

2015 年第十二屆國際國中國科學奧林匹亞競賽

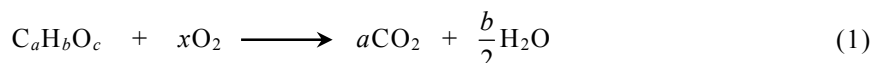
--理論試題

國立臺灣師範大學 科學教育中心

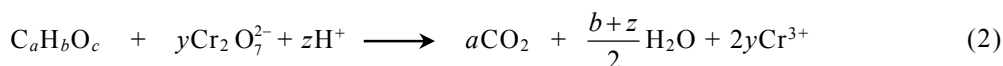
I. 化學需氧量 (COD) 測試

化學需氧量 (COD) 檢驗通常用於間接測量水中有機化合物的總量。多數使用 COD 都為測量地表水(如湖泊和河流)，或廢水中的有機污染物，因此 COD 是表達水質的一個有用的指標。COD 是用 ppm (百萬分之一)表示，也就是氧化每升溶液中所有污染物所需氧氣分子的質量(以 mg 為單位)。COD 檢驗的基礎是：幾乎所有的有機化合物都可以在酸性條件下，被強氧化劑完全氧化成 CO_2 。

氧化有機化合物為二氧化碳和水所需的氧氣分子的數量可由下式(1)求得：



重鉻酸鉀($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)在酸性條件下是強氧化劑，並在 COD 檢測中用於氧化有機化合物。 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 與有機化合物的淨反應如下式(2)：



關於 COD 的檢驗方法敘述如下：

- (A) 將已知濃度的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液加入到含有有機污染物的溶液。 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 會依反應(2)氧化有機污染物。
- (B) 在完全氧化有機污染物後，剩餘之 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 的濃度則用與 Fe^{2+} 滴定來確定。在滴定时， Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} ， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 則被還原成 Cr^{3+} 。此滴定過程會告訴你用於氧化溶液中污染物之 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 的數量。
- (C) 由步驟(B)中得到使用 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 氧化溶液中污染物的數量，再比較式(1)和式(2)中的 x 和 y ，即可求得若用氧氣分子氧化污染物時所需的理論量，這就是所謂的 COD。

【問題】

- I-1. 要從消耗 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 之量計算 COD，需要用 O_2 和 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化 1 莫耳有機污染物所需之莫耳數比。此莫耳比可以由平衡式(1)和(2)後，比較 x 和 y 來確定。解題要遵循下面的步驟：

- I-1-1. [0.5 分] 平衡式(1)後，用 a, b, c 來表達 x 。
 I-1-2. [0.5 分] 只平衡式(2)的電荷後，用 y 來表達 z 。
 I-1-3. [0.5 分] 完全平衡式(2)後，用 a, b, c 來表達 y 。
 I-1-4. [0.5 分] 比較以上的答案，再用 y 來表達 x 。

I-2. 現要檢測某含未知污染物之水溶液的 COD，先加入 $2.60 \times 10^{-4} \text{mol}$ 之 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 到 10.0mL 之污染溶液中。完全氧化污染物後，尚需要 $1.20 \times 10^{-3} \text{mol}$ 的 Fe^{2+} 來滴定剩餘的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 。

I-2-1. [1.0 分] 在酸性條件下， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 和 Fe^{2+} 的反應如下，係數 f 為何？



I-2-2. [1.0 分] 氧化 10.0 mL 溶液中之污染物，使用了多少莫耳的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ？

I-2-3. [1.0 分] 此未知樣品的 COD 以 ppm 表示是多少？已知 O_2 的分子量為 32.0 g/mol。

I-2-4. [2.0 分] 假設未知之污染物是 C_6H_6 ，那麼每升的溶液中有多少毫克(mg)之污染物？完全氧化 1.00L 污染物溶液的過程中，所產生的 CO_2 在 298K 和 1.00atm 下的體積是多少？ C_6H_6 的分子質量為 78.0g/mol，氣體常數 $R=0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K}$ 。(假設 CO_2 是理想氣體。)

I-2-5. [1.0 分] 在與 Fe^{2+} 滴定之前及之後，各有多少莫耳的 Cr^{3+} ？

I-3. [2.0 分] 若將 10mg 的下列化合物完全溶解在 1.0 L 水中，哪個化合物產生最高的 COD 值？其 COD 值為多少？(原子質量：C、H、O 分別是 12、1.0、16 g/mol)。

