Examen VWO

2019

tijdvak 1
vrijdag 17 mei
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 28 vragen.
Voor dit examen zijn maximaal 73 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.

VW-1023-a-19-1-o

natuurkundeuitgelegd.nl

Dafne Schippers tegen Ireen Wüst

Het zou kunnen dat hardloopster Dafne Schippers schaatsster Ireen Wüst uit zou dagen voor een wedstrijd over 100 meter: Schippers op de atletiekbaan, Wüst op schaatsen op het ijs. Twee totaal verschillende manieren om snelheid te maken met ongeveer dezelfde eindtijd. Zie figuren 1 en 2.

figuur 1

figuur 2

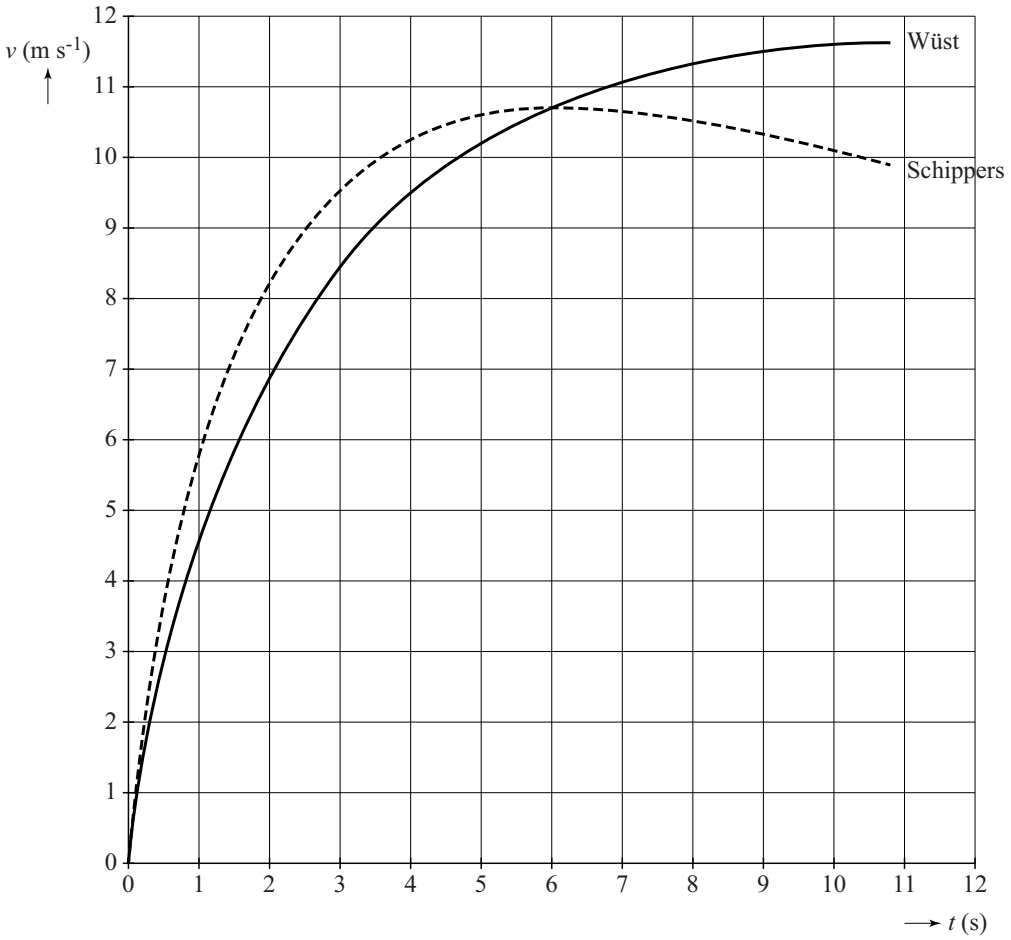
De tijden die ze nodig hebben voor 100 m liggen dicht bij elkaar: het record van Schippers staat op 10,81 s en de snelste tussentijd van Wüst op 100 m is 10,87 s.

2p **1** Bereken het verschil in gemiddelde snelheid.

natuurkundeuitgelegd.nl

In figuur 3 zie je het verloop van de snelheden van beide atleten over de 100 m. De figuur staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 3



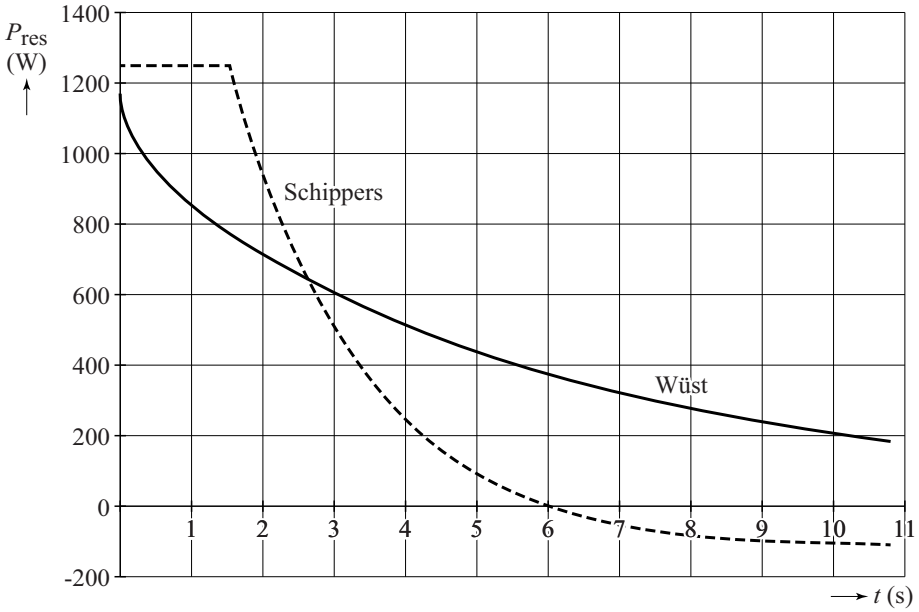
3p **2** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de versnelling bij de start van hardloopster Schippers die uit de figuur volgt.

