

Institutt for fysikk

## **Eksamensoppgave i TFY4115 Fysikk**

**Faglig kontakt under eksamen: Jon Andreas Støvneng**

**Tlf.: 45 45 55 33**

**Eksamensdato: 18. desember 2013**

**Eksamenstid (fra-til): 0900-1300**

**Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: C (Godkjent kalkulator; Rottmann, Matematisk formelsamling)**

**Annen informasjon:** Kun ett av svarene er rett på hver av de 50 oppgavene. Du krysser av for A, B, C eller D i tabellen på side 17. Rett svar gir 2 poeng. Feil svar, flere svar eller ingen svar gir 0 poeng. Husk å skrive på riktig kandidatnummer i boksen over svartabellen på side 17. Det er tilstrekkelig å levere inn det ene arket med utfylt svartabell.

Opgavene er utarbeidet av Jon Andreas Støvneng.

Sensuren er klar senest 18. januar, sannsynligvis lenge før.

**Målform/språk: Bokmål**

**Antall sider med oppgaver: 12 (Side 1 – 12)**

**Antall sider vedlegg (formler etc): 4 (Side 13 – 16)**

**Antall sider med svartabell og julehilsen: 2 (Side 17 – 18)**

**I alt 9 dobbeltsidige ark i tillegg til forsidearket.**

**Kontrollert av:**

---

Dato

Sign

**FORMLER:** Fete symboler angir vektorer. Symboler med hatt over angir enhetsvektorer. Formlernes gyldighetsområde og de ulike symbolenes betydning antas forøvrig å være kjent. Symbolbruk og betegnelser som i forelesningene.

### MEKANISK FYSIKK

- Newtons andre lov:  $\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$      $\mathbf{p} = m\mathbf{v} = m\dot{\mathbf{r}}$
- Konstant akselerasjon:  $v = v_0 + at$      $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$
- Konstant vinkelakselerasjon:  $\omega = \omega_0 + \alpha t$      $\theta = \theta_0 + \omega_0t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
- Arbeid:  $dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$     Kinetisk energi:  $K = \frac{1}{2}mv^2$
- Konservativ kraft og potensiell energi:  $U(\mathbf{r}) = -\int_{\mathbf{r}_0}^{\mathbf{r}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r}$      $\mathbf{F} = -\nabla U(\mathbf{r})$
- Friksjon,    statisk:  $f \leq \mu_s N$     kinetisk:  $f = \mu_k N$
- Luftmotstand (liten  $v$ ):  $\mathbf{f} = -k\mathbf{v}$     Luftmotstand (stor  $v$ ):  $\mathbf{f} = -Dv^2\hat{v}$
- Tyngdepunkt:  $\mathbf{R}_{CM} = \frac{1}{M} \sum_i \mathbf{r}_i m_i \rightarrow \frac{1}{M} \int \mathbf{r} \cdot dm$
- Sirkelbevegelse:  $v = r\omega$     Sentripetalakselerasjon:  $a = -v^2/r$     Baneakselerasjon:  $a = dv/dt = r d\omega/dt$
- Dreiemoment:  $\boldsymbol{\tau} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{F}$     Statisk likevekt:  $\sum \mathbf{F}_i = 0$      $\sum \boldsymbol{\tau}_i = 0$
- Dreieimpuls:  $\mathbf{L} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{p}$     N2 rotasjon:  $\boldsymbol{\tau} = d\mathbf{L}/dt$
- Stive legemer, sylinderensymmetri mhp rotasjonsaksen:  $\mathbf{L} = \mathbf{L}_b + \mathbf{L}_s = (\mathbf{R}_{CM} - \mathbf{r}_0) \times M\mathbf{V} + I_0\boldsymbol{\omega}$
- Kinetisk energi, stivt legeme:  $K = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}I_0\omega^2$     Trehetsmoment:  $I = \sum_i m_i r_i^2 \rightarrow \int r^2 dm$
- Steiners sats (parallellakse-teoremet):  $I = I_0 + Md^2$
- Gravitasjon:  $\mathbf{F} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r}$      $U(r) = -\frac{GMm}{r}$      $\mathbf{g} = \mathbf{F}/m$
- Enkel harmonisk oscillator:  $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$      $T = 2\pi/\omega_0$      $f = 1/T = \omega_0/2\pi$   
Masse i fjær:  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$     Matematisk pendel:  $\omega_0 = \sqrt{g/L}$
- Fri, dempet svingning, langsom bevegelse i fluid:  $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$   
 $\Rightarrow \ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$      $\omega_0^2 = k/m$      $\gamma = b/2m$   
Underkritisk demping ( $\gamma < \omega_0$ )     $x(t) = Ae^{-\gamma t} \sin(\omega t + \phi)$      $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$   
Overkritisk demping ( $\gamma > \omega_0$ )     $x(t) = Ae^{-\alpha_1 t} + Be^{-\alpha_2 t}$      $\alpha_{1,2} = \gamma \pm \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$   
Kritisk demping ( $\gamma = \omega_0$ )     $x(t) = Ae^{-\gamma t} + Bte^{-\gamma t}$

- Tvungen svingning, harmonisk ytre kraft:  $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F_0 \cos \omega t$

(partikulær-)løsning:  $x(t) = A(\omega) \sin(\omega t + \phi(\omega))$

amplitude:  $A(\omega) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + (2\gamma\omega)^2}}$

