

2022 年第十九屆國際國中科學奧林匹亞競賽 --理論題試題(下)

國立臺灣師範大學 科學教育中心

第二大題

第一部份

在哥倫比亞奧里諾科省，農民可以選擇不同的肥料來達到150 公斤/公頃(kg/hectare)的氮磷鉀NPK 14.0-23.0-14.0需求標準(這些數字是指每個元素的質量百分比)，農生牌(Agrigrow)販售純度80%的硝酸銨(ammonium nitrate(v)) 價格\$1.40/kg，樂植牌(Happy plants)販售純度95%的硝酸鉀(potassium nitrate(V))價格\$0.720/kg

1. [0.50 分] 算出各別肥料等同每公斤氮的價格(\$/Kg)

農生牌 Agrigrow _____

樂植牌Happy Plants _____

2. [0.50 分] 每公頃玉米田應施加多少質量的農生牌肥料，以達成最低氮含量的標準需求？以公斤為單位回答。

每公頃需多少公斤的農生牌肥料 _____.

3. [0.50 分] 寫出水中氨(ammonia)與水中溶氧在鹼性環境下，反應轉換成亞硝酸離子(nitrate(iii) ions) 的氧化還原平衡方程式。(可忽略狀態)

氧化還原反應式_____.

4. [0.50 分] 如果農民在每公斤含有 150 mL 水的表土中添加 0.85 克硝酸銨，那麼該表土水中的銨離子濃度是多少？ pH 值是多少？ 假設銨離子的 K_a 為 5.60×10^{-10} 且銨離子為 H^+ 的唯一來源，忽略其他 H^+ 來源。

銨離子濃度 _____ mol/L (0.25 分)

表土水 pH 值 _____ (答案至小數點後二位) (0.25 分)

5. [0.50 分] 大多數的玉米農使用磷酸(hydrogen phosphate(v)) 來提供玉米作物對磷的需求，一市售磷肥分別含有磷酸氫鈉(sodium monohydrogen phosphate(v))和磷酸二氫鈉(sodium dihydrogen phosphate(v)) 各 40%的質量比。農民應該以每公頃多少公斤 (kg/hectare)的量來施用這種磷肥?)

每公頃用多少量(kg) _____...

6. [0.75 分] 這種磷酸鹽混合物在地下水中形成緩衝溶液，已知磷酸二氫根(dihydrogen phosphate(v))的 K_a 是 6.30×10^{-8} ，只根據磷酸氫根與磷酸二氫根平衡，計算此土壤中緩衝液的 pH?

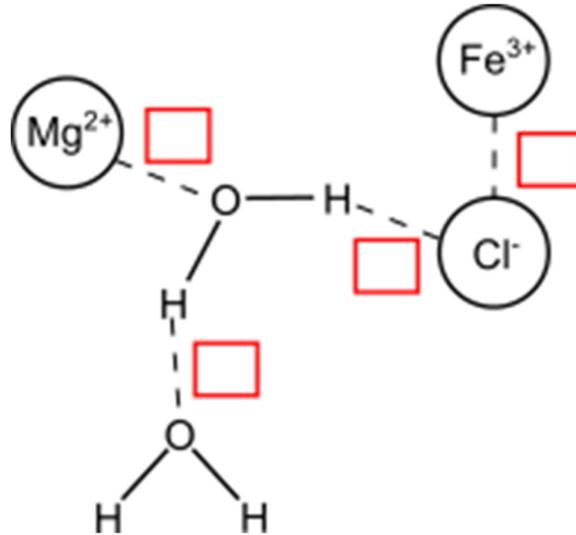
緩衝液的 pH _____ (小數點後 2 位)