HCOOH	CH ₃ OH	CH ₃ CHO
-------	--------------------	---------------------

II. 跳台滑雪

2018 年冬季奧運訂於 2018 年二月在韓國的平昌市舉行。跳台滑雪是冬季奧運競賽項目之一，其中選手先從特殊建造的助滑坡的起點向下沿斜面滑行起跑，抵達水平的跳台後，以所獲的最大水平速度飛出，降落在陡峭的斜坡山丘上，以達到最大的跳躍距離。圖 II-1 給出了跳台滑雪賽道的輪廓，大致分為四部分：助滑坡、跳台、飛行段、及著陸坡。

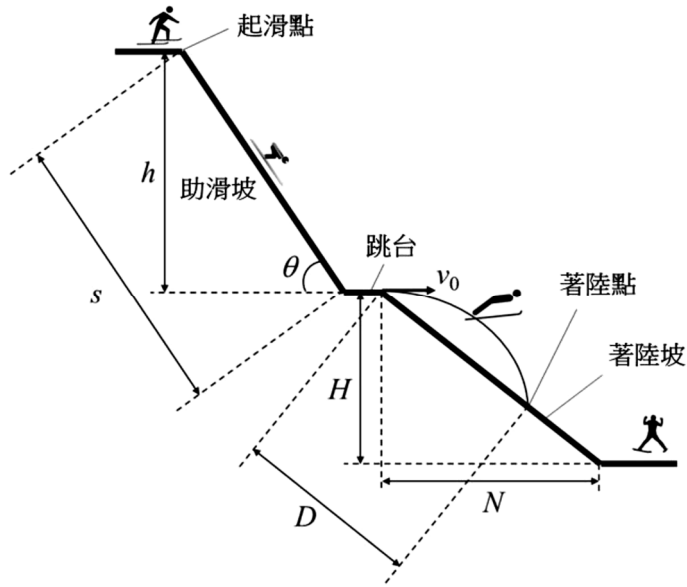
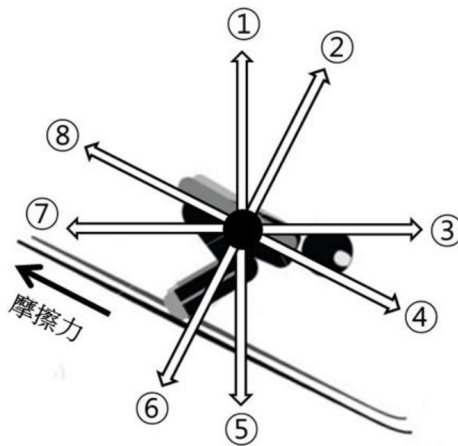


圖 II-1. 跳台滑雪

在起滑階段，選手要把摩擦減到最小以獲得最大的加速度，讓起跑速度達到最大值，這個速度量值明顯會影響跳躍的距離。 θ 、 s 和 h 分別代表助滑坡的傾斜角度、斜面長度和高度； H 和 N 分別代表從跳台到著陸山丘斜坡底端的垂直高度和水平距離。因而著陸坡的梯度(k)， $k = \frac{H}{N}$ 。我們以 g 表示重力加速度，並假設從跳台躍出的速度(v_0)是水平的。

【問題】

II-1. [0.75 分] 選手在助滑坡上加速運動期間，以下的選項中，哪個分別代表重力、正向力以及空氣阻力的方向？



- II-2. [1.5 分] 假設選手在助滑坡底端的速度為 v ，試求雪橇與雪坡間的動摩擦係數(μ)。請以 h 、 g 、 s 、 v 以及 θ 表示答案 μ 。(忽略空氣的阻力和上升力。)
- II-3. [1.5 分] 假設選手的起跳水平速率為 v_0 ，試問從水平跳台的起跳點到著陸處之間的飛行時間(t) 是多少？請以 k 、 g 和 v_0 表示答案 t 。(忽略空氣的阻力和上升力。)
- II-4. [1.25 分] 試問跳台到著陸點的距離(D)是多少？請以 k 、 g 和 v_0 表示答案 D 。(忽略空氣的阻力和上升力。)

III. 湯姆森的陰極射線實驗

【湯姆森的實驗】

湯姆森在 1897 年發現陰極射線是由帶負電的粒子(亦即是電子)所構成的。他算得這些粒子比原子輕得多，而它的荷質比 e/m 很大，這其中 e 和 m 分別是電子的電荷和質量。

