

# 2023 年第二十屆國際國中科學奧林匹亞競賽 --理論題試題(上)

國立臺灣師範大學 科學教育中心

時間：4 小時

分數：30 分

## 一般資訊

constant	
Acceleration due to gravity	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
Universal gas constant	$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$
	$R = 0.08206 \text{ L} \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}$
Refractive index of air	$n = 1$
Avogadro's constant	$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Speed of light	$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$
Planck's constant	$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Specific heat capacity of water	$c_w = 4.18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$

**Periodic Table of the Elements**

The periodic table includes the following elements and their atomic numbers:

- Row 1: H (1), He (2)
- Row 2: Li (3), Be (4), B (5), C (6), N (7), O (8), F (9), Ne (10)
- Row 3: Na (11), Mg (12), Al (13), Si (14), P (15), S (16), Cl (17), Ar (18)
- Row 4: K (19), Ca (20), Sc (21), Ti (22), V (23), Cr (24), Mn (25), Fe (26), Co (27), Ni (28), Cu (29), Zn (30), Ga (31), Ge (32), As (33), Se (34), Br (35), Kr (36)
- Row 5: Rb (37), Sr (38), Y (39), Zr (40), Nb (41), Mo (42), Tc (43), Ru (44), Rh (45), Pd (46), Ag (47), Cd (48), In (49), Sn (50), Sb (51), Te (52), I (53), Xe (54)
- Row 6: Cs (55), Ba (56), La (57-71), Hf (72), Ta (73), W (74), Re (75), Os (76), Ir (77), Pt (78), Au (79), Hg (80), Tl (81), Pb (82), Bi (83), Po (84), At (85), Rn (86)
- Row 7: Fr (87), Ra (88), Ac (89-103), Rf (104), Db (105), Sg (106), Bh (107), Hs (108), Mt (109), Ds (110), Rg (111), Cn (112), Uut (113), Fl (114), Uup (115), Lv (116), Uus (117), Uuo (118)
- Row 8: La (57), Ce (58), Pr (59), Nd (60), Pm (61), Sm (62), Eu (63), Gd (64), Tb (65), Dy (66), Ho (67), Er (68), Tm (69), Yb (70), Lu (71)
- Row 9: Ac (89), Th (90), Pa (91), U (92), Np (93), Pu (94), Am (95), Cm (96), Bk (97), Cf (98), Es (99), Fm (100), Md (101), No (102), Lr (103)

## 第一部分

### 物理

#### 榴槿採摘

榴槿因其獨特的味道、外觀和美妙的氣味而被稱為泰國水果之王，可以長到 30 多米高。從如此高的高度採摘帶刺且沉重的榴槿果需要仔細計劃。圖 P-1 展示樹上的榴槿果。



圖 P-1 樹上的榴槿果

本題用物理學探索榴槿採摘過程。

每題都請清楚列出解決問題時使用的所有方程式，並在答案卡的指定空間中標明計算結果。

如有需要重力加速度，請用  $g = 9.80 \text{ m/s}^2$

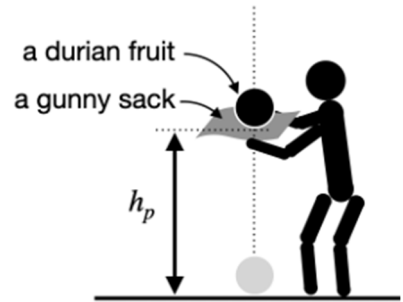
所有數字答案必須包含三位有效數字。

P1.[0.5 pt] 質量  $m_d = 4.00 \text{ kg}$  的榴槿果從離地高度  $h = 12.0 \text{ m}$  的枝條上掉落。不考慮空氣阻力，計算榴槿果落地瞬間的速率。

P2.[1.0 pt] 若衝擊時間為  $\Delta t_i = 2.00 \times 10^{-2} \text{ s}$ ，且榴槿碰撞後不反彈，求榴槿果撞擊地面時施加於榴槿果的平均衝擊力。（衝擊時間是指從榴槿果表面接觸地面到榴槿果靜止的時間。）

