

Examen VWO

**2024**

tijdvak 1  
donderdag 16 mei  
13.30 - 16.30 uur

**natuurkunde**

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 77 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.

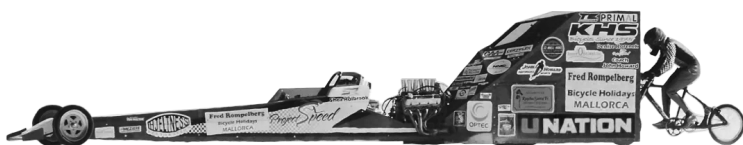
## Snelheidsrecord op de fiets

In 2018 verbrak Denise Mueller-Korenek het wereldsnelheidsrecord op de fiets, op een hooggelegen zoutvlakte in de Verenigde Staten. Tijdens de recordpoging legde ze een afstand van vijf mijl af en werd haar snelheid tijdens de laatste mijl nauwkeurig bepaald. Deze laatste mijl is heel nauwkeurig gemeten, zodat de meetwaarde te schrijven is als 1,000 000 mijl. Denise haalde hier een gemiddelde snelheid van 183,932 mijl per uur.

- 3p 1 Bereken in hoeveel seconden Denise de laatste mijl afgelegd heeft. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Om haar recordsnelheid te kunnen halen, fietste Denise vlak achter een raceauto. Zie figuur 1. In drie significante cijfers kunnen we haar snelheid tijdens de laatste mijl als constant beschouwen. Deze was, omgerekend naar SI-eenheden,  $82,2 \text{ m s}^{-1}$ .

figuur 1



figuur 2



De luchtweerstandskracht die Denise zou hebben ondervonden wanneer er geen auto voor haar had gereden, kan theoretisch bepaald worden. In figuur 2 zie je een vooraanzicht van Denise op haar fiets. De wielen van de fiets hebben een diameter van 0,46 m. Neem aan dat de  $c_w$ -waarde van Denise met fiets gelijk is aan 0,70. De dichtheid van de lucht op deze zoutvlakte is gelijk aan  $1,1 \text{ kg m}^{-3}$ .

Het vooraanzicht staat ook weergegeven op de uitwerkbijlage.

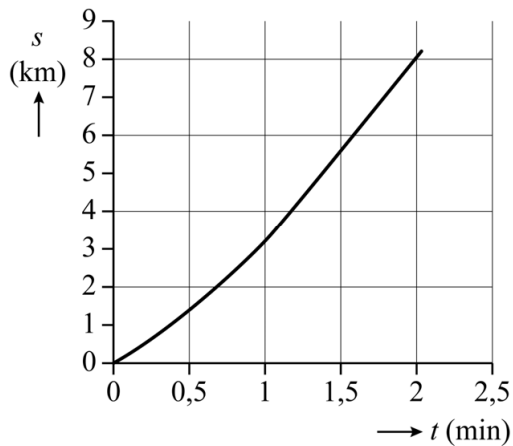
- 4p 2 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage het frontaal oppervlak van Denise met haar fiets. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.
  - Bereken hiermee de luchtweerstandskracht die bij de recordsnelheid op Denise zou hebben gewerkt zonder auto.

Denise reed tijdens haar recordpoging vlak achter een auto. Hierdoor was de totale weerstandskracht die ze ondervond veel kleiner. Tijdens de laatste mijl leverde Denise een vermogen van 700 W.

- 2p **3** Bereken de totale weerstandskracht die Denise tijdens de laatste mijl ondervond.

Om bij het begin van de recordpoging snelheid te krijgen, was de fiets van Denise met een kabel vastgemaakt aan de auto. Na één mijl (1609 m) werd deze kabel automatisch losgekoppeld.

**figuur 3**



In figuur 3 staat het  $(s, t)$ -diagram van de recordpoging. Deze figuur staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p **4** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de snelheid van Denise in  $\text{km h}^{-1}$  op het moment van loskoppelen. Noteer je antwoord in twee significante cijfers. Laat in de figuur zien hoe je aan je antwoord komt.

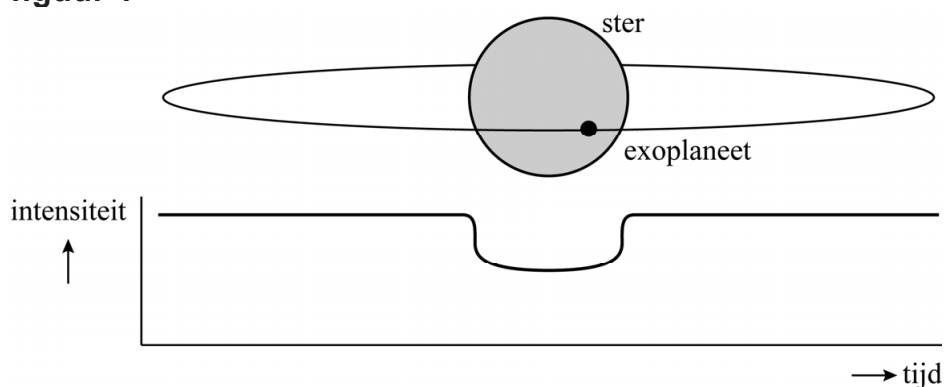
Na de recordpoging remde de bestuurster van de raceauto voorzichtig af, totdat de fiets van Denise contact maakte met de auto. De auto remde vervolgens over een afstand van 1,5 km af van  $82,2 \text{ m s}^{-1}$  tot  $50 \text{ m s}^{-1}$ . De massa van Denise en de fiets samen was 71 kg.

- 3p **5** Bereken de gemiddelde resulterende remkracht op Denise en haar fiets tijdens het afremmen.

