力，而使用修正後的阻力關係： $F_D = 12\pi\eta r v$ 其中， η 為周圍液體的動力黏度。當反氣泡以等速上升時，有 $12\pi\eta r v = (\rho_\ell - \rho_a)Vg$

若將反氣泡近似為半徑 r 的球體，外圍空氣膜的平均厚度為 ε ，且滿足 $\varepsilon \ll r$ ，則空氣膜體積約為 $V_{\text{air}} \approx 4\pi r^2 \varepsilon$

研究人員再利用反氣泡與周圍液體的密度差估計空氣膜中的空氣量，最後得到平均膜厚與可測量物理量之間的關係： $\varepsilon = \frac{3\eta v}{r(\rho_\ell - \rho_a)g}$

在攝氏 20 度的實驗條件下，研究人員測量 38 個反氣泡，求得空氣膜的平均厚度約為 $0.6 \pm 0.3 \mu\text{m}$ 並發現空氣膜厚度 ε 大致與反氣泡半徑 r 成反比： $\varepsilon \propto \frac{1}{r}$

換言之，半徑較大的反氣泡，其平均空氣膜通常較薄。研究人員認為，這是因為反氣泡所包覆的空氣體積隨其大小增加，但球體表面積與半徑平方成正比，因此相同尺度的空氣必須分布於更大的表面積上。

然而，研究人員進一步測量反氣泡的存在時間後，卻發現反氣泡壽命與半徑之間沒有明顯的相關性。兩組實驗所得的相關係數平方分別只有 0.13 與 0.05。這表示雖然較大的反氣泡具有較薄的平均空氣膜，但它們不一定比較容易破裂。因此，反氣泡的壽命不能只由平均

膜厚決定，空氣膜局部厚度的分布及空氣沿著膜面的排流過程，也可能扮演更重要的角色。

為了研究其他影響因素，研究人員在液面上噴灑細小的石松粉顆粒。雖然這些顆粒形成的污染層幾乎無法直接以肉眼辨認，反氣泡的形成成功率卻在第一次噴灑後下降約 60%。研究人員推測，污染物會改變液面的表面張力，使注入的液體無法維持形成空氣膜所需的形狀，因此大幅降低反氣泡的形成機率。

研究人員也比較新鮮溶液與放置數日的界面活性劑溶液。當溶液放置約 3 日後，反氣泡的平均存在時間明顯縮短。隨著溶液老化，界面活性劑可能形成較複雜的微胞結構，使反氣泡運動時出現不規則的側向振盪，造成空氣膜局部壓縮與不均勻排流，因而降低其穩定性。

此外，研究人員利用不同深度所產生的靜水壓力，測量壓力對反氣泡壽命的影響。實驗發現，接近液面時，反氣泡的平均存在時間約為 7 分鐘；當額外靜水壓力約為 22 hPa 時，平均存在時間則降至約 50 秒。由 $P = \rho gh$ 可知，液體深度增加會提高外界壓力。理論估算顯示，增加 20 hPa 壓力只會使平均膜厚減少約 $0.02 \mu\text{m}$ ，單憑此膜厚變化不足以解釋壽命的大幅縮短。因此研究人員推論，外界壓力除了壓縮空氣膜之外，也會加速空氣向反氣泡上方移動，使底部空氣膜更快變薄，最後在局部產生破裂。

綜合實驗結果，研究人員得到以下結論：

1. 反氣泡空氣膜的平均厚度約為微米尺度，且大致與半徑成反比。
2. 反氣泡壽命與其半徑沒有明顯相關，表示平均膜厚並非唯一的穩定性指標。
3. 表面污染主要降低反氣泡的形成成功率。
4. 溶液老化所形成的微胞結構會降低反氣泡穩定性。
5. 外界壓力增加會明顯縮短反氣泡壽命，其影響不只是直接壓縮空氣膜，還可能改變空氣膜的排流情形。

