

Hulpmiddelen:
BiNaS en niet-grafisch rekenapparaat

Naam:

Voortgangstoets

NAT

6 VWO

Week 13

SUCCES!!!

Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

Opgave 1

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 nevenstaande afbeelding voor een PET-scan-apparaat.



Vóórdat de annihilatieplaatsvindt, bewegen de positronen met hoge snelheid door het lichaam van de patiënt. In stoffen zoals water en lichaamswefsel 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 F-18, dat vervalt onder uitzending van een positron.

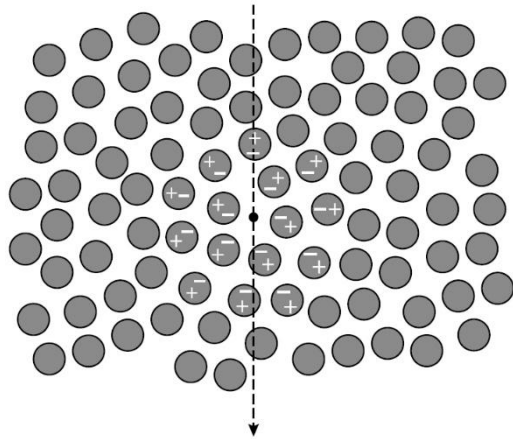
a) Geef de vervalvergelijking van F-18.

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 afbeeldingen A en B De punt geeft de plaats van het deeltje aan. De pijl geeft de bewegingsrichting aan.

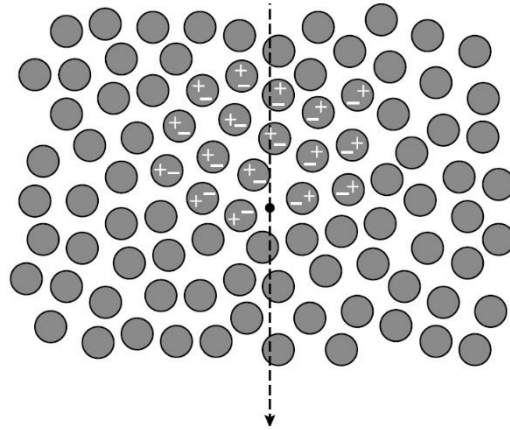
A

$$v < 0,70c$$



B

$$v > 0,70c$$



b) Hoe blijkt uit bovenstaande afbeelding 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.

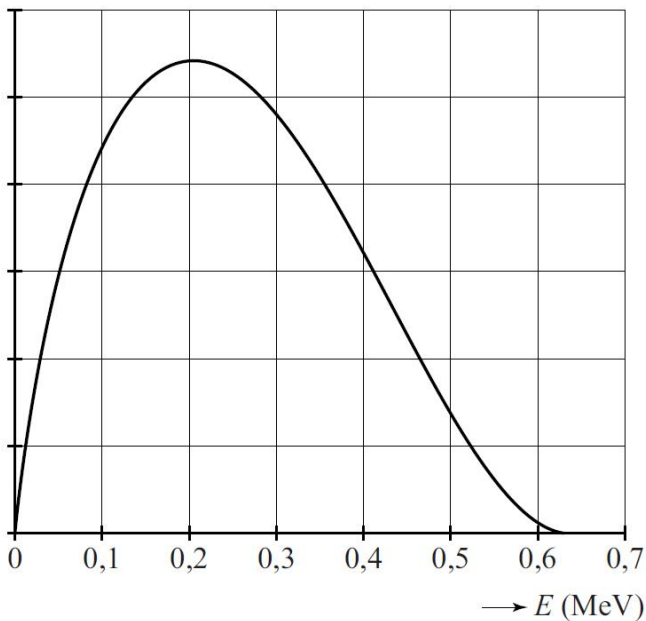
Alleen als een geladen deeltje met een grotere snelheid dan $0,70c$ door het weefsel beweegt, is er sprake van een veranderend netto elektrisch veld en wordt er straling uitgezonden, de zogenaamde Cerenkov-straling.

c) Beantwoord de volgende vragen:

- Geef aan hoe uit afbeelding A blijkt dat hier het netto elektrisch veld gelijk is aan nul.
- Geef aan hoe uit afbeelding B 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 afbeelding B zich verplaatst.

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 $E_k = 0,205 \text{ MeV}$.

In onderstaande afbeelding staat de verdeling van de door F-18 uitgezonden positronen als functie van hun kinetische energie.



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.