## Goudlokje

Exoplaneten zijn planeten die om een andere ster draaien dan onze zon. In 2018 werd de ruimtetelescoop TESS gelanceerd om met de zogenaamde transit-methode nieuwe exoplaneten te ontdekken. Bij een transit beweegt een exoplaneet voor de ster langs. Hierbij zal de (licht)intensiteit die vanaf de aarde wordt waargenomen tijdelijk afnemen. TESS meet deze afname in intensiteit. Zie figuur 1.

figuur 1



Een van de eerste ontdekkingen van TESS was de exoplaneet HD21749b (in het vervolg van de opgave aangeduid met 'exoplaneet'). Deze exoplaneet is groter dan de aarde en cirkelt rond de ster HD21749 (in het vervolg 'ster' genoemd). De massa van deze ster is 67% van de massa van de zon.

Via de transit-methode is de omlooptijd  $T$  van de exoplaneet bepaald op 36 dagen. Met behulp van de derde wet van Kepler kan vervolgens de baanstraal van de exoplaneet berekend worden.

De derde wet van Kepler luidt:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \quad (1)$$

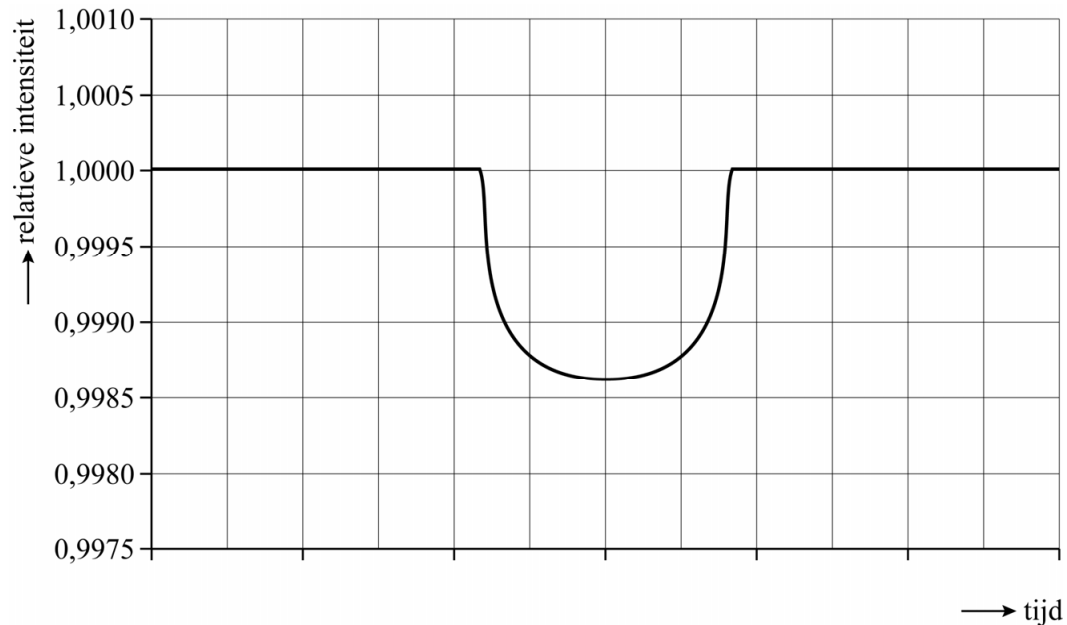
Hierin is:

- $r$  de baanstraal
- $T$  de omlooptijd
- $M$  de massa van de ster waar de exoplaneet omheen draait
- $G$  de gravitatieconstante

3p 6 Toon aan dat de baanstraal van de exoplaneet gelijk is aan  $2,8 \cdot 10^{10}$  m.

In figuur 2 is een gemiddelde van een groot aantal metingen van een transit van de exoplaneet te zien. Op de verticale as staat de zogenaamde relatieve intensiteit. Dit is de verhouding tussen de gemeten intensiteit op een bepaald moment en de maximaal gemeten intensiteit. Wanneer er geen transit plaatsvindt, is de relatieve intensiteit dus 1,0000.

**figuur 2**



Met behulp van figuur 2 kan de verhouding tussen de straal van de exoplaneet en de straal van de ster bepaald worden.

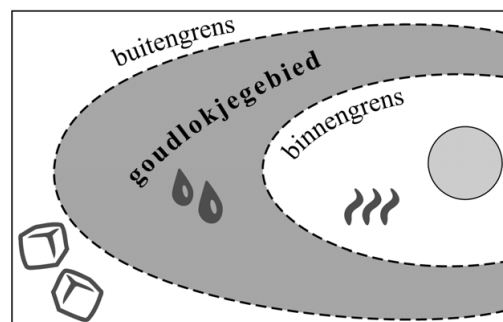
4p 7

Bepaal deze verhouding. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

Aangenomen wordt dat op een exoplaneet alleen leven mogelijk is als de gemiddelde oppervlaktetemperatuur tussen 0 °C en 100 °C ligt, dus als er vloeibaar water zou kunnen zijn. Daarvoor moet de exoplaneet niet te dicht bij de ster staan waar hij omheen draait, maar er ook niet te ver van af.

Het gebied rondom een ster waarin de gemiddelde oppervlaktetemperatuur tussen 0 °C en 100 °C ligt, wordt het goudlokjegebied genoemd. Zie figuur 3. De grenzen van het goudlokjegebied volgen uit de eigenschappen van zowel de ster als de exoplaneet.

