

TENTAMEN I TRANSPORTPROCESSER I KEMITEKNIKEN (KAA060)

Lördag 31 augusti 2002 kl 08.45-13.45 i V

Jesper Kilander är anträffbar för frågor på telefonankn 2941 eller 070-6050225 och kommer att vara i tentamenslokalen någon gång mellan kl 10 och 11.

Granskning av tentamensrättningen kan ske tidigast den 20 september 2002.

Tentamen omfattar:

A. Teori (24 p)

Inga hjälpmedel tillåtna!

B. Problem (36 p)

Tillåtna hjälpmedel:

Valfri kalkylator (nollställd)

3W (Welty, Wicks och Wilson: Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer)

PM: Transportprocesser, kompletterande material (sid 1-13)

Räknetabell (exvis TEFYMA, Nya Formelsamlingen eller BETA)

Physics Handbook

Betygsgränser

Poäng:	0-29	30-39	40-49	50-60
Betyg:	U	3	4	5

Del A måste lämnas in innan del B (med hjälpmedel) får påbörjas!

OBS! Erratalista till kursboken (3W) bifogas tentamensteser

DEL A. TEORI

A1. Vid tömning av ett akvarium används ibland en "hävert" (Figur A1).

a) Härled ett uttryck för utloppshastigheten V_2 ! (2p)

b) Vad är trycket i punkten 3? (2p)

A2. Strömning runt en fast kropp karakteriseras av följande variabler: kraft (F), hastighet (v), fluidens viskositet (μ), fluidens densitet (ρ), och en karakteristisk längd (L).

Hur många dimensionslösa tal behövs för att beskriva systemet? Motivera! (2p)

A3. Härled med en stationär differentiell rörelsemängdsbalans ett uttryck för hastighetsprofilen vid fullt utbildad laminär strömning mellan två horisontella plana plattor! (5p)

A4. Den instationära värmeledningsekvationen, i en dimension, skrivs:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

a) Vad betyder termerna fysikaliskt? (2p)

b) Hur ändras utbredningshastigheten vid en temperaturförändring om ρc_p ökar, respektive k ökar? Motivera! (2p)

c) Hur påverkas värmeflux och temperaturfördelning, respektive, med ökande k, vid stationära förhållanden? Motivera! (2p)

A5. En våt kropp som omströmmas av luft antar efter lång tid den så kallade våttemperaturen. Beskriv fysikaliskt och ställ upp relevanta uttryck för beräkningen av denna! (3p)

A6.

a) Varför sker diffusion? Hur kan en koncentrationsutjämning ske mellan två förbundna behållare (konstant tryck) om molekylerna bara skiljer i egenskapen "färg" (se Figur A2)? Antag initialt enbart "röda" molekyler i vänster och enbart "blå" molekyler i höger behållare. Ge en molekylär tolkning! (2p)

b) Ge det makroskopiska (fenomenologiska) uttrycket för ren diffusion! (2p)

DEL B. PROBLEM

B1. En 33cl glasflaska med kolsyrat vatten (20°C) öppnades och kolsyran började bubbla ut. Hur lång tid tar det för en bubbla med 1mm i diameter att flyta upp från botten av flaskan om vattennivån i flaskan är 18 cm? Antag konstant bubbelvolym under hela förloppet och försumma accelerationstiden. Densiteten för koldioxid är 1.95 kg / m^3 .

(8p)

B2. Ett begrepp som kallas "wind chill factor" beskriver det fenomen som gör att det känns kallare ute än vad termometern visar när det blåser. Antag att en person har ett fettlager som är 0.5 cm tjockt och under fettlagret är temperaturen 37°C . Konduktiviteten i fettlagret är 0.02 W/mK och temperaturprofilen kan antas vara linjär. Personen står naken utomhus, termometern visar -5°C och det blåser 5 m/s . Personen kan approximeras som en cylinder med diametern 20 cm och höjden 1.7 m . Värmeöverföring genom ändytorna och strålning kan försummas.

- a) Vilken temperatur får utsidan av huden på personen?
- b) Vilken utomhustemperatur skulle det motsvara om det var vindstilla?

