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 of 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 ~110 $TW{\cdot}h{\cdot}yr^{-1}$. How many windmills with a diameter of 80 m are needed to supply 25% (or 27.5 $TW{\cdot}h{\cdot}yr^{-1}$) of this consumption? Assume the wind speed is 16 $m{\cdot}s^{-1}$, 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 $kg{\cdot}m^{-3}$ 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 $K \cdot km^{-1}$ 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 $K \cdot km^{-1}$. If the crustal rocks have the same thermal conductivity, $k= 2 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$:

a) Calculate the crustal thickness in the hyper-thermal region. (3%)

b) Calculate the conductive geothermal heat flux ($W \cdot m^{-2}$) 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 1.03×10^3 $kg \cdot m^{-3}$ 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 ~ 110 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$. What tidal area would have to be dammed to supply 25% (or 27.5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$) 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 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ (25% of Norway's yearly electricity consumption) if the annual solar irradiance is 900 $kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ 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 <u>always</u> 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 $GJ \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ of thermal energy, how many km^2 of forest would be needed to generate 27.5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ 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 <u>fusion</u> of deuterium and tritium compare to the combustion energy of a methane molecule (CH_4) at ~55 MJ/kg? (5%)

c) A typical pressurized water nuclear reactor can produce 27.5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ 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 200MeV/fission event and a mass for ^{235}U of 235.04394 atomic mass units. (12%).

APPENDIX

Physical constants and conversions

Planck's constant: $h = 6.626\times10^{-34}$ Js

The speed of light: $c = 2.998\times10^{8}$ m/s

Boltzmann's constant: $k = 1.38\times10^{-23}$ J/K

Stefan-Boltzmann's constant: $\sigma = 5.672\times10^{-8}$ W/(m^{2}K^4)

Avogadro's number: $N_A = 6.022\times10^{23}$ mol^{-1}

The electron charge: $e = 1.602\times10^{-19}$ C

The radius of the sun: $r_s = 6.96\times10^{8}$ m

The radius of the earth: $r_e = 6.4\times10^{6}$ m

The sun-earth distance: $d_{se} = 1.49\times10^{11}$ m

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

1 ha = 10^4 m^2 1TW·h·yr^{-1} = 10^{12}W·h·yr^{-1} = 10^{12} W·h·yr^{-1}÷(24 · 365h·yr^{-1}) = 8.76x10^{15}W

List of equations

$$pV = nRT$$

$$p = \rho R_{air} T$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{p}{H}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$$

$$H = \frac{R_{air}\cdot T}{g}$$

$$E = h\upsilon$$

$$I_E dE = \frac{2\pi\nu^3}{c^2}\frac{1}{e^{h\upsilon/kt}-1}dE$$

$$I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{hc/\lambda kt}-1}$$

$$\lambda_{\max}T = 2898[\mu m\ K]$$

$$I(T) = \sigma T^4$$

$$4\frac{dT_e}{T_e} = +\left\{\frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{s\lambda}}{1+\tau_{s\lambda}}\right\} - \left\{\frac{d\varepsilon_{eL}}{\varepsilon_{eL}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L\lambda}}{1+\tau_{L\lambda}}\right\}$$

$$P_T = IV$$

$$P_{ij} = \frac{\Delta T}{R_{ij}}$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$$

$$r = \frac{1}{h} = RA$$

$$r_n = \frac{\Delta x}{k} \qquad R_n = \frac{\Delta x}{kA}$$

$$r_v = \frac{X}{N\ k} \qquad R_v = \frac{X}{N\ kA}$$

$$r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q} \qquad R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{P_{12}}$$

$$P_v = AN\ \frac{k(T_s - T_f)}{X}$$

$$R = \frac{uX}{\nu}$$

$$\mathbf{A} = \frac{g\beta X^3\Delta T}{\kappa\nu}$$

$$P_m = \frac{dm}{dt}c(T_3 - T_1)$$

$$P_m = \frac{dm}{dt}\Lambda$$

$$-mc\frac{d}{dt}(T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$$

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

$$P_r = A\varepsilon\sigma T^4$$

$$P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4)A_1F_{12}$$

$$P_{12} = A_1F_{12}'\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$$

$$R_r = \left[A_1F_{12}'\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)\right]^{-1}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$COP = \frac{\text{Useful Output}}{\text{Work Input}} = \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{in}}$$

$$B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$$

$$B = Q\left(1 - \frac{T_o}{T_H}\right)$$

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

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

$$J = c_g E$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{R_{12}} \qquad F_c = mR\omega^2$$

