

Examen VWO

**2015**

tijdvak 1  
maandag 18 mei  
13.30 - 16.30 uur

**natuurkunde (pilot)**

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift zijn twee aanvullingen op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 26 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 75 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.



## Formuleblad

---

Formules die bij het pilot-programma horen en die niet in BINAS staan.

### C Beweging en wisselwerking

$$F_{w,l} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2$$

$$E_{\text{chem}} = r_v V \quad E_{\text{chem}} = r_m m$$

$$\Sigma p_{\text{voor}} = \Sigma p_{\text{na}}$$

### D Lading en veld

$$I = GU$$

### E Straling en materie

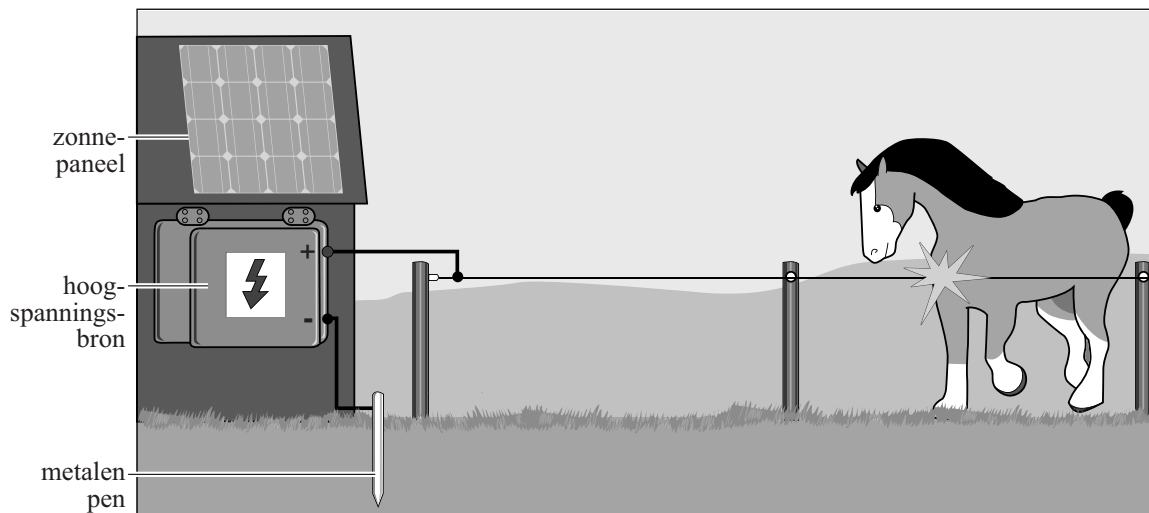
$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$

$$D = \frac{E}{m} \quad H = QD$$

## Opgave 1 Schrikdraadinstallatie

Om weilanden af te rasteren wordt vaak schrikdraad gebruikt. In figuur 1 staat een schematische tekening van een schrikdraadinstallatie.

figuur 1



De hoogspanningsbron zet de schrikdraden met korte pulsen onder spanning. Als een dier het schikdraad aanraakt, krijgt het een schok.

- 3p 1 Voer de volgende opdrachten uit:
- Noem de onderdelen van de stroomkring die dan ontstaat.
  - Leg uit of de installatie energie verbruikt als de schrikdraad niet aangeraakt wordt.

Voor een bepaald soort schrikdraad wordt draad van roestvrij staal gebruikt met een lengte van 400 m en een diameter van 3,2 mm.

- 3p 2 Bereken de weerstand van deze draad.

