BOKMÅL

Kandidatnr………………..

Studieretning……………...

Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet
Institutt for fysikk, NTNU
TFY4125 Fysikk, vår 2011

Faglig kontakt under eksamen:
Navn: Dag W. Breiby
Tlf.: 984 54213

EKSAMEN I EMNE TFY4125 – FYSIKK
Fredag 10. juni 2011
Tid: 0900-1300

Tillatte hjelpemidler: Kode C:
Typegodkjent kalkulator, med tomt minne
K. Rottmann: Matematisk Formelsamling
S. Barnett & T.M. Cronin: Mathematical Formulae

Eksamenssettet er utarbeidet av førsteamanuensis Dag W. Breiby i samråd med prof. Eivind H. Hauge og prof. Emil J. Samuelsen. Settet består av:

Forsiden (denne siden) som skal leveres inn som svar på flervalgsoppgaven (Oppgave 4).

Oppgavetekst til "vanlige" oppgaver 1-3	side 2-4
Ett sett med 10 flervalgsspørsmål i oppgave 4	side 5-7
Vedlegg: Formelark	side 8-10

Hvert delspørsmål a) b) etc. i oppgavene 1-3 teller likt, med til sammen 60 % for alle 10 delspørsmål. Oppgave 4 med flervalgsspørsmål teller 20 %. De resterende 20 % utgjøres av midtsemesterprøven.

Ved besvarelsen av flervalgsspørsmål skal bare ett av svaralternativene angis. Riktig svar gir 1 poeng, feil svar 0 poeng. Det gis ikke tilleggspoeng for notater i marg e.l.

Svar på flervalgsspørsmål i Oppgave 4
(riv av denne siden og lever den sammen med besvarelsen)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Oppgave 1.

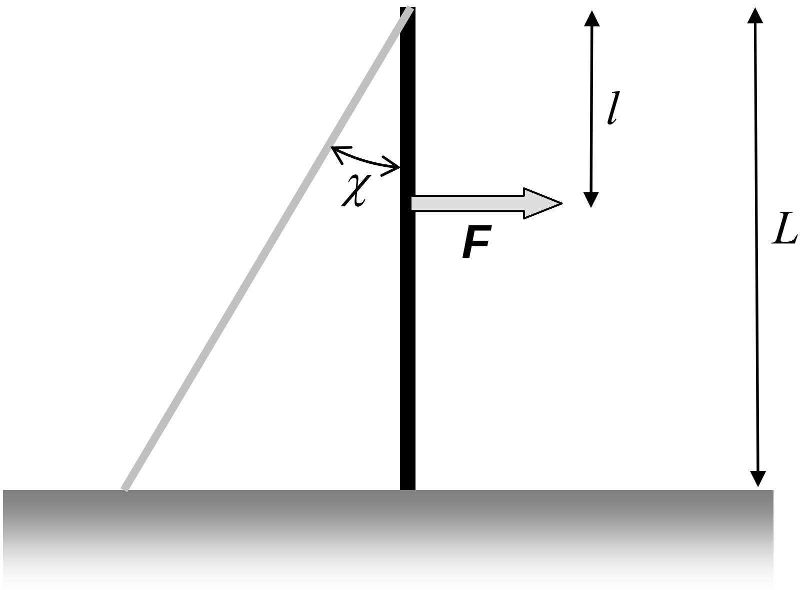
a) En ideell gass med adiabatkonstant γ har i utgangspunktet et volum V_1 og et trykk p_1. Gassen utvider seg isotermt (og reversibelt) til det dobbelte volum. Finn uttrykk for arbeidet W som gassen utfører på omgivelsene (uttrykt ved p_1 og V_1).

b) Anta at volumutvidelsen isteden skjer adiabatisk. Finn uttrykk for arbeidet W_{ad} som gassen nå utfører.

c) Skissér begge prosessene ovenfor i et PV-diagram. Kan du ut fra figuren slutte hvilket arbeid som er størst? Stemmer resonnementet med resultatene fra a) og b)?

d) Fortell <u>med ord</u> hvordan gassens *trykk* og *temperatur* kan forstås fra kinetisk gassteori. Ved isoterm utvidelse avtar trykket proporsjonalt med $1/V$, ved adiabatisk ekspansjon som $1/V^{\gamma}$. Kan du forklare med kinetisk gassteori hvorfor trykket avtar raskere med V i det adiabatiske tilfellet enn i det isoterme?

Oppgave 2.



