

2010 年第七屆國際國中科學奧林匹亞競賽 ——理論試題

國立臺灣師範大學 科學教育中心

問題 1：太陽輻射

眾所周知，以化石燃料為基礎的能量終會使用完畢。因此，過去幾年已嘗試取得、發展其他能源。這些替代能源包括太陽能、風能、核能和生質能等。

太陽是陽光的來源，是一團球形熾熱氣體。用黑體輻射可模擬求得表面溫度約 5800 K。太陽直徑約 $1.40 \times 10^9 \text{m}$ ，距離地球約 $1.5 \times 10^{11} \text{m}$ 。太陽的核心溫度約為 8×10^6 到 $40 \times 10^6 \text{K}$ 之間。太陽可看成是一個連續發生核融合的反應器。融合的過程中，最有用的一個反應是將四個氫核結合成一個氦核。氫核的質量少於四個氫核，此質量虧損(m)轉換成為能量而釋放出來。所釋出的能量為 $E=mc^2$ ， m 為質量， c 為光速。這能量被傳到太陽表面，再從表面輻射到太空。太陽輻射經大氣到達地面有兩種途徑：直接輻射和擴散。

奈及利亞位於熱帶地區，有豐沛的太陽能。如果適當的利用，太陽能可以作為最好的替代能源提供給工業和家庭使用。但是缺乏基本的太陽輻射之數據，使之未納入現有的國家規劃。因此科學家作了許多測量，並估計出可用的太陽輻射。同時也建立模型來預測太陽輻射在不同的地點

的強弱。

在阿布札進行硫化鎘(CdS)光敏電阻與太陽輻射相關實驗。太陽輻射照射在硫化鎘(CdS)光敏電阻時，會降低其電阻。經由惠斯登電橋，可以測得光敏電阻的電阻值 R 。實驗數據如表一所示。

表一

電阻值 $R(\text{Ohm})$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
太陽 輻射量 $S(\text{Wm}^{-2})$	3777	1513	886	606	451	355	290	243	208	180

硫化鎘(CdS)光敏電阻遵循下列公式

$$SR^\alpha = \beta \quad (1)$$

其中 R 是光敏電阻之電阻值，單位是歐姆，可利用惠斯登電橋測得。 S 是接收到的太陽輻射量，單位是 Wm^{-2} 而 α 與 β 是常數。

【物理常數】

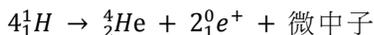
$$1u = 1.66 \times 10^{-27} \text{kg}$$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$$

$$\text{普朗克常數, } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$$

【問題】

1.1 下式為核融合反應



已知氫原子質量為($\frac{1}{1}H$) = 1.00794 u，氦原子質量為($\frac{4}{2}He$) = 4.002602u；忽略正子與微中子的質量。計算此核融合反應過程的質量虧損，並且分別以公斤(kg)以及能量(J)表示。(0.7 分)

已知理想黑體，例如太陽，的輻射量為 $P = A\sigma T^4$ ，其中 P 為功率，A 為黑體的表面積，T 為黑體絕對溫度， σ 為史提芬-波茲曼常數。

- 1.2 地球大氣層外表，垂直於陽光方向的平面上，每單位面積每單位時間所接收到的太陽能，稱為太陽常數。假設史提芬-波茲曼常數為(σ) = $5.7 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ，估算太陽常數。(1.5 分)
- 1.3 太陽輻射到達地球約需多少時間(分鐘)。(0.4 分)
- 1.4 假設陽光中某一光子的能量為 $3.87 \times 10^{-19} \text{ J}$ ，計算其波長。(0.5 分)
- 1-5 將公式(1) 轉換為對數方程式，以便將 $\log_{10}S$ 對 $\log_{10}R$ 作圖之後，可以決定實驗常數 α 與 β 。(0.4 分)
- 1.6 利用(1.5)題的對數方程式與表一數據，作線性圖。(4.5 分)
- 1.7 寫下對應於該線性圖的方程式。(1 分)
- 1.8 導出 α 與 β 的值。(1 分)