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

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

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

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

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

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

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

$$np = C = n_i^2$$

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

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

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

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

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

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

$$CO_2 + H_2\dot{O} \xrightarrow{light} \dot{O}_2 + [CH_2O] + H_2O$$

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

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

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

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

$$P = u_1 F_A$$

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

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

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

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

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

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

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%)

a) 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%)

b) Hva er maksimalverdien til C_P og hvorfor er den ikke 100%? (dvs hvorfor kan vi ikke utnytte 100% av energien i vinden?) (5%)

c) Elektrisitetsforbruket i Norge er på ca 110 $TW\cdot h\cdot yr^{-1}$. Hvor mange vindturbiner med diameter 80m trengs det om vi skal dekke 25% av dette forbruket (eller 27,5 $TW\cdot h\cdot yr^{-1}$) med vindkraft? Anta at vinden blåser med 16 m/s 50% av tiden (og at det er vindstille ellers), en lufttetthet på 1,2 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 $K \cdot km^{-1}$ temperaturgradient mellom den konstante manteltemperaturen på 1200 K og den konstante overflatetemperaturen på 300 K. Men i et hypertermisk område er temperaturgradienten 90 $K \cdot km^{-1}$. Om jordskorpens stein overalt har den samme varmekonduktiviteten $k=2 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$:

a) Regn ut jordskorpens tykkelse i det hypertermiske området. (3%)

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

I Norge varierer vannstandsendringen på grunn av den halvdaglige (12,5 time) tidevannskomponenten mellom 1m og 2,5 m. Et areal av havet som består av vann med en tetthet på 1.03×10^3 $kg \cdot m^{-3}$ 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 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$. Hvor stor et tidevannsareal må utnyttes for å dekke 25% av dette forbruket (eller 27,5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$) 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 dekkes med silisium solceller for å produsere 27,5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ (25% av det årlige elektrisitetsforbruket i Norge) om den årlige innstrålingen fra solen er 900 $kW \cdot h \cdot m^{-2} \cdot yr^{-1}$ 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 $GJ \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$ varmeenergi, hvor mange km^2 skog trenger man for å generere 27,5 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ elektrisitet i et kraftverk med dampturbiner? 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 ag 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 $TW \cdot h \cdot yr^{-1}$ 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 fisjonsreaksjon, og at ^{235}U har en masse på 235,04394 atommasseenheter. (12%).

VEDLEGG

Physical constants and conversions

Planck's constant: $h = 6.626 \times 10^{-34}$ 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/(m^{2}K^4)

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: $R_{air} = 287\ \mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}$

1 ha = 10^4 m^2 1TW·h·yr^{-1} = 10^{12}W·h·yr^{-1} = 10^{12} W·h·yr^{-1}÷(24 · 365 h·yr^{-1}) = 8.76×10^{15}W