3p **3** Voer de volgende opdrachten uit, gebruikmakend van figuur 3:
- Geef aan op welk tijdstip de afstand tussen hardloopster Schippers en schaatsster Wüst maximaal is.
- Geef een toelichting hierbij.
- Geef aan hoe deze maximale afstand bepaald kan worden.
  (De bepaling hoeft niet uitgevoerd te worden.)

natuurkundeuitgelegd.nl

Van de sprint van beide atleten is een vereenvoudigd model gemaakt. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat de massa's van beide atleten gelijk zijn. Volgens het model ligt het verschil tussen Wüst en Schippers met name in het resulterend vermogen (netto vermogen) P_{res}. In figuur 4 staat voor beide atleten P_{res} als functie van de tijd weergegeven.

figuur 4



Uit het diagram is af te lezen dat voor Schippers geldt:
$P_{res} < 0$ voor $t > 6{,}0$ s.

2p **4** Leg uit dat dit overeenkomt met het diagram in figuur 3.

In het vereenvoudigd model wordt aangenomen, dat op $t = 6{,}0$ s de beide atleten een gelijk voortstuwend vermogen leveren.
Toch is P_{res} op dat moment bij hardlopen kleiner dan bij schaatsen.

2p **5** Leg uit welke conclusie je hieruit kunt trekken over de wrijvingskrachten bij schaatsen en hardlopen.

3p **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg **met behulp van figuur 4** uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.
- Leg **met behulp van figuur 3** en de relatie tussen arbeid en kinetische energie uit in welke race de grootste resulterende arbeid wordt geleverd.

natuurkundeuitgelegd.nl

Ga verder op de volgende pagina.

natuurkundeuitgelegd.nl

PET samen met CLI

Lees onderstaand artikel.

Bij een PET-scan wordt een positron uitgezonden door een radioactieve isotoop. Na korte tijd annihileert zo'n positron met een elektron, waarbij in twee tegenovergestelde richtingen fotonen vrijkomen, die geregistreerd worden. Zie figuur 1 voor een PET-scan-apparaat.

figuur 1

Vóórdat de annihilatie plaatsvindt, bewegen de positronen met hoge snelheid door het lichaam van de patiënt. In stoffen zoals water en lichaamsweefsel is de lichtsnelheid kleiner dan de lichtsnelheid in vacuüm. Als de snelheid van een positron groter is dan de lichtsnelheid in het lichaam ($0{,}70\ c$ met c de lichtsnelheid) dan produceert het een blauwachtig licht, Cerenkov-straling genoemd (ook wel gespeld als Cherenkov-straling of Tjerenkov-straling) dat door gevoelige camera's wordt gedetecteerd. Deze recente techniek wordt CLI (Cerenkov Luminescence Imaging) genoemd. De technieken PET en CLI kunnen gecombineerd worden tot één nieuw systeem van medische beeldvorming: PET samen met CLI.

Kankercellen nemen meer glucose op dan gewone cellen. Om een beeld van kankercellen te vormen, worden radioactieve isotopen ingebouwd in moleculen die sterk op glucose lijken. Een veelgebruikte isotoop is $\mathrm{F}\text{-}18$, dat vervalt onder uitzending van een positron.

2p **7** Geef de vervalvergelijking van $\mathrm{F}\text{-}18$.

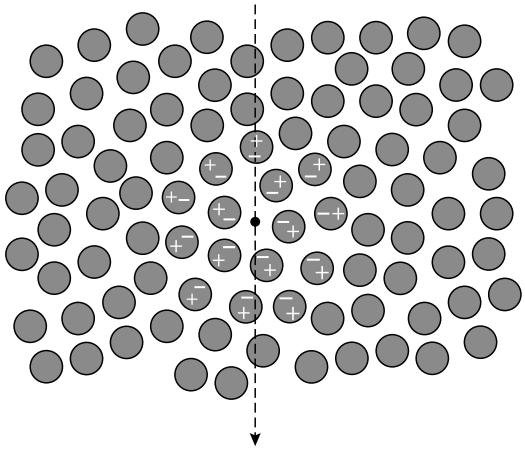
natuurkundeuitgelegd.nl

Cerenkov-straling

Als een geladen deeltje met een snelheid door lichaamsvocht beweegt, richten de omringende watermoleculen zich ten gevolge van de lading. Dit is weergegeven in de figuren 2a en 2b. De punt geeft de plaats van het deeltje aan. De pijl geeft de bewegingsrichting aan.

