

TENTAMEN I TRANSPORTPROCESSER I KEMITEKNIKEN (KAA060)

Tisdag 21 augusti 2012 kl 08.30-13.30 i V.

Anders Rasmuson är anträffbar för frågor på telefonankn 2940 och kommer att vara i tentamenslokalen vid två tillfällen: kl 9-10 och kl 11-12.

Granskning av tentamensrättningen kan ske tidigast den 10 september 2012.

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)

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 tentamenstesen

DEL A. TEORI

A1. Man tar ett tunnväggigt glas, vänder det uppochner, och sticker helt ned det under en vattenyta (luft stängs in i glaset). Då måste man utöva en viss vertikal kraft på glaset så att det inte flyter upp. Hur ändras den erforderliga kraften om man för glaset djupare ner under vattenytan? Motivera! (2p)

A2. De statiska och dynamiska trycken har uppmätts med ett Prandtl-rör (Figur A1).

- Vilket tryck är vilket? Motivera!
- Ange hur (uttryck) hastigheten w kan beräknas ur dessa mätningar! (3p)

A3. En vätska strömmar laminärt mellan två vertikala plattor under inflytande av en konstant tryckgradient. Ena ytan (till vänster) står stilla och den högra rör sig uppåt med hastigheten v_0 (se Figur A2). Ställ med hjälp av en skalbalans (dvs. ej genom förenkling av NS ekvation) upp en modell (inklusive randvillkor) för hastighetsprofilen i spalten under stationära förhållanden. Ändeffekter kan försummas. Modellen ska ej lösas. (5p)

A4. Den instationära värmeledningsekvationen i en dimension skrivs: (3p)

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

- Vad betyder termerna fysikaliskt?
- Hur ändras utbredningshastigheten av temperaturprofilen, vid en temperaturförändring på ytan, om materialet ändras så att ρc_p ökar? Motivera!
- Hur ändras utbredningshastigheten av temperaturprofilen, vid en temperaturförändring på ytan, om materialet ändras så att k ökar? Motivera!

A5. Vid konvektiv uppvärmning av en fast kropp används Biot's tal, $Bi = hL/k$, för att karakterisera värmeöverföringen. Diskutera värmeöverföringen mellan den fasta kroppen och omströmmande medium för fallen Bi liten, $Bi \approx 1$ och Bi stor. Vilka approximationer kan göras i respektive fall? (3p)

A6. I Figur A3 visas tre gränsskikt för ett fall med samtidig laminär strömning, värmeöverföring och massöverföring från en plan platta. Identifiera kurvorna om $Pr = 100$ och $Sc = 10$? Motivera! (2p)

A7. Visa att diffusionsbidraget för komponent A är lika stort som bulkbidraget för komponent B (storlek och riktning) vid diffusion genom stagnant komponent! (3p)

A8. (3p)

- Vad är skillnaden mellan fri och påtvingad konvektion av massa?
- Vilka dimensionslösa tal karakteriserar respektive fall? Ge uttryck och fysikalisk tolkning.

