

類 科：醫學工程
科 目：生物輸送原理
考試時間：2 小時

座號：_____

※注意：(一)可以使用電子計算器。

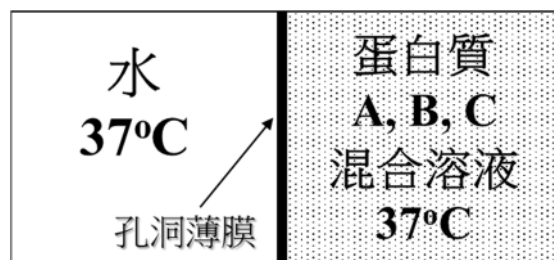
(二)不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。

(三)本科目除專門名詞或數理公式外，應使用本國文字作答。

一、設置一薄膜處於純水與蛋白質混合溶液之介面，整體系統為 37°C ，如下圖所示。薄膜的孔隙尺寸相等於一分子量 (Molecular weight, MW) 100,000 Da 的球形分子大小。蛋白質混合液中包含 A 分子 ($[A] = 50 \text{ g/L}$, $\text{MW}_A = 80,000 \text{ Da}$)、B 分子 ($[B] = 60 \text{ g/L}$, $\text{MW}_B = 150,000 \text{ Da}$) 及 C 分子 ($[C] = 80 \text{ g/L}$, $\text{MW}_C = 450,000 \text{ Da}$)。假設該蛋白質溶液為理想溶液，請問：(每小題 10 分，共 20 分)

(一)蛋白質溶液所產生的滲透壓 (Osmotic pressure) 為多少 mmHg？

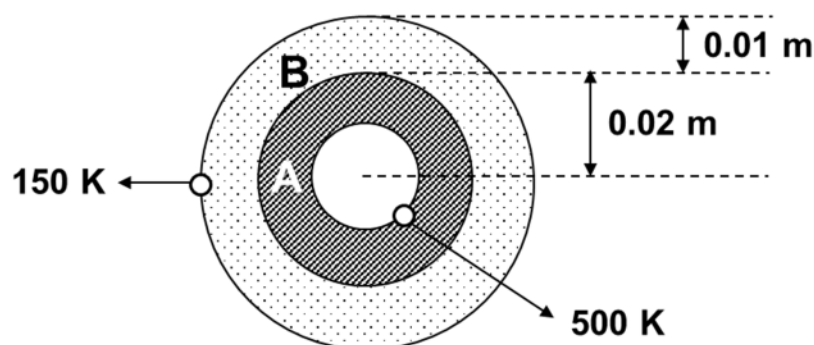
(二)若在一段時間後該薄膜的孔洞完全堵塞，請問此時的蛋白質溶液之滲透壓變為多少 mmHg？



二、一長度為 5 m 的鋼管 A 之內徑 (ID) 為 0.02 m，外徑 (OD) 為 0.04 m，熱傳導度 (Thermal conductivity) 為 $25 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。為了避免管內的熱量流失，在鋼管 A 的外層包覆了一層厚度為 0.01 m 的隔熱材料 B，其熱傳導度為 $0.1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 。若鋼管 A 的內壁溫度為 500 K，材料 B 的外壁溫度為 150 K，如下圖所示，請計算：(每小題 10 分，共 20 分)

(一)此系統的熱損失速率為何？

(二)材料 A 與 B 之介面溫度為何？



三、關於在微血管壁上的血液／體液進出情形：

- (一)請敘述所有作用在微血管壁上造成體液進出血管的應力，(4分)並在下方微血管截面圖上標示出該應力方向。(4分)



- (二)利用將微血管壁的多孔結構視為一系列直徑為 7 nm 的平行圓柱。給定體內微血管的總表面積為 600 m^2 ，壁上孔洞表面積為其 $1/1000$ ，微血管壁的厚度為 $0.5 \text{ }\mu\text{m}$ ，孔洞曲折度 (Tortuosity) 為 2，微血管壁的平均總過濾壓力 (Mean net filtration pressure) 或其有效壓力降為 0.5 mmHg 。在假設血液為牛頓流體，黏度為 1.2 cP 的情形下，請計算：
1. 微血管的水力傳導度 (Hydraulic conductance)。請以 $\text{m}^2 \text{ sec/kg}$ 為單位作答。(6分)
 2. 淨過濾流速 (Net filtration rate)。請以 mL/min 為單位作答。(6分)

四、小明在手臂肌肉上注射了藥物 A，之後藥物從注射點向周圍組織擴散。假設擴散行為僅在一維方向 (X 方向) 發生，且其擴散係數為 D_A ，另藥物在擴散當中亦同時會與組織成分發生反應，其反應為一階函數，反應速率常數為 k 。

- (一)假設整體輸送系統為一不可壓縮之流體 (incompressible fluid)，請推導該藥物濃度 (C_A) 對於位置 (x) 與時間 (t) 關係的質量守恆方程式。推導過程中請詳細說明「項次處置方式」與「題目中之假設情形」之關係。(7分)

[提示公式]： $D_A \nabla^2 C_A + \phi_A^m = DC_A / Dt$ (ϕ_A^m 為反應速率項)

- (二)假設藥物 A 於注射點處 ($X=0$) 之濃度 (C_0) 維持恆定 (即注射點處之藥物量 $\gg$ 擴散出去之藥物量)，請列出可能之邊界條件 (Boundary conditions)。(6分)
- (三)根據(一)與(二)之結果，請推導在穩態 (Steady state) 的情形下，藥物濃度的表示為何？(7分)

五、血液以 5000 mL/min 的流速 (Q_{blood}) 通過一 37°C 薄膜充氧器，進入時血液中的氧氣分壓 (pO_2) 為 20 mmHg，離開時血液中的氧氣分壓為 110 mmHg，給定在 37°C 時血液的亨利常數 (Henry's constant; H_{Oxygen}) 為 0.74 mmHg/ μM ，血紅蛋白飽和氧濃度 (C'_{SAT}) 為 8800 μM 。請計算在該系統中的氧氣輸送流率 (Q_{oxygen})？請以 $\mu\text{mol/sec}$ 為單位作答。(20 分)
[提示]：氧氣於血液中的量包含直接溶於血漿中的量及與血紅素 (hemoglobin) 結合的量。

pO_2 (mmHg)	血紅蛋白飽和比例 (Fractional Hemoglobin saturation) $Y(pO_2)$
10	0.098
20	0.351
30	0.580
40	0.732
50	0.821
60	0.890
70	0.901
80	0.942
90	0.952
100	0.970
110	0.982
120	0.991