圖 III-1 是湯姆森測量電子的荷質比 e/m 的陰極射線實驗示意圖。在抽成高度真空的管子中，兩組金屬電極(L_1 - M_1 和 L_2 - M_2)以彼此垂直的方式置放。 L_1 和 M_1 之間的電位差等於 V_1 ，而 L_2 和 M_2 之間的電位差是 V_2 。在 L_2 和 M_2 間有強度為 B 的磁場，其方向垂直於頁面(紙面)並指向紙內(如圖中的 'X' 所示)。

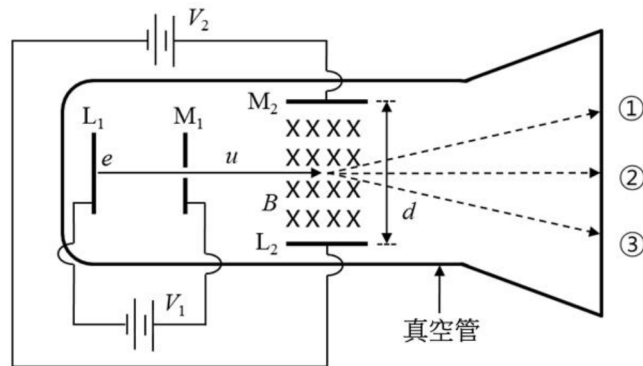


圖 III-1：湯姆森的實驗設計示意圖

當 L_1 受熱後，從熱陰極(L_1)跑出的電子受 V_1 的加速而以速率 u 通過 M_1 的細縫。電子繼續在 L_2 和 M_2 之間的空間行進，最後打在真空管另一端的屏幕上。當電子在相距 d 的電極 L_2 和 M_2 間運動時，它只會受到電力(電場強度 V_2/d)和磁力(磁場強度 B)的作用。

【在電磁場中的電荷】

圖 III-2 所示的是位於均勻電場中並帶電荷 q 的粒子，電場由彼此平行的負(-)和正(+)的

電極產生。電場強度(E)由板間的距離(d)和電位差(V)所決定，如方程式(1)所示。當粒子位於電場中，它所受的力的量值由方程式(2)所示。正電荷粒子在(+)和(-)電極的電位能分別是 qV 和 0 。

$$E = \frac{V}{d} \quad (1)$$

$$F_{\text{電}} = qE \quad (2)$$

圖 III-3 所示的是位於均勻磁場 B 中、帶正電荷 q 並以速度 u 運動的的粒子。在圖中，磁場垂直於頁面並沿指出頁面的方向 (如圖中的‘ \circ ’所示)。在這情形中，作用於粒子的磁力的方向朝上，其量值如下式(3)所示：

$$F_{\text{磁}} = quB \quad (3)$$

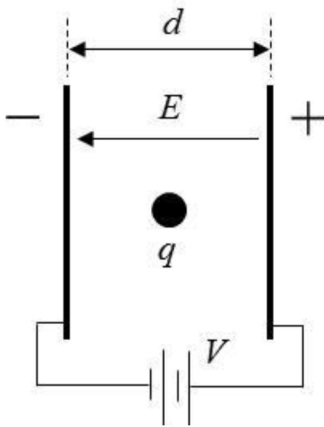


圖 III-2：電場中的電荷

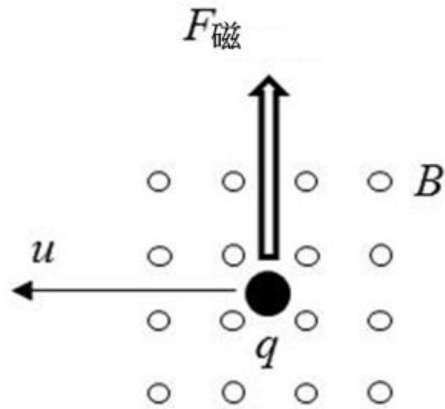


圖 III-3：磁場中的正電荷

【問題】 回答下列關於湯姆森實驗的問題(圖 III-1)。

III-1. [1.0 分] 求電子通過 M_1 中的細縫的速率 u ，答案請以 e 、 m 和 V_1 表示。

III-2. [2.0 分] 考慮電子通過 L_2 和 M_2 之間的空間後的情形。

III-2-1. [1.0 分] 若只有電場存在，亦即 $V_2 \neq 0$ 和 $B = 0$ ，電子的軌跡會是圖示的 ①、②和③中的哪一個？(正解：1 分，答錯：-0.5 分，棄答：0 分)

