

The Norwegian University of Science and Technology
Department of Physics

ENGLISH

Contact person:

Name: Patrick Espy

Tel: +47 735 51095 or +47 4138 6578 (mob)

EXAM IN TFY 4300 Energy and environmental physics

Monday 7 December 2009

Duration: 4 hours

Number of pages: 5

Permitted aids: 1) One side of an A5 sheet with printed or handwritten formulas
 2) Dictionary (ordinary or bi-lingual)
 3) A calculator meeting NTNU examination criteria

Physical parameters and lists of equations are given in the appendix.

You must answer only 5 of the 6 questions.

**Mark the question numbers you have answered on
the top of the first page of your examination answers**

Remember, most equations use SI units (i.e. Kelvin, metres, seconds, Joules, Watts etc.)

Problem 1. Wind turbine power (20%)

- a) Give an expression for the power generated by a wind turbine with wind speed, u_0 , the air density, ρ , and the cross-sectional area, A , of the wind front that is intercepted. What does the power index, C_p , tell us? (5%)
- b) What is the maximum value of C_p and why is it not 100%? That is, why can we not extract 100% of the wind energy? (5%)
- c) The electric consumption in Norway is $\sim 110 \text{ TW}\cdot\text{h}\cdot\text{yr}^{-1}$. How many windmills with a diameter of 80 m are needed to supply 25% (or $27.5 \text{ TW}\cdot\text{h}\cdot\text{yr}^{-1}$) of this consumption? Assume the wind speed is $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, but it blows only 50% of the time (the wind speed is zero at other times). Take the density of air to be $1.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and the efficiency of each windmill to be 50% of the maximum theoretical value. Is it realistic to generate this amount of power this way? (10%)

Problem 2. Geothermal and Tidal Energy (20%)

Normally the Earth's crust is ~ 30 km thick, and there is a $30 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$ temperature gradient between the constant mantle temperature of 1200 K and the constant surface temperature of 300 K. But in a hyper-thermal area the gradient is $90 \text{ K}\cdot\text{km}^{-1}$. If the crustal rocks have the same thermal conductivity, $k = 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$:

- a) Calculate the crustal thickness in the hyper-thermal region. (3%)
- b) Calculate the conductive geothermal heat flux ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) in the hyper-thermal area. How does this compare to the heat flux in a normal area? (7%)

The semi-diurnal (12.5 hr) tidal range in Norway typically varies between 1 m and 2.5 m. An area, A , of seawater with a density of $1.03 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ is used to generate electricity using this tidal range:

- c) Calculate the average power per unit area available from the 12.5 hour tide. (7%)
- d) The electric consumption in Norway is $\sim 110 \text{ TW}\cdot\text{h}\cdot\text{yr}^{-1}$. What tidal area would have to be dammed to supply 25% (or $27.5 \text{ TW}\cdot\text{h}\cdot\text{yr}^{-1}$) of this consumption with tidal power? Assume that the conversion efficiency of the power plant is 100%. Is it realistic to generate this amount of power this way? (3%)

Problem 3. Weather, Climate and Ozone (20%)

- a) What is the temperature and scale height of an isothermal atmosphere in which the pressure is 1000 hPa at the surface and 500 hPa at a height of 5 km? (7%)
- b) On a global basis, how has the amount of stratospheric ozone changed since 1970, and what has caused this change? (2%).
- c) If the earth's temperature is 15 C, at what wavelength does it radiate the most energy? (2%)
- d) What is the greenhouse effect and what properties of a gas allow it to create a greenhouse effect in the Earth's atmosphere? (2%)
- e) How do you calculate the radiative equilibrium temperature of the Earth without an atmosphere, and how do you add the effect of an atmosphere? (note: you don't have to calculate the temperatures, but show or describe briefly how you set up the calculations) (7%)

Problem 4. Solar Energy (20%)

- a) What is a p-n junction, and why do we need p-n junctions in a solar cell? (7%)
- b) Draw a graph of the current-voltage characteristic of a solar cell when it is in the dark and when it is illuminated. Label the dark current and the photo-current. (6%)
- c) How large of an area needs to be covered with silicon solar cells to generate $27.5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ (25% of Norway's yearly electricity consumption) if the annual solar irradiance is $900 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ and the solar cells have a typical efficiency? Is it realistic to generate this amount of power this way? (7%).

