



Introduction to Aerospace Engineering

Exams

Exam AE1101 Introduction to Aerospace Engineering – Resit January 2010

Go to page 5 for the Dutch version of the exam. Answer in your own preferred language: English or Dutch. Weight of problem is indicated. In total there are 78 points. Good luck!

Problem 1. (6 pts)

One of the main “laws” in aerospace engineering is to design and build lightweight vehicles. Why lightweight? Give your answer in 100 words max.

Problem 2 Multiple choice (4 pts)

Which of the following statements about material properties and structural properties is true? (one answer)

- The material properties and structural properties are identical
- The material properties and structural properties are complementary.
- Structural properties depend on material properties and geometrical features
- Material properties are much more important than structural properties.

Problem 3 (20 pts)

The figure on the left shows the temperature for the standard atmosphere as a function of the geopotential altitude h .

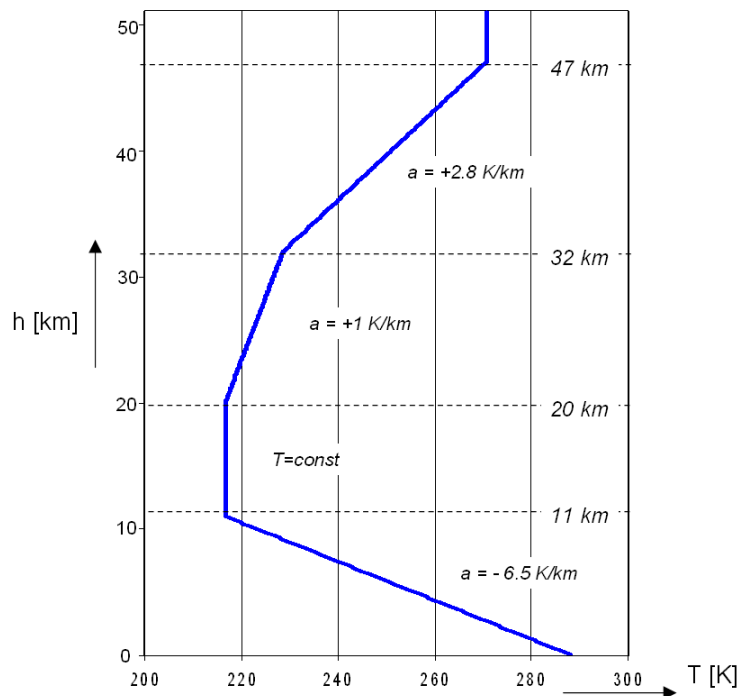
In this problem we assume the current atmosphere to precisely match this ICAO standard atmosphere.

Conditions at sea level:

$$p = 1.01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

$$T = 15^\circ\text{C} \text{ (288.15 K)}$$



To calculate the air pressure in a layer with a linearly varying temperature, we use the following formula:

where:

$$\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^{-\frac{g_0}{aR}}$$

p_0 is the pressure at the base of the layer (Pa)
 T_0 is the temperature at the base of the layer (K)
 p_1 is the pressure at altitude in the layer (Pa)
 T_1 is the temperature at altitude in the layer (K)
 a is the temperature gradient (K/m)
 g_0 is the gravitation acceleration (take 9.810 m/s²)
 R is the gas constant for air (287.0 J/K kg)

- a) Derive this equation using as a starting point both the equation of state for an ideal gas: $p = \rho RT$ and the hydrostatic law: $dp = -\rho g_0 dh$

With this law and the starting conditions at sea level, the conditions at $h = 11$ km can be calculated, they are:

Air pressure: $p = 22614$ Pa
 Air density: $\rho = 0.3636$ kg/m³
 Temperature: $T = -56.5^\circ$ C (216.65 K)

A student wants to have a helium filled balloon go even higher, to an altitude of 100,000 ft (30.48 km or FL1000). The molar mass of helium is 4.003 g/mol, for air the molar mass is 28.97 g/mol. The maximum altitude is determined by the maximum volume before the balloon bursts.

The material of the balloon is fragile and not elastic, so ignore the pressure difference before the burst (assume p, T gas = p, T atmosphere). Use the conditions at 11 km as your starting point and the data in the graph for the calculation of the air density. Note the isothermal layer with a different formula for the air pressure than the layer where the temperature varies.

- b) Which equation should be used to calculate the net lift of the gas in the balloon?
- c) What is the minimum required maximum volume in m³ of the helium balloon to reach the altitude of FL1000 if the weight of the balloon including payload is exactly 2 kg (2.000 kg)?

Hint: Note the units!