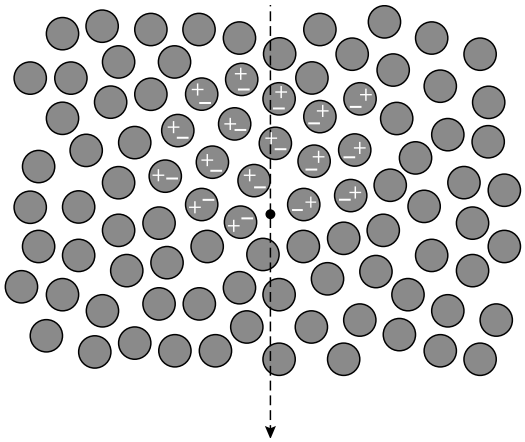
figuur 2a

$v < 0{,}70c$



figuur 2b

$v > 0{,}70c$



1p **8** Hoe blijkt uit figuur 2 dat het geladen deeltje een positron is en geen elektron?

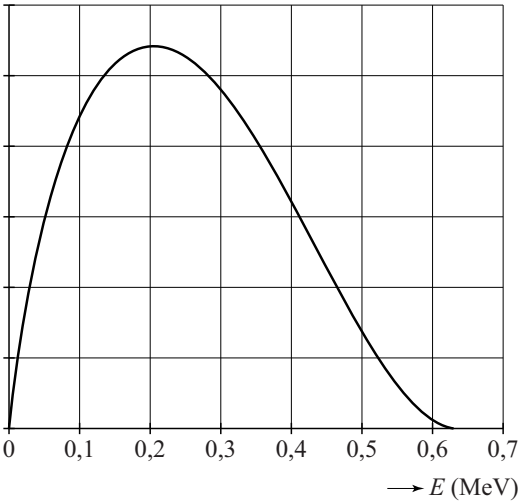
Het effect van de bewegende lading op de omringende watermoleculen wordt doorgegeven met de snelheid van het licht in weefsel, dus met $0{,}70c$.
Een netto elektrisch veld ontstaat door alle gerichte watermoleculen samen. Een veranderend netto elektrisch veld produceert elektromagnetische straling.
Alleen als een geladen deeltje met een grotere snelheid dan $0{,}70c$ door het weefsel beweegt, is er sprake van een veranderend netto elektrisch veld en wordt er straling uitgezonden, de zogenaamde Cerenkov-straling.

3p **9** Beantwoord de volgende vragen:
- Geef aan hoe uit figuur 2a blijkt dat hier het netto elektrisch veld gelijk is aan nul.
- Geef aan hoe uit figuur 2b blijkt dat hier het netto elektrisch veld ongelijk is aan nul.
- Geef aan hoe het komt dat het netto elektrisch veld in de situatie van figuur 2b zich verplaatst.

natuurkundeuitgelegd.nl

Bij elk β^+-verval gaat een deel van de vrijkomende energie naar een neutraal en vrijwel massaloos deeltje (een neutrino) dat ook vrijkomt. Als gevolg hiervan hebben niet alle uitgezonden positronen dezelfde energie. Bij een snelheid in de buurt van de lichtsnelheid moet gerekend worden met de relativiteitstheorie. Volgens de relativiteitstheorie hebben positronen met een snelheid van $0{,}70c$ een kinetische energie $E_k = 0{,}205$ MeV.
In figuur 3 staat de verdeling van de door F-18 uitgezonden positronen als functie van hun kinetische energie.

figuur 3



De oppervlakte onder de grafiek is een maat voor het aantal positronen, zodat de totale oppervlakte overeenkomt met 100% van de positronen.

Hieronder staan drie schattingen van het percentage positronen dat direct na uitzending bijdraagt aan Cerenkov-straling in het weefsel.
a 40%
b 50%
c 60%

2p **10** Leg uit welke schatting de beste is.

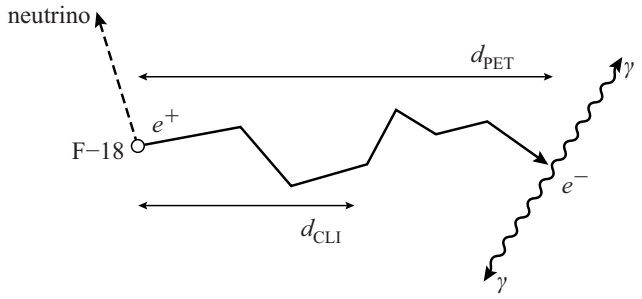
plaatsbepaling
Het continue spectrum van Cerenkov-straling bestaat voor een groot deel uit blauwachtig, zichtbaar licht met een lage intensiteit. Deze straling kan inwendig in het lichaam of uitwendig gemeten worden.
Bij een uitwendige meting gelden de volgende voorwaarden:
a De omgeving is donker.
b De te bestuderen tumoren bevinden zich direct onder het huidoppervlak.

2p **11** Geef voor elk van beide voorwaarden aan waarom die noodzakelijk is.

natuurkundeuitgelegd.nl

Met een geautomatiseerd systeem voor medische beeldvorming kan men uit de intensiteit en richting van de straling de plaats van de stralingsbron reconstrueren. De nauwkeurigheid hiervan wordt bepaald door het natuurkundige proces dat de straling veroorzaakt. Positronen die door een F-18-kern worden uitgezonden, geven hun kinetische energie af door interacties met moleculen van het weefsel, vandaar een kronkelige route. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4.