(10p)

B3. Diffusiviten av kloroform, CCl_4 , i syre, O_2 , skulle bestämmas med hjälp av en diffusionscell. Cellens area var 0.82 cm^2 och diffusionscellens höjd över vätskeytan var 17.1 cm . Denna höjd ansågs vara konstant under försökets gång. Vidare fann man att under en försökstid på 10 timmar avdunstade 0.033 g CCl_4 . Rådande totaltryck och temperatur var 1 atm respektive 0°C . Ångtrycket för CCl_4 vid 0°C är 0.043 atm och CCl_4 har en molvikt på 159 kg/kmol . Vilket värde på diffusiviteten erhöles? Gasströmmen ovanför cellen antas ha försumbar halt av CCl_4 och stationära förhållanden anses råda.

(8p)

B4. Tyvärr spilldes allt vatten i glasflaskan (33cl) från uppgift 1 ut på gatan. Om det tog 6 timmar för fläcken att torka och vinden blåste med 7 m/s hur stor var arean av pölen? Koncentrationen av vatten i luften var vid tillfället 0.80 mol / m^3 och skjuvspänningen, τ_s , var 0.81 kg / m, s^2 på pölen. Schmidts tal var i detta fall lika med 1 och gränsskiktet just då kunde anses som turbulent. Vattnet i pölen är 293 K och pölens area antas vara konstant under hela torktiden. Densiteten för luft är 1.21 kg / m^3 .

(10p)

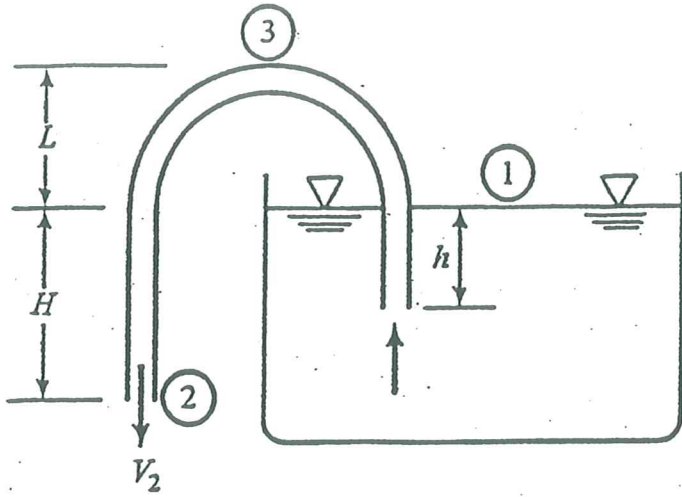


Fig. A 1

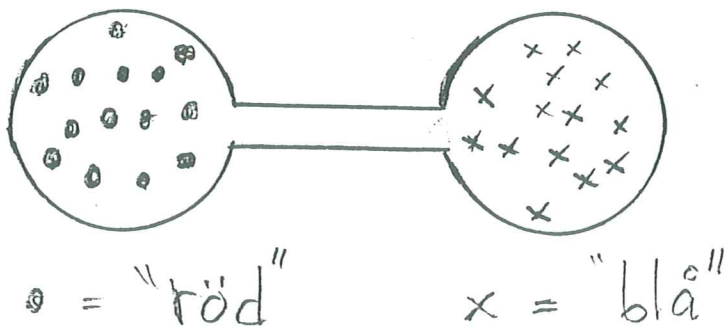


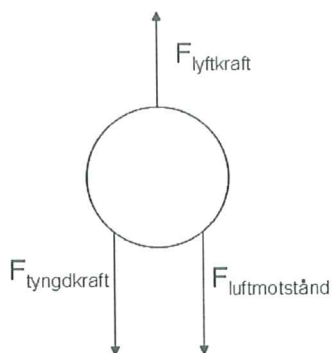
Fig. A 2

Erratalista till 3-W

Sidan 210, ekv. 14-16	Står: $\frac{\Delta P}{\rho}$	Skall stå: $\frac{\Delta P}{\rho g}$
Sidan 358, ekv. 20-10	Står: $\dots R\alpha_D$	Skall stå: $\dots R\alpha_D^{1/6}$
Sidan 370, ekv. 20-32	Står: $\dots 0.36\dots$	Skall stå: $\dots 0.036\dots$
Sidan 375, ekv. 20-35	Står: $\dots Re_D^{1/2}$	Skall stå: $\dots Re_D^{1/2}$

Lösningar 020831

B1.



