

NTNU  
INSTITUTT FOR FYSIKK

Fagleg/faglig kontakt under eksamen:  
Institutt for fysikk, Gløshaugen  
Professor Johannes Falnes, 735-93452

## EKSAMEN I EMNE 74055 FYSIKK OG ENERGI

Laurdag/lørdag 29. mai 1999

Tid: kl. 09.00-14.00

Hjelpemiddel:

B1 - Typelogd kjent kalkulator, med tomt minne, i samsvar med liste utarbeidd av NTNU er tillatt.

Ingen trykte eller handskrivne/håndskrevne hjelpemiddel er tillatt.

Sensuren kan ventast i veke 26

Sensuren faller i uke 26

Det vil kanskje bli bruk for nokre av konstantane og formlane nedanfor, som kandidaten sjølv må tolka:

Det vil kanskje bli bruk for noen av konstantene og formlene nedanfor, som kandidaten selv må tolke:

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$$

$$T\lambda_{\max} = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ Km}$$

$$E_{g,\text{Si}} = 1,11 \text{ eV}$$

$$m_{\text{S}} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

$$m_{\text{J}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_{\text{J}} = 6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$L_{\text{SJ}} = 1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$\eta_{\text{C}} = 1 - T_{\text{L}}/T_{\text{H}}$$

$$E = (U - U_0) + p_0(V - V_0) + T_0(S - S_0)$$

$$M_{\nu} = [\varepsilon(\nu) 2\pi h\nu^3 / c^2] / [\exp(h\nu/kT) - 1]$$

$$I = I_0 [\exp(eV/AkT) - 1] - I_{\text{L}}$$

$$P_0 = (1/2)\rho A_1 u_0^3$$

$$P_{\text{T}} = 4a(1-a)^2 P_0$$

$$\omega^2 = gk$$

$$\omega^2 = ghk^2$$

$$(d/dx)[\cos(x)] = -\sin(x)$$

$$(d/dx)[\sin(x)] = \cos(x)$$

$$(d/dx)[x/2 + (1/(4a)) \sin(2ax)] = \cos^2(ax)$$

$$(d/dx)[x/2 - (1/(4a)) \sin(2ax)] = \sin^2(ax)$$

$$(d/dx)[(1/(2-u)) x^{2-u}] = x^{1-u}$$

$$(d/dx)[\ln(x)] = 1/x$$

**Oppgave 1.**

(a)

I kompendiet “Energi- og miljøfysikk” er to økonomiske erfaringslover omtala. Forklar kort kva dei går ut på, og nemn om det eventuelt er samanheng mellom dei. I det etterfølgjande skal vi, i eit rekneeksempel, bruka følgjande erfaringslov:

$$(c/c_0) = (F/F_0)^{-d} \quad (1)$$

Forklar kva symbola  $c$ ,  $c_0$ ,  $F$  og  $F_0$  står for. Kva kallar ein den kurva som framstiller likn. (1) grafisk? Foreslå eit intervall som typiske verdier av  $d$  (i eksponenten  $-d$ ) ligg innanfor.

(b)

I kvart av to land (E og N) skal det, pga. auken i energiforbruket, setjast i drift nye kraftverk slik at den årlege elektrisitetproduksjonen kan aukast med

$$\Delta F = 10 \text{ TWh/år.}$$

I det eine/ene landet (E) bruker dei/de etablert teknologi med energikostnad

$$c_{0E} = 0,20 \text{ kr/kWh.}$$

I det andre landet (N) blir det satsa på ny teknologi (f.eks. vindkraftteknologi) med høg utgangskostnad

$$c_{0N} = 0,30 \text{ kr/kWh}$$

for den produserte elektriske energien. Vi går ut frå/fra at formelen (1) gjeld/gjelder med

$$d_E = d_N = d.$$

Med den etablerte teknologien har vi

$$F_{0E} = F_E - \Delta F \gg \Delta F,$$

slik at kostnadsendringa  $\Delta c_E = c_E - c_{0E}$  kan bli neglisjert. Med den nye teknologien er  $F_{0N}$  liten nok til at det kan bli ein/en monaleg/betydelig kostnadsreduksjon. Gå ut frå/fra at

$$F_{0N} = \alpha \Delta F = 20 \text{ TWh/år, dvs. } \alpha = 2.$$

Finn energikostnaden  $c_N$  ved fullføring av bygginga av kraftverka, uttrykt ved  $c_{0N}$ ,  $F_{0N}$ ,  $\Delta F$ ,  $d$  og/eller  $\alpha$ . Finn også talsvar/tallsvar, når det for bestemming av  $d$  blir opplyst at ei dobling av  $F$  fører til 20 prosent kostnadsreduksjon.