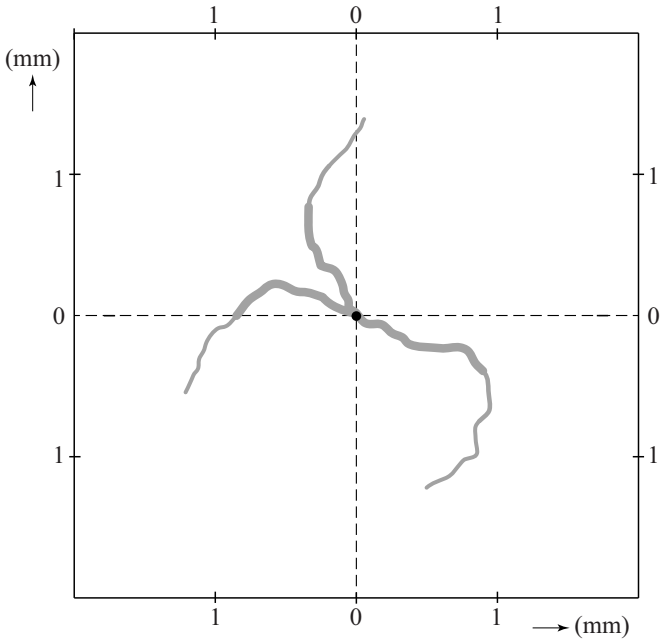
figuur 4



d_{CLI} = de afstand die het positron overbrugt terwijl het Cerenkov-straling uitzendt
d_{PET} = de afstand die het positron overbrugt tot het annihileert

In figuur 5 is een simulatie weergegeven van het verval van drie F-18-kernen. De figuur toont de mogelijke positronsporen door het lichaamsweefsel. De F-18-kern is steeds in de oorsprong geplaatst. Een dik spoor geeft aan dat er Cerenkov-straling wordt uitgezonden.

figuur 5



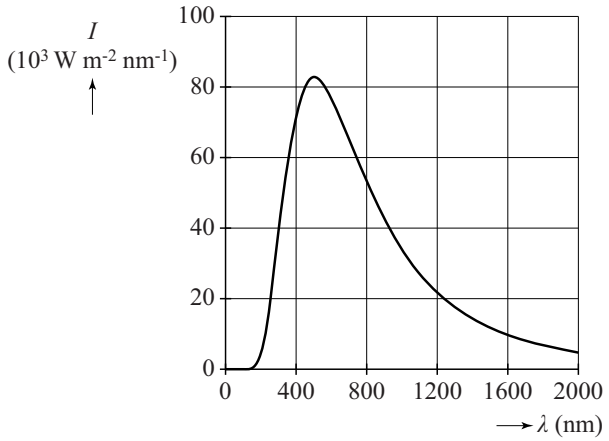
3p **12** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit waarom $d_{CLI} < d_{PET}$.
- Geef met behulp van de figuren 4 en 5 een schatting van d_{PET}.

2p **13** Leg uit waarom de CLI-meting tot een nauwkeurigere plaatsbepaling komt dan de PET-meting.

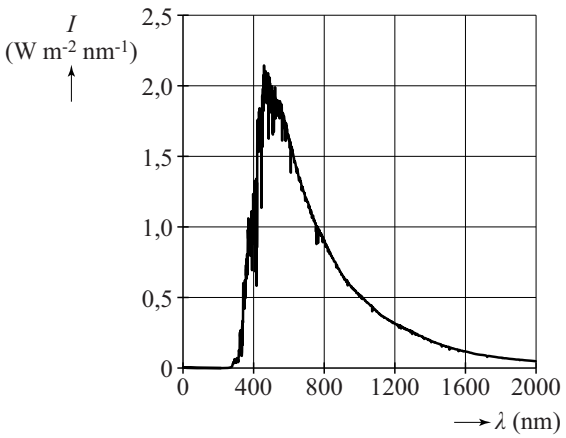
natuurkundeuitgelegd.nl

De buitenste gebieden van de zon hebben een temperatuur van $5{,}78 \cdot 10^3$ K. Bij deze temperatuur hoort de planck-kromme van het oppervlak van de zon die is weergegeven in figuur 1. In figuur 2 staat het spectrum van het zonlicht weergegeven, gemeten net buiten de aardatmosfeer.

figuur 1



figuur 2

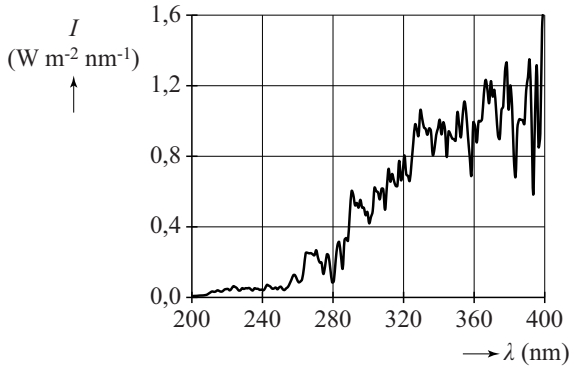


Het grote verschil in de maximale intensiteit van de twee spectra kan ongeveer verklaard worden met behulp van de kwadratenwet.