Data:

$$\rho_{H_2O} = 998,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{CO_2} = 1,95 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu_{H_2O} = 1,004 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$d_{bubbla} = 0,001 \text{ m}$$

Kraftbalans

$$F_{lyftkraft} = F_{tyngdkraft} + F_{luftmotstånd}$$

$$V_{bubbla} \rho_{H_2O} g = V_{bubbla} \rho_{CO_2} g + A_p C_D \frac{v_{bubbla}^2}{2} \rho_{H_2O}$$

$$\frac{\pi d_{bubbla}^3}{6} \rho_{H_2O} g = \frac{\pi d_{bubbla}^3}{6} \rho_{CO_2} g + \frac{\pi d_{bubbla}^2}{4} C_D \frac{v_{bubbla}^2}{2} \rho_{H_2O}$$

$$\Rightarrow v_{bubbla} = \sqrt{\frac{8d_{bubbla} g (\rho_{H_2O} - \rho_{CO_2})}{6C_D \rho_{H_2O}}}$$

C_D är beroende av hastigheten \Rightarrow iteration med fig 12.4

$$\text{Gissa: } C_D = 0,75 \Rightarrow v_{bubbla} = 0,132 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = 131 \Rightarrow C_D = 0,8$$

$$C_D = 0,8 \Rightarrow v_{bubbla} = 0,128 \text{ m/s} \Rightarrow \text{Re} = 127 \Rightarrow C_D = 0,8$$

Bubblans hastighet är 0.128 m/s

Bubblan skall färdas 0.18 m, detta ger tiden:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,18}{0,128} = 1,41 \text{ s}$$

B2.

Data:

$$T_{kropp} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = -5 \text{ }^\circ\text{C}$$

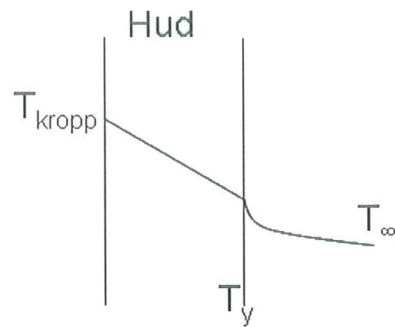
$$k_{kropp} = 0.02 \text{ W/m,K}$$

$$d_{kropp} = 0.005 \text{ m}$$

$$v_\infty = 5 \text{ m/s}$$

$$D = 0.2 \text{ m}$$

$$l = 1.7 \text{ m}$$



Värmebalans:

$$q_{ledning} = q_{konvektion}$$

$$\frac{k_{kropp}(T_{kropp} - T_y)}{d_{kropp}} = h(T_y - T_\infty) \quad (*)$$

a) Vi saknar h och T_y ! Vi kan hitta h genom korrelation, men filmtemperaturen T_{film} som vi tar materialdata vid är beroende av T_y så vi måste iterera.

$$T_{film} = \frac{T_y + T_\infty}{2}$$

$$\text{Gissa: } T_y = 1^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_{film} = -2^\circ\text{C}$$

Material data för luft tas vid $-2^\circ\text{C} = 271 \text{ K}$

$$\rho_{luft} = 1.28 \text{ kg/m}^3$$

$$v_{luft} = 0.132 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr_{luft} = 0.716$$

$$k_{luft} = 2.42 \cdot 10^{-2} \text{ W/m,K}$$

$$Re = \frac{v_\infty D}{v_{luft}} = \frac{5 \cdot 0.2}{0.132 \cdot 10^{-4}} = 7.6 \cdot 10^4$$

Vi behöver en korrelation som gäller för påtvingad konvektion

runt en cylinder \Rightarrow ekv 20-33, $B=0.027$, $n=0.805$

$$\Rightarrow Nu_D = BRe^n Pr = 0.027 Re^{0.805} Pr^{1/3}$$

$$\Rightarrow Nu_D = 0.027 \cdot 76000^{0.805} \cdot 0.716^{1/3} = 204.62$$

$$\Rightarrow h = \frac{Nu_D k_{luft}}{D} = \frac{204.62 \cdot 2.42 \cdot 10^{-2}}{0.2} = 24.76 \text{ W/m}^2, \text{K}$$