De Europese normen voor elektrische afrasteringen zijn vastgelegd in de zogenoemde EN-normen. De vier belangrijkste EN-normen voor een schrikdraadinstallatie zijn:

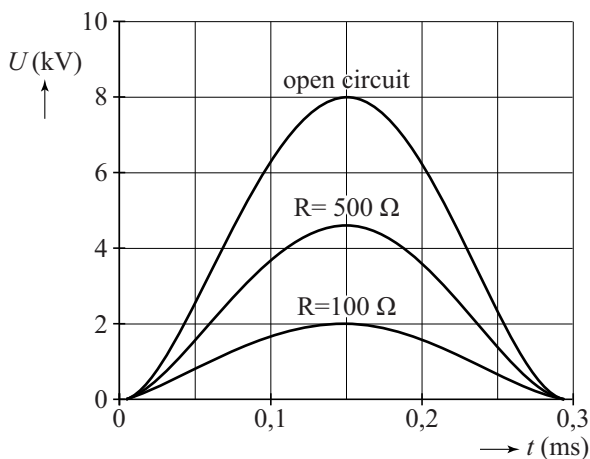
- 1 De onbelaste uitgangsspanning mag niet hoger zijn dan 10 kV.
- 2 De duur van één puls mag niet groter zijn dan 10 ms.
- 3 De maximale stroomsterkte mag niet meer zijn dan 15 A bij een belastingsweerstand van  $100 \Omega$  en van  $500 \Omega$ .
- 4 De energie in één puls mag niet meer bedragen dan 6 J.

Een Amerikaanse fabrikant wil zijn schrikdraadinstallatie op de Europese markt brengen.

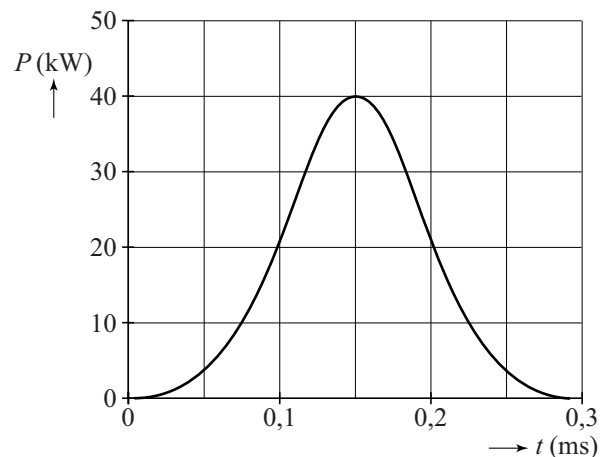
De spanningspulsen bij verschillende belastingsweerstand van die installatie zijn te zien in figuur 2. Met die gegevens is de  $(P, t)$ -grafiek gemaakt die weergegeven is in figuur 3. De  $(P, t)$ -grafiek van figuur 3 geldt dus zowel voor de belastingsweerstand van  $100 \Omega$  als voor de belastingsweerstand van  $500 \Omega$ .

De figuren 2 en 3 staan vergroot op de uitwerkbijlage.

**figuur 2**



**figuur 3**



- 3p **3** Toon aan met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage dat de maximale waarde van de  $(P, t)$ -grafiek van figuur 3 juist is voor de belastingsweerstand van  $100 \Omega$  en van  $500 \Omega$ .
- 5p **4** Laat met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage voor elke van de vier EN-normen zien of deze schrikdraadinstallatie eraan voldoet.

