



Introduction to Aerospace Engineering

Exams

Exam AE1102 Introduction to Aerospace Engineering II – Resit April 6th, 2011

Go to page 6 for the Dutch version of the exam. Answer in your own preferred language: English or Dutch. There are 4 problems in total. The weight of each problem is indicated. In total 90 points can be earned. Good luck!

Please read the whole question first before you start answering the various sub-questions.

When answering the questions, the formulas you used should be written down before you substitute numbers. Answers only in the form of the numerical end result will be graded as being WRONG.

Spaceflight

Basic orbit formulas:

Ellipse equation
$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos(\theta)}$$

Vis Viva equation
$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Relation between true anomaly and eccentric anomaly
$$\tan \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}$$

Relation between mean anomaly and eccentric anomaly
$$M = E - e \sin E$$

Relation between mean anomaly, mean motion (n) and time
$$M = n(t - t_p)$$

NB: t_p is the time of perihelion passage

Definition of mean motion
$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

NB. If you don't know them by heart the equations for the circular velocity, orbital period and escape velocity can be easily derived from the above equations.

Basic rocket formulas:

Tsiolkowski (NB. c is the exhaust velocity):
$$\Delta V = c \ln \frac{M_{begin}}{M_{end}} = I_{sp} g_0 \ln \Lambda$$

Equation of motion for vertical flight:
$$M \frac{dV}{dt} = T - M g$$

Mass flow:
$$m = - \frac{dM}{dt}$$

Thrust:
$$T = mc$$

Question 1 (30 pts)

An interplanetary spacecraft is launched with a so-called hyperbolic excess velocity of 2.6 km/s with respect to the earth in a direction **opposite** to the earth's motion around to the sun. As a result the spacecraft will enter into an elliptical orbit around the sun which will cross the orbit of Venus. The following numbers are given:

$$\text{Gravitational constant of the Sun } (\mu_{\text{sun}}) = 1.328 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$$

$$\text{Astronomical Unit (AU)} = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$$

$$\text{Radius of Venus' orbit around the Sun } (r_{\text{venus}}) = 0.723 \text{ AU}$$

- a) (4 points) Compute the circular velocity of the Earth around the Sun.
- b) (2 points) Compute the velocity of the spacecraft relative to the Sun immediately after launch.
- c) (4 points) Compute the semi-major axis of the spacecraft's orbit.
- d) (4 points) Compute the eccentricity of the spacecraft's orbit (3 significant digits).
- e) (4 points) Compute the orbital period (in days) of the spacecraft around the Sun.
- f) (6 points) Compute the "true anomaly" (in degrees) when the spacecraft reaches Venus' orbit
- g) (6 points) Compute the time of flight (in days) until the spacecraft reaches Venus' orbit

NB: Assume $a = 0.857 \text{ AU}$ and $e = 0.167$ for questions e,f,g if you could not answer questions c and d

Question 2 (20 pts)

Consider a Lunar lander descending vertically from an altitude of 1010 m to 10 m, decelerating from a velocity of 100 m/s to 0 m/s. The thrust force of the lander rocket engine is assumed to be constant. The mass of the lander is 1000 kg at the start of this descent and is also assumed to be constant (although this is not correct). The exhaust velocity of the lander rocket engine is 2000 m/s. The gravitational acceleration of the moon is $g_{\text{moon}} = 1.62 \text{ m/s}^2$ and may be considered constant. After the descent to 10 m altitude, the lander starts a hovering phase at this altitude.

NB: Tsiolkowski's equation does NOT play a role in this question.

The relevant formulas are:

Lander acceleration: $dV/dt = \text{acc} = T/M - g_{\text{moon}}$ (where T = thrust and M = mass)

Velocity: $V = V_{\text{start}} + \text{acc} \times t$ (where t = time)

Height: $H = H_{\text{start}} + V_{\text{start}} \times t + \frac{1}{2} \times \text{acc} \times t^2$

Thrust: $T = m \times c$ (where m = mass flow and c = exhaust velocity)

NB: V and acc are positive in upward direction

- a) (8 points) Derive an expression for the time of descent (t_d) using the formulas of velocity and height and the values for the start and end conditions (Hint: start from the velocity equation and express acc as a function of t)
- b) (2 points) Compute the value of the time of descent (t_d)
- c) (2 points) Compute the value of acc (assume $t_d = 20 \text{ s}$ if you could not answer question b)
- d) (2 points) Compute the thrust (T) of the lander rocket engine (assume $\text{acc} = 5 \text{ m/s}^2$ if you could not answer question c)
- e) (2 points) Compute the propellant mass (M_{pd}) consumed during the descent (assume $T = 6620 \text{ N}$ if you could not answer question d)
- f) (2 points) Compute the thrust of the lander rocket engine (T_h) at the start of the hovering phase taking into account the reduced mass of the lander (assume $M_{\text{pd}} = 66.2 \text{ kg}$ if you could not answer question e)
- g) (2 points) Is the thrust during the hovering phase constant or not and why?