Problem 5. Bio Energy (20%)

- a) Can bio-energy always be classified as a renewable energy? Why or why not. (3%)
- b) Make a list of the 5 most important advantages and disadvantages of bio-energy? (7%)
- c) If the energy content of the forests in Norway is sufficient to supply $100 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ of thermal energy, how many km^2 of forest would be needed to generate $27.5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ of electricity in a steam-turbine power plant? Assume that the power plant has an overall efficiency of 36%. Is it realistic to generate this amount of power this way? (10%)

Problem 6. Nuclear Energy (20%)

- a) What is the difference between fission and fusion? Give an example of each process and explain how energy is released in these processes. (3%)
- b) How does the energy released in each fusion of deuterium and tritium compare to the combustion energy of a methane molecule (CH_4) at $\sim 55 \text{ MJ/kg}$? (5%)
- c) A typical pressurized water nuclear reactor can produce $27.5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ of electrical energy by the fission of Uranium 235. If the overall efficiency of electricity production from the fission power plant is 40%, what mass of ^{235}U is burned over a three-year period? Assume $200 \text{ MeV/fission event}$ and a mass for ^{235}U of 235.04394 atomic mass units. (12%).

APPENDIX

Physical constants and conversions

Planck's constant: $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js

The speed of light: $c = 2.998 \times 10^8$ m/s

Boltzmann's constant: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K

Stefan-Boltzmann's constant: $\sigma = 5.672 \times 10^{-8}$ W/(m²K⁴)

Avogadro's number: $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ mol⁻¹

The electron charge: $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C

The radius of the sun: $r_s = 6.96 \times 10^8$ m

The radius of the earth: $r_e = 6.4 \times 10^6$ m

The sun-earth distance: $d_{se} = 1.49 \times 10^{11}$ m

Gas constant for dry air: $R_{air} = 287$ J·K⁻¹·kg⁻¹

1 ha = 10⁴ m² 1 TW·h·yr⁻¹ = 10¹² W·h·yr⁻¹ = 10¹² W·h·yr⁻¹ ÷ (24 · 365 h·yr⁻¹) = 8.76 × 10¹⁵ W

List of equations

$pV = nRT$ $p = \rho R_{air} T$ $\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{\rho}{H}$ $\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$ $H = \frac{R_{air} \cdot T}{g}$ $E = h\nu$ $I_E dE = \frac{2\pi\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kt} - 1} dE$ $I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$ $\lambda_{max} T = 2898 [\mu m K]$ $I(T) = \sigma T^4$ $4 \frac{dT_e}{T_e} = + \left\{ \frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{s\lambda}}{1 + \tau_{s\lambda}} \right\}$ $- \left\{ \frac{d\epsilon_{e\lambda}}{\epsilon_{e\lambda}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L\lambda}}{1 + \tau_{L\lambda}} \right\}$ $P_T = IV$	$P_\eta = \frac{\Delta T}{R_\eta}$ $q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$ $r = \frac{1}{h} = RA$ $r_n = \frac{\Delta x}{k}$ $r_v = \frac{X}{N k}$ $r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q}$ $P_v = AN \frac{k(T_s - T_f)}{X}$ $R = \frac{uX}{v}$ $A = \frac{g\beta X^3 \Delta T}{\kappa\nu}$ $P_m = \frac{dm}{dt} c(T_3 - T_1)$ $P_m = \frac{dm}{dt} \Lambda$ $-mc \frac{d}{dt} (T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$	$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$ $P_r = A\epsilon\sigma T^4$ $P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) A_1 F_{12}$ $P_{12} = A_1 F_{12}' \sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$ $R_r = [A_1 F_{12}' \sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)]^{-1}$ $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$ $\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ $COP = \frac{\text{Useful Output}}{\text{Work Input}}$ $= \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{in}}$ $B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$ $B = Q \left(1 - \frac{T_o}{T_H} \right)$
---	--	---

$$c = 2c_g = \frac{g}{2\pi} T$$

$$E = k_E H^2; \quad k_E = \frac{\rho g}{8}$$

$$J = c_g E$$

$$J = k_J T H^2; \quad k_J = \frac{\rho g^2}{32\pi}$$

$$E = \rho g H^2 / 8$$

$$E = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df \equiv \rho g H_s^2 / 16$$

$$^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{236}\text{U} \rightarrow X + Y + \nu \text{n} + \text{energy}$$

$$\eta = \nu \frac{N(235)\sigma_c(235)}{N(235)[\sigma_c(235) + \sigma_c(235)] + N(238)\sigma_c(238)}$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho N}{l}$$

$$l^* = (1 - \beta)l + \beta t_d$$

$$^2\text{D} + ^3\text{T} \longrightarrow ^4\text{He} + ^1\text{n} + 17.6\text{MeV}$$

$$P_L = \alpha n^2 \sqrt{kT} + 3n \frac{kT}{\tau_E}$$

$$P_{th} = \langle \sigma u \rangle E \frac{n^2}{4}$$

$$P_T = P_L + P_{th}$$

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{R_{12}} \quad F_c = mR\omega^2$$