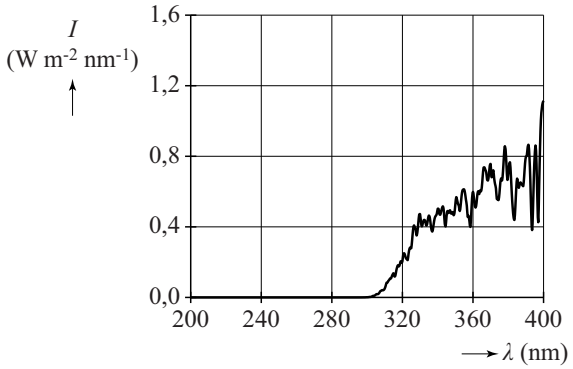
4p **14** Laat dit zien met een bepaling.

Figuur 3 geeft het UV-spectrum (ultraviolet) buiten de dampkring.
Figuur 4 geeft het UV-spectrum bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

figuur 3



figuur 4

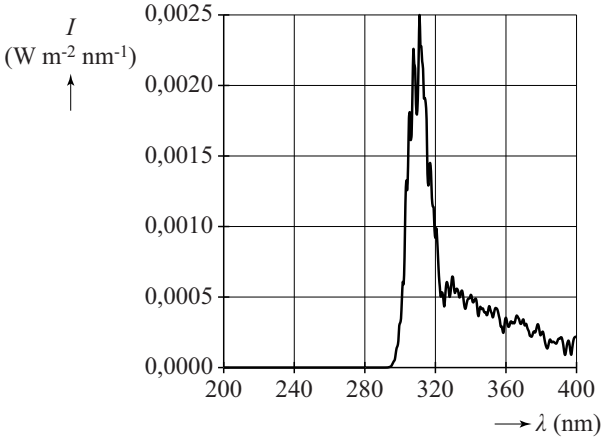


natuurkundeuitgelegd.nl

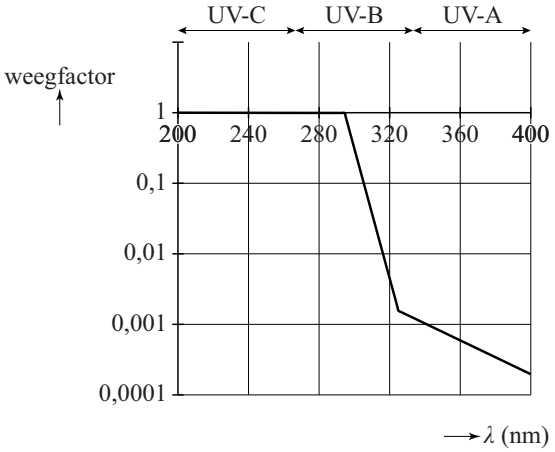
Figuur 5 geeft de intensiteitsverdeling van het ‘biologisch effectieve UV-spectrum’. Dat is het UV-spectrum van het zonlicht gewogen met de mate waarin de straling schadelijk is voor de onbeschermde menselijke huid. Figuur 5 geldt voor UV bij het aardoppervlak midden op een heldere dag rond 21 juni.

UV-straling van de zon kan schadelijk zijn voor de huid.
Er bestaan drie typen van UV-straling: UV-C, UV-B en UV-A.
De mate waarin de drie typen schadelijk zijn voor de huid wordt weergegeven met een weegfactor. In figuur 6 zijn deze weegfactoren weergegeven.

figuur 5



figuur 6



2p **15** Geef aan waarom UV-C en UV-A nauwelijks of geen bijdrage leveren in het biologisch effectieve UV-spectrum van figuur 5.

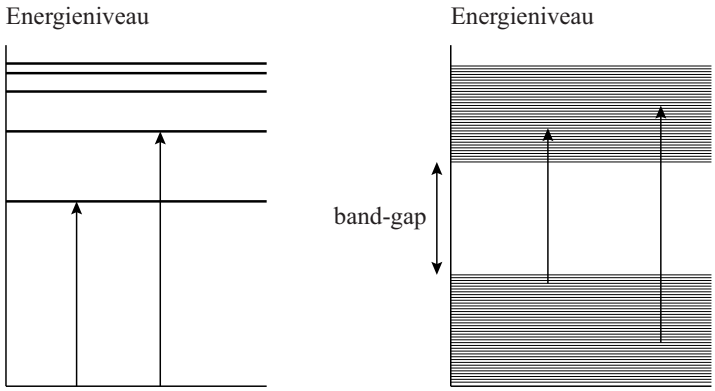
Voor veilige blootstelling van een gevoelige menselijke huid aan UV-licht geldt een bovengrens van $80\ \text{J m}^{-2}$.
Figuur 5 staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

4p **16** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de tijd in minuten die een persoon met zo’n huid zich volgens deze grens kan blootstellen aan de zon midden op een heldere dag rond 21 juni.

natuurkundeuitgelegd.nl

Om veilig gedurende een langere tijd in de zon te kunnen liggen, kan men zonnebrandcrème op de huid smeren. In zonnebrandcrème zit een stof die fotonen met een bepaalde energie kan absorberen. Deze energie moet overeenkomen met een sprong in het energieniveauschema van de stof.
In figuur 7 staan twee typen energieniveauschema's weergegeven. De linker figuur kent discrete niveaus. De rechterfiguur kent twee groepen met zeer veel energieniveaus dicht op elkaar met daartussen een sprong, de zogenaamde 'band-gap'.

figuur 7



Een stof met een band-gap is beter geschikt voor zonnebrandcrème dan een stof met een discreet energieniveauschema.