**Ga verder op de volgende pagina.**

## Opgave 2 Een sprong bij volleybal

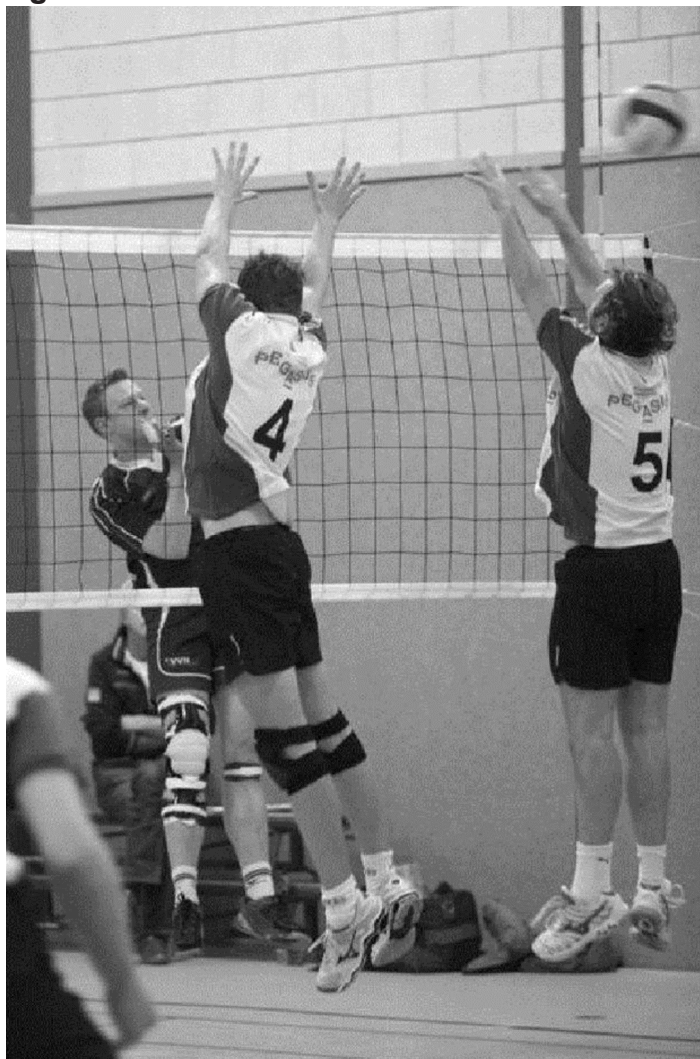
Bij volleybal springt een speler vaak uit stand recht omhoog. Zie figuur 1.

De verticale snelheid van het zwaartepunt van een volleyballer tijdens de afzet en de daaropvolgende beweging los van de grond is weergegeven in figuur 2.

Tijdens de sprong zijn de 'afzetkracht' en de zwaartekracht van belang. De afzetkracht is de kracht van de grond op de volleyballer tijdens de afzet.

We verwaarlozen in deze opgave de luchtweerstand. De volleyballer heeft een massa van 75 kg. Figuur 2 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

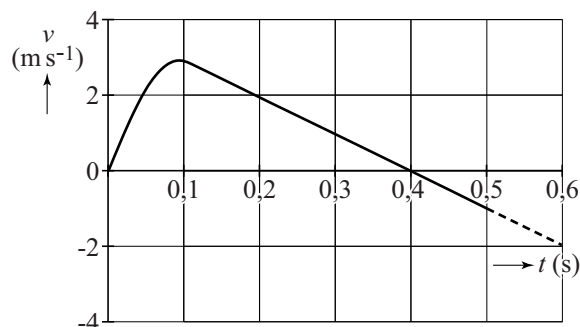
figuur 1



- 4p **5** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de maximale afzetkracht op de volleyballer.

- 3p **6** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het hoogteverschil van het zwaartepunt van de volleyballer tussen het begin van de afzet en het hoogste punt.

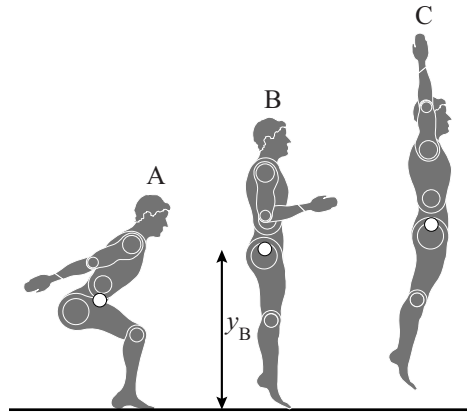
figuur 2



Bij de studie bewegingswetenschappen wordt zo'n verticale sprong bestudeerd. Daarbij wordt een computermodel gebruikt van een **andere** sprong dan de sprong van figuur 2.