第二部份

奧里諾科(Orinoco)省的土壤含有植物必需的礦物質，例如鈣和鎂離子，它們以離子形式鍵接在植物分解的有機物：

1. [1.00 分] 利用在下圖中的方框中填入正確的字母，來識別土壤中離子和分子之間的作用力的類型

A = Hydrogen bonds, B = ion-dipole interactions, C = ion-ion interactions



2. [0.50 分] 土壤的陽離子交換量 (CEC) 是測定土壤保留植物養分陽離子的量度， 預測下列的離子-偶極引力何者最強？在所選空格中標註 X

離子	Fe^{3+}	Mg^{2+}	Cl^-	Ca^{2+}	Fe^{2+}	NO_3^-
選最強的						

3. [1.0 分] 土壤的酸鹼度決定了磷酸根的溶解度，磷酸鈣與磷酸鐵(iron(iii) phosphate(v)) 的 K_{sp} 分別為 2.07×10^{-33} 與 9.84×10^{-16} ，A 土壤主要是磷酸鈣，B 土壤主要是磷酸鐵，在各自的土壤溶液中，在 pH 7.0 時，計算何者有較高的磷酸根離子(phosphate(v) ions) 且濃度比另一個高出多少倍?(假設沒有鐵離子與磷酸根水解)。

哪個土壤濃度較高_____

高多少倍 _____

4. [0.75 分] 有些農民使用化學殺蟲劑馬拉硫磷防治玉米莖螟蛾幼蟲，他們需要計算如何稀釋原液以達到正確的現場使用濃度，馬拉硫磷建議用量為 每 m^2 施放 0.050 g ，每 100 mL 馬拉硫磷原液中含有 57 g 馬拉硫磷，農民的土地面積為 7500 m^2 ，此外，農民還添加了體積相當於馬拉硫磷原液 5.0% 的潤濕劑，計算農民填滿一個的噴灑罐(40 L)所應添加的所有化學品和水的個別體積。

馬拉硫磷原液體積 _____ [0.25 分]

潤濕劑體積 _____ [0.25 分]

水的體積 _____ [0.25 分]

5. [0.75 分] 農民的噴霧罐由鐵製成，並用一對螺栓修理，一個螺栓由鋁製成，另一個螺栓由銅製成，在使用幾次藥劑後，注意到其中一部份金屬發生腐蝕，選出農民會在何處觀察到腐蝕。

標準還原電位是拉電子力的一種度量，電位越高拉電子越強，這些金屬的標準還原電位如下：

Reaction	$E_0(\text{V})$
$\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})}$	+0.34
$\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$	-0.04
$\text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}_{(\text{s})}$	-0.44
$\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}_{(\text{s})}$	-1.66

在合理的選項內打X

選項	腐蝕位置
	在鋁製螺栓被弄濕的部分
	在銅製螺栓被弄濕的部分
	在鋁製螺栓上弄濕和經常摩擦的部分
	在鋁製螺栓周圍弄濕的鐵上
	在兩個螺栓附近乾燥的鐵上
	在銅製螺栓周圍弄濕的鐵上

第三部份

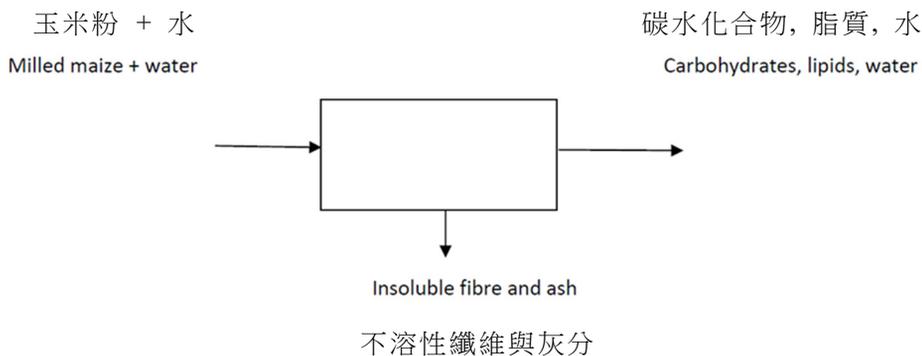
發酵和蒸餾

玉米可直接供人類和動物食用，但也可生產乙醇作為替代燃料，或加工成玉米糖漿，將玉米粒轉化為乙醇需要以下生產步驟：研磨和浸泡、煮沸、冷卻和酶水解、酵母發酵、離心和分子過濾前的最後蒸餾，研磨的玉米粉含有以下成分。