$$\frac{GMM'}{D^2} = ML\omega^2 = M' L' \omega'^2$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = gh \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}; \quad c = \sqrt{gh}$$

$$T_r = \frac{\lambda}{c} = \frac{4L}{jc} = \frac{4L}{j\sqrt{gh}}$$

$$\overline{P} = \frac{\rho A R^2}{2} g \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{\rho A g}{2\tau} R^2 \quad \overline{P} \approx \frac{\rho A g}{2\tau} \left(\frac{R_{\max}^2 + R_{\min}^2}{2} \right)$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\rho u^3}{2}$$

$$\overline{q} = \eta \frac{\rho u^3}{2} = \eta \frac{\rho}{2} \frac{u_0^3 \int_{t=0}^{t=\tau/4} \sin^3(2\pi t/\tau) dt}{\int_{t=0}^{t=\tau/4} dt} \approx 0.1 \rho u_0^3$$

$$V_B = \frac{E_g}{e} - (\phi_n + \phi_p)$$

$$np = C = n_i^2$$

$$W \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_r V_B}{e\sqrt{np}}}$$

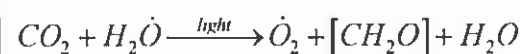
$$I(V) = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{AkT}\right) - 1 \right]$$

$$\Delta\mu = E_{Fn} - E_{Fp} = eV$$

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

$$\rho = \frac{(n_0 - n_1)^2}{(n_0 + n_1)^2}$$



$$P_T = C_p A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$P_o = A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$F_A = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(u_0 - u_2)}{\Delta t} = \rho A_1 u_1 (u_0 - u_2)$$

$$F_A = A_1(p_{1u} - p_{1d}) = A_1\rho(u_0^2 - u_2^2)/2$$

$$P = u_1 F_A$$

$$P_f = u_1 F_A = u_1 \frac{dm}{dt} (u_0 - u_2)$$

$$P_l = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (u_0^2 - u_2^2)$$

$$a = \frac{u_0 - u_1}{u_0}$$

$$P_T = [4a(1-a)^2] P_0$$

$$C_p \leq \frac{16}{27}$$

$$\frac{1}{(D \pm r)^2} = \frac{1}{D^2} \left(1 \pm \frac{2r}{D} \right)$$

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

BOKMÅL

Faglig kontakt under eksamen:

Navn: Patrick Espy
Tlf: 41 38 65 78 (mob)

EKSAMEN I TFY4300 Energi og miljøfysikk
Fakultet for naturvitenskap og teknologi
7. desember 2009
Tid: 09:00-13:00

Antall Sider: 5

Tillatte hjelpemidler: 1 side A5 ark med trykte eller håndskrevne formler
Norsk Engelsk ordbok
NTNU Godkjent kalkulator

Fysiske konstanter og en liste over likninger blir oppgitt i vedlegget.

Du må svare på bare 5 av de 6 spørsmålene.

**Numrene til spørsmålene som du har svaret på må
noteres på toppen av din første svarside**

Husk at fleste likninger bruker SI enheter (i.e. Kelvin, metres seconds, Joules, Watts osv)

Oppgave 1. Vindkraft (20%)

- Oppgi et uttrykk for effekt generert av en vindturbin i en vindhastighet på u_0 og lufttetthet ρ , som fanger inn et tverrsnitt A av vindfronten. Hva angir effekt koeffisienten C_p ? (5%)
- Hva er maksimalverdien til C_p og hvorfor er den ikke 100%? (dvs hvorfor kan vi ikke utnytte 100% av energien i vinden?) (5%)
- Elektrisitetsforbruket i Norge er på ca $110 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$. Hvor mange vindturbiner med diameter 80m trengs det om vi skal dekke 25% av dette forbruket (eller $27,5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$) med vindkraft? Anta at vinden blåser med 16 m/s 50% av tiden (og at det er vindstille ellers), en lufttetthet på $1,2 \text{ kgm}^{-3}$, og at vindturbinen har en effektivitet som er 50% av maksimal teoretisk verdi. Er det realistisk å generere denne mengden kraft på denne måten? (10%)

Oppgave 2. Geotermisk- og tidevannsenergi (20%)

Vanligvis er jordskorpen ca. 30 km tykk, og det er en $30 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$ temperaturgradient mellom den konstante manteltemperaturen på 1200 K og den konstante overflatetemperaturen på 300 K. Men i et hypertermisk område er temperaturgradienten $90 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$. Om jordskorpens stein overalt har den samme varmekonduktiviteten $k=2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$:

- a) Regn ut jordskorpens tykkelse i det hypertermiske området. (3%)
- b) Regn ut den geotermiske varmekraften ved varmeledning ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) i det hypertermiske området. Hvordan sammenligner denne med varmekraften i et normalt område? (7%)

I Norge varierer vannstandsendringen på grunn av den halvdaglige (12,5 time) tidevannskomponenten mellom 1 m og 2,5 m. Et areal av havet som består av vann med en tetthet på $1.03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ blir utnyttet for å generere elektrisitet med dette:

- c) Regn ut den gjennomsnittlige effekten per arealenhet som kan produseres fra den halvdaglige (12,5 time) tidevannskomponenten. (7%)
- d) Elektrisitetsforbruket i Norge er på ca $110 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$. Hvor stor et tidevannsareal må utnyttes for å dekke 25% av dette forbruket (eller $27,5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$) med tidevannskraft. Anta at effektiviteten for kraftverket er 100%. Er det realistisk å generere denne mengden kraft på denne måten? (3%)

Oppgave 3. Vær, klima og ozon (20%)

- a) Hva er temperaturen og skalahøyden i en isotermisk atmosfære der lufttrykket er 1000 hPa på overflaten og 500 hPa på en høyde av 5 km? (7%)
- b) Globalt, hvordan har mengden ozon i stratosfæren endret seg siden 1970, og hva har forårsaket denne endringen? (2%).
- c) Om jordens temperatur er 15 °C, på hvilken bølgelengde utstråler den mest energi? (2%)
- d) Hva er drivhuseffekten og hvilke egenskaper gjør at en gass skaper en drivhuseffekt i jordens atmosfære? (2%)
- e) Hvordan regner man strålningsbalansetemperaturen av Jorden uten en atmosfære, og hvordan legger man til atmosfærens virkning? (Merk: du trenger ikke å regne ut temperaturen, men vis eller beskriv kort hvordan man oppgjør beregningene) (7%)

Oppgave 4. Solceller (20%)

- a) Hva er en p-n overgang? Hvorfor trenger vi en p-n overgang i en solcelle? (7%)
- b) Tegn et diagram som viser den strøm-spenning karakteristikken for en solcelle når den er i mørket og når den er belyst. Merk av mørkestrømmen og fotostrømmen. (6%)
- c) Hvor stor et areal må dekket med silisium solceller for å produsere $27,5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ (25% av det årlige elektrisitetsforbruket i Norge) om den årlige innstrålingen fra solen er $900 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ og solcellene har typisk effektivitet? Er det realistisk å generere denne mengden kraft på denne måten? (7%).

Oppgave 5. Bioenergi (20%)

- a) Kan bioenergi alltid klassifiseres som en fornybar energi? Hvorfor eller hvorfor ikke? (3%)
- b) Lag en liste over de 5 viktigste fordelene og ulempene med bioenergi. (7%)
- c) Om energiinnholdet i de norske skogene kan forsyne $100 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ varmeenergi, hvor mange km^2 skog trenger man for å generere $27,5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ elektrisitet i et kraftverk med dampmaskiner? Anta at effektiviteten for kraftverket er 36%. Er det realistisk å generere denne mengden kraft på denne måten? (10%)

Oppgave 6. Kjerneenergi (20%)

- a) Hva er forskjellen mellom fisjon og fusjon? Gi ett eksempel for hver prosess og forklar hvordan energi blir frigjort i disse prosessene. (3%)
- b) Hvor mange ganger mer energi får man fra hver fusjon av deuterium og tritium i forhold til forbrenning av et metan molekyl (forbrenningsvarme ca. 55 MJ/kg) ? (5%)
- c) En typisk kjernereaktor av trykkvannstype kan produsere $27,5 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1}$ elektrisk energi ved å spalte (fisjonere) Uran 235. Om kjernekraftverket produserer elektrisiteten med effektivitet på 40%, hva er massen av ^{235}U som blir forbrent i løpet av en periode på tre år? Anta at det blir frigjort ca. 200 MeV energi per fissionsreaksjon, og at ^{235}U har en masse på 235,04394 atommasseenheter. (12%).