Een sprong bestaat uit een afzet en een beweging los van de grond. Drie momenten van een sprong staan in figuur 3 weergegeven. Figuur 3 is niet op schaal

**figuur 3**



- In positie A is de springer maximaal door zijn knieën gezakt. Dit noemen we het begin van de sprong.
- In positie B komt de springer los van de grond.
- In positie C bevindt de springer zich in het hoogste punt.

Het afzetten wordt vergeleken met het ontspannen van een gespannen veer. Daarbij geldt voor de grootte van de afzetkracht:

$$F_{\text{afzet}} = Cu = C(y_B - y).$$

Hierin is:

- $C$  de veerconstante,
- $u$  de uitwijking vanaf de evenwichtsstand,
- $y$  de hoogte van het zwaartepunt boven de grond,
- $y_B$  de hoogte van het zwaartepunt op het moment dat de springer loskomt van de grond.

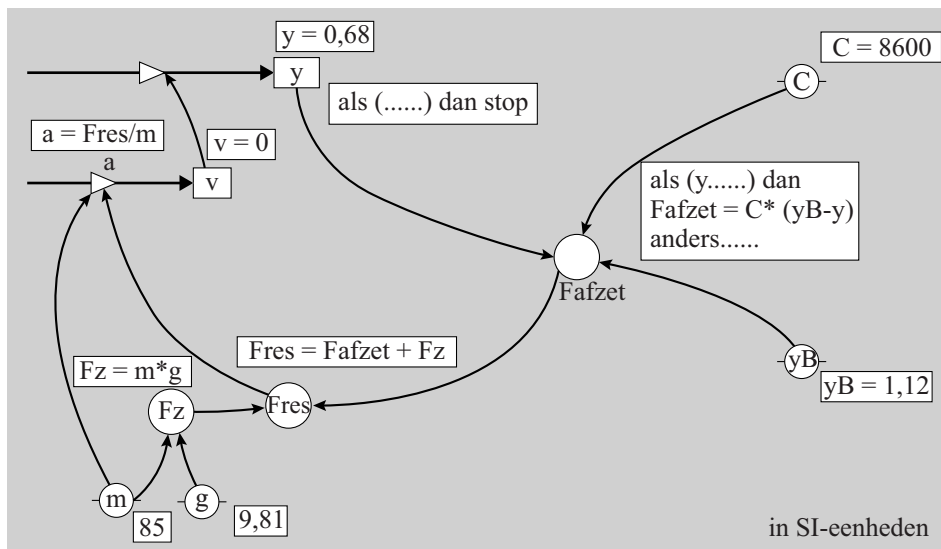
Het computermodel is op twee manieren weergegeven in de figuren 4a en 4b. Je kunt één van de twee manieren kiezen. In elk model zijn drie regels opengelaten.

**figuur 4a**

model	startwaarden (in SI-eenheden)
$F_z = -m \cdot g$ als ( $y, \dots$ ) dan $F_{\text{afzet}} = C \cdot (y_B - y)$ anders ..... eindals $F_{\text{res}} = F_{\text{afzet}} + F_z$ $a = F_{\text{res}} / m$ $v = v + a \cdot dt$ $y = y + v \cdot dt$ $t = t + dt$ als (.....) dan stop eindals	$t = 0$ $dt = 0,001$  $y = 0,68$ $v = 0$ $m = 85$ $g = 9,81$ $C = 8600$ $y_B = 1,12$



figuur 4b



Het model moet aan de volgende eisen voldoen:

- De afzetkracht wordt voor alle waarden van  $y$  correct beschreven.
- Op het hoogste punt (positie C in figuur 3) stopt het model.

Figuur 4a en figuur 4b staan ook op de uitwerkbijlage.

- 3p 7 Vul in de figuur op de uitwerkbijlage het model zo aan dat aan bovenstaande eisen wordt voldaan. (Kies één van de twee manieren.)