Problem 4 (20 pts)

In a supersonic wind tunnel air flows from a large reservoir via the throat (1) to the test section (2). For this situation we know:

- Temperature in the reservoir, $T_0 = 1200$ K.
- Pressure in the reservoir $p_0 = 9$ atm
- Temperature in the test section $T_2 = 310$ K
- Mass flow = 0.5 kg/s
- Specific heat coefficient $c_p = 1008$ J/kg K
- The ratio of specific heat coefficients $\gamma = c_p / c_v = 1.4$

a) Calculate the air temperature in the throat (1)

Note: - use the energy equation,

- use the formulation for the speed of sound in (1) containing the temperature

- use R calculated from $R = c_p - c_v$

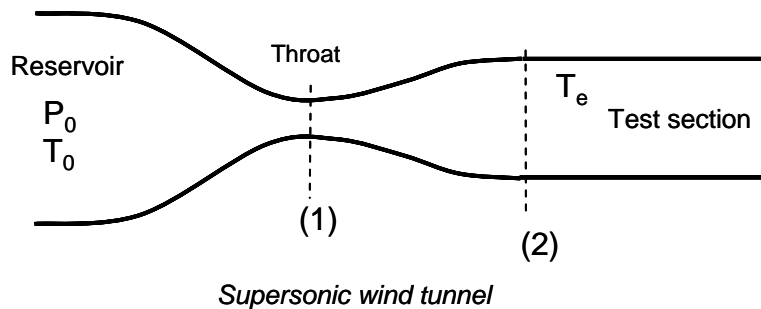
or just use the second form of the isentropic relations containing the Mach number.

b) Calculate the airspeed in the throat (1). If you did not succeed in deriving the temperature in a) take $T_1 = 900$ K for this calculation.

c) Calculate the Mach number in the test section (2)

d) Calculate the area of the throat cross section (1)

(Note: first calculate ρ_0)



Problem 5. (20 pts)

No gravity

Consider a spacecraft (lander) with a total mass $M_0=1000$ kg in the absence of gravity. The exhaust velocity of the propulsion system equals $V_e=2000$ m/sec.

- a) Determine the amount of propellant M_p [kg] required to provide a change in the velocity of the spacecraft of 500 m/sec.
- b) The same question but obtained by an instantaneous (time duration $\Delta t=0$) momentum change due the exhaust of all propellant at once.
- c) Explain the difference in the answers of questions a) and b).

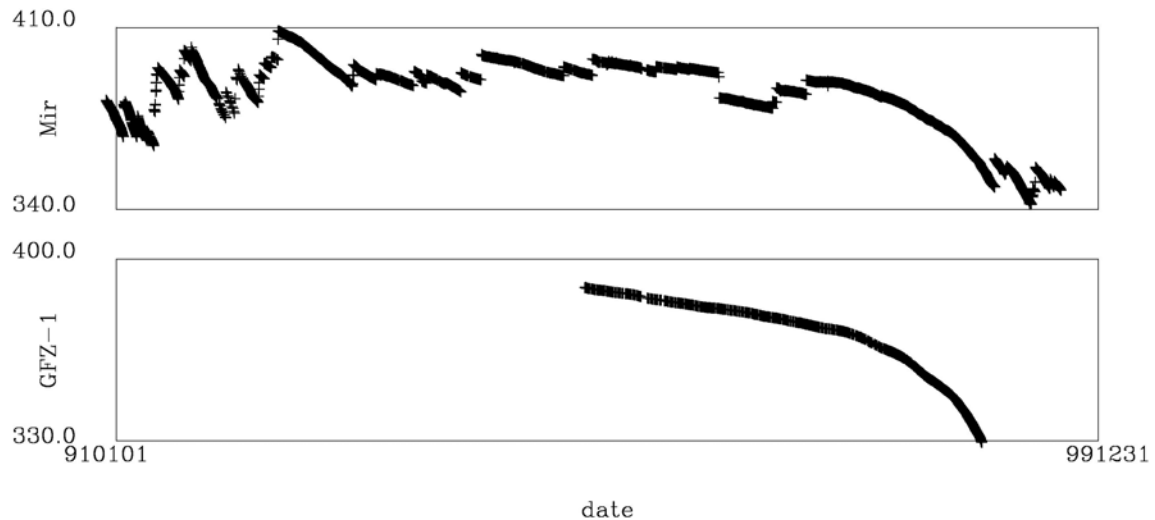
With gravity

The lander lifts off from an exoplanet without atmosphere with constant gravity acceleration $g = 10$ m/sec². Starting at $t_0 = 0$, after 10 seconds a velocity $V_1 = 10$ m/sec is obtained at a height $h_1 = 100$ meter. The propulsion system delivers a constant acceleration.