P3. [1.5 分] 為防止榴槿果受損，專業採摘者會使用麻袋在其落地前將其接住。考慮與問題 P1 相同的榴槿果，其質量為  $m_d$ ，從相同的高度  $h$  掉落。現在，榴槿採摘者使用麻袋在離地面  $h_p = 1.50\text{ m}$  的高度接住榴槿果，如圖 P-2 所示。假設採摘者對麻袋施加固定的力，使榴槿果恰在接觸地面前停下來。

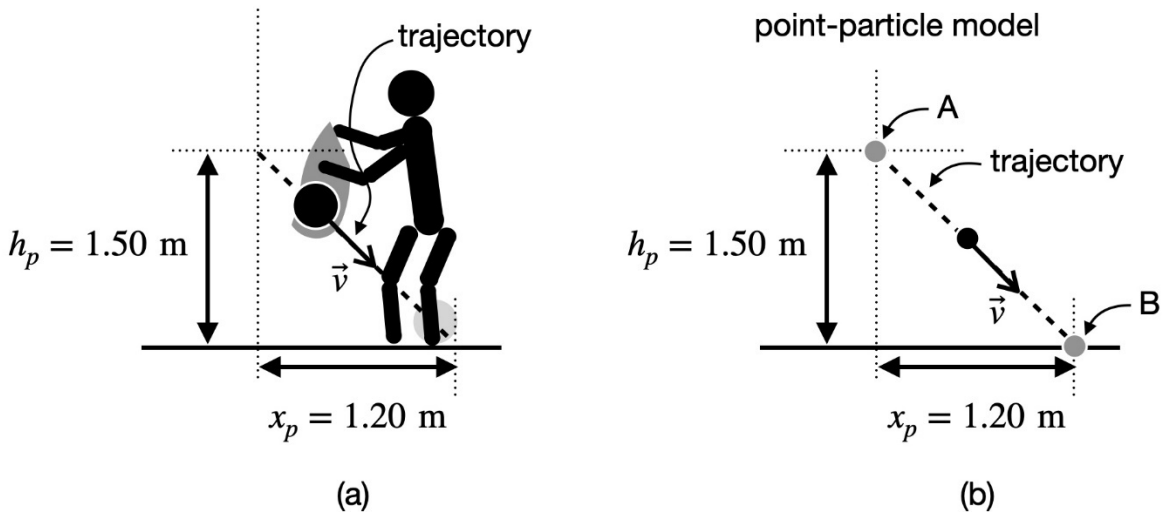
圖 P-2：使用麻袋(a gunny sack) 接住榴槿果(a durian fruit)



- (a) 計算接住過程中榴槿果的加速度。
- (b) 計算採摘者接住榴槿果所用的力的量值。

P4. [1.0 pt]題 P3 中的方法，仍存榴槿果掉落時靠近採摘者頭手的風險，且耗費過多體力反覆降低身體和彎曲膝蓋。更安全有效的方法是採摘者握住麻袋的一個邊緣並擺動它以接住落果。當榴槿果最初接觸麻袋時，採摘者調整落果的方向，使其落在自己的兩腿之間並在落地前停下來，如圖 P-3 (a)所示。

為了簡化問題，忽略速度如何改變方向以及力如何透過麻袋施加到榴槿果上，且假設榴槿果是質點，如下考慮問題。接住過程從 A 點開始，到 B 點結束，



軌跡呈直線，如圖 P-3(b)所示。在 A 點，榴槿果的速度  $v$  與在距離地面  $h_p = 1.50\text{ m}$  處下落的榴槿果的速率一致，如問題 P3 所示，但方向不同。榴槿採摘者在整個軌跡上對榴槿果施加固定的力，使榴槿果完全停在 B 點。

圖 P-3：(a)題 P4 中榴槿果的軌跡(trajjectory)(b)質點模型(point-particle model)簡化問題圖

- (a) 計算此接住期間榴槿果的加速度量值。  
 (b) 計算此接住過程中施加在榴槿果上的淨力 ( $F_{net}$ ) 的量值。

P5. [2.0 pt]

