

2018 年第十五屆國際國中科學奧林匹亞競賽 --理論題試題

國立臺灣師範大學 科學教育中心

時間：3 小時

分數：30 分

【生物試題】

Q1. [1.5 marks]

波扎那的 Okavango 三角洲是世界上最大的島嶼型三角洲，於 2014 年列入世界遺產。由於此地動植物種類繁多，因而成為熱門的景點。Okavango 三角洲的沼澤區最深處可達 7 公尺，此區的動植物屍體沉積於底部，分解而產生生物氣體，遊客舟遊時，常可看到它所形成的氣泡。



圖片來源：<http://www.wafb.com/>

a) [0.3 marks] 在下方所列的氣體中，選出氣泡內的 2 項主要氣體成分，將正確答案的字母代號填入答案卷的空格中

- A. C₃H₈
- B. CH₄
- C. CO
- D. CO₂
- E. H₂
- F. O₂

b) [0.3 marks] 生物氣體有哪些應用? 在所提供的選項中，選擇正確的 3 項，並在答案卷的空格中填入其字母代號

- G. 暖氣
- H. 發酵
- I. 煮食
- J. 汽車燃料
- K. 肥料
- L. 純化

c) [0.4 marks] 動植物的物質被沼澤底層的細菌所分解，判斷下列與分解過程有關的敘述是正確或錯誤的，在答案卷適當的空格中畫叉作答

- A. 沼澤底層動植物物質的分解是一個需氧的過程
- B. 分解作用所產生的氣體是來自細菌代謝過程所產生的代謝廢物
- C. 細菌分解動植物物質的生化過程中不需要水分子
- D. 沼澤底層動植物物質的分解所獲得的能量，大於在水面表層分解相同動植物物質所獲得的能量

d) [0.25 marks] 在特定溫度中產生生物氣體的細菌具有較高的活性。一位導遊多年來觀察到在夏季的月份裡，氣泡的數量較多。

下列為與此項觀察有關的可能解釋，針對這些可能的解釋，判斷它們是正確或錯誤的，在答案卷中代表正確或錯誤的空格中畫叉。

- A. 在較高的溫度中細菌增生較快
- B. 細菌的酵素在接近其最適當速率下作用
- C. 較多的酵素-反應物的複合體生成，所以可製造出更多的生物氣體
- D. 酵素與反應物分子的活化能下降
- E. 細菌的酵素開始變性

- e) [0.25 marks] 過氧化氫是一具高度活性的含氧分子，細菌若不具有可分解它的酵素，就會被過氧化氫殺死。當一個環境中的水樣本含有可在缺氧環境下分解動植物物質的細菌，被加入一滴過氧化氫後，無氣泡形成。

對這樣的觀察，何者為最可能的解釋？在答案卷的空格中填上正確答案的字母代號。

- A. 具有且表現過氧化氫酶的基因
- B. 不具有或不表現過氧化氫酶的基因
- C. 氣泡的形成與過氧化氫酶的存在與否無關

Q2. [3.25 marks]

一個族群的遺傳結構可由基因型以及等位基因比例頻率檢測。某一族群，有 350 個個體具有 AA 的基因型，有 100 個個體具有 Aa 的基因型，有 150 個個體具有 aa 的基因型。

- a) 下列基因型的頻率為何？

a-1) [0.25 marks] AA

a-2) [0.25 marks] Aa

a-3) [0.25 marks] aa

- b) 此族群的下列等位基因頻率為何？

b-1) [0.5 marks] A

b-2) [0.5 marks] a

- c) 當長時間等位基因及基因型的頻率維持不變即為基因平衡。哈溫定律的公式 ($p^2+2pq+q^2=1$ ，其中 p 為第一個等位基因的頻率， q 為第二個等位基因的頻率)顯示在特定狀況下，一個族群可以維持基因平衡，例如：等位基因及基因型頻率長時間維持定值。同基因型染色體的基因型預期頻率可以 p^2 及 q^2 表示，異基因型染色體的預期頻率則為 $2pq$ 。

若此族群處於基因平衡狀態，預期基因型的頻率為何？

- c-1) [0.5 marks] AA
 c-2) [0.5 marks] Aa
 c-3) [0.5 marks] aa

Q3. [3.75 marks]

在波札那，柯匹國家公園面積 11700 平方公里的範圍內，非洲象(*Loxodonta africana*) 過往的族群紀錄如下表：

| | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2008 | 2010 |
| 族群大小 | 24500 | 26650 | 28650 | 29000 | 29500 | 31000 |