- d) Determine the total constant acceleration a [m/sec²] of the spacecraft.
- e) Determine the thrust force [kN] at $t=0$.

Problem 6 (8 pts):

The picture below shows the behaviour of the orbit altitude of the Russian space station Mir and the German research satellite GFZ-1. Discuss four aspects of its content (similarities, differences).



Tentamen AE110 Introduction to Aerospace Dutch version – Herkansing Jan 2010

Beantwoord de vragen in de taal van je keuze: Engels of Nederlands, los van in welke groep je zit. Het gewicht staat per opgave aangegeven, in totaal zijn dat 78 punten.
Succes!

Opgave 1 (6 punten)

Een van de hoofdregels in aerospace engineering is om lichtgewicht voertuigen te ontwerpen en bouwen. Waarom lichtgewicht? Geef je antwoord in maximaal 100 woorden.

Opgave 2 Multiple choice (4 punten)

Welke van de volgende beweringen over materiaal en constructie eigenschappen is juist? (één antwoord)

- De materiaal eigenschappen en de constructie eigenschappen zijn aan elkaar gelijk (identiek)
- De materiaal eigenschappen en de constructie eigenschappen vullen elkaar aan
- De constructie eigenschappen zijn afhankelijk van de materiaal eigenschappen en geometrische kenmerken
- Materiaal eigenschappen zijn veel belangrijker dan constructie eigenschappen.

Opgave 3 (20 punten)

Hiernaast staat de grafiek met het temperatuurverloop in de standaardatmosfeer als functie van de geopotentialhoogte h .

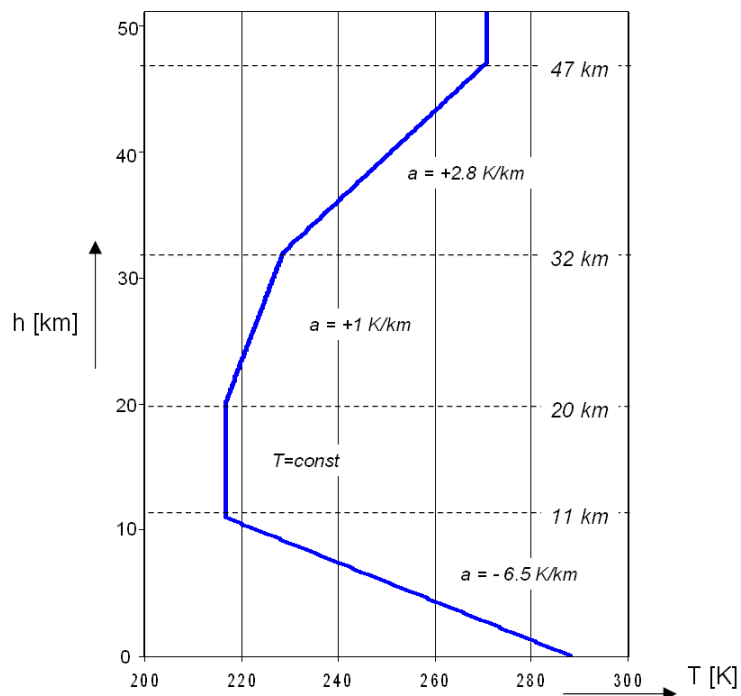
In deze som nemen we aan dat de atmosfeer precies overeenkomt met deze ICAO standaardatmosfeer.

Conditie op zeeniveau:

$$p = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$T = 15^\circ\text{C} (288,15 \text{ K})$$



Voor het berekenen van de druk in een laag met een lineair verlopende temperatuur gebruiken we de volgende formule:

$$\frac{p_1}{p_0} = \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^{-\frac{g_0}{aR}}$$

p_0 is druk onderin de atmosfeerlaag (Pa)
 T_0 is de temperatuur onderin de atmosfeerlaag (K)
 p_1 is de druk op een hoogte in de laag (Pa)
 T_1 is de temperatuur op een hoogte in de laag (K)
 a is de temperatuur gradiënt (K/m)
 g_0 is de gravitatieversnelling (neem 9,810 m/s²)
 R is de gasconstante voor lucht (287,0 J/K kg)

a) Leid dit verband af uit:

de ideale toestandsgaswet: $p = \rho RT$
 en de hydrostatische wet: $dp = -\rho g_0 dh$

Met deze wet en de begincondities op zeeniveau is te berekenen dat op 11 km hoogte de volgende condities gelden:

Luchtdruk: $p = 22614$ Pa
 Luchtdichtheid: $\rho = 0,3636$ kg/m³
 Temperatuur: $T = -56,5^\circ$ C (216,65 K)

Iemand wil een heliumballon oplat en die nog hoger gaat, namelijk tot 100,000 ft (30.48 km ofwel FL1000). De molaire massa van helium is 4.003 g/mol, van lucht 28.97 g/mol. De maximale hoogte wordt bepaald door het maximale volume voordat de ballon barst.