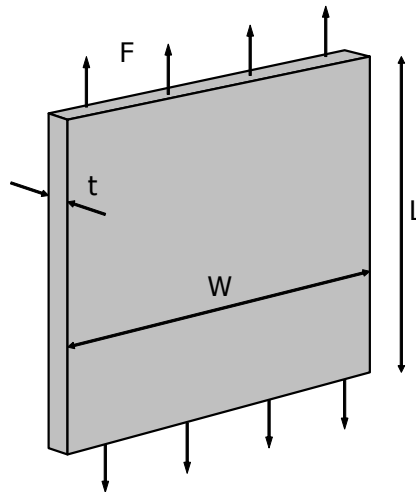
NB: The numbers have been chosen such that you can answer all questions (except f) without using a calculator

Materials & Structures

Question 3 (20 points)

A panel with thickness $t = 1$ mm, width $W = 250$ mm, and length $L = 1$ m is loaded in tension by a force F . The panel is made of aluminium 2024-T3, for which the properties are given by $E = 73$ GPa, $\sigma_y = 290$ MPa, $\sigma_{ult} = 435$ MPa, and $\epsilon_{ult} = 15\%$.

- Calculate the load at which the aluminium panel will yield
- Calculate the strain at which the aluminium panel will yield
- Assume a linear relation between stress and strain for this aluminium alloy between yield strength and ultimate strength. Draw the stress-strain curve and indicate for each point on this curve the stress and corresponding strain.



A force $F = 75$ kN is applied to the panel, as illustrated above. The load is subsequently removed and the panel appears to be permanently elongated.

- To determine the magnitude of permanent elongation, do you prefer to work with true stresses and strains, or with engineering stresses and strains? Explain your answer.
- Calculate the maximum strain that occurred while the load was applied.
- Calculate the permanent elongation ΔL of the panel after the load has been removed.

Question 4 (20 points)

In general, 4 major material types can be identified for technical applications.

- a) List these four material types.
- b) Give for each of the four material types an example application
- c) Two of these four material types cannot be used for highly loaded structures. Mention these two material types and explain for each type the reason why not.

Are the following statements true or false?

- d) Milling and drilling are machining processes
- e) Milling is a process that removes "chips" from the material
- f) Forging is considered a casting process
- g) Rolling is a process for sheets and plates
- h) The higher the strength the lower the spring back after bending
- i) Extrusion is a process for sheets and plates
- j) Filament winding can be applied with fibres in dry and in wet condition
- k) Short and long fibre composites can be produced by filament winding
- l) Automatic tape laying is a process that places fibres in dry condition
- m) Vacuum infusion requires a closed mould system

A fibre system has a Young's modulus of $E = 180$ GPa; the polymer has an E-modulus of 4 GPa. The fibre volume-content of the composite is 50%.

- n) What is the E-modulus of a unidirectional (UD) laminate?
- o) What is the E-modulus of a symmetrical cross-ply (CP) laminate?

A hybrid material (composite of metal, fibres and polymers) can be created using the fibre reinforced polymer as described in question o) and an aluminium alloy with $E = 73$ GPa.

- p) Calculate the E-modulus of that hybrid laminate, if the metal volume is chosen to be 60%.

Tentamen AE1102 Intro to Aerospace Eng II (NL) – Herkansing 6 april 2011

Beantwoord de vragen in de taal van je keuze: Engels of Nederlands, los van in welke groep je zit. Er zijn in totaal 4 opgaven. Het gewicht staat per opgave aangegeven, in totaal zijn er 90 punten te verdienen.

Lees eerst de hele vraag voordat U de deelvragen beantwoordt.

Bij het beantwoorden van de vragen moeten de gebruikte formules worden weergegeven voordat er getallen worden ingevuld. Antwoorden in de vorm van alleen maar het gevraagde getal worden FOUT gerekend.

Ruimtevaart

Basis formules voor satellietbanen:

Ellips vergelijking
$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos(\theta)}$$

Vis Viva vergelijking
$$V^2 = \mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

Relatie tussen ware anomalie en excentrische anomalie
$$\tan \frac{\theta}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}$$

Relatie tussen gemiddelde anomalie en excentrische anomalie
$$M = E - e \sin E$$

Relatie tussen gemiddelde anomalie, gemiddelde hoeksnelheid (n) en tijd
$$M = n(t - t_p)$$

NB: t_p is het tijdstip van perihelium passage

Definitie van gemiddelde hoeksnelheid
$$n = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

NB. Als je de formules voor de cirkelsnelheid, omlooptijd en ontsnappingsnelheid niet uit het hoofd weet dan kun je ze eenvoudig uit bovenstaande vergelijkingen afleiden.