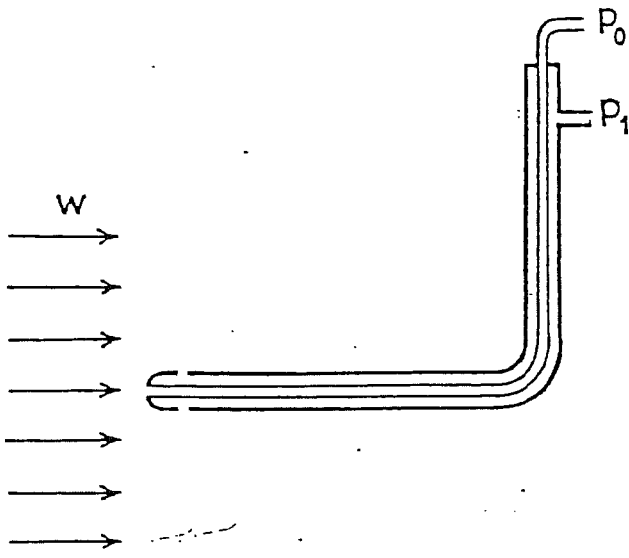


Fig. A1

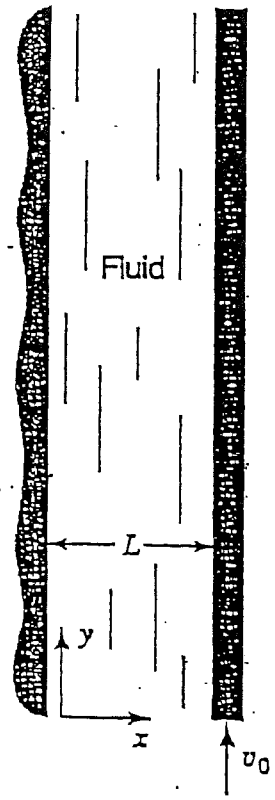


Fig. A2

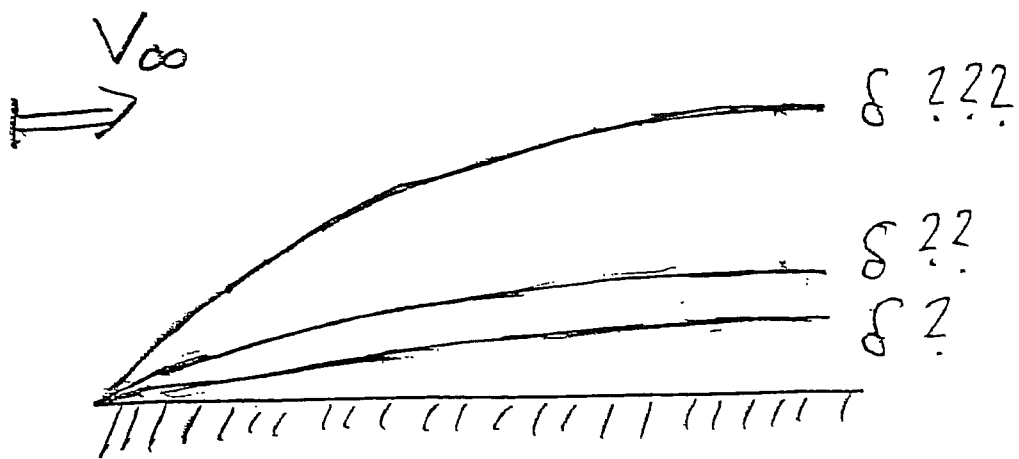


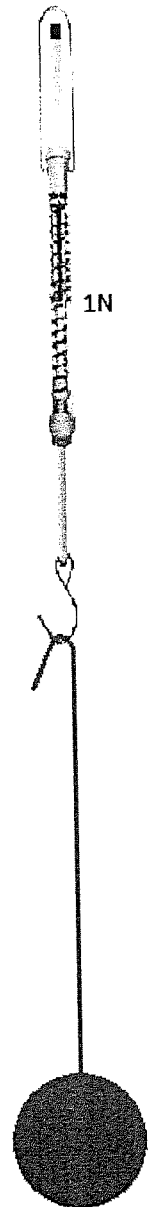
Fig. A3

DEL B. PROBLEM

B1

När Kålle går runt och snokar i en gammal verkstad hittar han en dynamometer. Eftersom Kålle är en nyfiken prick vill han genast undersöka vilket kraftutslag olika föremål visar på dynamometern. För att göra experimenten lite mer spännande tar han med sig dynamometern till en simbassäng som är 5m djup. Noggrann som han är mäter han temperaturen på vattnet innan han börjar experimentera. Termometern visar 20°C . Han håller sedan dynamometer under ytan och sätter fast olika föremål han hittar i sin omgivning. När Kålle hänger fast en stålkula i dynamometern, lossnar plötsligt kulan och faller mot botten. Hur lång tid tar det innan kulan når botten av bassängen. Innan kulan lossnar hinner Kålle läsa av dynamometern som visar 1N. Antag att terminalhastighet nås direkt.