成分	重量 %
水分 (H ₂ O)	9.6
灰分 (金屬與氧化矽)	1.7
蛋白質	10.7
不溶性纖維	2.2
碳水化合物	70.4
脂質	5.4

(來源: FAO)

1. [0.50 分] 一家玉米乙醇廠每天加工 5000 噸玉米粉，每公斤玉米粉需添加 2.50 L 水，計算進出酶消化過程的質量流速(kg/s)，並在下圖中標示：



玉米粉與水的流入質量流速 _____

不溶性纖維與灰分的流出質量流速 _____

碳水化合物, 脂質, 水的流出質量流速 _____

2. [0.50 分] 將碳水化合物、脂質和水的混合物添加到含有酵母 (*Saccromyces ceresisi*) 的批次發酵槽 (4000L) 中，在 35.0 °C 下，酵母在該槽中以每秒 2000 moles 葡萄糖 ($C_6H_{12}O_6$) 的速度快速生長並進行厭氧呼吸，酵母水解碳水化合物的無氧呼吸可以表示為：



計算將發酵槽保持在 35.0 °C 所需的冷卻水流量(kg/s)，假設沒有其他熱損失，冷卻水的比熱為 $4.18 \text{ J/g} \cdot \text{K}$ ，流入的水溫為 5.0 °C，流出溫度為 30.0 °C。

冷卻水流量 _____ kg/s

3. [0.50 分] 在發酵過程中，某一批被細菌污染，可以利用將 pH 值從 6.00 降低到 1.95 來殺死這些細菌，過量的酸並不會與碳水化合物、脂質或酵母發生反應，計算改變該批反應的 pH 到 1.95 值需要多少體積的 2.50 M 硫酸？(假設硫酸完全解離且加酸過程體積不變)。

所需加入 2.50M 硫酸體積 _____ L

4. [0.75 分] 在高效發酵中，86.0% 的碳水化合物($C_6H_{12}O_6$)被酵母轉化為乙醇 (C_2H_5OH) 和二氧化碳，在 32.0 °C 的溫度和 101kPa 的壓力下，酵母從內有 1400kg 玉米粉的 4000 L 槽中，可產生多少體積的二氧化碳？($R = 8.314 \text{ J/mol.K}$)

產生二氧化碳的體積 _____ m^3

5. [0.50 分] 蒸餾產生的乙醇以分子篩過濾除去水分，並添加到汽油中作為替代燃料，燃燒焓為：辛烷 -5470 kJ/mol ，乙醇 -1371 kJ/mol ，液體密度：辛烷 703 kg/m^3 ，乙醇 789 kg/m^3 ，計算燃燒 1.00 L 的 80.0/20.0 (v/v) 辛烷/乙醇混合燃料，辛烷與乙醇的分子式分別為 C_8H_{18} 與 C_2H_5OH 。

燃燒 1.00 L 的混合燃料所放出的能量.....kJ.

第三大題

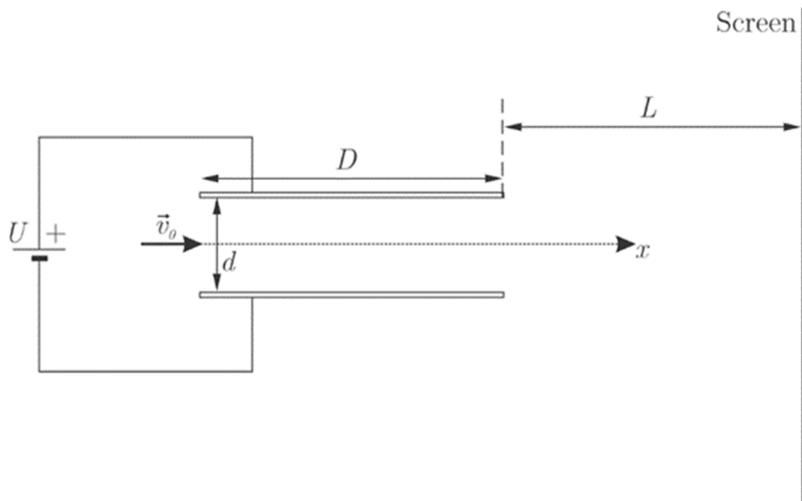
第一部份

當帶電粒子進入兩個帶電板之間的空間時，它的移動方向會有偏離。對於給定的帶電板配置，移動方向的偏離與離子質量(mass)和電荷(charge)有關，這是簡單型質譜儀的工作原理。要落實想法，我們考慮氯(Cl)和鎂(Mg)的離子化同位素(isotopes)。