(c)

I tida etterpå held ein fram med vidare utbygging av kraftverk. Finn uttrykk og talsvar som viser kor stor  $\Delta F$  måtte ha vore om energikostnaden (i landet N) hadde kome så langt ned at

**Oppgave 1.**

(a)

I kompendiet “Energi- og miljøfysikk” er to økonomiske erfaringslover omtalte. Forklar kort hva de går ut på, og nevne om det eventuelt er sammenheng mellom dem. I det etterfølgende skal vi, i et rekneeksempel, bruke følgende erfaringslov:

$$(c/c_0) = (F/F_0)^{-d} \quad (1)$$

Forklar hva symbola  $c$ ,  $c_0$ ,  $F$  og  $F_0$  står for. Hva kalles den kurva som framstiller likn. (1) grafisk? Foreslå et intervall som typiske verdier av  $d$  (i eksponenten  $-d$ ) ligger innenfor.

(b)

I hvert av to land (E og N) skal det, pga. veksten i energiforbruket, settes i drift nye kraftverk slik at den årlige elektrisitetproduksjonen kan økes med

$$\Delta F = 10 \text{ TWh/år.}$$

I det eine/ene landet (E) bruker dei/de etablert teknologi med energikostnad

$$c_{0E} = 0,20 \text{ kr/kWh.}$$

I det andre landet (N) blir det satsa på ny teknologi (f.eks. vindkraftteknologi) med høg utgangskostnad

$$c_{0N} = 0,30 \text{ kr/kWh}$$

for den produserte elektriske energien. Vi går ut frå/fra at formelen (1) gjeld/gjelder med

$$d_E = d_N = d.$$

Med den etablerte teknologien har vi

$$F_{0E} = F_E - \Delta F \gg \Delta F,$$

slik at kostnadsendringa  $\Delta c_E = c_E - c_{0E}$  kan bli neglisjert. Med den nye teknologien er  $F_{0N}$  liten nok til at det kan bli ein/en monaleg/betydelig kostnadsreduksjon. Gå ut frå/fra at

$$F_{0N} = \alpha \Delta F = 20 \text{ TWh/år, dvs. } \alpha = 2.$$

Finn energikostnaden  $c_N$  ved fullføring av bygginga av kraftverka, uttrykt ved  $c_{0N}$ ,  $F_{0N}$ ,  $\Delta F$ ,  $d$  og/eller  $\alpha$ . Finn også talsvar/tallsvar, når det for bestemming av  $d$  blir opplyst at ei dobling av  $F$  fører til 20 prosent kostnadsreduksjon.

(c)

I tida etterpå fortsetter en med videre utbygging av kraftverk. Finn uttrykk og talsvar som viser hvor stor  $\Delta F$  måtte ha vært om energikostnaden (i landet N) hadde kommet så langt ned at

$$c_N = c_E = c_{0E} = 0,20 \text{ kr/kWh.}$$

(Kall denne verdien av  $\Delta F$  for  $\Delta F_{SN}$ .) Skriv også opp uttrykk og numerisk verdi for årsproduksjonen  $F_{SN}$  ( $F_{SN} \equiv F_{0N} + \Delta F_{SN}$ ) når denne utviklingsstatusen er nådd.

(d)

Inntil dette målet er nådd, må den nyteknologisk produserte elektriske energien bli subsidiert for å få dekt skilnaden mellom kostnaden  $c_N$  og marknads-/markeds-prisen  $c_{0E}$ . Finn den totale subsidiering  $S$  som regjeringa i landet N må betale inntil energikostnaden kjem/kommer ned på marknads-/markeds-prisen, uttrykt ved  $c_{0E}$ ,  $c_{0N}$ ,  $F_{0N}$ ,  $F_{SN}$ ,  $d$  og  $dF/dt$ , når vi går ut frå/fra at  $dF_N/dt = dF/dt$  er uavhengig av tida  $t$ . Finn også talsvar/tallsvar for  $S$  (i kroner) når  $dF/dt = 5 \text{ TWh}/(\text{år})^2$ .

I rekninga skal det sjåast/sees bort frå/fra både inflasjon og renter. Ved utrekning av bokstavsvaret kan vi gjerne gå ut frå/fra at einingar/enheter for energi, effekt og tid er joule, watt og sekund, respektivt.

## Oppgåve/oppgave 2.

(a)

Eit/et jordvarmekraftverk utnytter varme i mantelmasse med volumetrisk varmekapasitet

$$\rho c = 2 \text{ MJ/m}^3\text{K.}$$

Dersom verknads-/virknings-graden er 50 % av den teoretisk maksimale (etter ideell Carnot-teori), kor/hvor stor elektrisk effekt kan vi da oppnå pr.  $\text{m}^3$  mantelmasse som på 1 år blir avkjølt frå/fra  $T_1 = 400 \text{ K}$  til  $T_0 = 300 \text{ K}$ ? (Under utrekninga skal vi gå ut frå/fra at sluttemperaturen for avfallsvarmen heile tida er  $T_0 = 300 \text{ K}$ .)

(b)

Gå ut frå/fra at elektrisitetsforsyninga i eit/et land der det bur 200 menneske pr.  $\text{km}^2$ , skjer vha. slike jordvarmekraftverk, og at middels elforbruk er 5 kW pr. person. Kor/hvor tjukt mantellag må da kvart/hvert år bli avkjølt (frå/fra  $T_1 = 400 \text{ K}$  til  $T_0 = 300 \text{ K}$ )? Kor/hvor stor effekt av avfallsvarme blir utvikla pr. person og pr.  $\text{m}^2$  landareal?