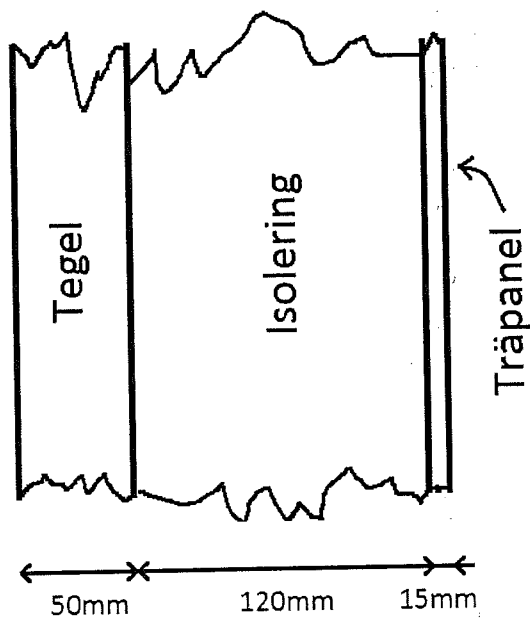
[10p]



B2

En husvägg består av tegel täckt av en okänd typ av isolering och innanför den en träpanel i ek som figuren visar. Under vintern har det visat sig att det är stora värmeförluster i huset i fråga och mätningar har därför gjorts på dessa. Inom- och utomhustemperaturen en dag är 23 respektive -18 grader C och värmefluxet genom väggen är då 29W/m^2 . Värmeöverföringskoefficienterna på väggens ut- och insida är 35 respektive $10\text{W/m}^2\text{K}$.

Bestäm isoleringens värmeledningstal.



[8p]

B3

Diffusiviteten för etanol i luft bestämdes i en steady-state Arnold avdunstningscell. Cellen, med en 0.82 cm^2 tvärsnittsarea, användes vid 297 K och $1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ tryck. Diffusionsvägens längd var 15.0 cm .

Vad blir diffusionskoefficienten för etanol i luft om 0.0445 cm^3 avdunstade på 10 timmar vid steady-state förhållanden?

Aktuell densitet för etanol är 789 kg/m^3 och ångtrycket över ren etanol är 6.9 kPa .

[8p]

B4

Ett kakmonster ligger och sover i ett lufttätt rum med volymen 10m^3 . Eftersom det är en varm sommardag och temperaturen inne i rummet är konstant 25°C har monstret ställt en fläkt i rummet. Medan han sover blåser en flaska innehållande en mintdoftande smaktillsats omkull och går sönder. Det bildas en pöl mitt på golvet med diametern 7dm . Smaktillsatsen förångas på grund av värmskillnaden mellan temperaturen i rummet och temperaturen på vätskan och värmeöverföringskonstanten uppskattas till $16\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. All värme antas förbrukas som förångningsentalpi. Eftersom kakmonstret är väldigt förtjust i mint har han tränat upp sin näsa att känna doften av mint redan vid en koncentration av $0.005\text{mol}/\text{m}^3$. Hur lång tid tar det innan kakmonstret vaknar? Under hela tiden är det totala lufttrycket i rummet 1atm , mättnadstrycket över pölen är 950Pa och diffusiviteten av mintmolekyler i luft uppskattas till $3 \cdot 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$.

OBS! Glöm inte att ta hänsyn till att koncentrationen ökar med tiden.

[10p]