Vi löser värmebalansen (*) för T_y

$$\Rightarrow T_y = 0.84^\circ\text{C} \quad \text{Lösningen på iterationen är OK!}$$

b) Om det är vindstill

Värmeöverföringen är den samma som i a) $q_a = q_b$ och temperaturen på ytan av kroppen är densamma $T_{ya} = T_{yb}$

Däremot ändrar sig värmeöverföringskoefficienten, h eftersom vi nu har naturlig konvektion och vi behöver därmed en korrelation som gäller för naturlig konvektion. Även i detta fall måste vi iterera eftersom filmtemperaturen är beroende av den omgivande temperaturen, T_∞ .

Vi gissar $T_\infty = -29^\circ\text{C}$

$$\Rightarrow T_{film} = \frac{T_y + T_\infty}{2} \approx -15^\circ\text{C}$$

Materialdata tas för luft vid -15°C

$$\rho_{luft} = 1.369 \text{ kg/m}^3$$

$$\nu_{luft} = 0.12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr}_{luft} = 0.72$$

$$k_{luft} = 2.5 \cdot 10^{-2} \text{ W/m, K}$$

$$\frac{g\beta\rho^2}{\mu^2} = 4.6 \cdot 10^8$$

Korrelation för fri konvektion runt vertikal cylinder

\Rightarrow ekv 20-4 om följande gäller:

$$\frac{D}{l} = \frac{35}{Gr^{1/4}}$$

$$\frac{D}{l} = \frac{0.2}{1.7} = 0.118$$

$$\frac{35}{Gr^{1/4}} = \frac{35}{\left(\left(\frac{g\beta\rho^2}{\mu^2}\right)l^3(T_y - T_\infty)\right)^{1/4}} = \frac{35}{\left(4.6 \cdot 10^8 \cdot 1.7^3 (1 - (-29))\right)^{1/4}} = 0.069$$

OK! Ekv 20-4 kan användas

$$\Rightarrow Nu_L = \frac{hl}{k_{luft}} = \left(0.0825 + \frac{0.387 Ra_L}{(1 + (0.492 / \text{Pr})^{9/16})^{8/27}}\right)^2$$

$$Ra_L = Gr_L \cdot \text{Pr} = 4.6 \cdot 10^8 \cdot 1.7^3 (1 - (-29)) \cdot 0.72$$

$$\frac{hl}{k_{luft}} = 417.82$$

$$\Rightarrow h = 5.65 \text{ W/m}^2, \text{ K}$$

Med värmebalansen (*) kan T_{∞} lösas ut.

$$\Rightarrow T_{\infty} = -24.8^{\circ}\text{C} \quad \text{OK!}$$

Gissningen är nära nog, vilket gör att ytterligare iterering är onödig om inte exakt svar är nödvändigt!

B3.

Data:

$$A_{cell} = 0.82 \text{ cm}^2 = 0.82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$z_2 - z_1 = 17.1 \text{ cm} = 0.171 \text{ m}$$

$$t_{försök} = 10 \text{ h} = 36000 \text{ s}$$

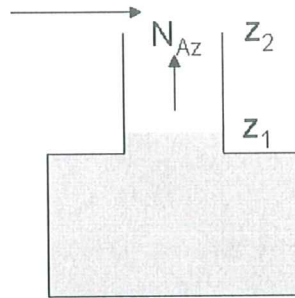
$$m_{CCl_4} = 0.033 \text{ g}$$

$$M_{CCl_4} = 159 \text{ g/mol}$$

$$p_{CCl_4}^{\circ} = 0.043 \text{ atm}$$

$$P_{tot} = 1 \text{ atm}$$

$$T = 0^{\circ}\text{C} = 273\text{K}$$



Det molära fluxet av A kan skrivas som:

$$N_{A,z} = cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A(N_{A,z} + N_{B,z}) \quad (24-20)$$