- (a) 在如圖 P-4 所示，答案卷上給定的座標中，題 P4 榴槿果的軌跡上，畫力圖。力圖必須標示榴槿果上的重力  $md\mathbf{g}$ 、淨力  $F_{net}$  以及榴槿採摘者透過麻袋施加的力  $F_{picker}$ 。  
 (b) 計算力  $F_{picker}$  的大小量值及  $F_{picker}$  與 Y 軸之間的角度  $\Phi$  (用度表示)。

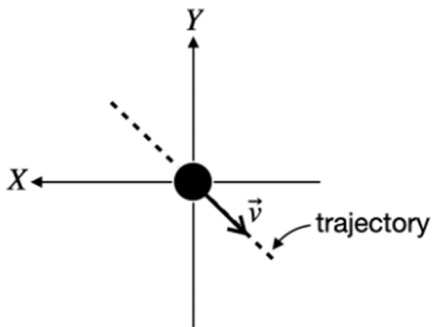


圖 P-4：題 P5 的座標軌跡(trajjectory)

- P6.[2.0 pt] 一個樹枝(branch)上常會發現多個榴槿果。農民必須使用塑膠繩(plastic rope)支撐細樹枝，防止其因榴槿果的重量而斷裂。為了簡化問題，假設長度為  $L = 5.00\text{ m}$  的樹枝的均勻質量為  $m_b = 6.00\text{ kg}$ ，圖 P5 中所有榴槿的質量，每一個均相同，皆為  $m_d = 4.00\text{ kg}$ 。樹枝與樹幹(stem)間的連接處提供  $M_j = 150\text{ N}\cdot\text{m}$  的順時針方向力矩，如圖 P-5 所示。計算塑膠繩的張力。

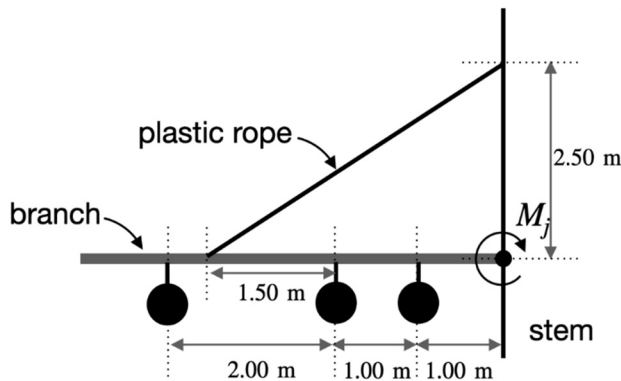


圖 P-5：題 P6 中榴槿果在單一樹枝上的配置。

許多泰南果園在傾斜地形上種植榴槿和其他熱帶水果。掉落的榴槿可能會滾下山坡並造成潛在危險，因此行走於這些果園時必須小心。

P7[1.0 pt] 假設問題 P1、P2 中榴槿果在撞擊前的動能有 0.001% 轉換為聲能，在撞擊過程中均勻輻射。計算與果落地點距離  $r = 10.0 \text{ m}$  時，撞擊聲的音量響度（以分貝為單位，dB）。考慮撞擊聲向各個方向均勻輻射。

附加資訊：音量響度  $\beta$  是其強度  $I = P/A$  的對數度量，此處  $P$  為功率  $A$  為面積。音量響度的定義為

$$\text{其中 } I_0 = 1.00 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2 \quad \beta = (10 \text{ dB}) \log \left( \frac{I}{I_0} \right),$$

P8[1.0 pt] 如問題 P7 所述，若撞擊音量達到 60 dB — 在果園環境中很容易被注意到的程度時，求該點與撞擊點的距離。

## 第二部份

### 化學

泰國的自然資源豐富，素有「世界廚房」之稱。多種重要農產品，包括稻米、木薯、甘蔗、棕櫚油、天然橡膠、多種蔬菜及熱帶水果，生產量位居全球前十位。

問題 C-1 「果中皇后」-山竹

山竹是一種味道微酸甜的熱帶水果，在泰國被譽為「果中皇后」，在東南亞地區用於治療皮膚感染和傷口的傳統藥物。其果皮有高含量的山竹素（黃酮類化合物），具有廣泛的生物活性和藥理特性，如抗癌、抗菌、消炎、抗氧化和活化心血管等，同時具有抗老化、祛痘等療效，常被使用於化妝品和護膚品中。