En stav med lengde L og masse m står loddrett på et underlag med friksjonskoeffisient μ_s, og toppen av staven er festet til gulvet med en snor med neglisjerbar masse, se figur. Det er en vinkel χ mellom staven og tauet. En kraft **F** virker horisontalt på staven i en avstand l fra toppen.

a) Tegn kraftdiagram for staven, og angi de generelle kravene for at et stivt legeme skal være i statisk likevekt. Diskuter kort om likevekt er mulig med negativ F (altså, kraft rettet mot venstre på figuren).

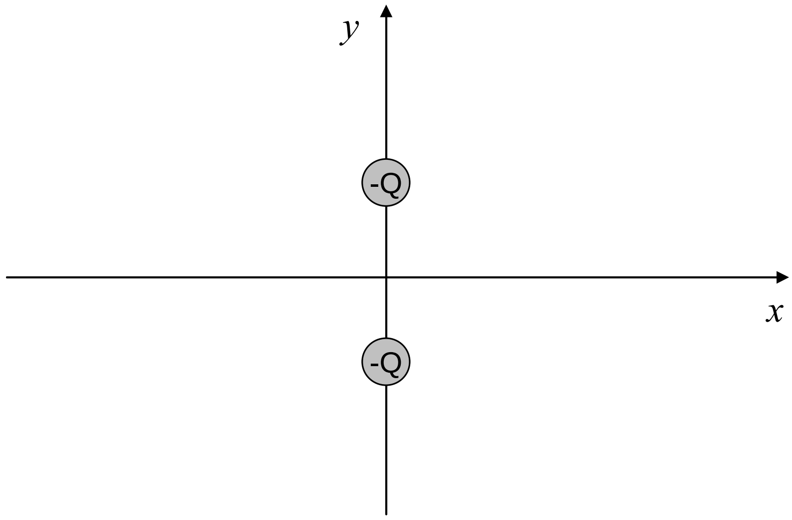
b) Vis at et uttrykk for den maksimale verdien kraften $F = |\mathbf{F}|$ kan ha før staven begynner å skli, er gitt ved

$$F \leq \frac{mg\tan\chi}{r\left(1+\dfrac{\tan\chi}{\mu_s}\right)-1}, \qquad (1)$$

Her er $r \equiv l / L \in (0,1)$, og g er tyngdens akselerasjon.

c) Anta at $m = 10{,}0$ kg, $\mu_s = 0{,}25$, og $\tan\chi = 0{,}75$. Hvor stor er den maksimale kraften for $r = 1$ og for $r = 0{,}5$? Ligning (1) divergerer for en kritisk verdi $r = r_c$. Finn uttrykk og tallsvar for denne verdien, og forklar kort hva som skjer for $r \leq r_c$.

Oppgave 3.



To punktladninger $-Q$ er plassert på y-aksen i $y = \pm\, a$, slik figuren viser.

a) Vis at potensialet i et vilkårlig punkt i xy-planet (utenfor ladningene) er gitt ved

$$V(x,y) = \frac{-Q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\sqrt{x^2+(y-a)^2}} + \frac{1}{\sqrt{x^2+(y+a)^2}}\right).$$

b) Finn et forenklet uttrykk (uten kvadratrot) for potensialet på x-aksen $V(x)$, for $x \ll a$. Finn deretter et uttrykk for det elektriske feltet på x-aksen, $\mathbf{E}(x)$, fortsatt for $x \ll a$.
Hint: $(1+x)^{-\frac{1}{2}} \approx 1-\frac{x}{2}$.

c) En testladning med positiv ladning q og masse m kan kun forflytte seg langs x-aksen. Er likevektsposisjonen $x = 0$ stabil? Finn uttrykk for svingefrekvensen testladningen får hvis den skyves litt ut fra likevektsposisjonen $x = 0$ og deretter slippes.

Oppgave 4. Flervalgsoppgaver

4.1

Du har en venn som bor i Sør-Norge, og du bor i Nord-Norge. Når Jorda roterer er din lineære hastighet ___________ hennes, og din rotasjonshastighet er ____________ hennes.

A) større enn; lik
B) lik; større enn
C) større enn; mindre enn
D) mindre enn; større enn
E) mindre enn; lik

4.2

Ei skive som først er i ro, blir satt i rotasjon med konstant vinkelakselerasjon. Hvis det tar 10 omdreininger å nå vinkelhastigheten ω, hvor mange flere rotasjoner er nødvendig for å nå vinkelhastigheten 2ω?