**figuur 3**

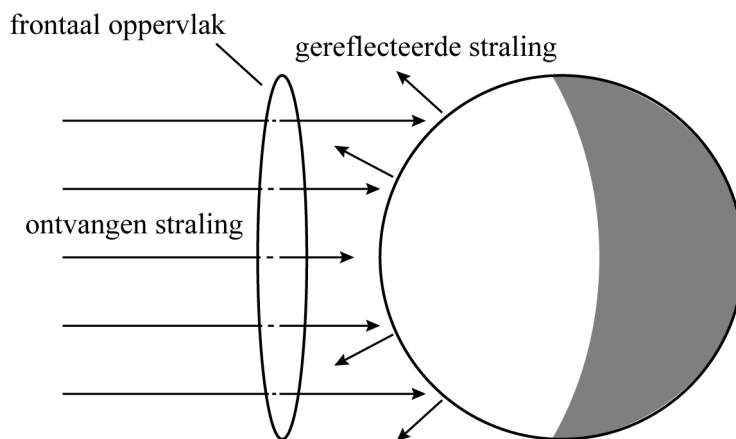


In deze opgave onderzoeken we met een model of de door TESS ontdekte exoplaneet binnen het goudlokjegebied van de bijbehorende ster ligt. In dit model wordt aangenomen dat de exoplaneet geen atmosfeer heeft.

De gemiddelde oppervlaktetemperatuur op een exoplaneet volgt uit het feit dat een exoplaneet in thermisch evenwicht is met zijn omgeving. Dat betekent dat de exoplaneet per seconde evenveel energie uitstraalt als hij absorbeert.

Het ontvangen stralingsvermogen is gelijk aan het deel van het stralingsvermogen van de ster dat op het frontaal oppervlak van de exoplaneet valt. Zie figuur 4.

**figuur 4**



De straling die door de exoplaneet wordt ontvangen wordt deels geabsorbeerd en deels gereflecteerd. Het gedeelte van het ontvangen stralingsvermogen dat wordt gereflecteerd heet de albedo  $\alpha$ . Dit is een getal tussen 0 en 1 zonder eenheid.

Voor het geabsorbeerde vermogen van de exoplaneet geldt:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{ster}} \frac{R^2}{4r^2} (1 - \alpha) \quad (2)$$

Hierin is:

- $P_{\text{ster}}$  het uitgestraalde vermogen van de ster
- $r$  de baanstraal van de exoplaneet
- $R$  de straal van de exoplaneet ( $R \ll r$ )
- $\alpha$  de albedo van de exoplaneet

4p 8 Leid formule (2) af. Maak daarbij gebruik van formules uit het informatieboek.

De exoplaneet zendt continu, en over het gehele boloppervlak, straling uit. Bij een thermisch evenwicht is dit uitgezonden vermogen gelijk aan het geabsorbeerde vermogen. In formulevorm:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{uit}} \quad (3)$$

Aan de hand van dit thermisch evenwicht kan onderzocht worden of de exoplaneet (met baanstraal  $r = 2,8 \cdot 10^{10}$  m) in het goudlokjegebied ligt. Met behulp van formules (2) en (3) en de wet van Stefan-Boltzmann kan het verband tussen de gemiddelde oppervlaktetemperatuur  $T$  (in K) van de exoplaneet en de baanstraal  $r$  (in m) worden weergegeven als:

$$r = CT^\beta \quad (4)$$

Hierin is:

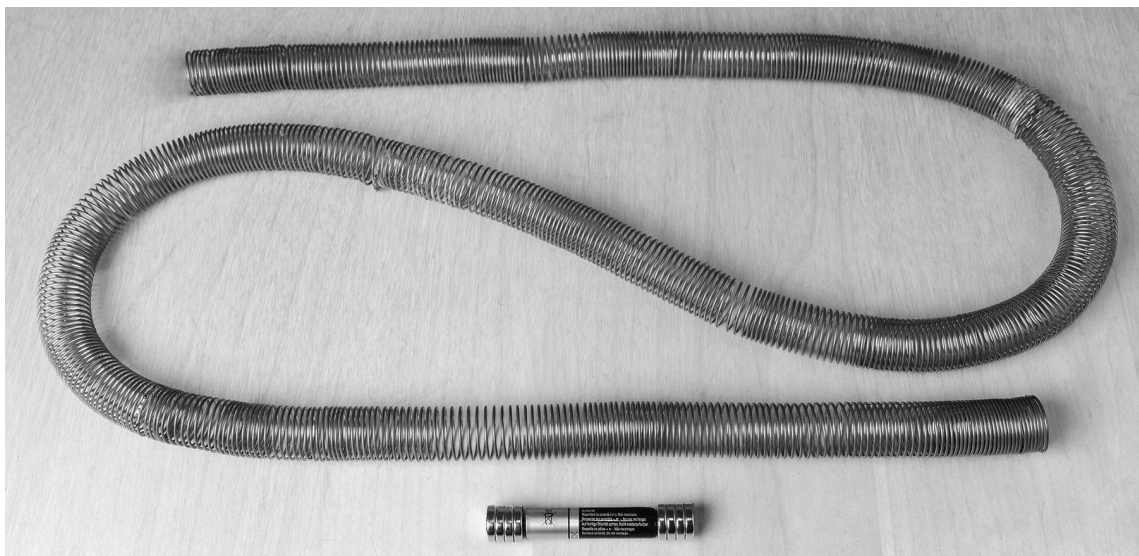
- $C$  een constante die niet van  $r$  en  $T$  afhangt
- $\beta$  een geheel getal zonder eenheid

De buitengrens van het goudlokjegebied rondom de ster ligt op een afstand van  $5,8 \cdot 10^{10}$  m van de ster.

5p **9** Voer de volgende opdrachten uit:

- Toon aan dat  $\beta = -2$ .
- Toon aan of de exoplaneet in het goudlokjegebied ligt.

figuur 1

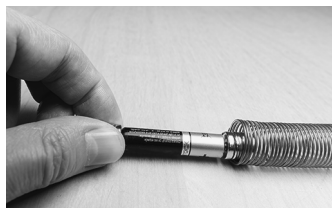


Sari wil een batterijtrein maken. Ze gebruikt voor de trein een batterij en een aantal sterke magneten. Als spoel gebruikt ze een lange, flexibele veer van niet-geïsoleerd koperdraad. Zie figuur 1. De batterijtrein gaat door de spoel heen bewegen. Om de batterijtrein te maken voert Sari de volgende handelingen uit:



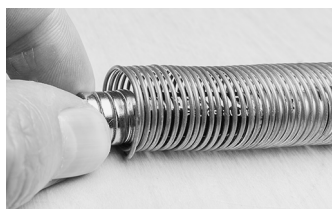
figuur 2a

Sari plaatst aan elke kant van de batterij een setje sterke magneten. Elk setje wordt in het vervolg van deze opgave gezien als één magneet.



figuur 2b

Ze schuift de voorkant van de batterijtrein in de spoel, waarbij de voorste magneet contact maakt met de spoel.



figuur 2c

Ze duwt de batterijtrein verder in de spoel totdat de achterste magneet contact maakt met de spoel.