## Oppgåve/oppgave 3.

(a)

Det er gitt ei sinusforma plan bølge/bølge som forplantar/forplanter seg med gruppefarten

$$c_g = gT/(4\pi)$$

og fasefarten  $c_f = 2 c_g$ . Forklar kva/hva symbola  $g$  og  $T$  står for. Finn bølge-/bølge-lengda  $L$  uttrykt ved  $g$  og  $T$ . Den middels potensielle energien  $E_p$  pr. areal-eining/-enhet av havflata ( $[E_p]=\text{J}/\text{m}^2$ ) er

$$E_p = KA^2$$

der  $A$  er amplituden på bølga/bølga og  $K$  er ein/en proporsjonalitetskoeffisient. Utlei/utled eit/et uttrykk for  $K$ .

(b)  
 Utlei eit uttrykk for den transporterte effekten  $J$  pr. breiddeining av bølgefronten ( $[J]=\text{W/m}$ ), når det er gitt at den energien som bølga lagrar, er likt fordelt mellom potensiell energi og kinetisk energi. Rekn ut talverdi for  $J$  når  $T = 9,0$  s og  $A = 1,00$  m. Massetettleiken for sjøvatn kan setjast til  $\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$ .

#### Oppgåve 4.

(Svar fyrst og fremst kvalitativt på denne oppgåva. Det er mindre viktig å opplysa om - meir eller mindre nøyaktig kjente - talverdiar.)

(a)  
 Middelttemperaturen ved jordoverflata er om lag  $15^\circ\text{C}$ . Dersom planeten vår hadde vore utan atmosfære, ville då middelttemperaturen på jordoverflata ha vore høgare eller lågare? Nemn nokre av dei viktigaste verknadene jordatmosfæren har for jorda sin varmebalanse.

(b)  
 Nemn (gjerne i form av stikkord, eventuelt med kort forklaring) nokre menneskelege aktivitetar som kan føra til endringar i den verknaden atmosfæren har på varmebalansen.

#### Oppgåve/oppgåve 5.

(a)  
 Forklar med utgangspunkt i den spektrale fordelinga av solstrålinga kvifor/hvorfor ei solcelle av silisium kan omforme bare ein/en viss brøkdel av den innfallande/innfallende solenergien til elektrisk energi.

(b)  
 Nemn/nevnt andre årsaker til reduksjon av verknads-/virknings-graden til solceller.

(b)  
 Utled et uttrykk for den transporterte effekten  $J$  pr. breddeenheter av bølgefronten ( $[J]=\text{W/m}$ ), når det er gitt at den energien som bølga lagrer, er likt fordelt mellom potensiell energi og kinetisk energi. Rekn ut tallverdi for  $J$  når  $T = 9,0$  s og  $A = 1,00$  m. Massetettheten for sjøvatn kan settes til  $\rho = 1020 \text{ kg/m}^3$ .

#### Oppgave 4.

(Svar først og fremst kvalitativt på denne oppgava. Det er mindre viktig å opplyse om - mer eller mindre nøyaktig kjente - tallverdier.)

(a)  
 Middelttemperaturen ved jordoverflata er om lag  $15^\circ\text{C}$ . Dersom planeten vår hadde vært uten atmosfære, ville da middelttemperaturen på jordoverflata ha vært høyere eller lavere? Nevn noen av de viktigste effektene jordatmosfæren har for jordas varmebalanse.

(b)  
 Nevn (gjerne i form av stikkord, eventuelt med kort forklaring) noen menneskelige aktiviteter som kan føre til endringer i den effekten atmosfæren har på varmebalansen.

### Oppgave 6.

(a)  
Kjerneenergi frå fisjon kan bli utnytta i ein “termisk reaktor” eller i ein “formeringsreaktor” (“breeder”). Nemn kva slag atom (element og isotop) som kan bli brukte som brensel. Kvifor kallar ein den eine typen reaktor for “termisk”?

(b)  
Termiske reaktorar kan bli inndelte i undergrupper etter typen av moderator. Kva for tre ulike typar av moderatormaterial er det som har vore mest i bruk til no? Samanlikna dei tre typane (ved å nemna føremonar og ulemper for kvar av dei).

### Oppgave 6.

(a)  
Kjerneenergi fra fisjon kan bli utnytta i en “termisk reaktor” eller i en “formeringsreaktor” (“breeder”). Nevn hvilke atom (element og isotop) som kan bli brukte som brensel. Hvorfor kalles den ene typen reaktor for “termisk”?

(b)  
Termiske reaktorer kan bli inndelte i undergrupper etter typen av moderator. Hvilke tre ulike typer av moderatormaterial er det som har vært mest i bruk hittil? Sammenlikn de tre typene (ved å nevne fordeler og ulemper for hver av dem).