För en diffusionscell gäller transport genom stagnant komponent :

Luften är stagnant $\Rightarrow N_{B,z} = 0$

$$\Rightarrow N_{A,z} = \frac{cD_{AB}}{(z_2 - z_1)} \ln \frac{(1 - y_{A_2})}{(1 - y_{A_1})} \quad (26-5)$$

Det stationära molära fluxet kan också beräknas genom:

$$N_{A,z} = \frac{\text{mängden avdunstat } CCl_4 \text{ (mol)}}{\text{Tvärsnittsarean (m}^2) \cdot \text{Tiden (s)}} = \frac{m_{CCl_4}}{M_{CCl_4} A_{cell} t_{försök}} = 7.031 \cdot 10^{-9} \frac{\text{mol}}{\text{s, cm}^2}$$

$$y_{A_2} = 0 \quad y_{A_1} = \frac{p_{CCl_4}^{\circ}}{P_{tot}} = \frac{0.043}{1} = 0.043$$

$$D_{AB} = \frac{N_{A,z} (z_2 - z_1)}{\frac{P}{RT} \ln \frac{(1 - y_{A_2})}{(1 - y_{A_1})}} = \frac{7.031 \cdot 10^{-9} \cdot 17.1}{\frac{101325}{8.314 \cdot 273} \ln \frac{1}{(1 - 0.043)}} = 0.0613 \text{ cm}^2/\text{s}$$

B4.

Data:

$$V_{\text{vatten}} = 0.33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$v_{\infty} = 7 \text{ m/s}$$

$$C_{A,\infty} = 0.8 \text{ mol/m}^3$$

$$\tau_s = 0.81 \text{ kg/m}^2, \text{ s}$$

$$Sc = 1$$

$$T_{\text{vatten}} = 293 \text{ K}$$

$$\rho_{\text{luft}} = 1.21 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vatten}} = 998.2 \text{ kg/m}^3$$

$$t = 6 \text{ h} = 21600 \text{ s}$$

Vi söker arean på pölen, $A_{\text{pöl}} = \frac{V_{\text{vatten}}}{h_{\text{vatten}}} \quad (1)$

Där h_{vatten} är höjden på vattenpölen.

$$\rho_{\text{vatten}} h_{\text{vatten}} A_{\text{pöl}} [\text{kg avdunstat vatten}] = N_{A,z} M_{\text{vatten}} A_{\text{pöl}} t [\text{kg avdunstat vatten}]$$

$$\Rightarrow h_{\text{vatten}} = \frac{N_{A,z} M_{\text{vatten}} t}{\rho_{\text{vatten}}} \quad (2)$$

$$N_{A,z} = k_c (C_{A,\text{mättad}} - C_{A,\infty}) \quad (3)$$

k_c fås ur Chilton-Colburn:

$$\frac{k_c}{v_{\infty}} Sc^{2/3} = \frac{C_f}{2} \quad (4), (28-59)$$

$$C_f = \frac{2\tau_s}{\rho_{\text{luft}} v_{\infty}^2} = 0.02732 \quad (12-2)$$

Ur (4) fås: $k_c = \frac{C_f v_{\infty}}{2Sc^{2/3}} = 0.09563 \text{ m/s}$

$$C_{A,\text{mättad}} = \frac{p_{\text{vatten}}^{\circ}}{RT} = \frac{2340}{8.314 \cdot 293} = 0.9606 \text{ mol/m}^3$$

Ångtryck skall anges i problemet om det behövs för uppgiften!

Ur (3) fås: $N_{A,z} = 0.09563(0.9606 - 0.8) = 0.01536 \text{ mol/m}^2, \text{ s}$

Ur (2) fås: $h_{\text{vatten}} = \frac{N_{A,z} M_{\text{vatten}} t}{\rho_{\text{vatten}}} = \frac{0.01536 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \cdot 21600}{998.2} = 5.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Ur (1) fås: $A_{\text{pöl}} = \frac{V_{\text{vatten}}}{h_{\text{vatten}}} = \frac{0.33 \cdot 10^{-3}}{5.98 \cdot 10^{-3}} = 0.055 \text{ m}^2$