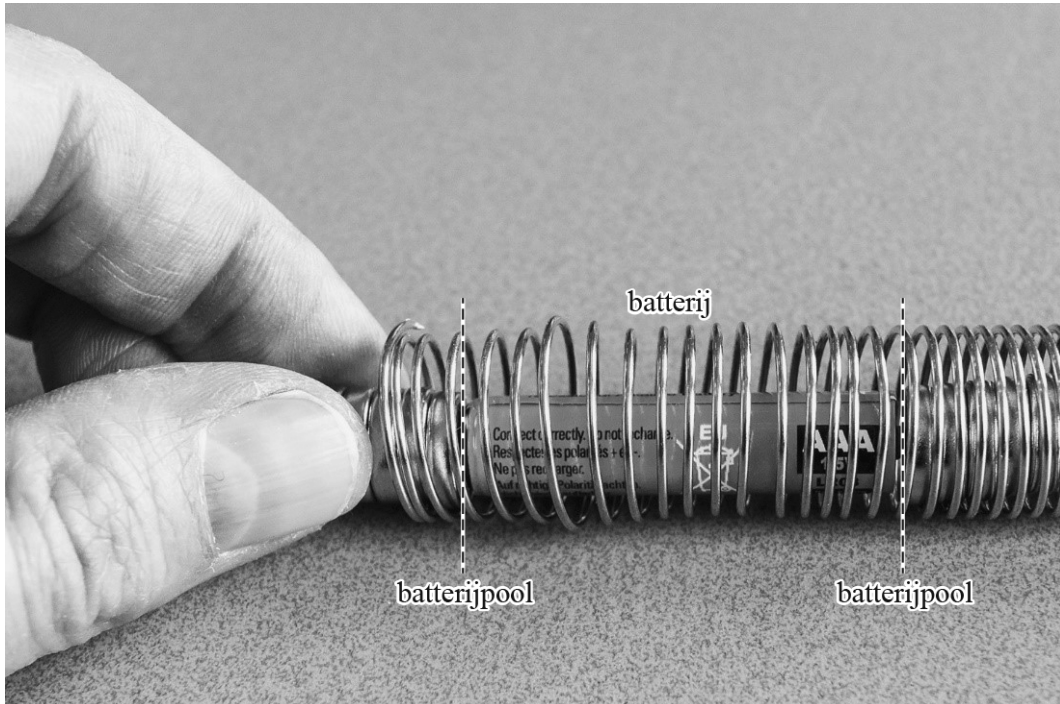
figuur 2d

De batterijtrein begint uit zichzelf door de spoel te bewegen.



De situatie van figuur 2c staat vergroot weergegeven in figuur 3. De magneten maken contact met de spoel. Hierdoor ontstaat er een gesloten stroomkring met daarin de batterij, de magneten en het stuk van de spoel tussen de batterijpolen. Dit stuk van de spoel gedraagt zich hierdoor als een elektromagneet met een weerstand  $R_{\text{spoel}}$ . In figuur 3 zijn de posities van beide batterijpolen met stippellijnen aangegeven. Wanneer de batterijtrein gaat bewegen door de spoel, beweegt deze stroomkring mee.

**figuur 3**

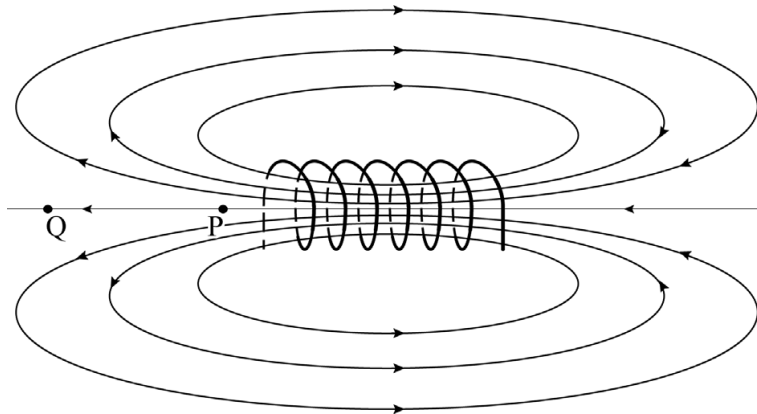


De dikte van de koperdraad is 1,1 mm. De gemiddelde diameter van de spoel is 1,9 cm.

4p 10 Bepaal  $R_{\text{spoel}}$ .

In figuur 4 is het magnetisch veld weergegeven dat ontstaat wanneer er een elektrische stroom door een spoel loopt.

**figuur 4**

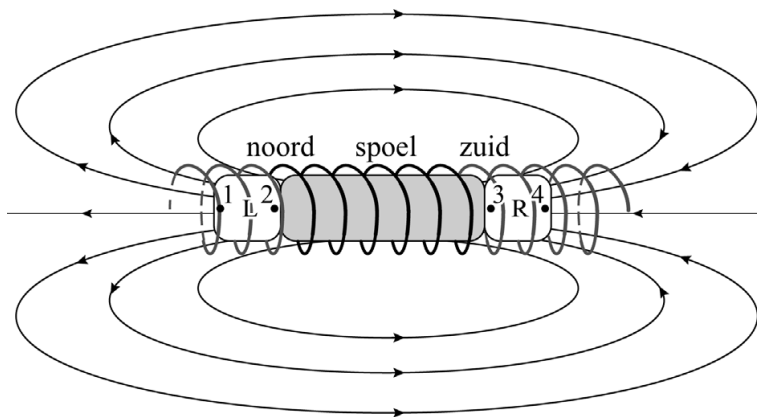


1p 11 Geef aan hoe uit figuur 4 blijkt dat de sterkte van het magnetisch veld in punt P groter is dan in punt Q.

Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

1p 12 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de richting van de elektrische stroom door de windingen van de spoel aan.

**figuur 5**



In figuur 5 is de complete batterijtrein schematisch weergegeven. Met 'noord' en 'zuid' zijn de magnetische polen van de spoel aangegeven. L en R zijn de twee magneten. Hierop zijn de punten 1 tot en met 4 aangegeven. Deze punten stellen de noord- en zuidpolen voor van de magneten. Beide magneten ondervinden een kracht doordat ze zich in het magnetisch veld van de spoel bevinden. De trein beweegt hierdoor naar rechts.

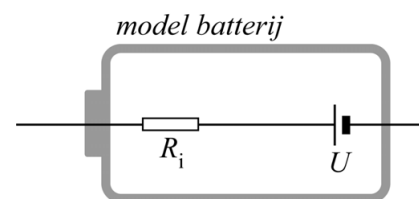
Op de uitwerkbijlage staan vijf afbeeldingen over deze situatie. In de bovenste afbeelding zijn de resulterende krachten op beide magneten, veroorzaakt door de spoel, aangegeven met pijlen. In de afbeeldingen eronder zijn de vier afzonderlijke magneetpolen weergegeven met de punten 1 tot en met 4. Ook de magnetische kracht in punt 1, veroorzaakt door de spoel, is weergegeven met een pijl. Alle pijlen zijn op dezelfde schaal getekend.

- 4p **13** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken in de punten 2 tot en met 4 op de uitwerkbijlage zo nauwkeurig mogelijk de magnetische kracht die op het aangegeven punt werkt, veroorzaakt door het magnetisch veld van de spoel.
  - Geef, op basis van je tekening, in de tabel op de uitwerkbijlage bij elk van de vier punten aan of er sprake is van een noordpool of een zuidpool.

Tijdens het experimenteren met de batterijtrein wordt de spoel wat warmer. Sari merkt echter op dat de batterij al na een paar seconden nog veel warmer wordt.

Blijkbaar ontstaat er niet alleen warmte in de spoel, maar ook in de batterij. Om dit te verklaren gebruikt Sari een model van een batterij waarin de batterij bestaat uit een spanningsbron  $U$  en een weerstand in serie. Deze weerstand wordt de inwendige weerstand  $R_i$  van de batterij genoemd. Zie figuur 6.

**figuur 6**



In de stroomkring van de batterijtrein bevinden zich dus twee weerstanden:  $R_i$  en  $R_{\text{spoel}}$ . De weerstand van de magneten wordt in dit model verwaarloosd.

Voor de ontwikkelde vermogens in de batterij en in de spoel geldt:

$$P_i \gg P_{\text{spoel}}$$

- 3p **14** Leg hiermee uit welke van de twee weerstanden in de stroomkring,  $R_i$  of  $R_{\text{spoel}}$ , het grootst is.

## Temperatuurbepaling in een kernfusiereactor

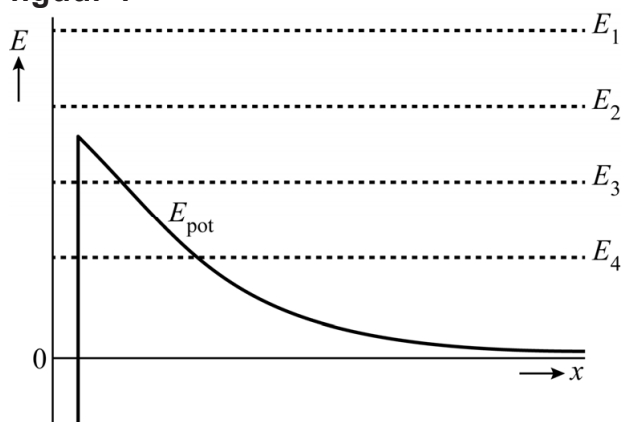
In een kernfusiereactor is het mogelijk om twee lichte atoomkernen te laten fuseren tot één zwaardere atoomkern. Hierbij komt veel energie vrij. Deuterium (H-2) en een tweede atoomkern kunnen gefuseerd worden tot een He-4 kern en een neutron.

3p 15 Geef de vergelijking van deze kernreactie.

In een kernfusiereactor is de temperatuur zo hoog dat de elektronen loskomen van de atoomkernen. Samen met de ontstane ionen vormen ze een mengsel dat plasma genoemd wordt. Ondanks de hoge temperatuur van het plasma is het volgens de klassieke natuurkunde erg onwaarschijnlijk dat de kernen fuseren. Met een quantumfysisch model kan verklaard worden waarom het optreden van kernfusie in werkelijkheid veel waarschijnlijker is.

In het quantumfysische model bekijken we een deuteriumkern die naar een andere kern toe beweegt. In figuur 1 is schematisch de potentiële energie  $E_{\text{pot}}$  van de deuteriumkern als functie van de afstand  $x$  tussen de twee kernen weergegeven. Met stippellijnen zijn vier verschillende mogelijke waarden aangegeven van de energie van de deuteriumkern ( $E_1$  tot en met  $E_4$ ).

