

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
 INSTITUTT FOR FYSIKK

Faglig kontakt under eksamen
 Navn: Frode Mo, tlf. 93585

EKSAMEN I FAG SIF 4006/SIF4009 FYSIKK
 Datateknikk (FIM) og Kommunikasjonsteknologi (ET)
 Onsdag 12. des., 2001
 Tid: kl. 0900 – 1500

Tillatte hjelpemidler: B2 – godkjent lommekalkulator med tomt minne.
 K.J. Knutsen: Formler og data i fysikk
 O.H. Jahren og K.J. Knutsen: Formelsamling i matematikk
 K. Rottmann: Matematisk formelsamling

Svar på oppgave 3 skal føres på tekstsidene, og disse må leveres inn som en del av besvarelsen.

Oppgave 1

En ideell toatomig gass, $\gamma = 1.40$, er lukket inne i en sylinder vha. et stempel. Volumet av gassen er $V_1 = 5.0 \ell$, trykket $p_1 = 1.0 \text{ atm.}$ og temperaturen $t_1 = 20^\circ\text{C}$.

- Hvor mange mol gass er det i sylindren?
- Gassen komprimeres adiabatisk til et volum $V_2 = 3.0 \ell$. Beregn trykk p_2 og temperatur t_2 av gassen ved avslutning av kompresjonen.
- Hvor stort arbeid W er utført ved kompresjonen?

I stedet for å komprimere gassen i ett trinn fra V_1 til V_2 som beskrevet under b) ønsker en å gjøre det slik: Først en adiabatisk kompresjon til et mellomliggende volum $V > V_2$. Deretter avkjøling ved konstant volum til starttemperaturen t_1 . Til slutt en ny adiabatisk kompresjon til volum V_2 .

- Vis i et pV -plott de to prosessene: adiabatisk kompresjon i ett trinn, og kompresjon i to trinn med et isochort mellomtrinn.
- Utleid et uttrykk for totalt arbeid ved kompresjon fra V_1 til V_2 i to trinn. Uttrykket skal inneholde den ukjente størrelsen V , ellers bare kjente størrelser som f.eks. T_1 , V_1 og V_2 .
- I Bestem verdien V må ha for at totalt utført arbeid skal være et minimum.
 II Angi %-vis reduksjon evt. økning i dette arbeidet relativt verdien fra c).

Oppgave 2

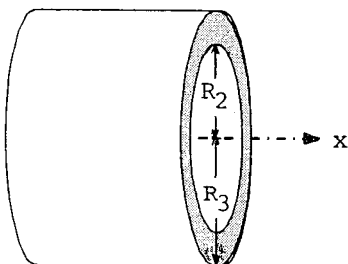


Fig. 2 a

Et langt sylindrisk rør av ledende materiale ligger med symmetriaksen i x -aksen i et ortogonalt koordinatsystem (fig. 2a). Indre rørradius $R_2 = 3 \text{ mm}$ og ytre radius $R_3 = 4 \text{ mm}$. Sylindren leder en strøm i positiv x -retning. Strømtettheten er symmetrisk om sylinderaksen og gitt ved:

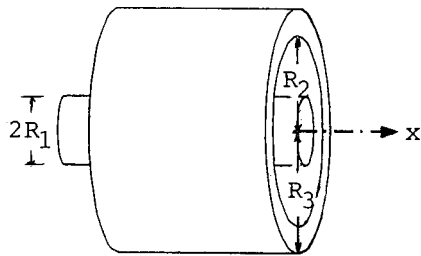


Fig. 2 b

$$\mathbf{J}(r) = \frac{2I_0}{\pi(R_3^4 - R_2^4)} r^2 \hat{\mathbf{i}} \quad \text{for } R_2 \leq r \leq R_3$$

$$\mathbf{J}(r) = 0 \quad \text{for } r < R_2 \text{ og } r > R_3$$

Her er r = radiell avstand fra sylindreraksen, I_0 = konstant og $\hat{\mathbf{i}}$ = enhetsvektor langs \mathbf{x} .