- a-1) [1.0 mark]用所提供的方格紙，將上表的數據畫出族群大小對應年份的圖形
- a-2) [0.5 marks]畫出你的趨勢線，並定出此線的方程式
- a-3) [0.5 marks]從 1990 到 2010 大象族群的平均成長率為何？
- a-4) [0.5 marks]推估到 2019 年時，大象的族群大小為何？
- b) [0.5 marks]計算出柯匹國家公園在 1995 和 2010 族群密度的差異
- c) [0.5 marks]大象棲息的植物棲地中，常可觀察到大型植物的死亡。這是因為在乾旱季節，大象啃食樹皮，最終導致大型植物的死亡。每頭大象每天進食 200 公斤，其中 35%是從植物樹皮剝下的。計算出在 1995 年被剝下樹皮的總量。
- d) [0.5 marks] 200公斤進食的物質中，136公斤以排泄方式回歸環境，這對物質動態變動也許是好事，但所有廢棄物累積，會造成火災的風險。計算出大象每天實際消耗物質的百分比。

Q4. [1.5 marks]

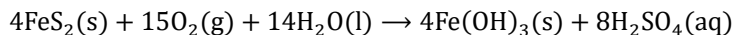
動物細胞由細胞膜包圍。細胞膜的分子依照其性質及功能，在膜上有特定的排列位置及方式。

下表中的有與細胞膜相關的名詞，判別這些名詞與膜內層(細胞膜內夾層)與外層表面的關聯，在答案卷上完成此表。有些名詞可能都適用、有些名詞可能都不適用，有些名詞可能只適用其中之一。名詞適用時用 “+” 表示，若此名詞不適用時用 “O” 表示。

| | 內層 | 外層 |
|-------|----|----|
| 厭水性 | | |
| 親水性 | | |
| 脂肪酸尾端 | | |
| 核糖體 | | |
| 離子通道 | | |
| 寡糖 | | |

【化學試題】**鎳礦的酸礦排水與空氣汙染**

酸礦排水(AMD) 是世界各地礦業的主要環境問題之一，造成酸礦排水的主要礦物是硫化鐵(黃鐵礦)，硫化鐵在不接觸到氧氣與水的情況下是穩定且不溶的，當含有硫化鐵的廢礦石暴露到氧氣、水與鐵硫桿菌，黃鐵礦會氧化產生 AMD，反應如下



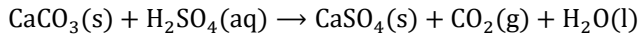
BCL 是波札那的一家銅鎳礦業公司，每日開採生產 450 噸礦石，在銅鎳濃縮過程會產生含有 5.00% 黃鐵礦的固體廢棄物，因此 BCL 遇到了以下 AMD 問題：

- 中和後的水以 300 m³/h 的流量排入公共水道，廢水未低於 500 mg/L 硫酸鹽的許可排放標準。
- 中和廢水的成本很高，因為需進口石灰
- 大量的酸水滲漏造成礦區附近土地破壞

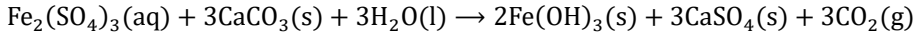
為克服這些問題，BCL 建造一座新的化學中和廠來處理 50 m³/h 的 AMD，處理過程

如下：

- 以石灰石中和酸性



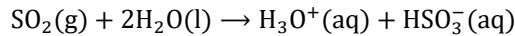
- 鐵離子沉澱反應：



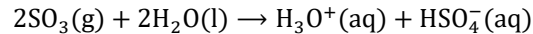
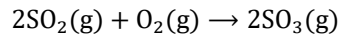
在廢水處理過程中，含有濃度 100 mg/L 亞鐵離子 iron(II)的紅湖水被作為水源(流量 50.0 m³/h)，觀察到以下現象：

- 酸度由 1100 mg/L 降至 50.0 mg/L (以 CaCO₃計之)
- pH 由 1.9 升至 6.0

據報 BCL 公司每年排放 534,000 公噸的二氧化硫與 330,000 公噸的二氧化碳到大氣中，二氧化硫可能與水結合形成亞硫酸，是一種弱酸：



此外，當空氣中有懸浮微粒或氣膠時，二氧化硫可與空氣中的氧反應形成三氧化硫，與水結合後形成硫酸：



硫酸是一種強酸，對土壤的傷害很大，尤其是造成鈣離子的流失，多數土壤含有的黏土粒子被層層的離子所包圍，其中也包括 Ca²⁺，然而黏土粒子上的 Ca²⁺可以被硫酸的氫離子取代。

Q5

5a. [0.5 point] 若以氫氧化鈣代替石灰石，請分別寫出中和反應與沉澱反應的平衡化學反應式。

5b. [1.75 point] 若 BCL 的銅鎳工廠產生一噸的固體廢棄物，黃鐵礦的氧化會產生多少公斤(kilogram) 的 Fe(OH)₃?