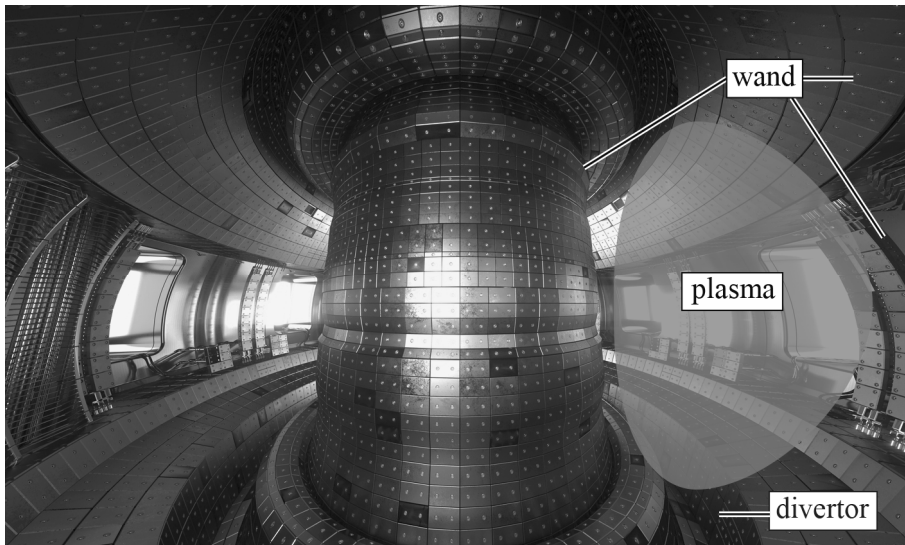
figuur 1



- 3p 16 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit bij welke energie of energieën ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  en/of  $E_4$ ) de kernen volgens de klassieke natuurkunde kunnen fuseren.
  - Geef aan waardoor volgens de quantumfysica een fusiereactie ook kan optreden bij de andere energieën.

De binnenkant van een kernfusiereactor is weergegeven in figuur 2.

**figuur 2**



Wanneer de reactor aanstaat, zal hij volledig gevuld zijn met plasma. De atoomkernen in het plasma mogen niet botsen met de wand van de reactor, omdat de wand daardoor te veel beschadigd raakt. Met behulp van magneetvelden worden deze geladen deeltjes van de wand weggehouden. Hierbij worden de He-4 kernen naar een soort afvoergoot onder in de reactor, de divertor, geleid, terwijl de andere atoomkernen in de reactor blijven.

De neutronen die tijdens de fusie vrijkomen botsen wel met de wand. De energie die hierbij in de wand vrijkomt, wordt gebruikt om elektrische energie op te wekken.

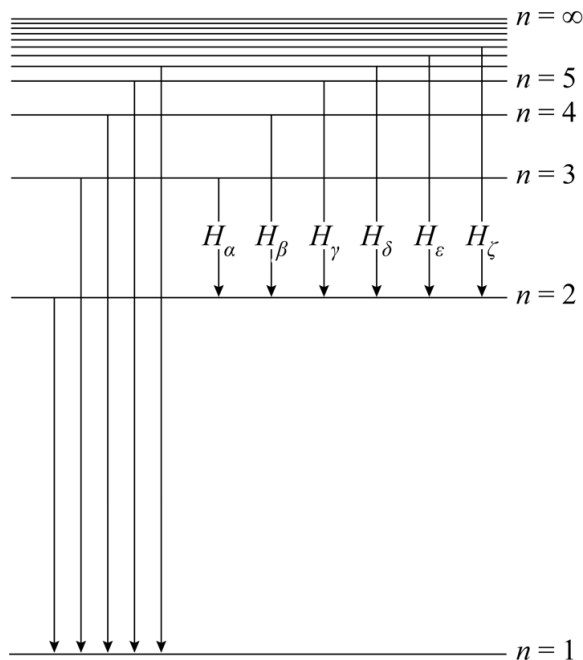
Elk atoom aan het oppervlak van de wand wordt gemiddeld eenmaal per  $10^2$  s geraakt door een neutron. De atoomdiameter van het gebruikte wandmateriaal heeft een orde van grootte van  $10^2$  pm. Het oppervlak van de wand heeft een orde van grootte van  $10^3$  m<sup>2</sup>.

- 3p 17 Bereken de orde van grootte van het aantal neutronen dat per seconde de wand raakt.

De He-4 kernen die door de divertor worden afgevoerd hebben ook veel energie. Hierdoor dreigt de divertor oververhit te raken. Daarom wordt onderzocht of deze oververhitting kan worden voorkomen door gassen in de divertor te brengen. Door botsingen met de gasatomen raken de He-4 kernen energie kwijt, waardoor de divertor afkoelt.

Om de effectiviteit van het inspuiten van de gassen te onderzoeken, moet de temperatuur in de divertor bepaald kunnen worden. Onderzoekers uit Eindhoven doen dit door te kijken naar het licht dat uitgezonden wordt door de gassen die aanwezig zijn in de divertor. Een van de aanwezige gassen is (atomair) waterstof. In figuur 3 zie je het energieniveauschema van waterstof.