Mangosteen "Queen of fruit"

C-1.1) (2.5 分) 山竹素分子含有三種元素的原子，山竹素的蒸氣密度是氮氣的 14.65 倍。重量為 1.000 克的純山竹素在過量氧氣中燃燒，僅生成水和二氧化碳。

水被收集在吸收器中，該吸收器的重量變化為 0.570 g。另將二氧化碳單獨收集在內有 2.00 M、100.00 cm<sup>3</sup> 氫氧化鈉溶液(NaOH) 的吸收器。

取 25.00 cm<sup>3</sup> 的該溶液、加入 5 滴甲基橙做作為指示劑 (pH 變色範圍 3.2-4.4)，並使用 2.00 M 鹽酸溶液(HCl) 進行滴定，共消耗 25.00 cm<sup>3</sup> 體積的 HCl 溶液完成滴定。

相同體積的該溶液、使用酚酞作為指示劑 (pH 變色範圍 8.3-10.0)，需要 2.00 M 鹽酸溶液 (HCl) 17.70 cm<sup>3</sup> 溶液完成滴定。

推導出山竹素的化學式。(H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; K<sub>a1</sub> = 4.2×10<sup>-7</sup>, K<sub>a2</sub> = 4.8×10<sup>-11</sup>)

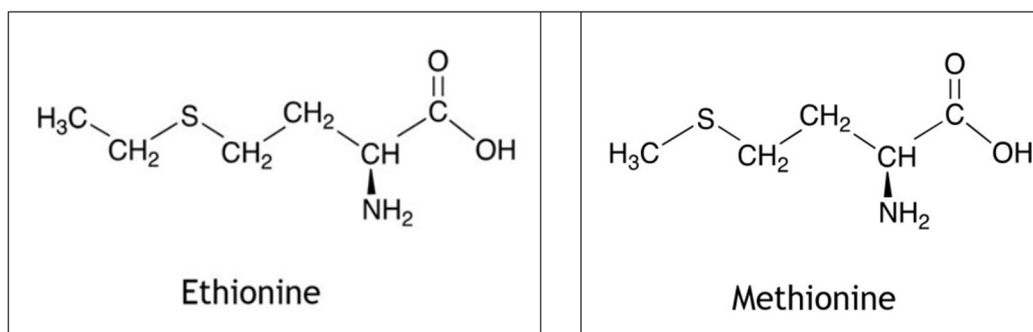
Question C-2 泰國是世界上最大的榴槿出口國之一，年產量約 70 萬噸。榴槿由於含有不同的植物化學物質 (包括有機硫化合物、酯類和醇類)，其香氣、味道和質地會因品種 (cultivar) 而異。

榴槿獨特的刺激性氣味源自於二乙基二硫醚(CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>SSCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>) 等的有機硫化合物。

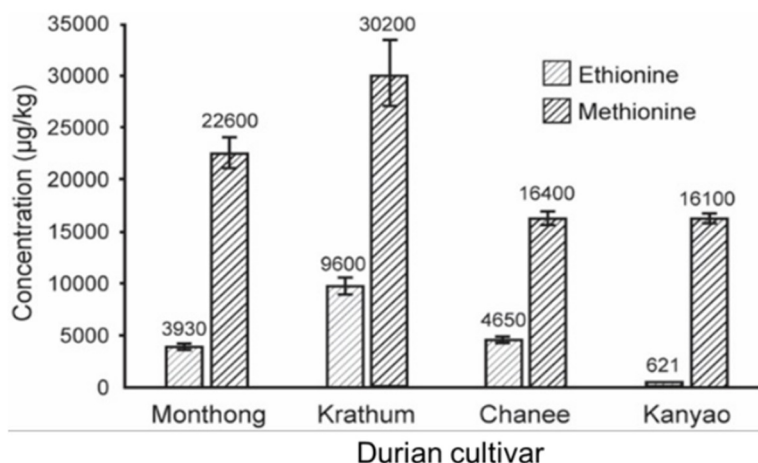
乙硫醇(CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>SH)被認為是榴槿產生其他揮發性有機硫化合物的重要前驅物。