問題 2：硫酸在工業界的應用

硫酸(H_2SO_4)使用的多寡是一個國家工業化的指標，因為它可大量使用在許多工業製程上。硫酸為強腐蝕性、稠密、油狀的液體。顏色則會因雜質的多寡，可由

無色到深棕色。有兩種商業製程可大量的從硫磺產生硫酸：**接觸法**和**鉛鎊法**。在**接觸法**中，二氧化硫(SO_2)被氧化成三氧化硫(SO_3)之過程，需要催化劑五價釩氧化物和促進劑鉛氧化物，在 450°C 和 1-2 atm 下反應。二氧化硫被五價釩(氧化物)氧化成三氧化硫，在此過程中五價釩氧化物先被還原，再被氧化回原狀態。此例也可說明催化劑在反應中是可以改變的。當催化劑釩氧化物不存在時，此反應非常緩慢。將三氧化硫通入硫酸可得到發煙硫酸($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ - 即硫酸和三氧化硫)。在**接觸法**中將二氧化硫氧化成三氧化硫的過程是一放熱反應。

濃硫酸有非常強的吸水性，有時可當成除水劑。當它和葡萄糖反應時，會得到脆的、像海綿的、黑色碳物質。硫酸和皮膚、纖維、植物、以及動物等物質反應的方式也一樣。自然界中，在硫化物的礦坑中，也會經氧化而產生硫酸，例如硫化鐵礦中。當這種礦物的氧化物溶在水中後，會產生酸性水溶液，此溶液又可幫助溶解金屬礦。最後會得到顏色鮮艷的、有毒的水流。

當燃燒化石燃料時，其中的硫化物會形成二氧化硫，並被排放到大氣中。二氧化硫被太陽光照射時，會被氧化成三氧化硫。當和水結合(下雨時)，又會形成硫酸。

鉛腔鎊法則是用硝酸(HNO_3)和水蒸氣氧化二氧化硫而得到硫酸。

【問題】

- 2.1 以商業眼光看，為什麼不將三氧化硫

直接溶在水中得到濃硫酸？(需選兩項) (0.40 分)

選項	原因
A	為了減少洩漏的危險
B	由於該產品的密度太大
C	為了減少運輸大量體積硫酸的費用
D	因為最後一步的過程過於昂貴
E	因為最後一步的過程放熱太多
F	因為放熱而形成硫酸的氣膠迅速填滿了空間

2.2 選出硫酸在下列工業活動中的功能：

- (i) 鋼、鐵電鍍業 (0.25 分)
- (ii) 肥料工業 (0.25 分)
- (iii) 清潔劑製造 (0.25 分)
- (iv) 汽車行業 (0.25 分)

選項	功能
A	硫酸可溶解鐵、鋼
B	溶解磷礦
C	製造鉛酸蓄電池
D	可溶解金屬氧化層以清洗金屬的表面
E	將化合物加上 SO_3^- 之官能基

2.3 寫出在接觸法中，四個主要過程的平衡反應式。(2.0 分)

2.4 從 A-C 中選出一項，可用來解釋為什麼五價釩氧化物，適合在接觸法中當作催化劑使用 (0.25 分)

A. 五價釩氧化物可從 SO_2 得到電子，

並可再被氧氣氧化

B. 五價釩氧化物可提供電子給 SO_2 ，並還原到三價釩離子

C. 五價釩氧化物可與氧氣發生反應，得到一個複合體，並且可再生。

2.5 用適當的離子反應式描述釩的還原和再氧化 (1.0 分)

2.6 如果接觸法總效率為 80%，計算由 100 kg 的純硫磺，可生產出 98% 硫酸的重量。假設由 SO_2 轉換為 SO_3 的步驟為 100%。(S = 32.0, H = 1.0, O = 16.0；98%硫酸的密度為 1.98 g/cm³) (1.0 分)

2.7 寫出濃硫酸和過量氯化鈉反應的平衡反應式 (0.5 分)

2.8 寫出代表蔗糖被濃硫酸脫水的平衡反應式，蔗糖為 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 。(0.5 分)

2.9 硫酸是一雙質子酸。寫出它在水中的解離反應式 (0.5 分)