VEDLEGG

Physical constants and conversions

Planck's constant: $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

The speed of light: $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

Boltzmann's constant: $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Stefan-Boltzmann's constant: $\sigma = 5.672 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$

Avogadro's number: $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

The electron charge: $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

The radius of the sun: $r_s = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$

The radius of the earth: $r_e = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$

The sun-earth distance: $d_{se} = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$

Gas constant for dry air: $R_{\text{air}} = 287 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

$1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$ $1 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1} = 10^{12} \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1} = 10^{12} \text{ W} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1} \div (24 \cdot 365 \text{ h} \cdot \text{yr}^{-1}) = 8.76 \times 10^{15} \text{ W}$

List of equations

$pV = nRT$ $p = \rho R_{\text{air}} T$ $\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{\rho}{H}$ $\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$ $H = \frac{R_{\text{air}} \cdot T}{g}$ $E = h\nu$ $I_E dE = \frac{2\pi\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kt} - 1} dE$ $I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$ $\lambda_{\text{max}} T = 2898 [\mu\text{m K}]$ $I(T) = \sigma T^4$ $4 \frac{dT_\theta}{T_\theta} = + \left\{ \frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{s,i}}{1 + \tau_{s,i}} \right\}$ $- \left\{ \frac{d\epsilon_{eL}}{\epsilon_{eL}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L,i}}{1 + \tau_{L,i}} \right\}$ $P_T = IV$	$P_\eta = \frac{\Delta T}{R_\eta}$ $q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$ $r = \frac{1}{h} = RA$ $r_n = \frac{\Delta x}{k}$ $r_v = \frac{X}{N k}$ $r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q}$ $P_v = AN \frac{k(T_s - T_f)}{X}$ $R = \frac{uX}{v}$ $A = \frac{g\beta X^3 \Delta T}{\kappa v}$ $P_m = \frac{dm}{dt} c(T_3 - T_1)$ $P_m = \frac{dm}{dt} \Lambda$ $-mc \frac{d}{dt} (T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$	$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$ $P_r = A\epsilon\sigma T^4$ $P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) A_1 F_{12}$ $P_{12} = A_1 F'_{12} \sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$ $R_r = \left[A_1 F'_{12} \sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2) \right]^{-1}$ $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$ $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ $\text{COP} = \frac{\text{Useful Output}}{\text{Work Input}}$ $= \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{in}}$ $B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$ $B = Q \left(1 - \frac{T_o}{T_H} \right)$
--	---	--

$$c = 2c_g = \frac{g}{2\pi} T$$

$$E = k_L H^2; \quad k_E = \frac{\rho g}{8}$$

$$J = c_g E$$

$$J = k_j T H^2; \quad k_j = \frac{\rho g^2}{32\pi}$$

$$E = \rho g H^2 / 8$$

$$E = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df \equiv \rho g H_s^2 / 16$$

$$^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{236}\text{U} \rightarrow X + Y + \nu \text{n} + \text{energy}$$

$$\eta = \nu \frac{N(235)\sigma_f(235)}{N(235)[\sigma_f(235) + \sigma_c(235)] + N(238)\sigma_c(238)}$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho N}{l}$$

$$l^* = (1 - \beta)l + \beta t_d$$

$$^2\text{D} + ^3\text{T} \longrightarrow ^4\text{He} + ^1\text{n} + 17.6\text{MeV}$$

$$P_L = \alpha n^2 \sqrt{kT} + 3n \frac{kT}{\tau_E}$$

$$P_{th} = \langle \sigma u \rangle E \frac{n^2}{4}$$

$$P_T = P_L + P_{th}$$

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{R_{12}} \quad F_c = mR\omega^2$$

$$\frac{GMM'}{D^2} = ML\omega^2 = M' L' \omega'^2$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = gh \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}; \quad c = \sqrt{gh}$$

$$T_r = \frac{\lambda}{c} = \frac{4L}{jc} = \frac{4L}{j\sqrt{gh}}$$

$$\bar{P} = \frac{\rho A R^2}{2} g \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{\rho A g}{2\tau} R^2 \quad \bar{P} \approx \frac{\rho A g}{2\tau} \left(\frac{R_{\max}^2 + R_{\min}^2}{2} \right)$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\rho u^3}{2}$$

$$\bar{q} = \eta \frac{\rho u^3}{2} = \eta \frac{\rho}{2} \frac{u_0^3 \int_{t=0}^{t=\tau/4} \sin^3(2\pi t/\tau) dt}{\int_{t=0}^{t=\tau/4} dt} \approx 0.1 \rho u_0^3$$

$$V_B = \frac{E_g}{e} - (\phi_n + \phi_p)$$

$$np = C = n_i^2$$

$$W \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_rV_H}{e\sqrt{np}}}$$

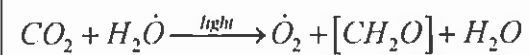
$$I(V) = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{AkT}\right) - 1 \right]$$

$$\Delta\mu = E_{Fn} - E_{Fp} = eV$$

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

$$\rho = \frac{(n_0 - n_1)^2}{(n_0 + n_1)^2}$$



$$P_T = C_p A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$P_u = A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$F_A = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(u_0 - u_2)}{\Delta t} = \rho A_1 u_1 (u_0 - u_2)$$

$$F_A = A_1(p_{1u} - p_{1d}) = A_1\rho(u_0^2 - u_2^2)/2$$

$$P = u_1 F_A$$

$$P_T = u_1 F_A = u_1 \frac{dm}{dt} (u_0 - u_2)$$

$$P_I = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (u_0^2 - u_2^2)$$

$$a = \frac{u_0 - u_1}{u_0}$$

$$P_T = [4a(1-a)^2] P_0$$

$$C_p \leq \frac{16}{27}$$

$$\frac{1}{(D \pm r)^2} = \frac{1}{D^2} \left(1 \pm \frac{2r}{D} \right)$$

Noregs teknisk-vitskapelege universitet
Institutt for fysikk

Nynorsk

Fagleg kontakt under eksamen:

Namn: Patrick Espy
Tlf.: 41 38 65 78 (mob)

EKSAMEN I TFY4300 Energi og miljøfysikk
Fakultet for naturvitskap og teknologi
7. desember 2009
Tid: 09:00-13:00

Tal på sider: 5

Tillatne hjelpemiddel: 1 side A5-ark med trykte eller handskrivne formlar
Norsk - engelsk ordbok
NTNU Godkjent kalkulator

Fysiske konstantar og ei liste over likningar blir gitt i vedlegget (APPENDIKS).

Du må svare på bare 5 av dei 6 spørsmåla.

Nummera til spørsmåla som du har svart på må noterast på toppen av di fyrste svarsida

Hugs at fleste likningar bruker SI-einingar (i.e. sekund, Kelvin, meter, Joule, Watt osv.)

Oppgave 1. Vindkraft (20%)

- a) Gi eit uttrykk for effekt generert av ein vindturbin i ein vindfart på u_0 og lufttettleik ρ , som fangar inn eit tverrsnitt A av vindfronten. Kva angir effektkoeffisienten C_p ? (5%)
- b) Kva er maksimalverdien til C_p og korfor er den ikkje 100%? (dvs. korfor kan vi ikkje utnytte 100% av energien i vinden?) (5%)
- c) Elektrisitetsforbruket i Noreg er på ca. $110 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$. Kor mange vindturbinar med diameter 80m trengst det om vi skal dekke 25% av dette forbruket (eller $27,5 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$) med vindkraft? Gå ut frå at vinden blæs med 16 m/s 50% av tida (og at det er vindstille elles), ein lufttettleik på $1,2 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$, og at vindturbinen har ein effektivitet som er 50% av maksimal teoretisk verdi. Er det realistisk å generere denne mengda kraft på denne måten? (10%)

Oppgave 2. Geotermisk og tidevass-energi (20%)

Vanlegvis er jordskorpa ca. 30 km tjukk, og det er ein $30 \text{ K} \times \text{km}^{-1}$ temperaturgradient mellom den konstante manteltemperaturen på 1200 K og den konstante overflatetemperaturen på 300 K. Men i eit hypertermisk område er temperaturgradienten $90 \text{ K} \times \text{km}^{-1}$. Om jordskorpesteinen overalt har den same varmekonduktiviteten $k = 2 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$:

- Rekn ut tjukkleiken av jordskorpa i det hypertermiske området. (3%)
- Rekn ut den geotermiske varmekonduksjonen ved varmeledning ($\text{W} \times \text{m}^{-2}$) i det hypertermiske området. Korleis er denne samanlikna med varmekonduksjonen i eit normalt område? (7%)

I Noreg varierer vassstandsendinga på grunn av den halvdaglege (12,5 timars) tidevasskomponenten mellom 1 m og 2,5 m. Eit areal av havet som består av vatn med ein tettheit på $1.03 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$ blir utnytta for å generere elektrisitet med dette:

- Rekn ut den gjennomsnittlege effekten per arealeining som kan produserast frå det halvdaglege (12,5 timars) tidvatnet. (7%)
- Elektrisitetsforbruket i Noreg er på ca. $110 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$. Kor stort eit tidevassareal må utnyttast for å dekke 25% av dette forbruket (eller $27,5 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$) med tidevasskraft. Anta at effektiviteten for kraftverket er 100%. Er det realistisk å generere denne mengda kraft på denne måten? (3%)

Oppgave 3. Vêr, klima og ozon (20%)

- Kva er temperaturen og skalalhøgda i ein isotermisk atmosfære der lufttrykket er 1000 hPa på overflata og 500 hPa på ei høgd av 5 km? (7%)
- Globalt, korleis har mengda ozon i stratosfæren endra seg sidan 1970, og kva har vore årsaka til denne endringa? (2%).
- Om temperaturen på jorda er 15 C, på kva bølgjelengd utstråler den mest energi? (2%)
- Kva er drivhuseffekten og kva eigenskapar gjer at ein gass skaper drivhuseffekt i jorda sin atmosfære? (2%)
- Korleis reknar ein strålningsbalanse-temperaturen av jorda utan atmosfære, og korleis forklarar ein verknaden av atmosfæren? (Merk: du treng ikkje å rekne ut temperaturen, men vis eller beskriv kort korleis ein gjer utrekningane) (7%)