2p **17** Leg uit waarom.

Voor een goede zonnebrandcrème gelden twee specificaties:
- De crème absorbeert het UV-B.
- De crème absorbeert geen zichtbaar licht.

In tabel 1 staan drie stoffen met een band-gap gegeven die in zonnebrandcrème verwerkt kunnen worden. De stoffen worden in de vorm van nanodeeltjes toegevoegd aan de crème.

tabel 1

stof	**band-gap-energie (eV)**
galliumoxide Ga_2O_3	4,4
titaandioxide TiO_2	3,3
zilveroxide Ag_2O	1,5

Slechts een van de stoffen in tabel 1 is geschikt als werkend bestanddeel in zonnebrandcrème.

5p **18** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit, onder andere met een berekening, welke stof dat is.
- Leg uit waarom de andere twee stoffen niet geschikt zijn.

natuurkundeuitgelegd.nl

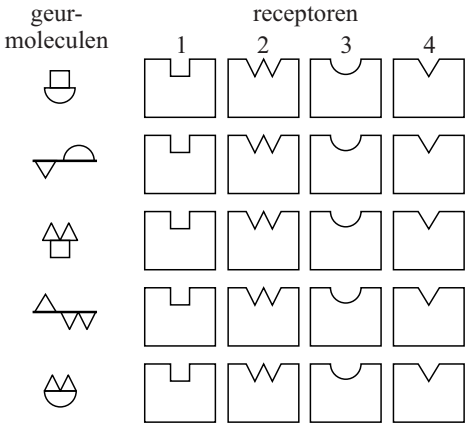
Ruiken

Als een mens iets ruikt, betekent dat dat een geurmolecuul in de neus gedetecteerd wordt door een geur-receptor. Ieder mens heeft ongeveer 350 verschillende geur-receptoren en kan ongeveer 10.000 verschillende geuren onderscheiden. Om de werking te verklaren zijn twee modellen in omloop: het sleutel-slot-model en het Turin-model.

In figuur 1 is te zien hoe het sleutel-slot-model werkt. Als een geurmolecuul op verschillende plaatsen in de receptor past, wordt door een combinatie van die mogelijkheden de geur van dat molecuul waargenomen.

Er zijn moleculen die erg van elkaar verschillen en toch dezelfde geur hebben, en er zijn moleculen die bijna gelijk zijn, maar een verschillende geur hebben. Zie de voorbeelden in figuur 2.

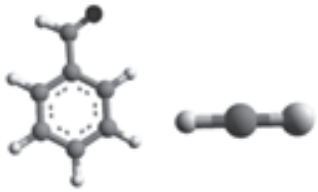
figuur 1



sleutel-slot-model

Toelichting: In de bovenste receptor past het geurmolecuul op de plaatsen 1 en 3.

figuur 2a



ruiken hetzelfde
benzaldehyde en waterstofcyanide (amandelgeur)

figuur 2b

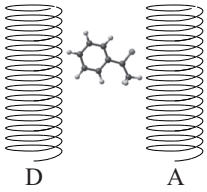
ruiken verschillend
ferroceen en nikkeloceen

1p **19** Geef aan voor een van de twee voorbeelden in figuur 2 waarom voor deze moleculen het sleutel-slot-model niet voldoet.

Omdat het sleutel-slot-model niet voldeed, kwam de Franse onderzoeker Luca Turin in 1996 met een nieuw model.
In het model van Turin bestaat een geur-receptor uit twee delen: de donor D en de acceptor A. Zie figuur 3 en figuur 4.

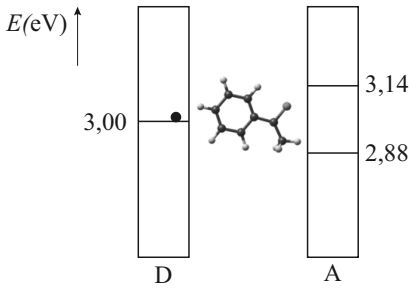
natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 3



geur-receptor

figuur 4



Als een elektron van donor D via een geurmolecuul naar acceptor A beweegt, wordt er bij A een signaal afgegeven dat naar de hersenen gaat, waardoor het geurmolecuul wordt waargenomen.
Het model van Turin is een combinatie van quantum-tunneling en energieoverdracht. Zie figuur 4 voor een schematische weergave.
In figuur 4 bevindt zich een elektron in donor D in het aangegeven energieniveau. Van acceptor A zijn twee energieniveaus weergegeven.
Zonder geurmolecuul kan het elektron niet van D naar A gaan.
Als een geurmolecuul dat past bij de receptor tussen D en A zit, kan dit geurmolecuul energie opnemen van het elektron zodat het elektron wel van D naar A kan komen.

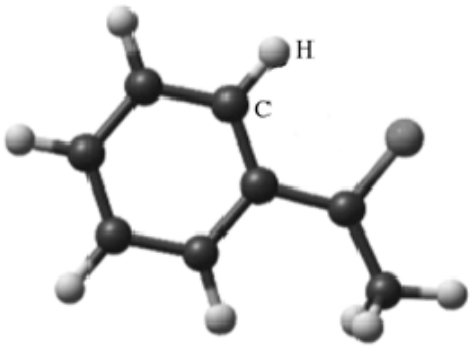
2p **20** Leg uit in welke van de twee energieniveaus van A het elektron dan komt.

