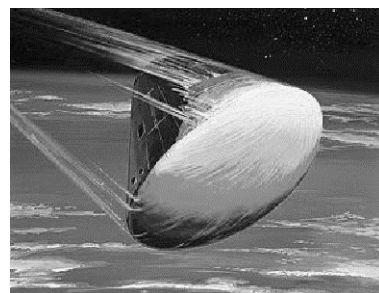


## Opgave 3 Terug uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Een bemande ruimtecapsule moet na terugkeer uit de ruimte in minder dan een half uur een zachte landing op aarde maken. Hierbij heeft men te maken met de gravitatiekracht en de wrijvingskracht van de atmosfeer. Om de wrijvingswarmte op te kunnen vangen, heeft men een hitteschild ontwikkeld met een grote luchtweerstandscoefficiënt (de platte kant wijst naar voren), dat afbladdert bij hoge temperaturen.



Door de hoge temperaturen worden de luchtmoleculen rond de capsule geïoniseerd. Hierbij ontstaat een plasma van elektronen en positieve ionen dat EM-straling absorbeert. Tijdens de daling ondervindt de capsule daardoor een radio-black-out: het radiocontact met het grondstation valt een paar minuten weg.

### De weg terug

De terugkerende ruimtecapsule met een massa  $m = 5,8 \cdot 10^3$  kg, bevindt zich op  $t = 0$  s op 500 km hoogte met baansnelheid van  $7,5 \cdot 10^3$  ms<sup>-1</sup>.

- 4p 11 Laat met een berekening zien dat deze snelheid op die hoogte te klein is voor een stabiele omloopbaan om de aarde.

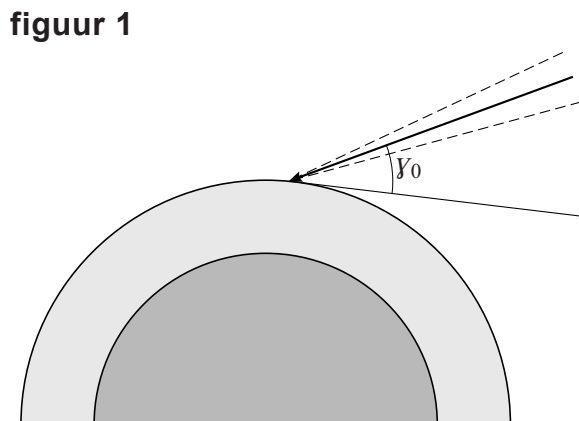
Op  $t = 0$  s geldt voor de zwaarte-energie:  $E_z = 0,927 \cdot mgh$ .

- 4p 12 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waarom de zwaarte-energie  $E_z$  op  $t = 0$  s kleiner is dan berekend met de formule  $E_z = mgh$ .
  - Hieronder staan vier ordes van grootte van de hoeveelheid energie die de capsule voor een veilige landing in de atmosfeer moet kwijtraken.

a	$10^5$ J	b	$10^8$ J	c	$10^{11}$ J	d	$10^{14}$ J
---	----------	---	----------	---	-------------	---	-------------

In welke orde van grootte ligt die hoeveelheid energie? Motiveer je keuze met een berekening.

Bij terugkeer in de atmosfeer mag de intreehoek  $\gamma$  maar weinig van de ideale intreehoek  $\gamma_0 = 27^\circ$  afwijken. Zie figuur 1.



Bij een onjuiste hoek ( $\gamma < \gamma_0$  of  $\gamma > \gamma_0$ ) kunnen de volgende problemen ontstaan:

I De capsule wordt te heet.

II De capsule komt met een te grote snelheid op de grond.

III De capsule ketst af tegen de atmosfeer.

IV De capsule doet te lang over de daling waardoor de landingsplaats niet nauwkeurig te bepalen is.

V De remkracht op de capsule en de bemanning is te groot.

3p 13 Geef op de uitwerkbijlage aan welke oorzaak bij welk probleem hoort.

Het hitteschild verliest ook hitte door straling. Uit die straling kan men vaststellen dat de evenwichtstemperatuur van het schild bij daling gelijk is aan  $T = 1,6 \cdot 10^3$  K. De diameter van het cirkelvormig hitteschild is 3,9 m.

2p 14 Bereken de energie die het hitteschild elke seconde door straling afvoert.

3p 15 Leg uit of het hitteschild bij deze temperatuur roodgloeiend of witgloeiend zal zijn. Licht je antwoord toe met een berekening.

### Communicatie

Het plasma vormt gedurende een paar minuten een gesloten schil rondom de capsule. Hierdoor is er een paar minuten geen radiocontact met de capsule meer mogelijk: een radio-black-out. Het resterende half uur van de afdaling vindt er wel communicatie plaats, maar dat kan uitsluitend via satellieten.

1p 16 Wat zegt het feit dat communicatie na de radio-black-out uitsluitend via satellieten mogelijk is, over de vorm van het plasma?

Voor de communicatie gebruikt men frequenties rond 2,2 GHz.

Het plasma bevindt zich 'dicht bij' de antenne, waarbij onder 'dicht bij' ongeveer een golflengte verstaan wordt.

2p 17 Bereken de afstand tussen het plasma en de antenne.

De frequenties van de draaggolven van de downlink (capsule  $\rightarrow$  satelliet) en de uplink (satelliet  $\rightarrow$  capsule) maakt men bewust verschillend.

1p 18 Welk probleem lost men hiermee op?

De communicatie met de satellieten gaat met zwakke signalen die veel last hebben van ruis. Daarom worden de signalen gedigitaliseerd.

2p 19 Leg uit waarom dat gebeurt.

Men kiest voor frequentiemodulatie (FM) in plaats van amplitudemodulatie (AM).

2p 20 Leg uit of de capsule bij amplitudemodulatie (AM) een groot of een klein vermogen moet leveren.

## uitwerkbijlage

13

	I te heet	II snelheid bij landing te groot	III ketst af tegen atmosfeer	IV daaltijd te groot	V remkracht te groot
$\gamma < \gamma_0$					
$\gamma > \gamma_0$					