

## TENTAMEN I TRANSPORTPROCESSER I KEMITEKNIKEN (KAA060)

Fredag 13 april 2012 kl 08.30-13.30 i V.

---

Olle Höglom är anträffbar för frågor på telefonankn 3034 och kommer att vara i tentamenslokalen vid två tillfällen: kl 9-10 och kl 11-12.

---

Granskning av tentamensrättningen kan ske tidigast den 3 maj 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.** I Figur A1 visas Mariotte's flaska. Ge uttryck för hastigheten i utflödet då vätskenivån sjunker. Inkludera hela utströmingsförloppet! (3p)

**A2.** Ställ upp uttryck för komponenterna av kraften **B** från rörböj till den strömmande vätskan i Figur A2. Förhållandena i läge 1 och 2 är att betrakta som kända. (3p)

**A3.** Navier-Stokes ekvation ges av: (4p)

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \rho \mathbf{g} - \nabla p$$

- Ange fysikalisk betydelse av de olika termerna!
- Hur förenklas ekvationen vid stationär strömning (motivera)?
- Hur förenklas ekvationen vid låga värden på Reynolds tal (motivera)?

**A4.** För steady-state värmeledning genom ett cylindriskt skal gäller:

$$q = \frac{k\bar{A}}{r_o - r_i} \Delta T$$

där  $\bar{A}$  är medelarean. Härled denna! (3p)

**A5.** Den totala värmeöverföringskoefficienten för en vägg med tre skikt kan skrivas:

$$U = \frac{1}{1/h_i + L_1/k_1 + L_2/k_2 + L_3/k_3 + 1/h_o}$$

Ge detaljerad fysikalisk tolkning! (3p)

**A6.** Det totala massfluxet för ämne A (en dimension) kan generellt skrivas:

$$N_{A,z} = c_A(v_{A,z} - V_z) + y_A(c_A v_{A,z} + c_B v_{B,z})$$

Förklara i detalj den fysikaliska innebörden av detta uttryck! (2p)

**A7.** En ren vätska A avdunstar från en delvis vätskefylld bägare. (3p)

- Enligt vilket specialfall kan masstransporten i gasfasen beskrivas? Ange uttrycket för massfluxet för den avdunstande komponenten (A) för detta fall och ge fysikalisk betydelse av varje term!

- b) Vilken mekanism dominerar masstransporten om vätskan är kall eller nära kokpunkten respektive? Motivera!

A8. För masstransport vid laminär strömning över en plan platta gäller:

$$Nu_{L,AB} = 0.664 Re_L^{1/2} Sc^{1/3}$$

- a) Ge uttryck och fysikalisk tolkning av ingående dimensionslösa tal!  
b) Vilket är det analoga uttrycket för värmetransport?

(3p)

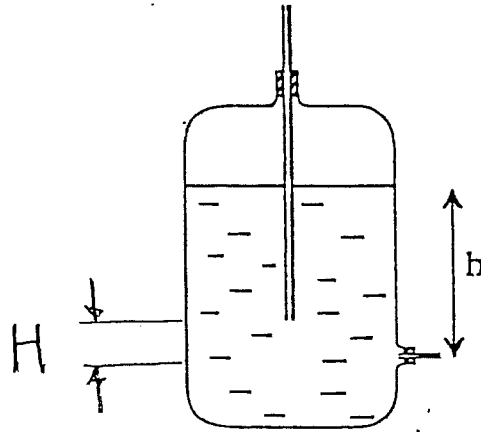


Fig A1

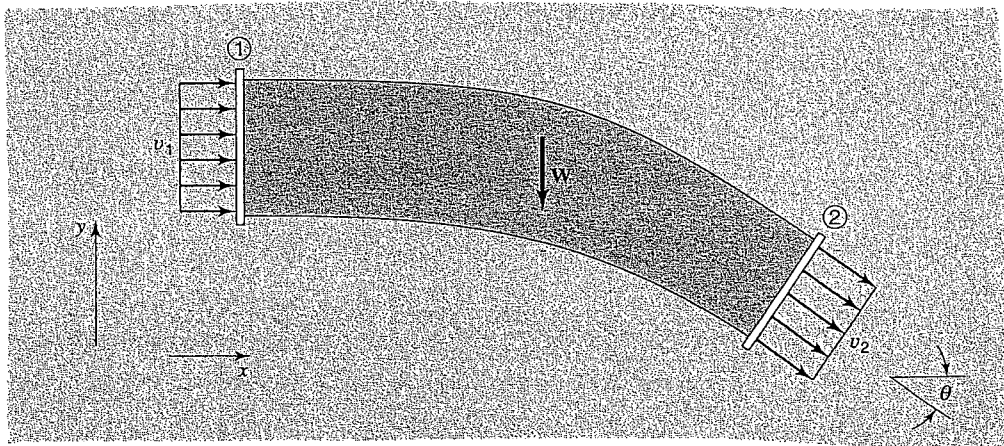
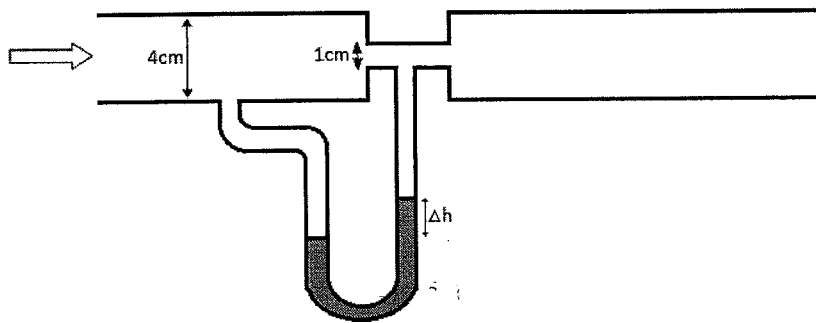