III-2-2. [1.0 分] 若只有磁場存在，亦即 $V_2 = 0$ 和 $B \neq 0$ ，電子的軌跡會是圖示的①、②和③中的哪一個？(正解：1 分，答錯：-0.5 分，棄答：0 分)

III-3. [1.5 分] 湯姆森調整電場($V_2 \neq 0$)和磁場($B \neq 0$)，使電子以均勻速率 u 沿直線軌跡(②)飛過。在這情況下，電子的速率 u 為何？答案請以 V_2 、 B 和 d 表示。

III-4. [0.5 分] 比較 III-1 和 III-3 的結果，從而求出電子的荷質比(e/m)，答案請以 V_1 、 V_2 、 B 以及 d 表示。

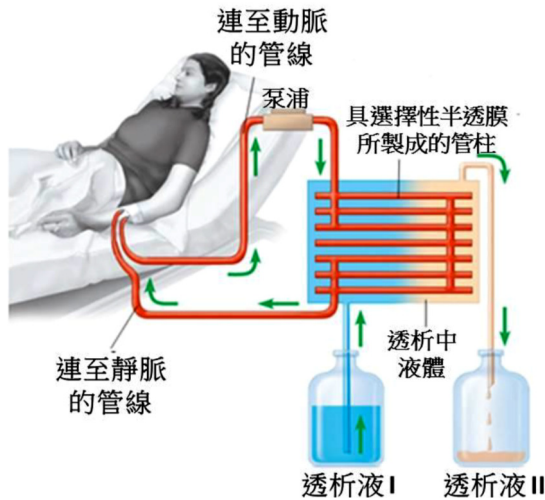
IV. 排泄系統

下表顯示某正常人體腎元中樣本的組成成分。

(單位: g/100mL)

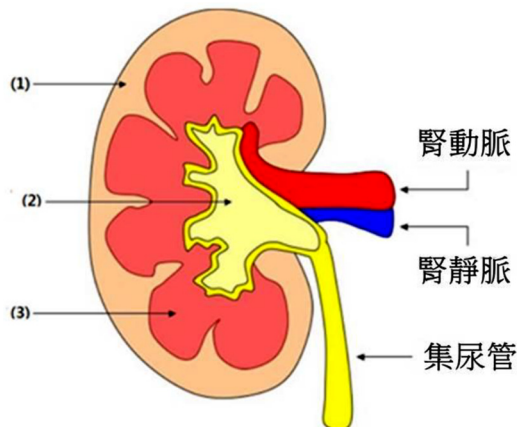
成分	血漿	原始尿液 (腎絲球濾過液)	尿液
水	90~93	90~93	95
X	8	0	0
Y	0.1	0.1	0
礦物質	0.9	0.9	0.9~3.6
Z	0.03	0.03	2.0

下圖顯示一個人工血液透析儀 (該血液透析儀的半透膜與腎絲球的通透性相同)。



【問題】

IV-1. [1.0 分] 下圖腎臟的三個構造中, 何者與人工透析儀的角色相似?



IV-2. [1.5 分] 透析液 I 中 X、Y 和 Z 的濃度分別為何? (每一答案 0.5 分)

IV-3. [1.5 分] 在健康人體的腎臟中，物質 X、Y 和 Z 分別會經歷下列哪些作用(I、II、III)?

I：再吸收作用； II：濾過作用； III：既非濾過也非再吸收作用

(有些欄位可能會超過一個答案)(每一欄位 0.5 分)

V. 遺傳

研究某家族的一種常見遺傳疾病，我們發現突變個體的等位基因與野生型等位基因相比，有一個單鹼基對 (bp) 被替代掉了。突變後，失去了野生型等位基因原有的核酸限制酶 I 的辨識點。(核酸限制酶識別特定的 DNA 序列並切割它，該特定序列即稱為辨識點) V-1 圖是此家族這種遺傳疾病的譜系圖。