## TERMISK FYSIKK

- Utvidelseskoeffisienter (lineær og volum), trykk-koeffisient, isoterm kompressibilitet:

$$\alpha = \frac{1}{L} \left( \frac{\partial L}{\partial T} \right)_p \quad \beta = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = 3\alpha \quad \gamma = \frac{1}{p} \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \quad \kappa = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial p} \right)_T$$

- Første hovedsetning:

$$dQ = dU + dW$$

- Varmekapasitet  $C$ , pr masseenhet  $c$ , pr mol  $c_m$ :

$$C = \frac{dQ}{dT}, \quad c = C/M, \quad c_m = C/n$$

- $C_p$  og  $C_V$ :

$$C_p = (dQ/dT)_p, \quad C_V = (dQ/dT)_V$$

$$C_p - C_V = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

$$C_p - C_V = nR \quad \text{for ideell gass}$$

- Den termodynamiske identitet:

$$TdS = dU + pdV$$

- Ideell gass tilstandsligning:

$$pV = Nk_B T = nRT$$

- van der Waals tilstandsligning:

$$p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - \frac{aN^2}{V^2}$$

- Adiabatisk prosess:

$$dQ = 0$$

- "Overraskende nyttig relasjon":

$$\left( \frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_V - p$$

- Virkningsgrad for varmekraftmaskin:

$$\eta = \frac{W}{Q_2}$$

- Virkningsgrad for Carnot-maskin:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

- Maxwells hastighetsfordeling:  
for hastighetskomponentene:

$$g(v_x) = \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{1/2} e^{-mv_x^2/2k_B T}$$

for hastigheten:

$$F(v) = \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2k_B T}$$

for hastighetens absoluttverdi:

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2k_B T}$$

- Gauss-integraler:

$$I_0(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$$

$$I_2(\alpha) = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 e^{-\alpha x^2} dx = -\frac{d}{d\alpha} I_0(\alpha) \quad \text{etc}$$

- Det klassiske ekvipartisjonsprinsippet:

Hver frihetsgrad som inngår kvadratisk i energifunksjonen  $E$  bidrar med  $k_B T/2$  til midlere energi pr partikkel.

- Partisjonsfunksjon  $Z$  og tilstandssannsynlighet  $\pi_j$ :

$$Z = \sum_j e^{-E_j/k_B T} \quad , \quad \pi_j = Z^{-1} e^{-E_j/k_B T}$$

- Kjøleskap og varmepumpe, virkningsgrad (effektfaktor):

$$\varepsilon_K = \left| \frac{Q_1}{W} \right| \quad , \quad \varepsilon_V = \left| \frac{Q_2}{W} \right|$$

- Entropi og Clausius' ulikhet:

$$dS = \frac{dQ_{\text{rev}}}{T} \quad \oint dS = 0 \quad \oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

- Boltzmanns prinsipp:

$$S = k_B \ln W$$

- Clapeyrons ligning:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta S}{\Delta V}$$

- Damptrykk-kurven:

$$p_d(T) = p_d(T_0) \exp \left[ \frac{l}{R} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

( $l$  = molar latent varme,  $T_0$  = valgt referansetemperatur)

- Strålingshulrom, frekvensfordeling:

$$\eta(f, T) = \frac{du}{df} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{f^3}{\exp(hf/k_B T) - 1}$$

- Stefan-Boltzmanns lov:

$$j_s(T) = \frac{c}{4} u(T) = \sigma T^4 \quad (\sigma = 2\pi^5 k_B^4 / 15h^3 c^2)$$

- Fouriers lov:

$$\mathbf{j} = -\kappa \nabla T$$

- Varmeledning ligningen:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_T \nabla^2 T \quad , \quad D_T = \kappa / c\mu$$

med  $\kappa$  = varmeledningsevne,  $c = C/M$  = varmekapasitet pr masseenhet,  $\mu = M/V$  = masse pr volumenhet.

## KONSTANTER, OMREGNINGSFAKTORER OG DEKADISKE PREFIKSER

- Fundamentale konstanter:

$$\begin{aligned} G &= 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \quad (g = 9.81 \text{ m/s}^2) \\ m_e &= 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ m_p = m_n &= 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ k_B &= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \\ R &= 8.314 \text{ J/molK} \\ N_A &= R/k_B = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ h &= 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ \hbar &= h/2\pi = 1.05 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \\ e &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ c &= 3.00 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ \sigma &= 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \end{aligned}$$

- Omregningsfaktorer:

$$\begin{aligned} 1 \text{ eV} &= 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ 1 \text{ \AA} &= 10^{-10} \text{ m} \\ 1 \text{ cal} &= 4.184 \text{ J} \\ 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ atm} &= 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ 1 \text{ mmHg} &= 133.3 \text{ Pa} \end{aligned}$$

- Dekadiske prefikser: p = piko =  $10^{-12}$ , n = nano =  $10^{-9}$ ,  $\mu$  = mikro =  $10^{-6}$ , m = milli =  $10^{-3}$ , c = centi =  $10^{-2}$ , k = kilo =  $10^3$ , M = mega =  $10^6$ , G = giga =  $10^9$

Kandidatnummer:

Oppgave	A	B	C	D	Oppgave	A	B	C	D
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	29	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	38	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	39	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	41	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	43	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	44	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	45	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	46	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	47	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	48	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	49	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

NB: Kontroller at du har satt nøyaktig ETT kryss for HVER av de 50 oppgavene!

GOD JUL!