總結，透過這篇文章我們也能學習到一種科學研究過程的方式，建立科學實驗的思考能力。

提出問題 → 建立模型 → 導出公式 → 設計實驗 → 比較數據 → 修正解釋

27. 由平均膜厚與可測量物理量之間的關係： $\varepsilon = \frac{3\eta v}{r(\rho_\ell - \rho_a)g}$ ，若長度、質量與時間的

「單位名稱」分別以代號 L、M、T 表示，則動力黏度 η 的單位可以表示為何？（其中密度、速度、重力加速度都改成單位名稱表示即可整合成最簡化的答案）
(A) $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$ (B) LT^{-2} (C) MT^{-2} (D) MLT^{-2}

28. 在其他條件不變且公式適用的範圍內，下列哪些改變會使反氣泡空氣膜的估計厚度增加？（複選，應選三項）
- (A) 增加周圍液體黏度
- (B) 增加反氣泡上升速率
- (C) 增加反氣泡半徑
- (D) 增加液體與反氣泡的密度差
- (E) 減小重力加速度

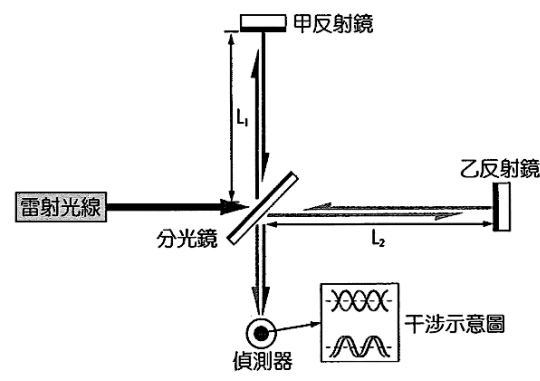
【題組 重力波與 LIGO 干涉儀】

2017 年諾貝爾物理學獎頒發給三位美國科學家，以表彰他們在雷射干涉重力波天文臺（Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory，簡稱 LIGO）的建造與重力波直接觀測上的重要貢獻。重力波是愛因斯坦廣義相對論的重要預測之一，其理論指出：具有質量的天體在加速運動時，會使周圍時空產生週期性的擾動，並以重力波的形式向外傳播。重力波與電磁波相同，都能攜帶能量並以光速傳播，但兩者的本質不同：電磁波是電場與磁場的振盪，而重力波則是時空本身的伸縮。

2015 年 9 月，LIGO 首次偵測到代號 GW150914 的重力波事件。研究發現，該訊號來自兩個黑洞的合併，其質量分別約為 36 倍與 29 倍太陽質量。兩黑洞在彼此重力作用下逐漸靠近，並以越來越快的速度相互繞轉，最後合併成一個約 62 倍太陽質量的黑洞，其餘約 3 倍太陽質量則依據 $E = mc^2$ ，轉換為能量，並以重力波的形式向外輻射。

LIGO 探測重力波的原理如下：

(a). LIGO 的核心裝置是一座米歇耳遜干涉儀（Michelson Interferometer）。如圖所示，雷射光經分光鏡分成兩束，分別沿著互相垂直的兩條干涉臂前進，其長度分別為 L_1 與 L_2 。兩束雷射光到達反射鏡後折返，再回到分光鏡重新疊加，最後於偵測器形成干涉訊號。



(b). 當重力波通過 LIGO 時，會使空間在互相垂直的兩個方向產生極微小且週期性的伸長與壓縮。因此，一條干涉臂的長度增加時，另一條干涉臂會同時縮短，使兩束雷射光的往返光程差隨時間產生週期性改變，進而造成干涉條紋的明暗變化。LIGO 便是利用量測此極微小的干涉變化，推算重力波的存在與性質。