5c. [0.5 point] 依據前述流量，在 2.00 小時中，計算紅湖水中共有多少克的亞鐵離子 iron(II) 被抽入化學中和廠？

5d. [1.0 points] 當含有濃度為 100 mg/L iron (II)的紅湖水被用作化學中和廠的水源，廢水的 pH 由 1.9 上升到 6.0，請問每一公升溶液中有多少莫耳(mole)的 H^+ 被中和?

5e. 研究指出 iron (II)的生物氧化速率

$$rate = -\frac{d[Fe^{2+}]}{dt} = kA[Fe^{2+}][O_2]^{0.5}$$

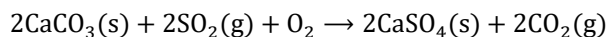
其中 k 是速率常數, A 是反應槽面積, $[Fe^{2+}]$ 是 iron(II)濃度且 $[O_2]$ 是氧氣濃度

5e-1. [0.15 point] iron(II)的反應級數是多少? 寫數字。

5e-2. [0.25 point] 在 BCL 測得 iron (II)的氧化速率最大為 $16.1 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，如果反應槽面積變成原來兩倍，體積不變，反應速率是多少?

5e-3. [0.5 point] 當氧氣壓力變成原來兩倍，最大反應速率是多少?

5f. [2.0 points] 清除燃煤廠排放 SO_2 的方法之一是將排放氣體通過碳酸鈣泥漿，發生以下反應：



BCL 使用來自製紙工業的副產物粉狀碳酸鈣，其中含有 35.0%雜質，如果清除反應效率只有 90.0%，需要用多少噸的碳酸鈣來清除 1 噸的 SO_2 ?

在碳酸鈣的分解實驗中，學生將 50.0 g 的粉狀 $CaCO_3$ 放入固定 1.00 L 的容器，將容器密封並抽出所有氣體，然後在爐子裡加熱到 1100 K，在加熱的同時量測容器中 CO_2 的總壓力，壓力穩定上升直到 12 分鐘後達到最大的 1.04 atm，之後壓力維持定值即使持續加熱。學生重覆此實驗，不過這次加入 100.0 g 的粉狀 $CaCO_3$ 樣品，此次實驗中容器內的最終壓力為 1.04 atm，與前一次相同。

5g. [0.6 point] 計算容器加熱 20 分鐘後容器內 CO_2 莫耳數。(R= $0.082 \text{ L}\cdot\text{atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; R= $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$.)

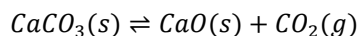
5h. 20 分鐘後將若干 CO₂ 注入容器內，使壓力在同一定溫下先暫時上升到 1.5 atm。

5h-1. [0.25 point] 容器內的最終壓力將是？

勾選正確答案

| | |
|-------------|--|
| 小於 1.04 atm | |
| 大於 1.04 atm | |
| 等於 1.04 atm | |

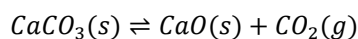
5h-2. [0.25 point] 根據下列反應平衡會向哪一方向移動？



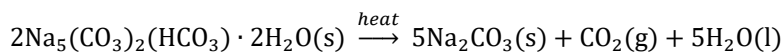
勾選正確答案

| | |
|------------|--|
| 向右 (產物方向) | |
| 向左 (反應物方向) | |
| 不變 | |

5i. [0.25 point] 平衡常數可以分壓表示 (K_p)或以濃度表示(K_c)，計算 CaCO₃ 在 1100 K 分解時的平衡常數 K_p。



Q6. [1.5 point] 根據以下方程式，天然鹼礦也是碳酸鈉的來源之一



請問用 0.850 噸的天然鹼可產生多少公斤(kg)的碳酸鈉？

Q7. [0.5 point] 空氣中的 CO₂ 溶於水中會形成與水中的碳酸。

空氣中 CO₂ 的分壓在 25 °C、飽和水氣下為 3.04×10^{-4} atm，CO₂ 在水中的亨利常數(Henry's constant)是 $2.3 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$ ，請問在 25 °C 雨水中的碳酸濃度？