Oppgave 4. Solenergi (20%)

- a) Kva er ein p-n overgang? Korfor treng vi ein p-n overgang i ei solcelle? (7%)
- b) Teikn eit diagram som viser straumen-spenningkarakteristikken for ei solcelle når den er i mørke og når den er belyst. Merk mørkestraumen og fotostraumen. (6%)
- c) Kor stort areal må dekkast med silisiumsolceller for å produsere $27,5 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$ (25% av det årlege elektrisitetsforbruket i Noreg) om den årlege innstrålinga frå sola er $900 \text{ kWh} \times \text{m}^{-2} \times \text{yr}^{-1}$ og solcellene har typisk effektivitet? Er det realistisk å generere denne mengda kraft på denne måten? (7%).

Oppgave 5. Bioenergi (20%)

- a) Kan bioenergi alltid bli klassifisert som fornybar energi? Korfor eller korfor ikkje? (3%)
- b) Lag ei liste over dei 5 viktigaste fordelane og ulempene med bioenergi. (7%)
- c) Om energiinnhaldet i dei norske skogane kan forsyne $100 \text{ GJ} \times \text{ha}^{-1} \times \text{yr}^{-1}$ varmeenergi, kor mange km^2 skog treng ein for å generere $27,5 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$ elektrisitet i eit kraftverk med dampturbinar? Gå ut frå at effektiviteten for kraftverket er 36%. Er det realistisk å generere denne mengda kraft på denne måten? (10%)

Oppgave 6. Kjerneenergi (20%)

- a) Kva er forskjellen på fisjon og fusjon? Gi eit eksempel for kvar prosess, og forklar korleis energi blir frigjort i desse prosessane. (3%)
- b) Kor mange gonger meir energi får ein frå kvar fusjon av deuterium og tritium i forhold til forbrenning av eit metan molekyl (forbrenningsvarme ca. 55 MJ/kg)? (5%)
- c) Ein typisk kjernereaktor av trykkvasstypen kan produsere $27,5 \text{ TWh} \times \text{yr}^{-1}$ elektrisk energi ved å spalte (fisjonere) uran 235. Om kjernekraftverket produserer elektrisiteten med effektivitet på 40%, kva er massen av ^{235}U som blir forbrent i løpet av ein periode på tre år? Anta at det blir frigjort ca. 200 MeV energi per fisjonsreaksjon, og at ^{235}U har ein masse på $235,04394$ atommasseeiningar. (12%).

APPENDIKS

Physical constants and conversions

Planck's constant: $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$

The speed of light: $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$

Boltzmann's constant: $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Stefan-Boltzmann's constant: $\sigma = 5.672 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}$

Avogadro's number: $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

The electron charge: $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

The radius of the sun: $r_s = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$

The radius of the earth: $r_e = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$

The sun-earth distance: $d_{se} = 1.49 \times 10^{11} \text{ m}$

Gas constant for dry air: $R_{\text{air}} = 287 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

$1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$ $1 \text{ TW} \cdot \text{h} \cdot \text{yr}^{-1} = 10^{12} \text{ Wh} \cdot \text{yr}^{-1} = 10^{12} \text{ Wh} \cdot \text{yr}^{-1} \div (24 \cdot 365 \text{ h} \cdot \text{yr}^{-1}) = 8.76 \times 10^{15} \text{ W}$

List of equations

$pV = nRT$ $p = \rho R_{\text{air}} T$ $\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{\rho}{H}$ $\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$ $H = \frac{R_{\text{air}} \cdot T}{g}$ $E = h\nu$ $I_E dE = \frac{2\pi\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kt} - 1} dE$ $I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$ $\lambda_{\text{max}} T = 2898 [\mu\text{m K}]$ $I(T) = \sigma T^4$ $4 \frac{dT_e}{T_e} = + \left\{ \frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{s\lambda}}{1 + \tau_{s\lambda}} \right\}$ $- \left\{ \frac{d\epsilon_{e\lambda}}{\epsilon_{e\lambda}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L\lambda}}{1 + \tau_{L\lambda}} \right\}$ $P_T = IV$	$P_g = \frac{\Delta T}{R_g}$ $q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$ $r = \frac{1}{h} = RA$ $r_n = \frac{\Delta x}{k}$ $R_n = \frac{\Delta x}{kA}$ $r_v = \frac{X}{N k}$ $R_v = \frac{X}{N kA}$ $r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q}$ $R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{P_{12}}$ $P_v = AN \frac{k(T_s - T_f)}{X}$ $R = \frac{uX}{v}$ $A = \frac{g\beta X^3 \Delta T}{\kappa\nu}$ $P_m = \frac{dm}{dt} c(T_3 - T_1)$ $P_m = \frac{dm}{dt} \Lambda$ $-mc \frac{d}{dt} (T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$	$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$ $P_r = A\epsilon\sigma T^4$ $P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) A_1 F_{12}$ $P_{12} = A_1 F'_{12} \sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2) (T_1 - T_2)$ $R_r = [A_1 F'_{12} \sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)]^{-1}$ $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$ $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ $\text{COP} = \frac{\text{Useful Output}}{\text{Work Input}}$ $= \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{\text{in}}}$ $B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$ $B = Q \left(1 - \frac{T_o}{T_H} \right)$
--	--	---