List of equations

$$pV = nRT$$

$$p = \rho R_{air} T$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{p}{H}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$$

$$H = \frac{R_{air} \cdot T}{g}$$

$$E = h\upsilon$$

$$I_E dE = \frac{2\pi v^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\upsilon/kt} - 1} dE$$

$$I_\lambda = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$$

$$\lambda_{max} T = 2898 [\mu m\ K]$$

$$I(T) = \sigma T^4$$

$$4\frac{dT_e}{T_e} = +\left\{\frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{s\lambda}}{1+\tau_{s\lambda}}\right\} - \left\{\frac{d\varepsilon_{eL}}{\varepsilon_{eL}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L\lambda}}{1+\tau_{L\lambda}}\right\}$$

$$P_T = IV$$

$$P_{ij} = \frac{\Delta T}{R_{ij}}$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$$

$$r = \frac{1}{h} = RA$$

$$r_n = \frac{\Delta x}{k} \qquad R_n = \frac{\Delta x}{kA}$$

$$r_v = \frac{X}{N\ k} \qquad R_v = \frac{X}{N\ kA}$$

$$r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q} \qquad R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{P_{12}}$$

$$P_v = AN \frac{k(T_s - T_f)}{X}$$

$$R = \frac{uX}{v}$$

$$A = \frac{g\beta X^3 \Delta T}{\kappa v}$$

$$P_m = \frac{dm}{dt} c(T_3 - T_1)$$

$$P_m = \frac{dm}{dt} \Lambda$$

$$-mc\frac{d}{dt}(T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$$

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

$$P_r = A\varepsilon\sigma T^4$$

$$P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) A_1 F_{12}$$

$$P_{12} = A_1 F_{12}' \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$$

$$R_r = \left[A_1 F_{12}' \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)\right]^{-1}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$COP = \frac{\text{Useful Output}}{\text{Work Input}} = \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{in}}$$

$$B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$$

$$B = Q\left(1 - \frac{T_o}{T_H}\right)$$

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

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

$$J = c_g E$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{R_{12}} \qquad F_c = mR\omega^2$$

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

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

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

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

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

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

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

$$np = C = n_i^2$$

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

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

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

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

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

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

$$CO_2 + H_2\dot{O} \xrightarrow{light} \dot{O}_2 + [CH_2O] + H_2O$$

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

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

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

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

$$P = u_1 F_A$$

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

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

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

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

$$C_P \le \frac{16}{27}$$

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

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 <u>bare 5</u> av dei 6 spørsmåla.

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

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

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 $TWh\times yr^{-1}$. Kor mange vindturbinar med diameter 80m trengst det om vi skal dekke 25% av dette forbruket (eller 27,5 $TWh\times yr^{-1}$) 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 $kg\times m^{-3}$, 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 $K \times km^{-1}$ temperaturgradient mellom den konstante manteltemperaturen på 1200 K og den konstante overflatetemperaturen på 300 K. Men i eit hypertermisk område er temperaturgradienten 90 $K \times km^{-1}$. Om jordskorpesteinen overalt har den same varmekonduktiviteten $k = 2 W \times m^{-1} \times K^{-1}$:

a) Rekn ut tjukkleiken av jordskorpa i det hypertermiske området. (3%)

b) Rekn ut den geotermiske varmefluksen ved varmeleidning ($W \times m^{-2}$) i det hypertermiske området. Korleis er denne samanlikna med varmefluksen i eit normalt område? (7%)

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

c) Rekn ut den gjennomsnittlege effekten per arealeining som kan produserast frå det halvdaglege (12,5 timars) tidvatnet. (7%)

d) Elektrisitetsforbruket i Noreg er på ca. 110 $TWh \times yr^{-1}$. Kor stort eit tidevassareal må utnyttast for å dekke 25% av dette forbruket (eller 27,5 $TWh \times yr^{-1}$) 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%)

a) Kva er temperaturen og skalahøgda i ein isotermisk atmosfære der lufttrykket er 1000 hPa på overflata og 500 hPa på ei høgd av 5 km? (7%)

b) Globalt, korleis har mengda ozon i stratosfæren endra seg sidan 1970, og kva har vore årsaka til denne endringa? (2%).