Een wetenschapper wil het model uitbreiden om ook de energieën van een springer tijdens zijn sprong te beschrijven. Hierbij wordt de beschikbare energie tijdens de afzet, afzetenergie  $E_{afzet}$ , vergeleken met de energie in een gespannen veer.

- 2p 8 Welke formule voor de afzetenergie  $E_{afzet}$  moet de wetenschapper hiervoor aan het model toevoegen? Gebruik hiervoor de grootheden uit het model.

Op de uitwerkbijlage staat een diagram met de resultaten van het uitgebreide model van de afzetenergie tegen de tijd weergegeven.

- 2p 9 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage op welk tijdstip het vermogen van de springer maximaal is.

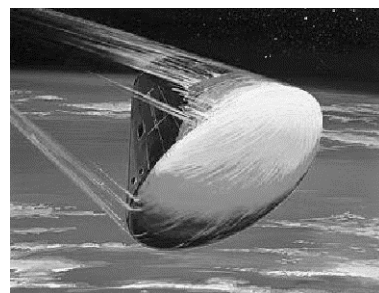
Op de uitwerkbijlage staan in een diagram de zwaarte-energie en de afzetenergie van de springer weergegeven.

- 4p 10 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal in de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de kinetische energie op  $t = 0,18$  s.
  - Teken in de figuur op de uitwerkbijlage het verloop van de kinetische energie tegen de tijd.

## Opgave 3 Terug uit de ruimte

Lees onderstaand artikel.

Een bemane 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.

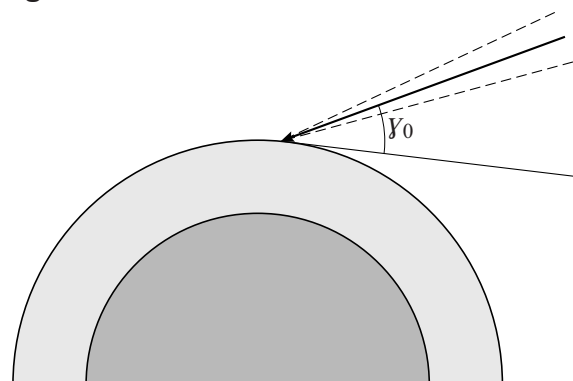
Op  $t = 0$  s geldt voor de zwaarte-energie:  $E_z = 0,927 \cdot mgh$ .

- 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 kwijt raken.

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 → satelliet) en de uplink (satelliet → 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.

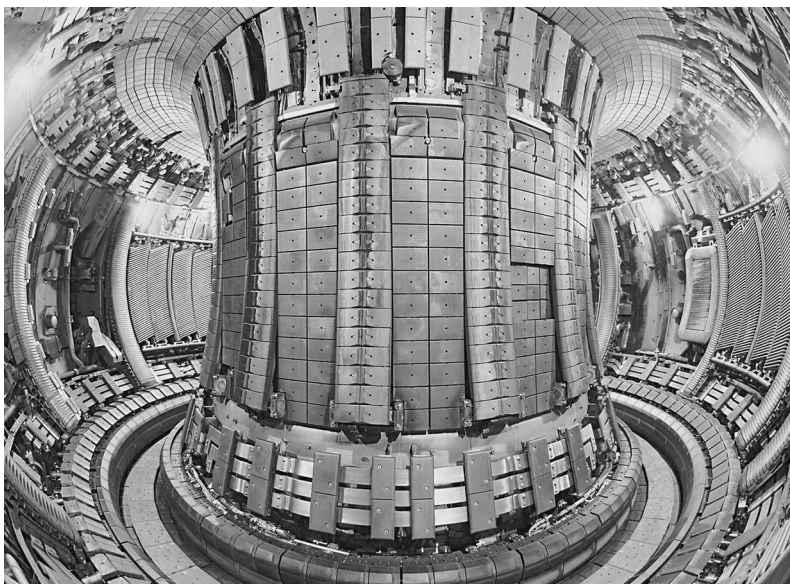
Men kiest voor frequentiemodulatie (FM) in plaats van amplitudemodulatie (AM).