Permeabiliteten for materialet kan settes lik μ_0 , permeabiliteten for vakuum.

- a) I Vis at den totale strømmen som går i lederen er I_0 .
 II Bestem radius r_c ($R_2 < r_c < R_3$) som er slik at den deler røret i to deler, der hver del leder en like stor strøm $I_0/2$.
- b) I Utled vha. Ampères lov uttrykk for størrelse av magnetfeltet $B(r)$ for alle områder av r .
 II Hvilken retning har $\mathbf{B}(r)$ relativt strømretningen \mathbf{I}_0 for $r > R_2$? Beregn $B(r)$ for $r = 3.6$ mm og $I_0 = 10.0$ A.
 III Plott $B(r)$ sfa. r for de forskjellige områdene av r .

Parallelt med denne lederen i xy -planet blir det lagt en identisk sylindrerformet leder i $y = 4 R_3$. I begge lederne går det en like stor strøm I_0 .

- c) Beregn det resulterende magnetfeltet i linja i $y = 2 R_3$ (midtvægs mellom og parallelt med de to lederne) for disse to tilfellene:
- I Parallelle strømmer II Antiparallelle strømmer

Sett inn for de tidligere oppgitte verdiene for rørradier og for $I_0 = 10.0$ A og finn tallverdier.

Det lages en koaksialkabel ved å trekke en massiv sylinder av samme materiale med radius $R_1 = 1.5$ mm sentrert inn i sylinderskallet som vist i fig. 2b. Strømmen i den indre sylindrer er homogen.

- d) I Det viser seg at $B = 0$ for $r > R_3$. Hva er størrelse og retning av strømmen i den indre sylindrer?
 II Beregn strømtettheten $\mathbf{J}(r)$ i den.

Strømmen slås av og all ladning på det ytre røret ledes vekk slik at det får null netto ladning. På den indre sylindrer ligger positiv ladning som gir en lineær ladningstetthet λ (C/m).

- e) I Utled uttrykk for elektrisk felt $E(r)$ for alle områder av r . Kommenter resultatet og vis i en skisse retningen av feltet.
 II Plott $E(r)$ sfa. r for de forskjellige områdene av r .

Vi lar et dielektrisk materiale med dielektrisitetskonstant $K = 5.0$ fylle rommet mellom den indre og den ytre lederen.

- f) Finn elektrisk felt $E(r)$ og plott $E(r)$ sfa. r for alle r i dette tilfellet.

Noen formler og uttrykk

Elektromagnetisme

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\mathbf{l} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2} \quad \text{Biot-Savarts lov} \quad \mathbf{E} = \mathbf{F}/q \quad \text{Elektrisk felt}$$

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \cdot I_{\text{innenfor}} \quad \text{Amperes lov} \quad \mathbf{E} = -\nabla V \quad \text{Elektrisk potensial}$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{Q_{\text{innenfor}}}{\epsilon_0} \quad \text{Gauss' lov} \quad V = -\int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s}$$

$$\Phi_B = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad \text{Magnetisk fluks} \quad \Delta U = -\int \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} \quad \text{Potensiell energi}$$

$$\epsilon = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{Faradays lov} \quad U_{ij} = q_j V_i$$

$$I = \int \mathbf{J} \cdot d\mathbf{A} \quad \text{Strøm og strømtetthet}$$

$$d\mathbf{F}_B = I \cdot d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad \text{Magnetisk kraft } d\mathbf{F} \text{ på strømelement med lengde } dl$$

$$\mathbf{F}_B = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad \text{Magnetisk kraft } \mathbf{F} \text{ på ladning i bevegelse}$$

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + (\mathbf{v} \times \mathbf{B})) \quad \text{Lorentz kraft}$$

Lenz lov:

En induert strøm er alltid slik at den forsøker å motvirke forandringen i den magnetiske fluks som framkaller strømmen.