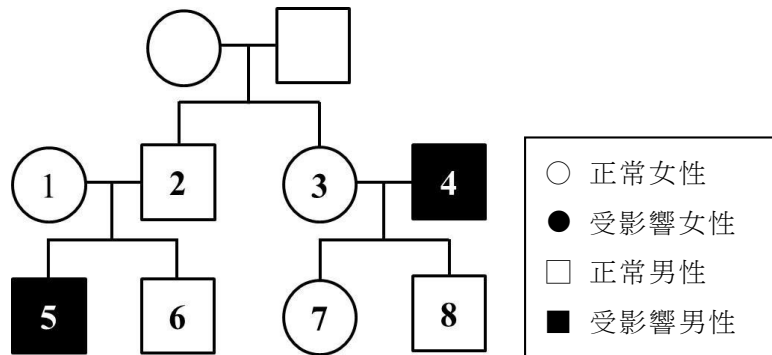


圖 V-1 譜系圖

從譜系圖中的四個個體 (5, 6, 7, 和 8) 中分離 DNA 後，來自每個個體 DNA 的 1500bp 被放大，其中包括點突變的位置，此放大是使用稱為 PCR (聚合酶鏈式反應) 的技術。放大後的 DNA 使用核酸限制酶 I 進行切割，將切割所得的 DNA 片段進行分析。該放大 DNA 經限制酶切割的實驗結果總結在表 V-1。

表 V-1 DNA 切割實驗結果

個體		5	6	7	8
片段大小	1500bp	+	-	+	+
	922bp	-	+	+	+
	600bp	-	+	+	+

(+ : 出現, - : 不出現)

【問題】

V-1. [1.0 分] 根據數據，下列哪一項是此遺傳性疾病的遺傳方式？

- | | | |
|----------|----------|----------|
| ① X 連鎖顯性 | ② X-連鎖隱性 | ③ Y 連鎖顯性 |
| ④ Y 連鎖隱性 | ⑤ 體染色體顯性 | ⑥ 體染色體隱性 |
| ⑦ 線粒體遺傳 | | |

V-2. [1.0 分] 如果個體 1 和 2 有另一個孩子，那麼這個孩子將是受影響女性的機率是多少？

V-3. [1.0 分] 分析並比較野生型和突變個體包含此核酸限制酶 I 對應區域的放大 DNA 序列。實驗顯示，該突變不僅去掉了核酸限制性酶 I 的辨識點，也創造了新的核酸限制酶 II 的辨識點。此兩種核酸限制性酶可辨識序列如下所示。

核酸限制酶 I 可辨識：5'-TACGGT-3'

核酸限制酶 II 可辨識：5'-AGGTCA-3'

根據結果，如果野生型 DNA 序列一股的一部分是[5'----- TACGGTCA----- 3']，則此段基因經突變後的序列為何？

VI. 血液循環

圖 VI-1 顯示左心室壓力和血液量隨時間的變化。

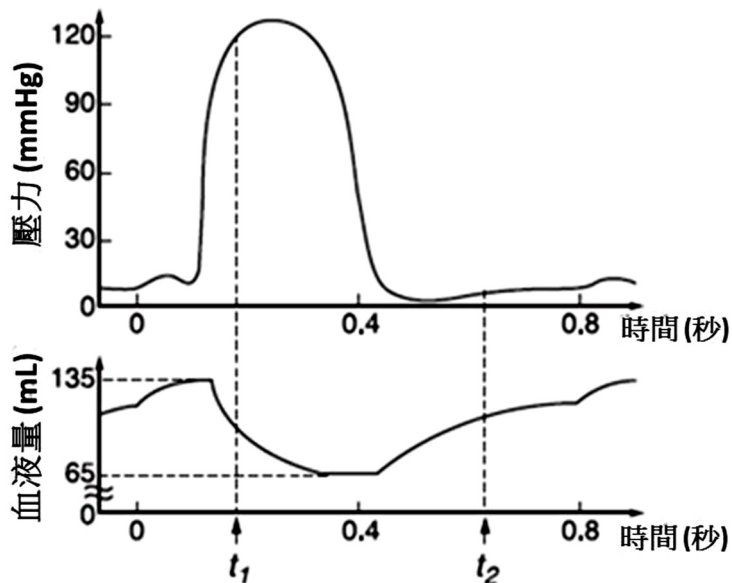


圖 VI-1 血壓和血液量的變化

【問題】

- VI-1.** [1.0 分] 在 t_1 和 t_2 ，左半月瓣和左房室瓣的狀態分別為：開啟或關閉？
(在答題卷上填入“○”代表開啟或填入“X”代表關閉。)
- VI-2.** [1.0 分] 在圖 VI-1 的狀態下，其心跳速率為何(次數/分鐘)？
(答案請以 2 位有效數字表示)
- VI-3.** [1.0 分] 心輸出量的定義為單位時間內心室泵出的血液量。計算在此狀態下的心輸出量(升/分鐘)？(答案請表示至小數點後 2 位)