A) 10 rot B) 20 rot C) 30 rot D) 40 rot E) 50 rot

4.3

Du slenger en stein rundt. Steinen er festet i enden av ei snor, og beveger seg i en horisontal sirkel med radius R = 0,65 m med en frekvens på 4 rotasjoner/s da snora plutselig ryker. Like etter at snora ryker er hastigheten til steinen

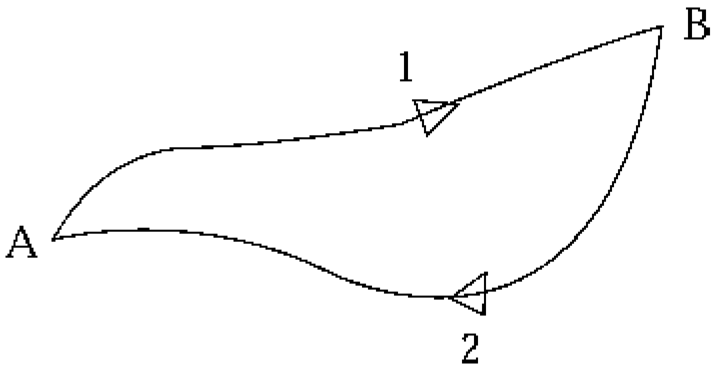
A) rett ned.
B) 32 m/s langs en tangent til sirkelen.
C) 16 m/s langs en radius rettet vekk fra senteret.
D) 1,0 m/s langs en radius rettet mot senteret.
E) alle alternativene A-D er feil.

4.4

Et prosjektil med masse m skytes opp fra bakkenivå med kinetisk energi 450 J. På toppen av banen har prosjektilet kinetisk energi lik 250 J. Hvilken maksimal høyde når prosjektilet over bakkenivået? (Anta SI enheter).

A) $\frac{450}{mg}$ B) $\frac{250}{mg}$ C) $\frac{700}{mg}$ D) $\frac{200}{mg}$ E) $\frac{350}{mg}$

4.5



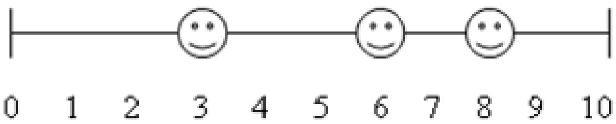
En partikkel beveger seg fra A til B langs bane 1, og tilbake langs bane 2, slik figuren viser.
Vi definerer:

W(AB, 1) = arbeidet ved å gå fra A $\rightarrow$ B langs 1.
W(BA, 2) = arbeidet ved å gå fra B $\rightarrow$ A langs 2.

Hvis bare konservative krefter virker på partikkelen, så er

A) $W(\text{AB}, 1) > W(\text{BA}, 2)$
B) $W(\text{AB}, 1) < W(\text{BA}, 2)$
C) $W(\text{AB}, 1) + W(\text{BA}, 2) > 0$
D) $W(\text{AB}, 1) + W(\text{BA}, 2) < 0$
E) $W(\text{AB}, 1) + W(\text{BA}, 2) = 0$

4.6 Tre smilefjes er plassert langs x aksen som følger: m_1 = 5 kg ved 3,0 m, m_2 = 3 kg ved 6,0 m og m_3 = 2 kg ved 8,0 m. Hvor er massesenteret?

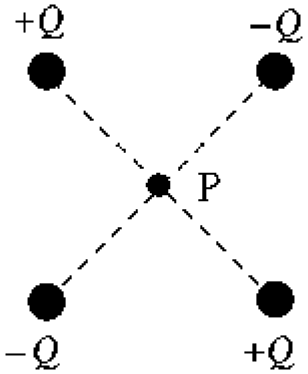


A) 3,9 m B) 4,9 m C) 5,5 m D) 4,1 m E) 5,1 m

4.7 En varmekraftmaskin absorberer 150 J varme fra et varmt reservoar og avgir 90 J til et kaldt reservoar. Hva er virkningsgraden til maskinen?
A) 20% B) 40% C) 60% D) 67% E) 90%

4.8 En 5,0 mC ladning er plassert i et uniformt elektrisk felt med styrke $E = 3{,}5 \cdot 10^5$ N/C. Hvor mye arbeid kreves for å flytte denne ladningen 50 cm langs en bane som har en vinkel på 33° med det elektriske feltet?
A) 0,27 J B) 0,16 J C) 0,54 J D) 0,73 J E) 7,3 mJ

4.9



Ladninger +Q og –Q er plassert i hjørnene av et kvadrat som vist i figuren. Når det elektriske feltet ***E*** og det elektriske potensialet *V* bestemmes ved senteret i kvadratet P (anta nullpunkt for potensialet $V = 0$ i uendelig avstand), finner vi at

A) $E \neq 0$ og $V > 0$

B) $E = 0$ og $V = 0$

C) $E = 0$ og $V > 0$

D) $E \neq 0$ og $V < 0$

E) Alle alternativene A-D er feil.