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2 \quad - \text{ permittiviteten i tomt rom}$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \quad - \text{ konst. i Coulombs likning}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \quad - \text{ permeabiliteten i tomt rom}$$

Varmelære (ideelle gasser)

$$pV = nRT \quad \text{Tilstandslikninga}$$

$$c'_v = N \cdot R/2 \quad \text{Varmekapasitet ved konstant volum, } N = \# \text{ frihetsgrader}$$

$$c'_p = c'_v + R \quad \text{Varmekapasitet ved konstant trykk}$$

$$pV^\gamma = \text{konst.}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{konst.}$$

$$p^{1-\gamma}T^\gamma = \text{konst.}$$

Adiabatlikningene

$$\gamma \equiv c'_p/c'_v$$

$$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad - \text{ gasskonstanten}$$

$$k = 1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \quad - \text{ Boltzmanns konstant}$$

Oppgave 3

Svar kort, tegn skisse eller marker rett svar med ring rundt den aktuelle bokstaven.

1. En partikkel beveger seg som en harmonisk oscillator. Den passerer gjennom likevektsposisjonen med hastigheten v . Partikkelen stoppes og bevegelsen startes igjen men slik at hastigheten gjennom likevektsposisjonen nå blir $2v$. Dette medfører at frekvensen av oscillasjonene forandres med faktoren

A	B	C	D	E
4	$\sqrt{8}$	2	$\sqrt{2}$	1 uforandret

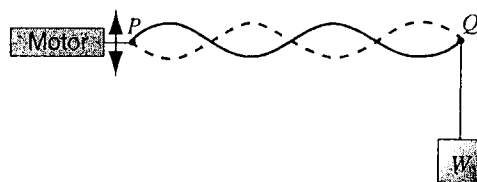
2. Etter fordobling av hastigheten (pkt. 1) vil maksimal aksellerasjon forandres med en faktor

A	B	C	D	E
4	$\sqrt{8}$	2	$\sqrt{2}$	1 uforandret

3. Resonansfrekvensen for en tvunget dempet harmonisk oscillator når stabil tilstand er oppnådd vil være lik frekvensen av

A	B	C	D
Ytre påtvunget kraft	Dempet oscillator	Udempet fri oscillator	Hvilken som helst av A, B og C fordi disse frekvensene er like

4. En tråd er strukket fra en frekvensgenerator P (motor med justerbar frekvens) over ei friksjonsfri trinse Q vha. et lodd W. Motoren gir tråden en konstant vertikal vibrasjonsfrekvens på 120 Hz. Med et lodd på 240 g oppstår en stående bølge med to mellomliggende noder. Hva er fundamentalfrekvensen (Hz) for systemet med dette loddet?



A	B	C	D	E
30	40	60	80	180

5. Hvor stor masse (g) må loddet i pkt. 4 ha for å gi en stående bølge med tre mellomliggende noder som i figuren?

A	B	C	D	E
480	360	280	135	67.5

6. Det blir generert transversale vandrede bølger i en streng strukket med konstant kraft og med en gitt masse. For å fordoble både bølgelengde og amplitude må tilført effekt forandres med en faktor

A	B	C	D	E
$4\sqrt{2}$	4	$\sqrt{2}$	1	$1/\sqrt{2}$

7. Stemmen til en person som først puster inn helium (He) vil få en tydelig forhøyd frekvens (Donald Duck stemme). Kan du forklare hvorfor?

8. En instrumentmaker borer et senterhull med diameter 20.0 mm i ei sirkulær plate av aluminium ved 25 °C. Hva er diameteren av hullet (mm) når plata har en temperatur på 180 °C? Lineær termisk ekspansjonskoeffisient for Al: $\alpha_{Al} = 2.30 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

A	B	C	D	E
19.93	20.00	20.07	20.53	19.47

9. Foran kalde høstnetter hender det at fruktdyrkere sprayer frukta på trærne med vann for å beskytte den mot frost. Forklar hvordan dette henger sammen.