2.10 計算在接觸法的第一階段反應中，由 200 g 的硫磺轉化為二氧化硫產生氣體的體積，若反應在 300 °C 和 1atm 下。假設轉換硫到二氧化硫為 100% 轉換率。 $R = 0.082 \text{ L}\cdot\text{atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (1.25 分)

2.11 若要完全中和 16.0g 的氫氧化鈉 (NaOH)，需要使用 0.20M 的硫酸 (H_2SO_4)多少毫升？(Na=23.0, O=16.0, H=1, S=32.0) (0.5 分)

2.12 從下列燃料中，選出三種造成絕大部分酸雨的燃料。(0.60 分)

(a) 木柴

- (b) 石油
- (c) 煤炭
- (d) 生質柴油
- (e) 生質酒精
- (f) 天然氣

問題 3：動物生態學

在生態研究裡，彼得森的捉放法 (mark-recapture) 是動物族群個體數最簡單估計方法。

其基本的步驟是在短時間內對一些數量的個體進行標記，釋放牠們，然後再捕捉並檢查帶有標記的個體數。在第 2 次取樣中，一定是隨意抽樣的，這種方法才有效；即，所有個體無論是否被標記，必須在第 2 次樣品的捕捉中有相等的被捕捉機會。藉此可以獲得下列數據：

M = 第一次樣品個體被標記的數量

C = 第 2 次取樣時被捕獲的個體總數量。

R = 在第 2 次取樣中被標記的個體數。

從這 3 個變量，我們能獲得在當時對族群總個體數(N)的估計值

$$N = \frac{(M)(c)}{(R)}$$

這個公式假設在第 2 次取樣時被捕捉的個體不曾被替代，即每一個體只能被計算一次。

在奈及利亞鯰魚 (*Clarias gariepinus*) 是一個常見的魚種，它也是在都市居住者的飲食中美味的動物蛋白質來源。

在某次生態調查活動中，一群學生對

一個小湖(大約 100 米× 60 米)中鯰魚的族群大小進行估算。他們先標記 109 條鯰魚，幾天以後，在第 2 次取樣時，他們捕捉到 177 條鯰魚，其中 120 條沒有標記。

【問題】

3.1 完成下表 (0.5 分)

在第 1 次樣品中被捕捉及標記的數目(M)	在第 2 次取樣時被捕捉的數目(C)	在第 2 次樣品中有被標記的數目(R)

3.2 在這個湖裡鯰魚的族群大小是多少？(列出運算過程) (1.0 分)

3.2.1. 下列理由中哪一個使標記的過程不會影響第二次取樣中被捕捉機率的假定直接變得無效，在適當位置打勾。(0.5 分)

	理由	對	錯
1.	因為標記使得動物變得更不怕被捕食		
2.	會有捕食者的增加		
3.	標記的過程對動物而言是有毒或有傷害的		
4.	一種毒的化學物質被引入環境中		

3.3 在奈及利亞有許多種蚯蚓，它們經常被用作捕魚的餌料。一些生態研究的學生在捕魚期間，將學校特定的院子中捕獲的蚯蚓作為餌料。蚯蚓的排便有助於提高陸地生態系的生產力。當蚯蚓藉由攝食方式鑽入泥土時，土壤通過消化道，最後以土堆及糞便的形式留在地表，此過程對於增加土壤的肥沃度和生產力，扮演了十分重要的角色。當他們觀察院子內蚯蚓糞便的分佈情形，並提出假說，認為蚯蚓的排便為隨機的空間分佈。為驗證此假說，他們在院子中隨機設定大小相同的樣區，在選定的 100 個樣區中，計數蚯蚓的排便量，結果如下列：

蚯蚓排便量(x)	樣區數目(頻率, f)
0	17
1	20
2	28
3	18
4	8
5	8
6	0
7	0
8	1
Total	100

如果蚯蚓的排便分佈是隨機分佈，則可以預期

變異量/平均值(s^2/\bar{x}) 的比值將會等於 1

3.3.1. 計算一個樣區的蚯蚓排便量的平均值 (\bar{x}) (1.0 分)

3.3.2. 計算變異量並算出變異量 (s^2) 與平均值之比值 (1.0 分)