理論指出，雙星系統在互相繞轉時，其軌道角速度愈大，所產生重力波的頻率也愈高；此外，天體質量愈大，重力波振幅通常也愈大，因此可利用重力波訊號推估天體的物理性質。

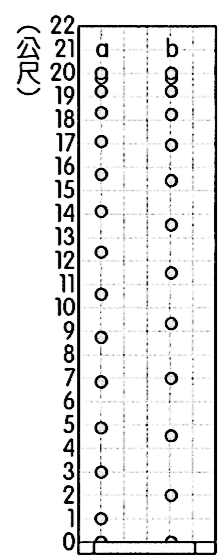
29. 如圖所示，兩束雷射光分別沿著甲、乙兩條干涉臂往返一次後，再於偵測器形成干涉。則兩束雷射光回到偵測器時的光程差 Δd (光徑的路程差) 為何？

- (A) $|L_1 - L_2|$ (B) $\left| \frac{L_1 - L_2}{2} \right|$ (C) $\frac{L_1 + L_2}{2}$ (D) $2|L_1 - L_2|$ (E) $\sqrt{L_1 L_2}$ 。

30. LIGO 能夠偵測重力波，是因為重力波通過干涉儀時，會使兩條互相垂直的干涉臂長度發生極微小的改變，根據上述敘述，下列何者正確？（複選，應選三項）
- (A) 兩束雷射光的光程差將改變。
- (B) 兩束雷射光的頻率會因重力波通過而改變。
- (C) 偵測器上的干涉條紋將隨時間發生變化。
- (D) 若兩干涉臂同時增加相同長度，則干涉條紋仍會改變。
- (E) LIGO 是利用量測光程差的變化來推論重力波的存在。

第四部分、手寫題 (19%)，請將答案寫在答案卷上

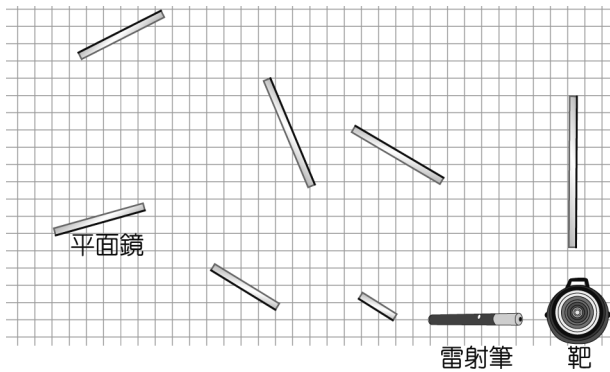
1. (7 分) 自由落體是指物體僅受重力作用時的運動。然而，在實際環境中下落的物體通常還會受到空氣阻力，因此其運動情形可能與理想自由落體不同。
- 某生為探討空氣阻力對下落運動的影響，將兩顆質量、大小與形狀皆相同的小球，分別置於兩種不同環境中，從距離地面 20 公尺處由靜止釋放。實驗過程中，每隔 0.2 秒拍攝一次小球的位置，所得連續影像如圖中的 a、b 所示。圖中每一圓點代表該時刻小球所在的位置，縱軸表示小球距離地面的高度。



- (1). 根據圖中 a 小球各時刻的位置資料，在答案卷的作答區中繪出 a 小球的位置—時間圖 (x-t 圖)。
- 圖中須清楚標示：橫軸所代表的物理量及單位 (1 分)；縱軸所代表的物理量及單位 (1 分)；各測量點與合理的變化趨勢 (1 分)。
- (2). 根據圖中 a 小球的位置變化，描述其下落過程中：
- 2A. 文字描述：速度大小如何隨時間改變？（描述完整才得分, 1 分）
- 2B. 文字描述：加速度大小如何隨時間改變？（描述完整才得分, 1 分）
- (3). 已知 a、b 為相同的小球，兩次實驗除了小球所受空氣阻力不同外，其餘條件皆相同。
- A. 若依據實驗變因的分類及圖中所呈現的運動情形，推斷空氣阻力在此實驗中屬於哪一種變因？（控制變因、操縱變因或應變變因，1 分）
- B. 在此題中那一個小球所受的平均空氣阻力較大？（a 或 b 小球, 1 分）