Basis formules voor de raket:

Tsiolkowski (NB. c is de uitstroomsnelheid):
$$\Delta V = c \ln \frac{M_{begin}}{M_{end}} = I_{sp} g_0 \ln \Lambda$$

Bewegingsvergelijking voor verticale vlucht:
$$M \frac{dV}{dt} = T - M g$$

Massastroom:
$$m = - \frac{dM}{dt}$$

Stuwkracht:
$$T = m c$$

Vraag 1 (30 punten)

Een interplanetair ruimtevaartuig wordt gelanceerd met een zogenaamde hyperbolische restsnelheid (V -oneindig) van 2,6 km/s ten opzichte van de Aarde in een richting tegenovergesteld aan de richting van de beweging van de Aarde rond de Zon. Ten gevolge daarvan komt het ruimtevaartuig in een elliptische baan rond de Zon en zal de baan van Venus kruisen. De volgende gegevens zijn beschikbaar:

$$\text{Gravitatie constante van de Zon } (\mu_{\text{sun}}) = 1,328 \times 10^{11} \text{ km}^3/\text{s}^2$$

$$\text{Astronomische eenheid (AU)} = 149,6 \times 10^6 \text{ km}$$

$$\text{Straal van de baan van Venus rond de Zon } (r_{\text{venus}}) = 0,723 \text{ AU}$$

- a) (4 punten) Bereken de cirkelsnelheid van de Aarde rond de Zon.
- b) (2 punten) Bereken de snelheid van het ruimtevaartuig ten opzichte van de Zon direct na lancering
- c) (4 punten) Bereken de halve lange as van de baan van het ruimtevaartuig
- d) (4 punten) Bereken de excentriciteit van de baan van het ruimtevaartuig (3 significante cijfers)
- e) (4 punten) Bereken de omlooptijd (in dagen) van het ruimtevaartuig rond de zon
- f) (6 punten) Bereken de "ware anomalie" (in graden) op het moment dat het ruimtevaartuig de baan van Venus bereikt
- g) (6 punten) Bereken de vluchttijd (in dagen) tot het moment dat het ruimtevaartuig de baan van Venus bereikt

NB: Veronderstel $a = 0,857 \text{ AU}$ en $e = 0,167$ voor de vragen e,f,g als U niet in staat was om de vragen c en d te beantwoorden

Vraag 2 (20 punten)

Beschouw een maanlander die vertikaal afdaalt van een hoogte van 1010 m naar 10 m, daarbij afremmend van een snelheid van 100 m/s naar 0 m/s. De stuwkracht van de raketmotor van de maanlander wordt aangenomen constant te zijn. De massa van de maanlander bedraagt 1000 kg aan het begin van de afdaling en wordt ook aangenomen constant te zijn (hoewel dit niet correct is). De uitsroomsnelheid van de raketmotor van de maanlander is 2000 m/s. De versnelling van de zwaartekracht van de Maan is $1,62 \text{ m/s}^2$ en wordt ook verondersteld constant te zijn. Na de afdaling tot 10 m hoogte begint de maanlander aan een zweef-fase op deze hoogte. **NB: de formule van Tsiolkowski speelt GEEN rol in dit vraagstuk.**

De relevante formules zijn:

Versnelling van de maanlander: $dV/dt = \text{acc} = T/M - g_{\text{moon}}$ (met T = stuwkracht en M = massa)

Snelheid: $V = V_{\text{start}} + \text{acc} \times t$ (met t = tijd)

Hoogte: $H = H_{\text{start}} + V_{\text{start}} \times t + \frac{1}{2} \times \text{acc} \times t^2$

Stuwkracht: $T = m \times c$ (met m = massastroom en c = uitstroomsnelheid)

NB: V en acc zijn positief in opwaartse richting

- a) (8 punten) Leid een uitdrukking af voor de afdaltijd (t_d) door gebruik te maken van de formules voor de snelheid en de hoogte en de gegevens voor de begin- en eindcondities (Hint: begin met de snelheidsvergelijking en druk acc uit als functie van t)
- b) (2 punten) Bereken de waarde van de afdaltijd (t_d)
- c) (2 punten) Bereken de waarde van acc (veronderstel $t_d = 20 \text{ s}$ als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)
- d) (2 punten) Bereken de stuwkracht (T) van de raketmotor (veronderstel $\text{acc} = 5 \text{ m/s}^2$ als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)
- e) (2 punten) Bereken de stuwstofmassa (M_{pd}) die verbruikt is gedurende de afdaling (veronderstel $T = 6620 \text{ N}$ als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)
- f) (2 punten) Bereken de stuwkracht (T_h) van de raketmotor aan het begin van de zweef-fase rekening houdend met de afgenomen massa (veronderstel $M_{\text{pd}} = 66.2 \text{ kg}$ als je de vorige vraag niet kon beantwoorden)
- g) (2 punten) Is de stuwkracht gedurende de zweef-fase constant of niet en waarom