Het materiaal van de ballon is kwetsbaar en erg dun, dus negeer de drukopbouw vlak voor het scheuren (neem aan dat p, T gas = p, T atmosfeer). Gebruik de condities op 11 km hoogte als startpunt samen met gegevens in de grafiek voor het berekenen van de luchtdichtheid. Let erop dat voor de isothermische laag een ander verband geldt voor de druk dan voor de laag waar de temperatuur varieert.

- b) Welke vergelijking kun je hier gebruiken om de netto lift van het gas in de ballon te berekenen?
- c) Wat is het minimaal benodigde maximum volume in m³ van de heliumballon om die hoogte van FL1000 te kunnen halen als het gewicht van de ballon inclusief de payload op de gram af 2 kg is (dus 2,000 kg)?

Tip: let op eenheden!

Opgave 4 (20 punten)

Bij een supersonische windtunnel wordt lucht uit een groot reservoir via een keel (1) naar de testsectie (2) geleid.

Gegeven:

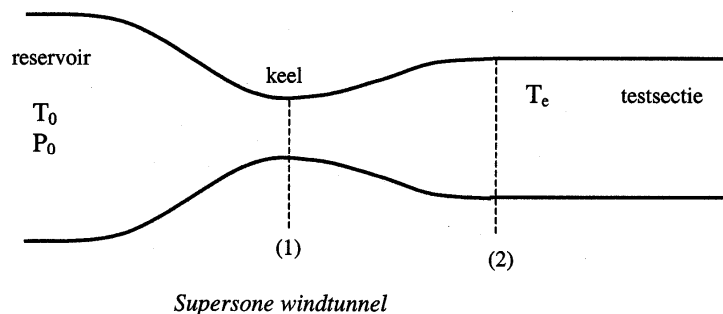
- Temperatuur in het reservoir, $T_0 = 1200$ K.
- Druk in het reservoir $p_0 = 9$ atm.
- Temperatuur in de testsectie $T_2 = 310$ K.
- Massastroom = $0,5$ kg/s.
- Specifieke warmtecoëfficiënt $c_p = 1008$ J/kg K
- De verhouding van de specifieke warmte coëfficiënten $\gamma = c_p/c_v = 1,4$

Gevraagd:

- a) Bereken de luchttemperatuur in de keel (1).
- gebruik de energie vergelijking
 - gebruik de formule voor de geluidssnelheid in (1) met daarin de temperatuur
 - gebruik R berekend uit $R = c_p - c_v$

Of gebruik de tweede vorm van de formules voor de isentropische relaties met daarin het Mach getal M.

- b) Bereken de luchtsnelheid in de keel (1). Als u er bij a) niet in bent geslaagd de temperatuur te berekenen, gebruik dan hier $T_1 = 900$ K.
- c) Bereken het Mach getal in de testsectie (2)
- d) Bereken de oppervlakte van de doorsnede van de keel(1)
(Hint: bereken eerst de dichtheid ρ_0)



Opgave 5 (20 punten)

Geen zwaartekracht

Beschouw een ruimtevaartuig (lander) met totale massa $M_0=1000$ kg in afwezigheid van zwaartekracht. De uitstootsnelheid van het voortstuwingsysteem bedraagt $V_e = 2000$ m/sec.

- Hoeveel stuwstof M_p [kg] is nodig voor een snelheidsverandering $\Delta V=500$ m/sec.
- Zelfde vraag voor een instantane (tijdsduur $\Delta t = 0$) uitstoot van de gehele stuwstof massa. (*Hint: Denk aan impuls*)
- Leg uit en waarom er verschil is in het antwoord op a) en b) en verklaar dit.

Wel zwaartekracht

De lander stijgt op van een exoplaneet zonder atmosfeer met constante gravitatieversnelling $g = 10$ m/sec². Startend op $t_0 = 0$ wordt in 10 seconden een snelheid $V_1 = 10$ m/sec verkregen op hoogte $h_1 = 100$ meter. Er wordt een constante versnelling geleverd door het voortstuwingsysteem.

- Bepaal de totale eenparige versnelling a [m/sec²]
- Bepaal de voortstuwingskracht [kN] op $t=0$

Opgave 6 (8 punten)

De figuur hieronder toont het gedrag van de baanhoogte van het Russische ruimtestation Mir en de Duitse onderzoekssatelliet GFZ-1. Bespreek 4 aspecten van wat je uit deze figuur afleest (overeenkomsten, verschillen).