10. I starten på kompresjonsslaget i en forbrenningsmotor inneholder en sylinter et volum på 1 l luft ved atmosfæretrykk og temperatur $30 \text{ }^\circ\text{C}$. På slutten av slaget er volumet 60 cm^3 og trykket er 35 atm . Hva er temperaturen ($^\circ\text{C}$) av den komprimerte lufta?

A	B	C	D	E
63	163	280	363	450

11. Et mol av en ideell gass med $\gamma = 5/3$ har $T = 273 \text{ K}$ og $p = 1 \text{ atm}$. En varmemengde på 500 J tilføres gassen under konstant trykk. Hvor stor forandring gir det i indre energi (J)?

A	B	C	D	E
0	200	300	450	500

12. Anta så at gassen i pkt. 11 får tilført samme varmemengde 500 J ved konstant volum. Hvordan vil ΔU bli i forhold til resultatet i pkt. 11. Svaret skal begrunnes.

A	B	C
Større	Mindre	Like stor

Begrunnelse:

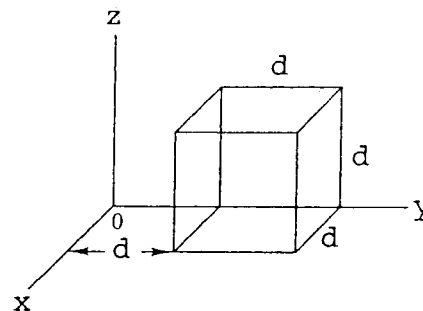
13. Et mol av en ideell monoatomær gass med tilstandsparametrene (p_1, V_1) får ekspandere under trykkfall til $(0.2 p_1, 6 V_2)$. Hva er forandringen i entropi (J/K) ved denne prosessen?

A	B	C	D	E
35.4	17.2	8.314	4.82	0

14. To identiske små kuler av ledende materiale henger i avstanden 1 m fra hverandre. Kulene har like stor positiv ladning q og krafta mellom dem er F . Halvparten av ladningen på den ene kula blir overført til den andre. Krafta mellom de to kulene blir da

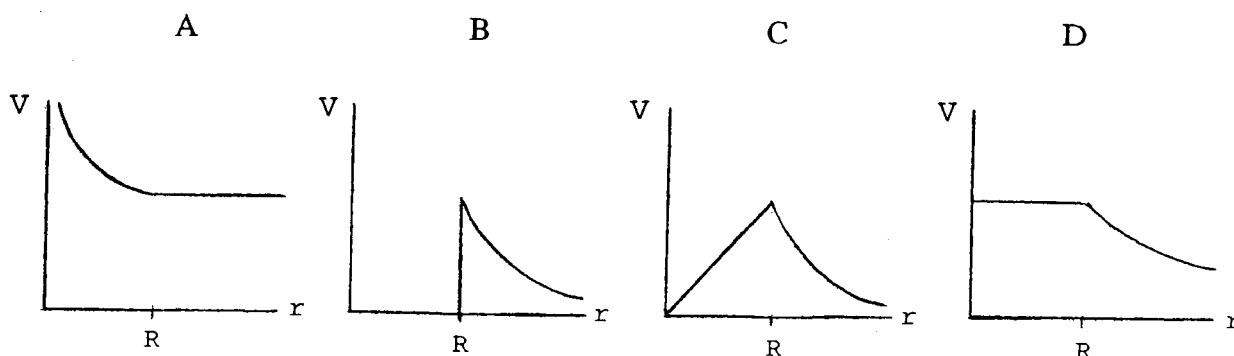
A	B	C	D	E
$F/4$	$F/2$	$3F/4$	$3F/2$	$3F$

15. Et terningformet volum ligger i et koordinatsystem som vist. De elektriske feltkomponentene er: $E_y = b\sqrt{y}$, $E_x = E_z = 0$. Hvor stor elektrisk fluks Φ_E går gjennom terningen? Vis i figuren flukslinjene.