c) Om temperaturen på jorda er 15 C, på kva bølgjelengd utstråler den mest energi? (2%)

d) Kva er drivhuseffekten og kva eigenskapar gjer at ein gass skaper drivhuseffekt i jorda sin atmosfære? (2%)

e) 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 $TWh \times yr^{-1}$ (25% av det årlege elektrisitetsforbruket i Noreg) om den årlege innstrålinga frå sola er 900 $kWh \times m^{-2} \times yr^{-1}$ 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 $GJ \times ha^{-1} \times yr^{-1}$ varmeenergi, kor mange km^2 skog treng ein for å generere 27,5 $TWh \times yr^{-1}$ 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 $TWh \times yr^{-1}$ 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: $h = 6.626 \times 10^{-34}\,\mathrm{Js}$

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

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

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

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

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

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

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

The sun-earth distance: $\mathrm{d}_{se} = 1.49 \times 10^{11}\,\mathrm{m}$

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

1 ha = $10^4\ \mathrm{m^2}$ 1TW·h·yr^{-1} = 10^{12}Wh·yr^{-1} = 10^{12} Wh·yr^{-1}÷(24 · 365 h·yr^{-1}) = 8.76x10^{15}W

List of equations

$$pV = nRT$$

$$p = \rho R_{air} T$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\frac{p}{H}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -\frac{g}{c_p} = -\Gamma_d$$

$$H = \frac{R_{air} \cdot T}{g}$$

$$E = h\upsilon$$

$$I_E dE = \frac{2\pi v^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\upsilon/kt} - 1} dE$$

$$I_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$$

$$\lambda_{\max} T = 2898[\mu m\ K]$$

$$I(T) = \sigma T^4$$

$$4\frac{dT_e}{T_e} = +\left\{\frac{dS}{S} + \frac{d\tau_{S\lambda}}{1+\tau_{S\lambda}}\right\} - \left\{\frac{d\varepsilon_{eL}}{\varepsilon_{eL}} + \frac{da}{a} + \frac{d\tau_{L\lambda}}{1+\tau_{L\lambda}}\right\}$$

$$P_T = IV$$

$$P_{ij} = \frac{\Delta T}{R_{ij}}$$

$$q = \frac{P}{A} = \frac{\Delta T}{r}$$

$$r = \frac{1}{h} = RA$$

$$r_n = \frac{\Delta x}{k} \qquad R_n = \frac{\Delta x}{kA}$$

$$r_v = \frac{X}{N\ k} \qquad R_v = \frac{X}{N\ kA}$$

$$r_r = \frac{(T_1 - T_2)}{q} \qquad R_r = \frac{(T_1 - T_2)}{P_{12}}$$

$$P_v = AN\ \frac{k(T_s - T_f)}{X}$$

$$R = \frac{uX}{\nu}$$

$$\mathbf{A} = \frac{g\beta X^3 \Delta T}{\kappa \nu}$$

$$P_m = \frac{dm}{dt} c(T_3 - T_1)$$

$$P_m = \frac{dm}{dt} \Lambda$$

$$-mc\frac{d}{dt}(T_1 - T_0) = \frac{(T_1 - T_0)}{R_{10}}$$

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

$$P_r = A\varepsilon\sigma T^4$$

$$P_{12} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) A_1 F_{12}$$

$$P_{12} = A_1 F_{12}' \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)(T_1 - T_2)$$

$$R_r = \left[A_1 F_{12}' \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)\right]^{-1}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$$

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$COP = \frac{Useful\ Output}{Work\ Input} = \frac{Q_C \text{ or } Q_H}{W_{in}}$$

$$B = (U - U_f) - p_o(V - V_f) - T_o(S - S_f)$$

$$B = Q\left(1 - \frac{T_o}{T_H}\right)$$

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

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

$$J = c_g E$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\eta P_T > P_L$$

$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{R_{12}} \qquad F_c = mR\omega^2$$

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

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

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

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

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

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

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

$$np = C = n_i^{\,2}$$

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

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

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

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

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

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

$$CO_2 + H_2\dot{O} \xrightarrow{light} \dot{O}_2 + [CH_2O] + H_2O$$

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

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

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

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

$$P = u_1 F_A$$

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

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

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

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

$$C_P \le \frac{16}{27}$$

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