【物理試題】

Q8. [1.40 points]

救護車發出頻率為 300.0 Hz 的號笛聲，以速度 90.0 km/h，駛向靜止的觀察者。當時氣溫為 38.0°C，且聲速為：

$$v_s = 331.3 + 0.606 \times T_c;$$

其中 v_s 是速率，以 m/s 為單位，且 T_c 是以 °C 為單位的溫度。

計算當救護車接近時，觀察者聽到的號笛聲頻率。

Q9 [1.55 points]

駕駛員以車速 33.2 m/s 在水平直路上行進時，發現前方 60.0 m 遠處有牛橫過馬路。若該駕駛員的反應時間為 0.20 s。假設該車以等加速度減速，計算能停止且恰不撞到牛的加速度為何？

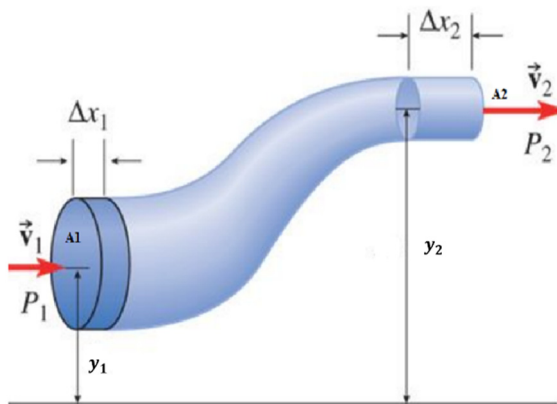
Q10 [2.55 points]

莫堡的農夫通過直徑由 0.35 m 縮減至 0.25 m 的管子(如右圖)，由奧克河以幫浦取水。農田位於海拔 960.0 m 處，而河的海拔高度為 940.0 m。幫浦汲水的壓力為 670.0 kPa。此壓力 P ，流速 v ，水密度 ρ (1000 kg/m^3) 和抬升高度 y 間，遵守白努利方程式：

$$\frac{P}{\rho} + \frac{1}{2}v^2 + gy = \text{constant},$$

水流通過管子的流率 Q ，符合連續方程式： $Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$ ，

此處 A_1 和 A_2 是管子的截面積。(水流為不可壓縮的層流。取重力加速度 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$)。



若水在河流汲水入口處的速度為 1.30 m/s,

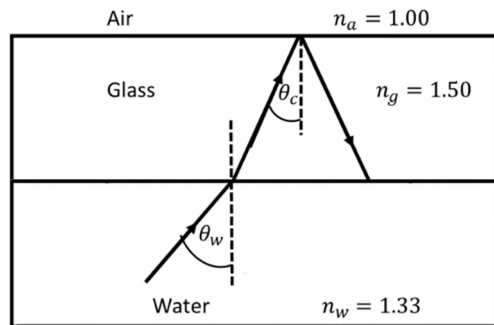
- a) [0.85 points] 計算通過管子到農田處的水流速度。
- b) [0.9 points] 計算農田處的水壓。
- c) [0.8 points] 計算填滿農田處 50000 公升的儲水槽，需時多久？

Q11. [1.9 points]

某遊戲設定贏的條件如下:質量 60.0 g 的 A 球撞擊靜置於桌子邊緣質量 20.0 g 的 B 球。桌高 1.225 m，且撞擊後，A 球落地時與桌緣的水平距離為 1.0 m，而 B 球落地時與桌緣的水平距離為 2.0 m。計算為了贏得此遊戲，A 球撞擊 B 球前的速度。(設重力加速度 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$)

Q12 [2.6 points]

- a) [1.1 points] 某生在水下用手電筒以 θ_w 的角度入射玻璃板如圖示。改變 θ_w ，觀察光線可能穿過玻璃板或在內部全反射。求造成玻璃-空氣介面全反射的最小 θ_w 的角度為何？



- b) [1.5 points] 光線由空氣以入射角 θ_1 入射一厚度 t 的矩形玻璃板，空氣-玻璃介面的折射角度 θ_2 。
- b-1) [0.6 points] 畫出光線經玻璃板的路徑圖，並標示各角度 θ_1 和 θ_2 。
- b-2) [0.9 points] 求在入射線延長線與出射線間的垂直距離 s 的表示式，用角度 θ_1 和 θ_2 和 t 表之。