Een voorbeeld van een geurmolecuul is acetofenon. Zie figuur 5.
De energie-uitwisseling met het geurmolecuul kan in een vereenvoudigd model worden beschreven. In dit vereenvoudigd model wordt elke $C-H$-binding van het geurmolecuul beschouwd als een (quantumfysisch) massa-veer-systeem. Zie figuur 6 voor de energieput met de discrete energieniveaus van dit massa-veer-systeem voor een van de $C-H$-bindingen van acetofenon.
Voor de energieniveaus geldt:

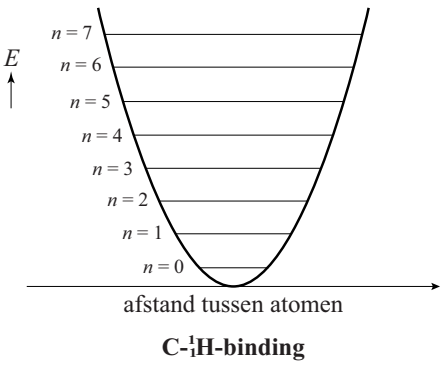
$$E_n = hf(n+\tfrac{1}{2}).$$

Hierin is:
- E_n De energie van niveau n;
- h De constante van Planck;
- f De frequentie van het massa-veer-systeem.

figuur 5



figuur 6



C-$^{1}_{1}$H-binding

natuurkundeuitgelegd.nl

Als het elektron in figuur 4 van D naar A gaat, neemt de $\mathrm{C-H}$-binding van het geurmolecuul precies zoveel energie van het elektron op dat het massa-veer-systeem één energieniveau omhoog gaat.

3p **21** Bepaal met behulp van figuur 4 en 6 de waarde van f.

Om te onderzoeken of het model van Turin klopt, heeft een onderzoeker een experiment met fruitvliegjes gedaan. Hij bood twee verschillende geuren aan, waarvan één acetofenon was.
De fruitvliegjes hadden een duidelijke voorkeur voor acetofenon.
Daarna herhaalde hij het experiment, waarbij hij in acetofenon 'gewone' waterstofatomen ($^{1}_{1}\mathrm{H}$) verving door deuteriumatomen ($^{2}_{1}\mathrm{H}$).
Nu hadden de fruitvliegjes geen voorkeur voor acetofenon.
De fruitvliegjes konden dus het verschil tussen acetofenon met gewone waterstofatomen ($^{1}_{1}\mathrm{H}$) en acetofenon met deuteriumatomen ($^{2}_{1}\mathrm{H}$) ruiken.

Neem aan dat de massa in het massa-veer-systeem de massa is van het waterstofatoom en dat de vervanging van gewoon waterstof door deuterium alleen effect heeft op de massa van het massa-veer-systeem en niet op de veerconstante.

2p **22** Leg uit dat de uitkomst van het experiment een ondersteuning is voor het model van Turin.

Op de uitwerkbijlage staat figuur 6, de energieput met energieniveaus van een $\mathrm{C-}{}^{1}_{1}\mathrm{H}$-binding van acetofenon weergegeven.
Op dezelfde schaal zijn ook nog vier energieputten met energieniveaus weergegeven (I tot en met IV) van dezelfde $\mathrm{C-H}$-binding, waarin nu het gewone waterstof vervangen is door deuterium.

4p **23** Voer de volgende opdrachten uit:

- Leid af dat geldt: $\dfrac{f_{\text{deuterium}}}{f_{\text{waterstof}}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$.
- Leg daarmee uit welke energieput met energieniveaus op de uitwerkbijlage past bij de $\mathrm{C-}{}^{2}_{1}\mathrm{H}$-binding van het aangepaste acetofenon-molecuul.

In de parfumindustrie worden geurmoleculen die erg duur zijn vervangen door andere moleculen die hetzelfde ruiken. Bij de zoektocht naar vervangende moleculen worden de energieniveaus van het oorspronkelijke molecuul vergeleken met de energieniveaus van het vervangende molecuul.

1p **24** Aan welke eis moeten de energieniveaus van het vervangende molecuul voldoen?

natuurkundeuitgelegd.nl

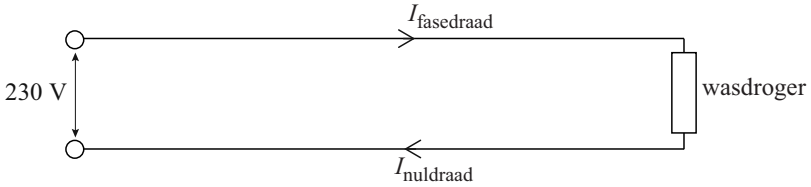
Aardlekschakelaar

Deze opgave gaat over een aardlekschakelaar. Deze werkt op een wisselspanning. De vragen in deze opgave kunnen echter worden beantwoord door de situatie te beschouwen alsof het gaat om gelijkspanning.