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

## Opgave 4 Tokamak

Lees onderstaand artikel.

Een Tokamak is een kernfusiereactor waarin met behulp van een magnetisch veld een plasma kan worden opgesloten. Zo'n plasma bestaat uit atoomkernen en vrije elektronen. In een Tokamak wordt kernfusie bestudeerd, met als uiteindelijk doel een economisch rendabele energiebron te krijgen.



Kernfusie kan alleen optreden als het plasma heet genoeg is, de dichtheid hoog genoeg is en de opsluittijd lang genoeg is.

Het woord Tokamak is afkomstig uit het Russisch: **тороидальная камера с магнитными катушками**, hetgeen betekent: torusvormige ruimte met magnetische spoelen.

In het plasma vindt kernfusie plaats. Hierbij ontstaan een heliumkern en een neutron uit de fusie van een deuteriumkern ( ${}^2_1\text{H}$ ) en een tritiumkern ( ${}^3_1\text{H}$ ).

3p 21 Bereken de hoeveelheid energie die bij deze reactie vrijkomt.

Deuterium komt voor in zeewater. De oceanen bevatten voldoende deuterium om de totale wereldbevolking miljarden jaren van energie te voorzien bij de huidige energiebehoefte.

Tritium komt nauwelijks voor in de natuur. Tritium wordt verkregen door lithium-6-kernen te beschieten met neutronen. Bij deze reactie komt naast één tritiumkern nog één ander deeltje vrij.

3p 22 Geef de kernreactievergelijking voor de productie van tritium uit lithium-6.

Het plasma moet een temperatuur hebben van een paar honderd miljoen Kelvin om de kernen zo dicht bij elkaar te laten komen, dat ze kunnen fuseren. Geen enkel materiaal is bestand tegen deze hoge temperatuur. Om die reden mag het plasma de reactorwand niet raken en gebruikt men zogenoemde 'magnetische opsluiting'.

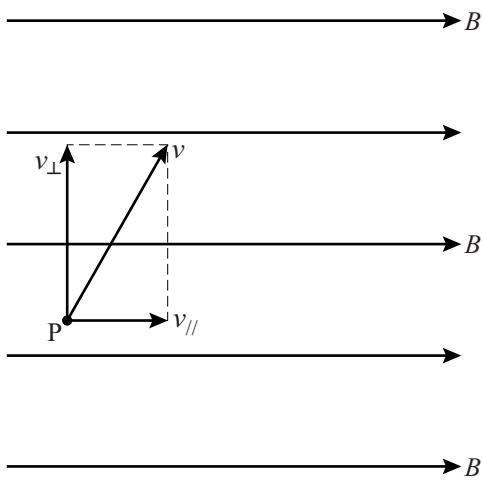
Om magnetische opsluiting van geladen deeltjes te beschrijven, bekijken we een geladen deeltje dat in een magnetisch veld beweegt. Het geladen deeltje komt het magnetisch veld schuin binnen met snelheid  $v$ .

Zie figuur 1.

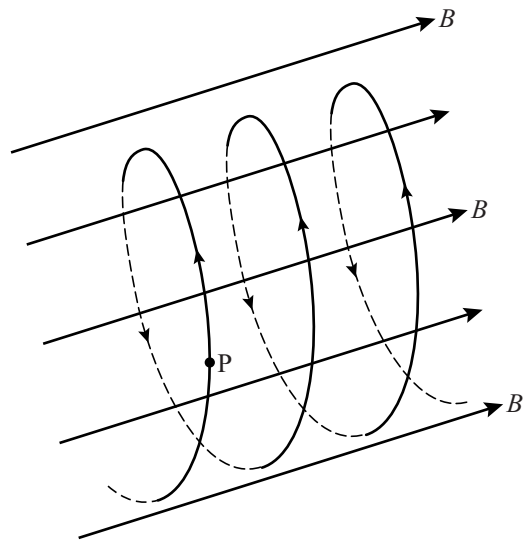
De snelheidsvector is te ontbinden in een component evenwijdig aan de magnetische veldlijnen en een component loodrecht op de magnetische veldlijnen. In figuur 1 is dit schematisch weergegeven voor punt P.