**figuur 3**

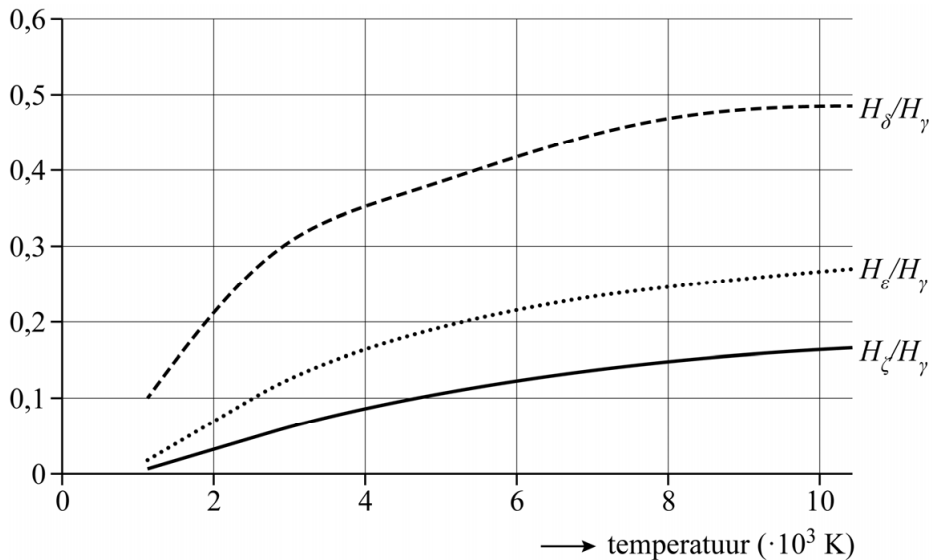


Wanneer een waterstofatoom terugvalt van een hogere aangeslagen toestand naar de eerste aangeslagen toestand, zendt het zichtbaar licht uit. Deze overgangen zijn aangegeven in figuur 3 met  $H_\alpha, H_\beta,$  enzovoort. De bijbehorende spectraallijnen heten Balmerlijnen. Bij het onderzoek in Eindhoven wordt het licht van de overgangen  $H_\gamma$  tot en met  $H_\zeta$  waargenomen.

- 4p **18** Bepaal met behulp van figuur 3 en een berekening de minimale golflengte die bij dit onderzoek waargenomen wordt.

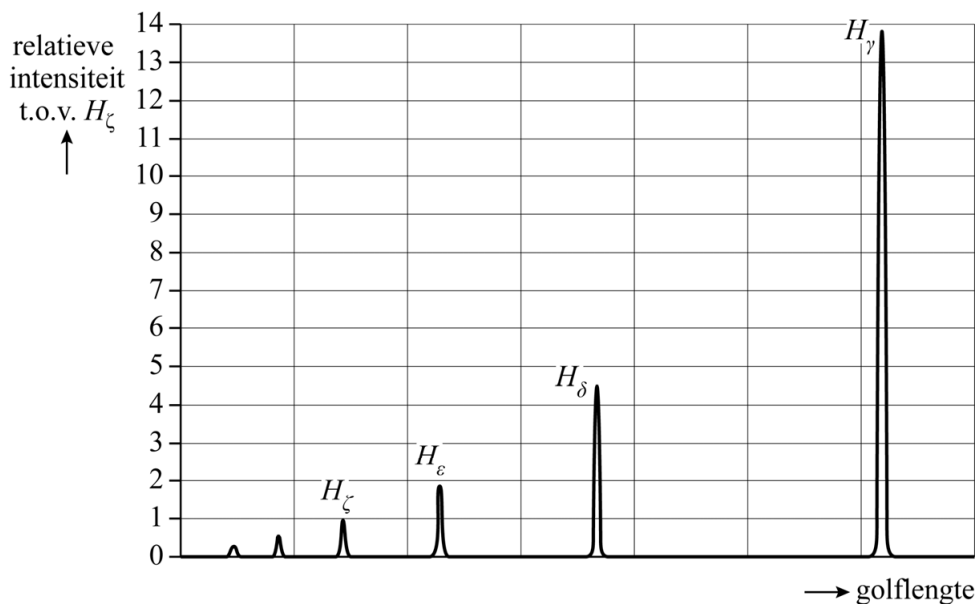
De verhoudingen tussen de intensiteiten van de verschillende Balmerlijnen blijken afhankelijk te zijn van de temperatuur in de divertor. In figuur 4 is een aantal van deze verhoudingen als functie van de temperatuur weergegeven.

**figuur 4**



De onderzoekers hebben het spectrum van de Balmerlijnen bepaald bij een bepaalde temperatuur van de divertor. In figuur 5 zie je een deel van het uitgezonden spectrum bij deze temperatuur.

**figuur 5**

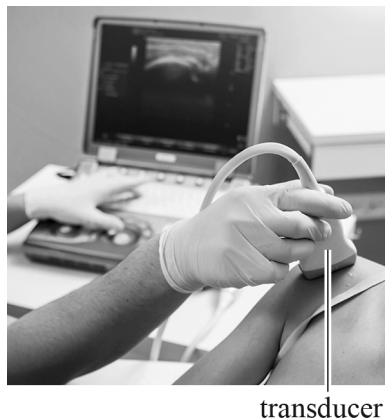


- 3p 19 Bepaal met behulp van figuur 4 en figuur 5 de temperatuur die volgt uit het spectrum. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

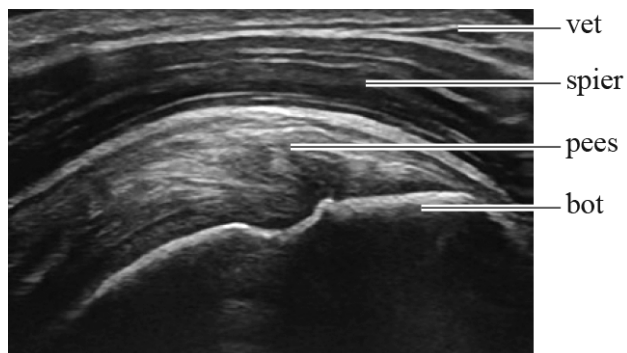
# Echografie

Met behulp van echografie wordt een afbeelding gemaakt van weefsel onder de huid. Zie figuur 1 en 2.