4.10 Tidsvariasjonen til den magnetiske fluksen gjennom ei sløyfe er gitt ved ligningen

$$\phi_m = 6t^2 + 7t + 1$$

(SI enheter). Den induserte emf'en i sløyfa ved $t = 2$ s er

A) 38 V B) 39 V C) 40 V D) 31 V E) 19 V

Formelliste for emnet TFY4125 Fysikk

Vektorstørrelser er i **uthevet** skrift.

Fysiske konstanter:

Ett mol: $M(^{12}C) = 12$ g | 1u = $1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg | $N_A = 6{,}0221 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}

$k_B = 1{,}3807 \cdot 10^{-23}$ J/K | $R = N_A k_B = 8{,}3145$ J mol^{-1} K^{-1} | 0ºC = 273,15 K

$\varepsilon_0 = 8{,}8542 \cdot 10^{-12}$ C^2/Nm^2 | $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2

$e = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C | $m_e = 9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ kg

$c = 2{,}9997 \cdot 10^8$ m/s | $h = 6{,}6261 \cdot 10^{-34}$ Js | $g = 9{,}81$ m/s^2

Mekanikk:

$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{r},t)$, der $\mathbf{p}(\mathbf{r},t) = m\mathbf{v} = md\mathbf{r}/dt$; $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$

Konstant a: $v = v_0 + at$; $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$; $2as = v^2 - v_0^2$

$dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}$; $K = \frac{1}{2}mv^2$; $U(\mathbf{r})$ = potensiell energi. (tyngde: mgh; fjær: $\frac{1}{2}kx^2$)

$\mathbf{F} = -\nabla U$; $F_x = -\frac{\partial}{\partial x}U(x,y,z)$; $E = \frac{1}{2}mv^2 + U(\mathbf{r}) + \textit{friksjonsarbeid} = \textit{konst.}$

Tørr friksjon: $|F_f| = \mu_s \cdot F_\perp$ eller $|F_f| = \mu_k \cdot F_\perp$; Viskøs friksjon: $\mathbf{F}_f = -k_f \mathbf{v}$

Dreiemoment: $\boldsymbol{\tau} = (\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \times \mathbf{F} = I\boldsymbol{\alpha}$, der $\mathbf{r}_0$ er valgt ref. punkt og I treghetsmomentet. $dW = \boldsymbol{\tau} \cdot d\boldsymbol{\theta}$

Statisk likevekt: $\mathbf{F} = \sum_i \mathbf{F}_i = \mathbf{0}$, $\boldsymbol{\tau} = \sum_i \boldsymbol{\tau}_i = \mathbf{0}$.

Massemiddelpunkt (tyngdepunkt): $\mathbf{R} = \frac{1}{M}\sum_i m_i \mathbf{r}_i$, $M = \sum_i m_i$

Elastisk støt: $\Sigma_i \mathbf{p}_i = \textit{konstant}$; $\Sigma_i E_i = \textit{konstant}$. Uelastisk støt: $\Sigma_i \mathbf{p}_i = \textit{konstant}$.

Impuls: $\mathbf{I} = \Delta\mathbf{p}$, $\mathbf{I} = \int \mathbf{F}(t)dt$.

Vinkelhast.: $\boldsymbol{\omega} = \omega\hat{\mathbf{z}}$; $|\boldsymbol{\omega}| = \omega = d\theta/dt$; Vinkelakselerasjon: $\boldsymbol{\alpha} = d\boldsymbol{\omega}/dt$; $\alpha = d\omega/dt = d^2\theta/dt^2$

Sirkelbevegelse: $v = r\omega$; Sentripetalakselerasjon $a_r = -v\omega = -v^2/r = -r\omega^2$

Baneaks.: $a_\theta = dv/dt = r\,d\omega/dt = r\alpha$; Rotasjonsenergi: $K_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$, der I er treghetsmomentet.

$I \equiv \sum_i m_i r_{\perp i}^2 \rightarrow \int_V dV \rho r_\perp^2$. Akse gjennom massemiddelpunktet: $I \rightarrow I_0$.

Massiv kule: $I_0 = \frac{2}{5}MR^2$; Kuleskall: $I_0 = \frac{2}{3}MR^2$; Kompakt sylinder / skive: $I_0 = \frac{1}{2}MR^2$;

Lang, tynn stav: $I_0 = \frac{1}{12}ML^2$; Parallellakseteoremet (Steiners sats): $I = I_0 + Mb^2$
Betingelser for ren rulling: $v = \omega R$; $a = \alpha R$.