Het deeltje gaat in een spiraalvorm bewegen, zoals in figuur 2 is weergegeven.

**figuur 1**  
'2-dimensionaal'



**figuur 2**  
'3-dimensionaal'



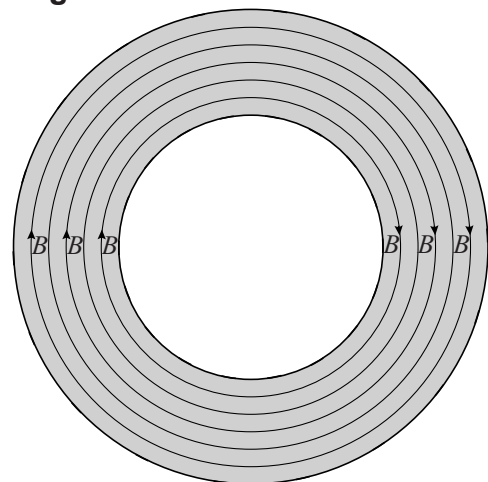
- 4p 23 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit dat het deeltje in een spiraalvorm gaat bewegen.
  - Leg uit of het deeltje positief of negatief geladen is.

In een Tokamak is het magnetisch veld toroïdaal. Dat wil zeggen dat de veldlijnen de vorm van een ring (een torus) hebben.

Dit is schematisch in bovenaanzicht weergegeven in figuur 3.

We bekijken een deuteriumkern die binnen in zo'n magnetisch veld een spiraalvormige beweging maakt. De component van de snelheid loodrecht op het veld  $v_{\perp}$  heeft een waarde van  $5,1 \cdot 10^6 \text{ m s}^{-1}$  en de straal van de spiraalbaan bedraagt 0,20 m.

**figuur 3**



- 4p 24 Bereken de sterkte van het magneetveld.

**Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.**

Er ontsnapt veel energie uit de torus. Enerzijds is dat gewenst, want deze energie wordt omgezet in thermische energie. Dit is de energie die de centrale levert. Anderzijds is dat ongewenst, want er is een hoge temperatuur nodig om het fusieproces op gang te houden. Daarom moet er bij de bestaande kleinere Tokamaks energie van buiten toegevoerd worden.

In Zuid-Frankrijk is de nieuwe Tokamak-ITER in aanbouw, die veel groter is dan de bestaande Tokamaks. Alle afstanden in de Tokamak-ITER zijn een factor  $k$  groter dan bij een bestaande Tokamak.

Bij de Tokamak-ITER hoeft geen energie van buitenaf te worden toegevoerd om het fusieproces op gang te houden.

3p **25** Leg uit hoe dat komt.

Om de voorwaarden te beschrijven waaronder een plasma in een Tokamak kan blijven bestaan en kernfusie kan optreden, gebruiken wetenschappers het begrip 'tripelproduct'.  
(Dat betekent een product van drie factoren.)

Hiervoor geldt:

$$\text{tripelproduct} = n \cdot \tau \cdot T$$

Hierin is:

- $n$  deeltjesdichtheid;
- $\tau$  opsluittijd;
- $T$  temperatuur.

Als het tripelproduct boven een bepaalde drempelwaarde ligt, kan kernfusie plaatsvinden. Een probleem is dat de drie factoren van het tripelproduct elkaar beïnvloeden. Als één factor groter wordt, kunnen andere factoren daardoor kleiner worden.

Stel dat de opsluittijd  $\tau$  groter wordt.

2p **26** Noem één andere factor die daardoor kleiner wordt en geef de reden daarvoor.