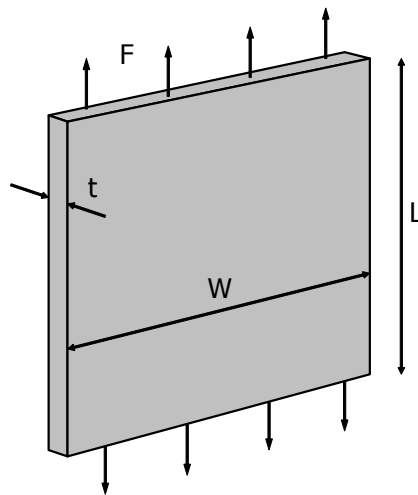
NB: De getallen zijn zodanig gekozen dat je alle onderdelen (behalve f) zonder rekenmachine kunt beantwoorden

Materialen & Constructies

Vraag 3 (20 punten)

Een paneel met dikte $t = 1$ mm, breedte $W = 250$ mm, en lengte $L = 1$ m is belast met een trekbelasting F . Het paneel is gemaakt van aluminium 2024-T3, waarvoor de eigenschappen gegeven zijn met $E = 73$ GPa, $\sigma_y = 290$ MPa, $\sigma_{ult} = 435$ MPa, and $\epsilon_{ult} = 15\%$.

- Bereken de belasting waarbij het aluminium paneel plastisch gaat vervormen
- Bereken de rek waarbij het aluminium paneel plastisch gaat vervormen
- Neem een lineair verband aan tussen spanning en rek voor deze aluminium legering tussen de vloeigrens en de breukrek. Teken de spanning-rek kromme en geef voor elk punt op deze kromme de spanning en bijbehorende rek.



Een belasting van $F = 75$ kN wordt gezet op het paneel, zoals weergegeven in de illustratie hierboven. De belasting is vervolgens verwijderd en het paneel is blijvend verlengd.

- Om de grootte van de permanente verlenging te bepalen, geef je dan de voorkeur om met nominale (engineering) spanningen en rekken te werken of met werkelijke (ware) spanningen en rekken? Leg je antwoord uit.
- Bereken de maximale rek die optreedt terwijl de belasting nog aanwezig is.
- Bereken de permanente verlenging ΔL van het paneel nadat de belasting van het paneel is verwijderd.

Vraag 4 (20 punten)

In het algemeen kunnen 4 belangrijke materiaal types geïdentificeerd worden voor technische applicaties.

- a) Noem deze vier materiaal types.
- b) Geef voor elke van deze vier materiaal types een voorbeeld applicaties.
- c) Twee van deze vier materiaal types kunnen niet gebruikt worden voor hoogbelaste constructies. Noem deze twee materiaal types en leg voor elk uit waarom niet.

Zijn de volgende stellingen waar of onwaar?

- d) Frezen en boren zijn verspanende bewerkingen/processen
- e) Frezen is een proces dat "spanen" verwijderd van het materiaal
- f) Smeden is een gietproces
- g) Rollen is een proces voor dun en dik plaatmateriaal
- h) Hoe hoger de sterkte, hoe lager de terugvering na buiging
- i) Extrusie is een proces voor dun en dik plaatmateriaal
- j) Wikkelen kan worden toegepast met vezels in droge en natte toestand
- k) Korte en lange vezelversterkte kunststoffen kunnen worden geproduceerd met wikkelen
- l) Automatisch tape laying is een proces dat droge vezels neerlegt
- m) Voor vacuüm infusie is een systeem met gesloten mal nodig

Een vezel systeem heeft een elasticiteitsmodulus van $E = 180$ GPa; de polymeer heeft een E-modulus van 4 GPa. Het vezelvolumegehalte van het vezelversterkte kunststof is 50%.

- n) Wat is de E-modulus van een unidirectioneel (UD) laminaat?
- o) Wat is de E-modulus van een symmetrisch cross-ply (CP) laminaat?

Een hybride materiaal (samenstelling van metaal, vezels en polymeer) kan worden gemaakt door gebruik te maken van het vezelversterkte kunststof uit vraag o) en van een aluminium legering met $E = 73$ GPa.

- p) Bereken de E-modulus van dat hybride laminaat als de metaal volumefractie gelijk aan 60% gekozen wordt.