2. (7 分) 光學的發展使人類得以探索肉眼無法直接觀察的世界，也促成了望遠鏡、潛望鏡、雷射測距及光纖通訊等技術。這些光學儀器的設計，都建立在光線遵循反射與折射規律傳播的原理上。

為了探討平面鏡對光路的影響，老師設計一項光學探究活動。在方格紙上依固定位置擺放七面平面鏡，如圖（一）所示，



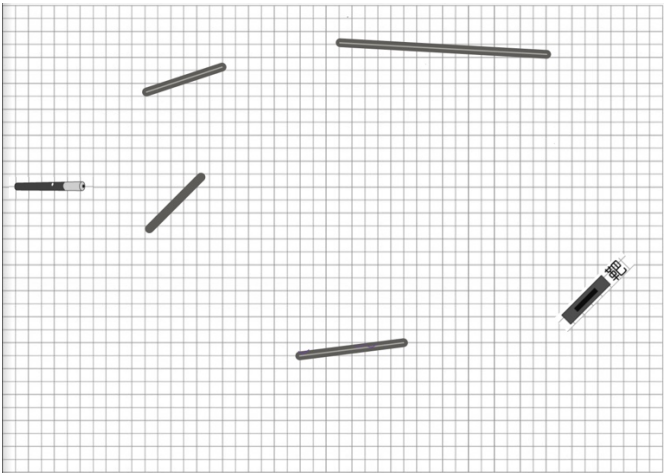
圖(一)

並利用雷射筆作為單色光源。活動中，同學可調整各平面鏡的角度，使雷射光依照預定路徑經多次反射後照射至指定目標，藉此觀察光路變化，並驗證反射定律在多次反射中的應用。請依據光學原理回答下列問題。

- (1) 老師設計此探究活動，主要希望同學理解下列哪一項光學概念？(1 分)
- (A) 光的視察現象 (B) 光線遵循反射定律，可利用多次反射控制光路
(C) 凹凸透鏡的成像原理 (D) 電磁波的繞射現象 (E) 多狹縫干涉
- (2) 如欲使左側雷射筆發出的雷射光，經圖（二）中的平面鏡依序反射後照射至靶心，請依圖中比例在方格紙上完成下列作答。
- 2A. 說明你如何利用方格紙的幾何關係，作出或檢驗各反射點の入射光線與反射光線，使其符合平面鏡反射定律。（2 分）
- 2B. 在圖中畫出完整光路，標示各次反射位置，並以方格紙上的輔助線或格數，呈現各反射點均符合「入射角等於反射角」。（4 分）

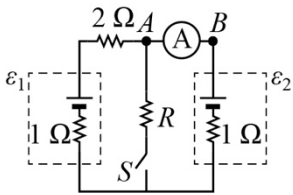
作圖說明

- a. 各反射點可位於平面鏡鏡面線段內的任意位置，不限定在鏡面中點。
- b. 雷射光照射至靶心即可，不限定須垂直射入靶面。
- c. 光線必須依序在圖示各平面鏡的有效鏡面線段上發生反射。
- d. 作圖須依照方格紙比例完成，並呈現各次反射符合平面鏡反射定律的幾何依據。
- e. 僅寫出「入射角等於反射角」，但未說明或呈現如何利用方格紙作圖與檢驗者，A 項不給分。



圖(二)

3. (1) (3 分) 如圖線路中，電池提供電動勢 $\mathcal{E}_1 = 6\text{ V}$ ，內電阻 $1\text{ }\Omega$ ；另一個電池提供電動勢 $\mathcal{E}_2 = 4\text{ V}$ ，內電阻 $1\text{ }\Omega$ ，當開關閉合後，安培計顯示電流為 1 A （假設安培計之內電阻值不計），流經安培計的電流方向為 $B \rightarrow A$ ，求圖中電阻值 R 為多少歐姆？（需寫出計算過程才算分）



- (2) (2 分) 如圖所示的電路，每個電阻均為 r ，則 A 、 B 間的總電阻（等效電阻）為何？（需寫出計算過程才算分）