Een aardlekschakelaar (zie figuur 1) is een automatisch werkende schakelaar die een elektrische installatie spanningsloos maakt zodra er een lekstroom van een bepaalde grootte optreedt.
De werking van een aardlekschakelaar berust op een verschilmeting in de stroomsterkte tussen twee draden, de fasedraad en de nuldraad.
In figuur 2 is de situatie waarbij een wasdroger is aangesloten op het lichtnet schematisch weergegeven.

figuur 1

figuur 2

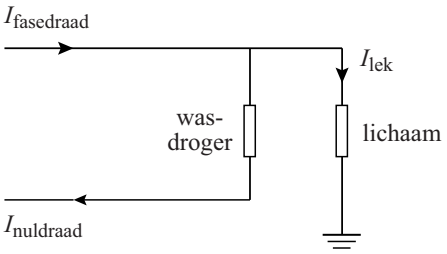


De stroomsterkte door de wasdroger wordt bepaald door het verwarmingselement dat in de wasdroger is opgenomen. Dit verwarmingselement is gemaakt van $42\ \text{m}$ koperdraad met een diameter van $0{,}20\ \text{mm}$.

4p **25** Bereken de stroomsterkte door het verwarmingselement.

Door een defect in de wasdroger kan de metalen buitenkant onder spanning komen te staan en kan er een lekstroom optreden als een persoon de metalen buitenkant van de wasdroger aanraakt. Zie figuur 3.
De aardlekschakelaar reageert als er tussen de nuldraad en de fasedraad een verschil van meer dan $30\ \text{mA}$ is.

figuur 3

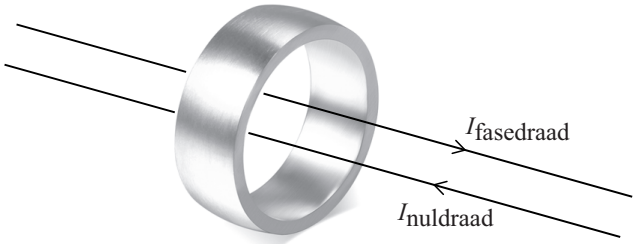


3p **26** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de grootte van de lichaamsweerstand bij een lekstroom van $30\ \text{mA}$.
- Geef aan of de aardlekschakelaar reageert bij waarden voor de lichaamsweerstand die groter zijn of juist kleiner dan de berekende waarde.

natuurkundeuitgelegd.nl

In de aardlekschakelaar lopen de fasedraad en de nuldraad door een (week)ijzeren ring. Zie figuur 4. In de figuur op de uitwerkbijlage is een vooraanzicht getekend van de situatie uit figuur 4.
We nemen aan dat de fasedraad en de nuldraad allebei in het middelpunt van de ring liggen.

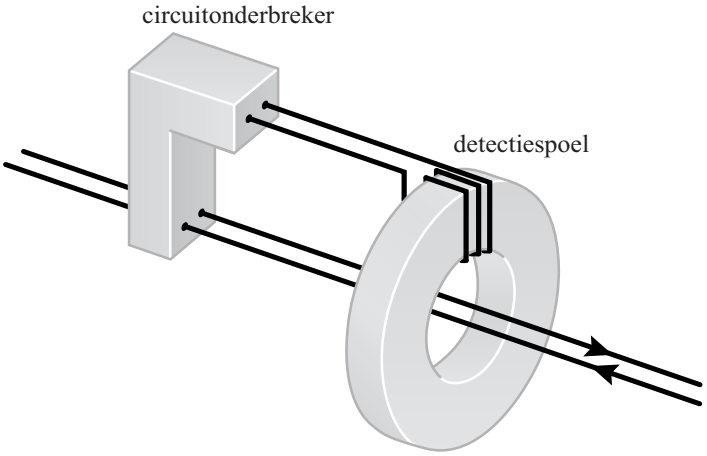
figuur 4



3p **27** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken met pijlen in de ring de richting van het magnetisch veld voor de fasedraad en voor de nuldraad in de figuur op de uitwerkbijlage.
- Geef de reden dat er geen netto magnetisch veld in de ring zal ontstaan als de stroomsterkten door de fasedraad en de nuldraad gelijk zijn.
- Geef de reden dat er wel een netto magnetisch veld in de ring ontstaat als er sprake is van een lekstroom.

Een grotere lekstroom heeft een groter netto magnetisch veld tot gevolg. Rond de ijzeren ring is een spoel gewikkeld, de zogenoemde detectiespoel. Zie figuur 5. Deze detectiespoel is verbonden met een circuitonderbreker. Als er aan de circuitonderbreker een te hoge spanningspiek wordt aangeboden, verbreekt de circuitonderbreker de verbinding in de fasedraad en de nuldraad. Dit gebeurt op het moment dat er een te groot verschil ontstaat tussen de stroomsterkte in de fasedraad en de stroomsterkte in de nuldraad. Een aardlekschakelaar noemen we gevoeliger als hij de stroom uitschakelt bij een kleinere lekstroom.

figuur 5



3p **28** Voer de volgende opdrachten uit.
- Geef aan door welk natuurkundig principe de spanningspiek ontstaat.
- Leg uit welke aanpassing men moet doen aan de detectiespoel om de aardlekschakelaar gevoeliger te maken.

Foton De nieuwe natuurkundemethode voor de bovenbouw
Theorie, oefenopgaven, antwoorden in één overzichtelijk boek inclusief SE-keuzeonderwerpen
Betaalbaar: € 35,- voor de complete stof. Meer info: natuurkundeuitgelegd.nl