Erratalista till 3W 5:e upplagan

Sidan 141, Exempel 1	Lyftkraften saknas!	
Sidan 175, ekv. 13-16	Står: $\frac{\Delta P}{\rho}$	Skall stå: $\frac{\Delta P}{\rho g}$
Sidan 316, ekv. 20-38	Skall stå: $Nu_D = 2 + 0.6Re_D^{1/2} Pr^{1/3}$	
Sidan 509	Står $Y = \frac{C_{A,S} - C_A}{C_{A,S} - C_{A,0}}$	Skall stå: $Y = \frac{C_{A,\infty} - C_A}{C_{A,\infty} - C_{A,0}}$
Sidan 555, Figur 29.3	Står $p_{A_i} = Hc_{A_i}^*$	Skall stå: $p_{A_i} = Hc_{A_i}$
Sidan 556, Figur 29.5	Står $p_{A_i} = Hc_{A_i}^*$	Skall stå: $p_{A_i} = Hc_{A_i}$
Sidan 659, Tabell F.9	Står $Y = \frac{C_{A,1} - C_A}{C_{A,1} - C_{A,0}}$	Skall stå: $Y = \frac{C_{A,\infty} - C_A}{C_{A,\infty} - C_{A,0}}$

Erratalista till 3W 4:e upplagan

Sidan 151, Figur 12.2: CD-axel	Står 0	Skall stå: 1
Sidan 190, ekv. 14-16	Står: $\frac{\Delta P}{\rho}$	Skall stå: $\frac{\Delta P}{\rho g}$
Sidan 541	Står $Y = \frac{C_{A,S} - C_A}{C_{A,S} - C_{A,0}}$	Skall stå: $Y = \frac{C_{A,\infty} - C_A}{C_{A,\infty} - C_{A,0}}$
Sidan 706, Tabell F.9	Står $Y = \frac{C_{A,1} - C_A}{C_{A,1} - C_{A,0}}$	Skall stå: $Y = \frac{C_{A,\infty} - C_A}{C_{A,\infty} - C_{A,0}}$

B1

5 m djup vatten bassäng

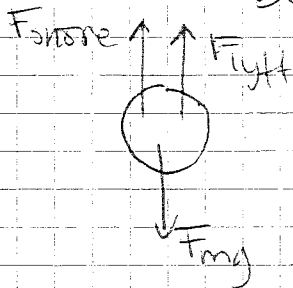
$$\rho_{\text{stål}} = 7820 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$F_{\text{snöre}} = 1 \text{ N}$$

Sökt: Hur lång tid det tar innan kulan når botten

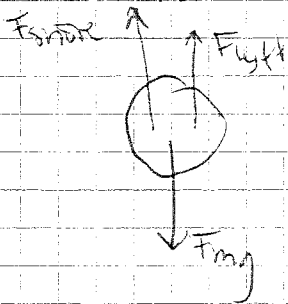


$$F_{\text{mg}} = F_{\text{lyft}} + F_{\text{snöre}}$$

$$\Rightarrow \rho_{\text{stål}} g V = \rho_{\text{H}_2\text{O}} g V + F_{\text{snöre}}$$

$$\Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{F_{\text{snöre}} \cdot 6}{(\rho_{\text{stål}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) g \pi}} \approx 0,03 \text{ m}$$

Hastighet när kulan lästrat
Fallande kropp



$$\rho_{\text{stål}} V g = \rho_{\text{H}_2\text{O}} V g + \frac{c_D A \rho_{\text{H}_2\text{O}} V_{\infty}^2}{2}$$

$$\Rightarrow v_{\infty} = \sqrt{\frac{4(\rho_{\text{stål}} - \rho_{\text{H}_2\text{O}}) D g}{3 - c_D \rho_{\text{H}_2\text{O}}}}$$

$$g_{\text{Bsu}} \quad c_D = 0,5 \Rightarrow v_{\infty} = 2,31 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 69440 \Rightarrow c_D \approx 0,5 \quad \text{ok!}$$

$$tid = \frac{5 \text{ m}}{2,31 \text{ m/s}} = \underline{\underline{2,16 \text{ sek}}}$$

B2

Lösning:

$$q/A = (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) / (1/h_{\text{ute}} + l_{\text{tegel}}/k_{\text{tegel}} + l_{\text{isolering}}/k_{\text{isolering}} + l_{\text{trä}}/k_{\text{trä}} + 1/h_{\text{inne}})$$