($1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$)

Isotopes	Mass (u)	Charge
^{35}Cl	34.97	$-e$
^{37}Cl	36.97	$-e$
^{24}Mg	23.98	$+2e$
^{26}Mg	25.98	$+2e$

考慮某給定物質的同位素離子，起初以初速度 v_0 沿著與 x 軸重合的線移動，請見下圖與數據。為求簡化，在所有後續問題中，假設帶電板與電荷的作用僅限於帶電板間的空間。在這些條件下，板間空間的電場強度為 $E=U/d$ 。偏轉的離子撞擊屏幕(screen)，留下標記。



常用數據：

基本電荷 e : $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

帶電板兩側電位差 U : 75 V

帶電板長度 D : 5.0 cm

兩帶電板間的距離 d : 1.0 cm

帶電板與屏幕(screen)間的距離 L : 10 cm

離子的初速度 v_0 : $1.0 \times 10^5 \text{ m/s}$

1. (0.20 分) 考慮 ^{37}Cl 離子，帶電量為 $-e$ ，計算此 ^{37}Cl 離子由於地球造成的重力與帶電板造成電力的比。

比(重力與電力的比)_____

2. (0.20 分) 試由你在上題中找到的值，判斷重力在這個問題中是否可以忽略不計？在下方表格中用 X 標記正確答案。

可忽略	不可忽略

3. (0.5 分) 計算帶電荷 $-e$ 的 ^{35}Cl 離子在離開帶電板間空間時偏離 x 軸的距離。

偏離 x 軸的距離: _____

4. (0.50 分) 當此同位素(^{35}Cl)離子(帶電量為 $-e$)離開平行帶電板時，其速度與 x 軸夾的角度為何？

角度: _____

5. (1.60 分) 試求兩個帶相同電荷的不同離子在屏幕上的標記與 x 軸的距離之間的比率 h_1/h_2 ，以質量 m_1 與 m_2 表示之。

$h_1/h_2 =$ _____

6. (1.00 分) 帶有相同的初速度 v_0 的鎂同位素(^{24}Mg 與 ^{26}Mg)離子(帶電量為 $+2e$)，在屏幕上造成的標記距離多遠？(答案的單位需為 mm)。