Fig. A2

## DEL B. PROBLEM

### B1

I en studie av flödesegenskaper hos en pappersmassasuspension med låg fiberkoncentration studeras flödet efter en förträngning enligt figuren nedan. Massasuspensionen kan antas bete sig som en Newtonsk fluid med en densitet av  $1000\text{kg/m}^3$ . Röret som studeras har ett kvadratisk tvärsnitt med sidan 4 cm och flödes hastigheten är  $2.88 \cdot 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ . För att undersöka tryckfallet över steget kopplas en venturimeter till röret i vilken en vätska med en densitet av  $13500\text{kg/m}^3$  används för att mäta tryckskillnaden. Vilken höjdskillnad,  $\Delta h$ , visar manometern?



(8p)

**B2**

Busungarna Emil och Ture utför ett busstreck som går ut på att täppa till avgasröret på bilar med potatisar för att sen se dem få motorstopp. I ett fall trycker de in en liten potatis i avgasröret på Esa-Pekka Juntunens lastbil då han stannat för en kafferast under en långkörning. Potatisen i detta fall är för liten för att ställa till någon skada så Esa-Pekka kan utan problem köra vidare utan att märka någonting. När han senare stannar för att tanka 20 min senare ser han potatisen i avgasröret och konstaterar att han ut den. Han kommer fram till att det måste varit ungarna han såg tidigare som stoppat in den där och eftersom han både gillar bakad potatis och är en hejare på transportprocesser börjar han fundera över om den kanhända är färdig att äta.

Potatisen kan approximeras med en sfär med diametern 4cm som innan uppvärmningen i avgasröret höll en temperatur på 10°C. Esa-Pekka approximerar avgaserna med luft vid temperaturen 150°C som omströmmar potatisen vid en hastighet på 1m/s. Värmeledningstalet, värmekapaciteten och densiteten för potatis kommer Esa-Pekka ihåg ligger runt 1.1W/mK, 3.5 kJ/kgK respektive 976 kg/m<sup>3</sup> från en tenta han skrev i transportprocesser på 70-talet.

Vilken temperatur kommer Esa-Pekka fram till att potatisens mitt har?

(10p)

**B3**

Ett motströms absorptionstorn arbetar vid 20 °C och 1 atm för att absorbera SO<sub>2</sub> från en luftblandning till vatten. Vid en punkt i utrustningen är partialtrycket av SO<sub>2</sub> 35 mmHg och koncentrationen i vätskeströmmen är 0.6 kmol SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup><sub>lösning</sub>. Film-massöverföringskoefficienten i gasfas har bestämts till 3.95\*10<sup>-6</sup> [mol/m<sup>2</sup>sPa] och i vätskefas 1.0\*10<sup>-4</sup> [m/s]. Jämviktsdata vid 20 °C och 1 atm enligt nedan.

P SO <sub>2</sub> [mm Hg]	SO <sub>2</sub> [mol/L]
0.5	0.306
4	1.659
8.5	2.78
12	3.468
26	6.22
59	10.9

*Jämviktsdata för ammoniak i luft över vattenblandningar.*

$$1 \text{ Pa} = 0.0075 \text{ mmHg}$$

- Bestäm koncentrationerna i kontaktytorna;  $C_{A,i}$  och  $p_{A,i}$ .
- Bestäm den procentuella andelen av det totala transportmotståndet som återfinns i vätskefasen.

(8p)

**B4**

En våtväggskolonn består av ett vertikalt rör där vatten strömmar uppifrån och ner längs insidan på rörets väggar och luft strömmar nerifrån och upp inuti röret. Temperaturen på in- och utgående luft är uppmätta till 50°C respektive 10°C. Vattnet håller en konstant temperatur på 7°C. Partialtrycket av ånga i ingående luft är 4mBar.

Beräkna partialtrycket av ånga i utgående luft.

Till din hjälp kan du använda att Stantons tal i detta fall kan skrivas som

$$St_H = \frac{T_{in} - T_{ut}}{\Delta T_{lm}} \frac{A_{tv}}{a}, \text{ samt} \quad St_D = \frac{P_{ut} - P_{in}}{\Delta P_{lm}} \frac{A_{tv}}{a}$$

där

T = temperatur

P = Partialtryck av ånga

$A_{tv}$  = Luftströmmens tvärsnittsarea

a = Gränsytans storlek

och index

in = Luften in

ut = Luften ut

lm = logaritmiskt medelvärde

Mättnadsångtrycket i Pa för vatten ges av  $P = 611.2 \cdot \exp(17.62 \cdot T / (243.12 + T))$   
där temperaturen T ska anges i °C.

(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:  $Y = \frac{C_{A,\infty} - C_A}{C_{A,\infty} - C_{A,0}}$