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n f(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

3.3.3. 從你上題 3.3.2 中的答案，下列觀察何者正確：(0.5 分)

想法	變異量/平均值的比值(s^2/\bar{x})	結論	在下列適當位置打(✓)
I	0.8-1.2	分佈接近隨機的型態	
II	>1.2or<0.8	分佈非隨機的型態	

3.4 一個地區的物種數量可用以檢測生物多樣性。非洲的奈及利亞是一個生物資源歧異度很高的國家。在奈及利亞有報告指出，有超過 10 個種類的蚯蚓，且在不同的生態區域間，其分佈方式有很大的差異。一項常用以計算一個生態區域內生物多樣性的公式如下：

$$d = \frac{N(N - 1)}{\sum_{i=1}^n n_i(n_i - 1)}$$

N 是全部種類的所有生物個體的總數， n_i 是 i 種的生物個體總數， Σ 為總和的符號。一組學生從一個蝸牛農場中收集 50 條蚯蚓，計數後獲得下表中的數據。

3.4.1. 計算一個樣區的蚯蚓排便量的平均值 (\bar{x}) (1.0 分)

蚯蚓的種類	被收集的數量	n(n-1)
<i>Eudrilus eugeniae</i>	10	
<i>Hyperiodrilus africanus</i>	15	
<i>Lybodrillus violaceus</i>	16	
<i>Alma millsoni</i>	9	
總數 (N)	50	_____
		$\sum_{i=1}^n =$

3.4.2. 檢測這一個蝸牛農場的生物多樣性(d) (1.0 分)

3.4.3. 當蚯蚓藉由攝食土壤通過泥土時，會造成孔道，使土壤獲得更多的空氣和氧氣。下列敘述與氧氣在土壤中的角色有關。回答每一個問題是或非，在表中以劃 **X** 方式作答。(0.8 分)

	是	非
a) 植物的根部不會從土壤吸收氧氣，因為氧氣是從葉子運輸過來的		
b) 蚯蚓本身會使用土壤中氧氣		
c) 可將動物製造出來的氨轉化產出硝酸的細菌，需要土壤中的氧氣		
d) 為了有機物的分解，土壤中的氧氣是必須的		

3.4.4. 蚯蚓糞便的混合物中含有元素，這些元素是植物需要的。下列何者是植物用其根部吸收的最重要元素？(0.5 分)

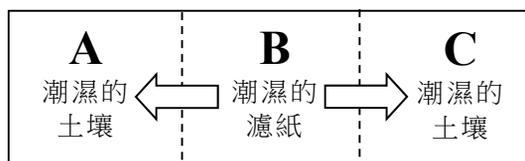
下列元素中選擇一個：

O, C, N, H

答案：_____

3.5 某科學家進行實驗，利用測量蚯蚓糞便重量的方式，每週一次，共測量三週，來探討蚯蚓對個別顏色光線的反應。含有光照區及黑暗區的實驗箱如附圖。八十隻蚯蚓被置放在實驗箱中間含有潮濕濾紙的區域(B)，記錄 A 區和 B 區中的糞便重量如下表。

實驗箱



光的來源

光線顏色	受試的蚯蚓 <i>Hyperiodrilus sp.</i> 數目	光照區(A) 糞便的平均重量 (mean weight) (g)	黑暗區(B) 糞便的平均重量 (mean weight) (g)
白(W)	80	4.8	19.5
綠(G)	80	9.4	30.4
紅(R)	80	11.9	16.1
藍(B)	80	10.6	30.5

3.5.1. 利用適當的圖表，呈現上表中的數據。(圖中標記均需用英文或代碼表示) (1.5 分)

3.5.2. 根據表中資料，下列何者或哪些是針對本實驗觀察的最可能結論？(0.5 分)

(在正確答案的空格內打勾)

1. 紅色光線會導致最大的糞便重量在光照區，最小的糞便重量在黑暗區	
2. 光線的顏色不會影響蚯蚓對光照的行為反應	
3. <i>Hyperiodrilus sp.</i> 無法區辨不同顏色的光線	
4. 綠色光線會導致最大的糞便重量在暗區	