Dreieimpuls: $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{r} \times m\mathbf{v}$. Spinn: $\mathbf{L}_{egen} = I_0 \boldsymbol{\omega}$. $\boldsymbol{\tau} = d\mathbf{L} / dt$.

Hydrostatisk trykk: $p(h) = p_0 + \rho g h$; $m = \rho V$;

Bernoulli, langs strømlinje: $p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h = konst.$

Svingninger:

Udempet svingning: $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$; $\omega_0 = \sqrt{k/m}$; $T = 2\pi / \omega_0$; $f_0 = 1/T = \omega_0 / 2\pi$

Pendel: $\ddot{\theta} + \omega_0^2 \sin\theta = 0$; Fysisk pendel: $\omega_0 = \sqrt{gmd/I}$; Matematisk pendel: $\omega_0 = \sqrt{g/l}$

Termisk fysikk:

n = antall mol; $N = nN_A$ = antall molekyler; $\alpha = l^{-1} dl / dT$

$Q_{in} = \Delta U + W$; $C = \dfrac{\Delta Q}{\Delta T}$; (Varmekapasiteten kan være gitt per masseenhet eller per mol)

$PV = nRT = Nk_B T$; $PV = N\frac{2}{3}\langle K \rangle$; $\langle K \rangle = \frac{1}{2}m\langle v^2 \rangle = \frac{3}{2}m\langle v_x^2 \rangle$; $\Delta W = P\Delta V$; $W = \int_1^2 P dV$

Molar varmekapasitet: $C_V = \frac{3}{2}R$ (en-atomig); $C_V = \frac{5}{2}R$ (to-atomig); $C_P = C_V + R$. $dU = C_V \cdot dT$.

For ideell gass: $\gamma \equiv C_P / C_V$. Adiabat: $PV^\gamma = konst.$; $TV^{\gamma - 1} = konst.$

Virkningsgrader for varmekraftmaskiner: $\varepsilon = W / Q_v$; Carnot: $\varepsilon = 1 - T_k / T_v$: Otto: $\varepsilon = 1 - 1/r^{\gamma - 1}$

Kjøleskap: $\eta_K = \left|\dfrac{Q_k}{W}\right| \xrightarrow{Carnot} \dfrac{T_k}{T_v - T_k}$; Varmepumpe: $\eta_{VP} = \left|\dfrac{Q_v}{W}\right| \xrightarrow{Carnot} \dfrac{T_v}{T_v - T_k}$

Clausius: $\sum \dfrac{\Delta Q}{T} \le 0$; $\oint \dfrac{dQ}{T} \le 0$; Entropi: $dS = \dfrac{dQ_{rev}}{T}$; $\Delta S_{12} = \int_1^2 \dfrac{dQ_{rev}}{T}$; $S = k_B \ln W$

Entropiendring i en ideell gass (per mol): $\Delta S_{12} = C_V \ln(T_2/T_1) + R \ln(V_2/V_1)$

_____ **Elektrisitet og magnetisme:** ____

Coulomb: $\mathbf{F}(\mathbf{r}) = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$; $\mathbf{E}(\mathbf{r}) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{\mathbf{r}}$; $V(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r}$.

Elektrisk felt: $\mathbf{E} = -\nabla V = -\left\langle \frac{\partial V}{\partial x}, \frac{\partial V}{\partial y}, \frac{\partial V}{\partial z} \right\rangle$; $E_x = -\frac{dV}{dx}\hat{\mathbf{x}}$.

Elektrisk potensial: $\Delta V = V_b - V_a = -\int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$. $\Delta U = Q\Delta V$

1. Gauss lov $\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \oint_S E_n dA = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

2. Gauss lov for magnetisme $\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \oint_S B_n dA = 0$

3. Faradays lov $\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = emf = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{d}{dt}\int_S B_n dA = -\int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} dA$

4. Amperes lov $\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \left(I + I_D\right)$, $I_D = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \varepsilon_0 \int_S \frac{\partial E_n}{\partial t} dA$

Fluks: $\Phi_E = \int_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \int_S E_n \cdot dA$; $\Phi_M = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int_S B_n \cdot dA$.

Kapasitans: $C \equiv \frac{Q}{V}$. $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}Q^2 / C$. For platekondensator: $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$.

Energitetthet: $u_E = \frac{U_E}{volum} = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$; $u_B = \frac{U_B}{volum} = \frac{1}{2\mu_0}B^2$

Biot-Savarts lov: $d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$. $\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Q\mathbf{v} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$

Lorentzkraften: $\mathbf{F} = Q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$; $d\mathbf{F} = I(d\mathbf{l} \times \mathbf{B})$.