透過複雜的生物合成途徑，乙硫醇可由乙硫氨酸(Ethionine)或甲硫氨酸(Methionine)產生。

假設乙硫氨酸或甲硫氨酸，以 1:1 的摩爾比例轉化成乙硫醇。



下圖顯示了泰國最著名的四種不同榴槿品種中含乙硫氨酸(ethionine)與甲硫氨酸(methionine)濃度：金枕頭(Montong)、金紐 (Krathum)、青尼 (Chanee) 和乾堯 (Kanyao)。



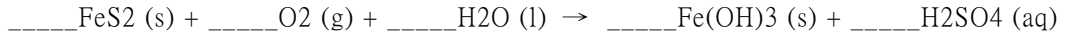
C-2.1) (2pt) 乙硫醇可以與過氧化氫反應生成二乙基二硫醚(diethyl disulfide)和水。在 160.00°C 和 0.5000 atm (1 atm = 1.013x10<sup>5</sup> Pa)下，100 克的金枕頭(Montong)木漿和過氧化氫反應。由乙硫氨酸路徑所生產的二乙基二硫醚有多少公升？寫出可平衡的化學方程式，並以正確的有效數字作答。假設二乙基二硫醚在此條件下視為理想氣體。

C-2.2) (1.5pt) 如果在 160.00 °C 和 0.5000 atm 條件下，由 100.0 g 金紐 (Krathum)木漿中檢測到 500 × 10<sup>-6</sup> L 的二乙基二硫醚氣體。此木漿中的硫轉化到二乙基二硫醚的百分率為何？你要用正確的有效數字作答，並寫出詳細的計算過程。假設二乙基二硫是金紐(Krathum)木漿中唯一測到的有機硫化物氣體，且在此條件下視為理想氣體。

Question C-3 在泰國南部，土壤酸化被認為是農業的一個嚴重問題。這是由於洪水導致沼澤土壤在水乾後變成酸性。20 世紀 70 年代初，已故國王普密蓬·阿薩德 (Bhumibol Adulyadej) 陛下訪問該地區，他發起了 “Klang-Din project”

來解決問題。利用反覆乾燥並濕潤土地來加速土壤中的化學反應，將土壤的酸度提到最高，然後控制地下水位防止硫酸釋放，施加石灰原料、以水沖洗等技術對土壤進行脫酸，然後種植特定的農作物。國王陛下的技術把荒地變成了耕地。

C-3.1) (1pt) 黃鐵礦 (Pyrite)是土壤中發現到的二硫化鐵礦物，含有雙硫離子 (S<sub>2</sub><sup>2-</sup>)。它與氧氣反應，並透過以下反應導致土壤酸化：



以填空方式完成方程式並寫出平衡過程的方法。

C-3.2) (1.8pt) 1 kg 的土壤中含有 2.4 g 黃鐵礦，並將此黃鐵礦透過完全氧化處理後得到含有硫酸的溶液 5.0 L。該溶液的 pH 值為何？pH 只與硫酸有關。並假設硫酸並無與土壤中的其他成分發生反應，例如 Fe(OH)<sub>3</sub>。(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 第一個質子完全解離，K<sub>a2</sub> of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 1.0×10<sup>-2</sup>)

C-3.3) (0.7pt) 碳酸鈣(CaCO<sub>3</sub>)是一種常用於中和土壤酸度的石灰原料。依據 C-3.2情況下，中和此溶液所需要碳酸鈣(CaCO<sub>3</sub>)的最小重量為何？(將答案四捨五入到小數點後兩位)

C-3.4) (0.5pt) 碳酸鈣 CaCO<sub>3</sub>(s) 的晶格能為 2804 kJ/mol。鈣離子的水合能(ΔH<sub>hydr</sub> of Ca<sup>2+</sup>(g)) 為 -1579 kJ/mol，碳酸根的水合能(ΔH<sub>hydr</sub> of CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>(g))為 -1389 kJ/mol。使用這些數據來計算碳酸鈣的溶解熱(kJ/mol)，並寫出你的計算方法。

分別以(s), (l), (g)和 (aq) 來表示固態、液態、氣態和水溶液。

【待續】