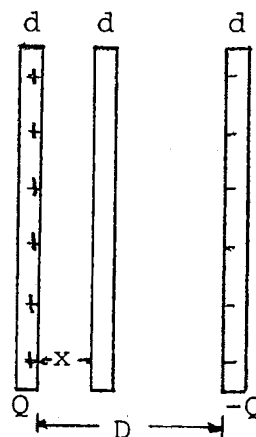


A	B	C	D	E
0	bd^2	$2bd^{5/2}$	$bd^2\sqrt{2}$	$bd^{5/2}(\sqrt{2} - 1)$

16. Et kuleskall av godt ledende materiale har ladning $+q$. Kuleradius er R . Hvilken graf av elektrisk potensiale V sfa. avstanden r fra kulesentrum er riktig?



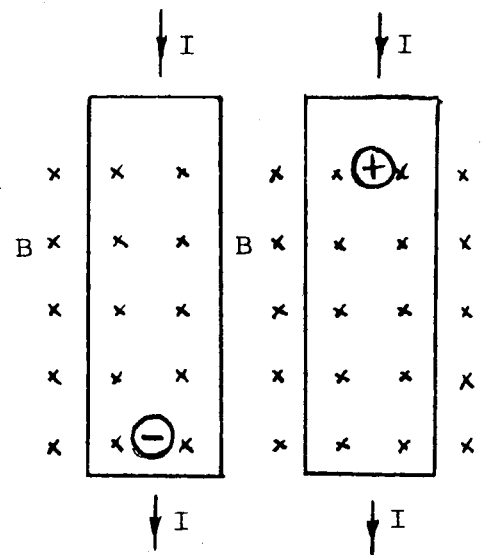
17. To store metallplater med plateareal A og tykkelse d står i avstand D fra hverandre. De to platene har ladning hhv. $+Q$ og $-Q$. Ei uladet metallplate med identisk areal og tykkelse føres inn i gapet mellom de to slik at avstanden mellom uladet og positivt ladet plate er x . Hva er kapasitansen av dette systemet av plater?



A	B	C	D	E
$\frac{\epsilon_0 A}{D-d}$	$\frac{\epsilon_0 A}{D-(d+x)}$	$\frac{\epsilon_0 A}{D/2}$	$\frac{\epsilon_0 A(D-d)}{D-(d+x)x}$	$\frac{\epsilon_0 A}{D}$

18. En fullt oppladet kondensator med kapasitans C lades ut gjennom en resistans R . Vis i et diagram forløpet sfa. tid og gi det analytiske uttrykket for sammenhengen mellom utgående ladning q og tid t . Sett symboler på aksene og forklar størrelsene. Hvor lang tid, målt i tidskonstanter RC for kretsen, tar det før lagret energi i kondensatoren er halvert i forhold til startverdien?

19. Forklar Hall-effekten. Bruk som utgangspunkt figuren som viser to strømførende strips av et halvledermateriale liggende i et ytre magnetfelt B med retning inn i papirplanet. Tegn inn og forklar for de to tilfellene
- negativ ladningsbærer (elektron)
 - positiv ladningsbærer (hull)
- Konvensjonell strømretning i figuren er ovenfra og ned.



20. Et batteri som gir en konstant ems ε_0 kan koples til to strømførende ledere som vist. Et magnetfelt \mathbf{B} står normalt på planet gjennom de to lederne som har innbyrdes avstand L . En ledende stav med masse m kan forskyves friksjonsfritt langs lederne, normalt både på disse to og på magnetfeltet. Når batteriet koples til vil staven først aksellerere i en bestemt retning inntil den får en konstant terminal hastighet \mathbf{v} . Forklar hva som skjer her. Argumenter kvalitativt for at \mathbf{v} blir konstant. Gi retning både av \mathbf{v} og evt. induisert strøm i kretsen.