**figuur 1**

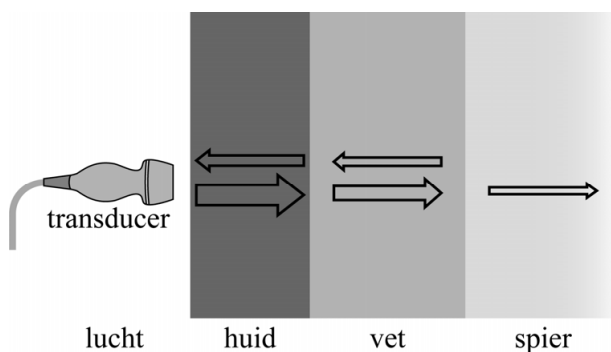


**figuur 2**



Een transducer zendt ultrasoon geluid uit, dat in het lichaam op elke grens tussen verschillende weefsellagen gedeeltelijk wordt teruggekaatst en doorgelaten. De transducer vangt het teruggekaatste geluid weer op en een computer verwerkt de informatie tot beelden. Zie figuur 3.

**figuur 3**



Hoeveel geluid wordt doorgelaten hangt af van het verschil in de akoestische weerstand  $Z$  van de opeenvolgende (weefsel)lagen. Bij een groot verschil in akoestische weerstand wordt weinig geluid doorgelaten. Voor de akoestische weerstand van een stof geldt:

$$Z = \rho \cdot v \quad (1)$$

Hierin is:

- $\rho$  de dichtheid van de stof
- $v$  de voortplantingsnelheid van geluid door de stof



De dichtheden van zachte lichaamsweefsels, zoals de huid en vetweefsel, zijn vergelijkbaar met die van water.

Als eenheid van de akoestische weerstand wordt vaak  $\text{N s m}^{-3}$  gebruikt.

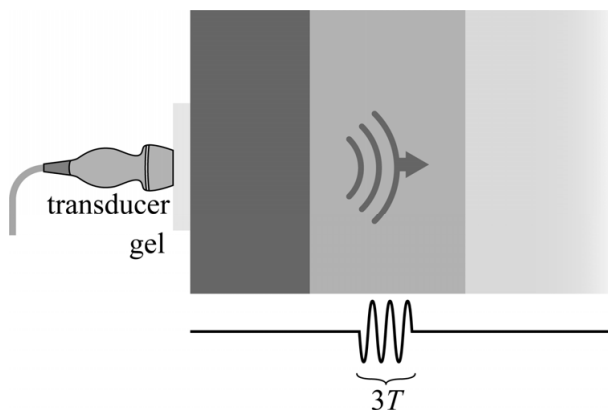
3p 20 Leid af, met behulp van formule (1), dat  $\text{N s m}^{-3}$  een eenheid is van  $Z$ .

4p 21 Voer de volgende opdrachten uit:

- Leg uit dat de akoestische weerstand van lucht veel kleiner is dan die van lichaamsweefsels.
- Leg hiermee uit dat het aanbrengen van een waterhoudende gel tussen de huid en de transducer leidt tot betere echo's van weefsels onder de huid.

Het ultrasone geluid heeft een frequentie van 8,5 MHz. Dit geluid wordt in pulsen van 3 trillingstijden uitgezonden. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4. Figuur 4 is niet op schaal.

**figuur 4**



Vóórdat een nieuwe puls wordt uitgezonden moet de teruggekaatste geluidspuls in zijn geheel door de transducer ontvangen zijn. De zogenaamde herhaalfrequentie is het aantal pulsen dat per seconde wordt uitgezonden.

Bij een onderzoek moet een beeld gevormd worden van een laag vetweefsel met een dikte van 1,5 cm die direct onder de huid ligt. De tijd die de puls nodig heeft om door de gel en de huid te komen is  $0,87 \mu\text{s}$ .  
Neem voor de geluidssnelheid in vetweefsel  $1,45 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}$ .

5p 22 Bereken de maximale herhaalfrequentie van de transducer bij dit onderzoek.

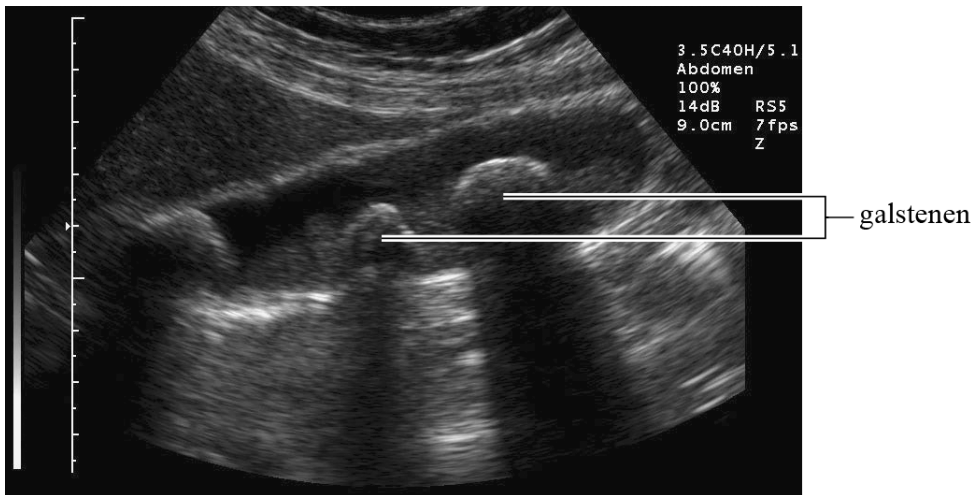
**Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.**

In het vetweefsel zitten kleine structuren. De minimale lengte van details die nog gezien kunnen worden, is gelijk aan de lengte van een halve puls.

- 3p **23** Bereken de minimale lengte van een detail in het vetweefsel dat nog gezien kan worden met deze echo.

In figuur 5 is een beeld van een echo van galstenen te zien. Deze liggen op een diepte van ongeveer 5 cm. In figuur 5 bewegen de uitgezonden geluidsgolven van boven naar beneden.

**figuur 5**



Op de uitwerkbijlage staat een tabel met beweringen die een mogelijke verklaring geven voor de schaduw van de galstenen in figuur 5.

- 2p **24** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage van elke bewering aan of die een juiste verklaring kan zijn of niet.

---

#### Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.