$$c = 2c_g = \frac{g}{2\pi} T$$

$$E = k_F H^2; \quad k_F = \frac{\rho g}{8}$$

$$J = c_g E$$

$$J = k_J T H^2; \quad k_J = \frac{\rho g^2}{32\pi}$$

$$E = \rho g H^2 / 8$$

$$E = \rho g \int_0^\infty S(f) df \equiv \rho g H_s^2 / 16$$

$$^{235}\text{U} + \text{n} \rightarrow ^{236}\text{U} \rightarrow X + Y + \nu \text{n} + \text{energy}$$

$$\eta = \nu \frac{N(235)\sigma_f(235)}{N(235)[\sigma_f(235) + \sigma_c(235)] + N(238)\sigma_c(238)}$$

$$\frac{dN}{dt} = \frac{\rho N}{l}$$

$$l^* = (1 - \beta)l + \beta t_d$$

$$^2\text{D} + ^3\text{T} \longrightarrow ^4\text{He} + ^1\text{n} + 17.6\text{MeV}$$

$$P_L = \alpha n^2 \sqrt{kT} + 3n \frac{kT}{\tau_E}$$

$$P_{th} = \langle \sigma u \rangle E \frac{n^2}{4}$$

$$P_T = P_L + P_{th}$$

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{Gm_1m_2}{R_{12}} \quad F_c = mR\omega^2$$

$$\frac{GMM'}{D^2} = ML\omega^2 = M' L' \omega'^2$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = gh \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = c^2 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}; \quad c = \sqrt{gh}$$

$$T_r = \frac{\lambda}{c} = \frac{4L}{jc} = \frac{4L}{j\sqrt{gh}}$$

$$\overline{P} = \frac{\rho A R^2}{2} g \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{\rho A g}{2\tau} R^2 \quad \overline{P} \approx \frac{\rho A g}{2\tau} \left(\frac{R_{\max}^2 + R_{\min}^2}{2} \right)$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\rho u^3}{2}$$

$$\overline{q} = \eta \frac{\rho u^3}{2} = \eta \frac{\rho}{2} \frac{u_0^3 \int_{t=0}^{t=\tau/4} \sin^3(2\pi t/\tau) dt}{\int_{t=0}^{t=\tau/4} dt} \approx 0.1 \rho u_0^3$$

$$V_B = \frac{E_g}{e} - (\phi_n + \phi_p)$$

$$np = C = n_i^2$$

$$W \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon_rV_H}{e\sqrt{np}}}$$

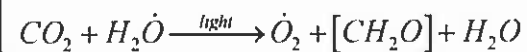
$$I(V) = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{AkT}\right) - 1 \right]$$

$$\Delta\mu = E_{Fn} - E_{Fp} = eV$$

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = FF \cdot \frac{I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

$$\rho = \frac{(n_0 - n_1)^2}{(n_0 + n_1)^2}$$



$$P_T = C_p A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$P_o = A \frac{\rho u_0^3}{2}$$

$$F_A = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{m(u_0 - u_2)}{\Delta t} = \rho A_1 u_1 (u_0 - u_2)$$

$$F_A = A_1(p_{1u} - p_{1d}) = A_1\rho(u_0^2 - u_2^2)/2$$

$$P = u_1 F_A$$

$$P_I = u_1 F_A = u_1 \frac{dm}{dt} (u_0 - u_2)$$

$$P_T = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} (u_0^2 - u_2^2)$$

$$a = \frac{u_0 - u_1}{u_0}$$

$$P_T = [4a(1-a)^2] P_0$$

$$C_p \leq \frac{16}{27}$$

$$\frac{1}{(D \pm r)^2} = \frac{1}{D^2} \left(1 \pm \frac{2r}{D} \right)$$