=>

$$k_{\text{isolering}} = l_{\text{isolering}} / ((T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) / (q/A) - 1/h_{\text{ute}} - l_{\text{tegel}}/k_{\text{tegel}} - l_{\text{trä}}/k_{\text{trä}} - 1/h_{\text{inne}}) = 0.12 / (41/29 - 1/35 - 0.05/1.13 - 0.015/0.21 - 1/10) =$$

0.1026 W/mK

dvs riktigt dåligt isoleringsmaterial

17.4

Diffusivitet av etOH

$$A_{tv} = 0,82 \text{ cm}^2 = 0,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T = 297 \text{ K}$$

$$P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$z_2 - z_1 = 0,15 \text{ m} \quad \text{diffusionslängd}$$

$$V_{\text{våd.}} (10 \text{ h}) = 0,0455 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{etOH}} = 789 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{\text{etOH}}^0 = 6,9 \text{ kPa} \quad \text{Ångtryck}$$

$$M_{\text{etOH}} = 46,07 \text{ g/mol}$$

$$t = 10 \text{ h} = 36000 \text{ s}$$

Anlag stationär process & ingen produktion av A

$$\frac{dN_{AE}}{dz} = 0$$

$$N_{AE} = \frac{C \cdot D_{AB}}{(z_2 - z_1)} \cdot \ln \left(\frac{1 - Y_{A2}}{1 - Y_{A1}} \right) \quad \text{kap. (25.4)}$$

stationärt = konstant avdunst. hastighet

$$N_{AE} \left[\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$$

$$\text{total mängd avdunstet mol: } N_A = \frac{V_{\text{våd.}} \cdot S_A}{M_A}$$

$$N_{AE} = \frac{V_{\text{våd.}} \cdot S_A}{M_A \cdot A_{tv} \cdot t} = \frac{C \cdot D_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \left(\frac{1 - Y_{A2}}{1 - Y_{A1}} \right)$$

$$Y_{A2} = 0$$

$$Y_{A1} = \frac{P_A^0}{P_{\text{tot}}}$$

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$$

$$\Rightarrow D_{AB} = \frac{N_{\text{avd}} \cdot S_A (z_2 - z_1) RT}{M_A \cdot A_{\text{tv}} \cdot t \cdot P \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{P_A^0}{P_{\text{tot}}}}\right)}$$
$$= 1,371 \cdot 10^{-5} \left[\text{m}^2/\text{s} \right]$$

B4

Lösning:

Material parametrar tas för luft vid 45°C från Appendix I (320K)

$$\rho = 1.1032 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1.0073 \cdot 10^3 \text{ J/kgK}$$

$$\mu = 1.9391 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$$

$$Pr = 0.703$$

$$h = 16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$D_{AB} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pa^* = 850 \text{ Pa}$$

$$V = 10 \text{ m}^3$$

$$d = 0.7 \text{ m}$$

För att beräkna tiden kan fluxet utnyttjas (Na [mol/m²s])

$$Na = k_c (c_{mint,yta} - c_{mint,\infty})$$

Chilton-colburn analogin utnyttjas för att beräkna k_c

$$\frac{h}{\rho v_\infty c_p} (Pr)^{2/3} = \frac{k_c}{v_\infty} (Sc)^{2/3} \rightarrow k_c = 0.012 \text{ m/s}$$

Nu kan Na utnyttjas för att få tiden när koncentrationen överstiger 0.005 mol/m³

$$c_{mint,\infty} = \frac{n_{mint}}{V} \rightarrow (Na = \frac{n_{mint}}{A \cdot t} = k_c (c_{mint,yta} - c_{mint,\infty}))$$
$$\rightarrow \frac{A \cdot t \cdot k_c (c_{mint,yta} - c_{mint,\infty})}{V}$$

$$\rightarrow \int_0^{0.01} \frac{dc_{mint,\infty}}{c_{mint,yta} - c_{mint,\infty}} = \int_0^t \frac{A \cdot k_c}{V} dt$$

$$\left[-\ln \left(\frac{p^o}{RT} - c_{mint,\infty} \right) \right]_0^{0.005} = \frac{A \cdot k_c}{V} t \rightarrow t \approx 28 \text{ s}$$