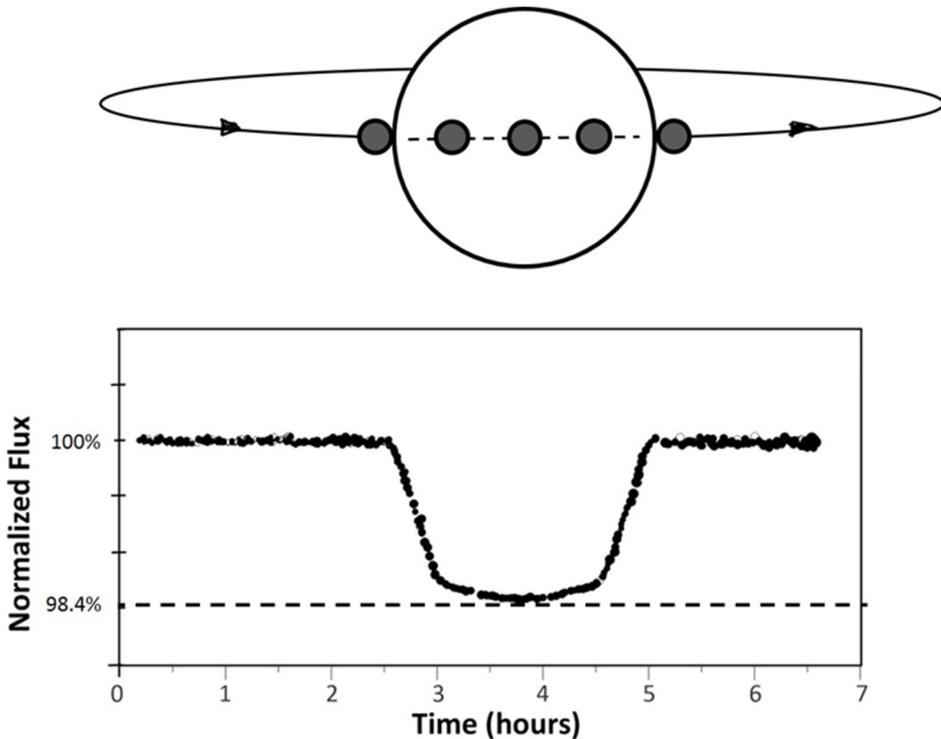
標記距離多遠(mm): _____

7. (1.00 分) 若 ^{24}Mg 與 ^{26}Mg 離子在進入兩個帶電板之間的空間前，是由靜止狀態以沿 x 軸方向用 1000 V 的電壓來加速，這兩種同位素離子在屏幕上造成的標記距離多遠？(答案的單位需為 mm)

標記距離多遠(mm): _____

第二部份

現今詹姆斯·韋伯太空望遠鏡(James Webb Space Telescope)可以偵測到遙遠恆星旁一顆繞行的行星明確無誤的信號，在尋找地球以外可能適合人居的系外行星，邁出了重要一步。今年 6 月 21 日，科學家以近紅外成像儀和狹縫光譜儀 (NIRISS) 量測來自恆星 WASP-96 及其行星 WASP-96b 形成的系統的光，當這顆行星(灰色小圓圈代表的連續位置)從恆星(白色大圓圈)前方經過時，科學家分析後得到光變曲線(下圖)，顯示出在行星凌日(恆星)過程中，恆星光(通量)整體變暗。本圖中恆星及其行星未依照比例繪製。



常用數據：

恆星 WASP-96 的質量： $M_{star} = 1.06 M_{Sun}$

恆星 WASP-96 的半徑： $R_{star} = 1.05 R_{Sun}$

恆星 WASP-96 的溫度： $T_{star} = 0.9588 T_{Sun}$

行星 WASP-96b 的質量： $M_{planet} = 155.5 M_{Earth}$

恆星 WASP-96 與行星 WASP-96b 的距離： $a = 0.0453 \text{ AU}$ ($1 \text{ AU} = 1.496 \times 10^{11} \text{ m}$)

地球的質量： $M_{Earth} = 5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$

太陽的質量： $M_{Sun} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$

萬有引力常數： $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

1. (0.50 分) 從圖中推斷出預期的行星(WASP-96b)凌日(恆星 WASP-96)過程持續時間為何？(單位為小時)

過程持續時間(小時)： _____

2. [1.00 分] 天文物理學家公認凌日過程中光通量的變化等於行星 WASP-96b 截面積與恆星 WASP-96 截面積之比值，試據此估算行星 WASP-96b 的半徑(以太陽半徑的倍數表示之)。

行星 WASP-96b 的半徑(以太陽半徑的倍數表示) _____

3. [1.00 分] 假設此行星 WASP-96b 以圓形軌道繞恆星旋轉，試求這顆行星的軌道週期(答案的單位需為天(太陽日))。

行星的軌道週期(單位為天)_____

4. [1.00 分] 試求行星 WASP-96b 的軌道速度(答案的單位需為 km/s)。

行星 WASP-96b 的軌道速度(單位為 km/s)_____

5. [1.50 分] 恆星的光度 L 也就是其表面輻射的電磁功率。根據史蒂芬-波茲曼定律 (Stefan-Boltzmann's law)，光度 L 與表面積 A 和溫度 T 之間的關係為：

$$L = \sigma A T^4$$

其中 σ 為比例常數(稱為史蒂芬-波茲曼常數(Stefan-Boltzmann's constant))，試計算恆星 WASP-96 的光度(以太陽光度的倍數表示之)。

恆星 WASP-96 的光度(相對於太陽光度的倍數)_____

【完】