- I. 40%
- II. 50%
- III. 60%

d) **Leg uit** welke schatting de beste is.

plaatsbepaling

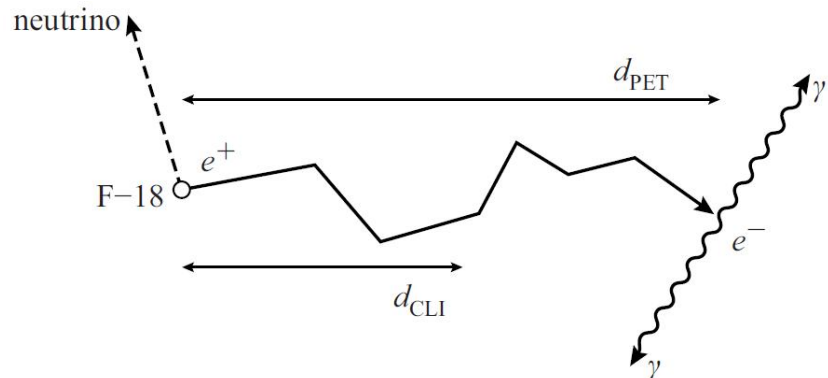
Het continue spectrum van Cerenkov-straling bestaat voor een groot deel uit blauwachtig, zichtbaar licht met een lage intensiteit. Deze straling kan inwendig in het lichaam of uitwendig gemeten worden.

Bij een uitwendige meting gelden de volgende voorwaarden:

- I. De omgeving is donker.
- II. De te bestuderen tumoren bevinden zich direct onder het huidoppervlak.

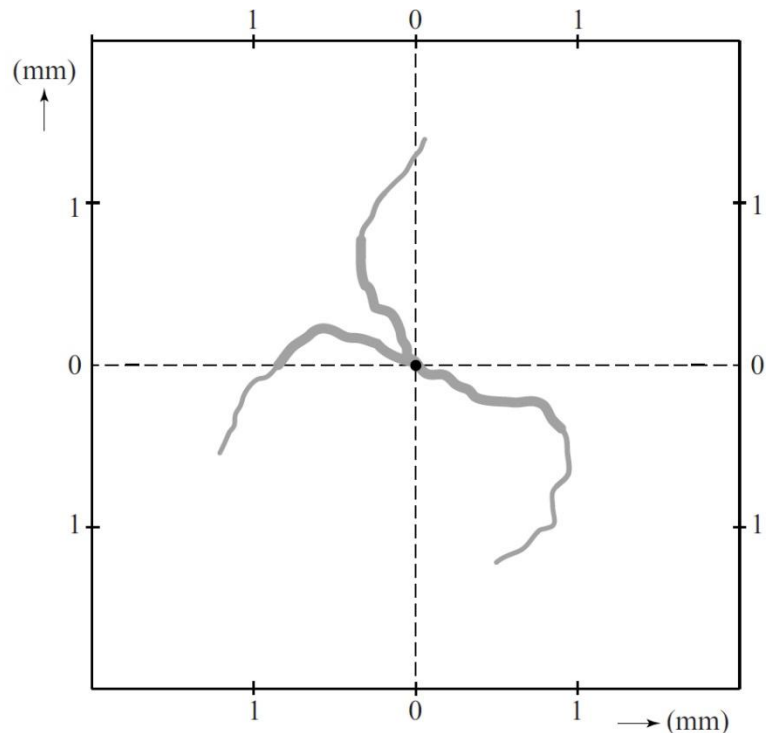
e) Geef voor elk van beide voorwaarden aan waarom die noodzakelijk is.

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 nevenstaande afbeelding.



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

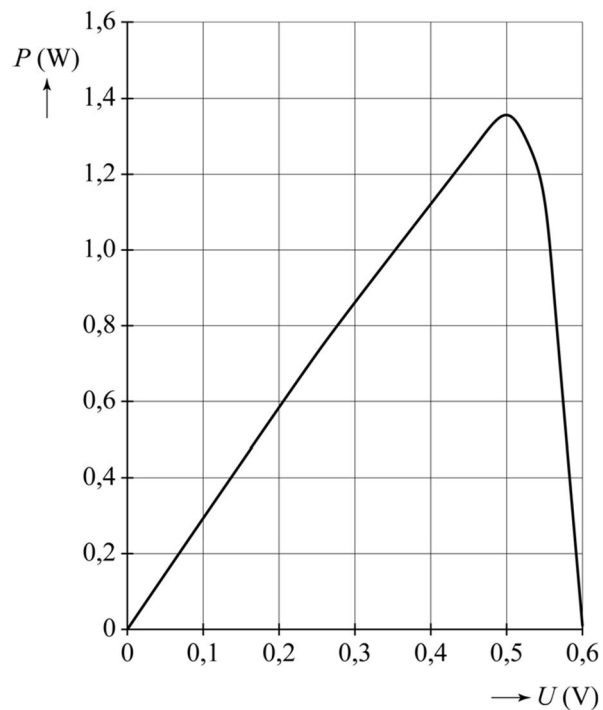
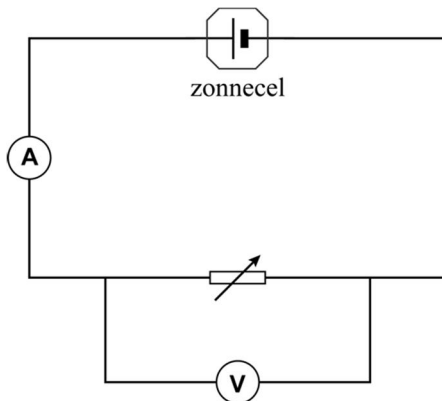
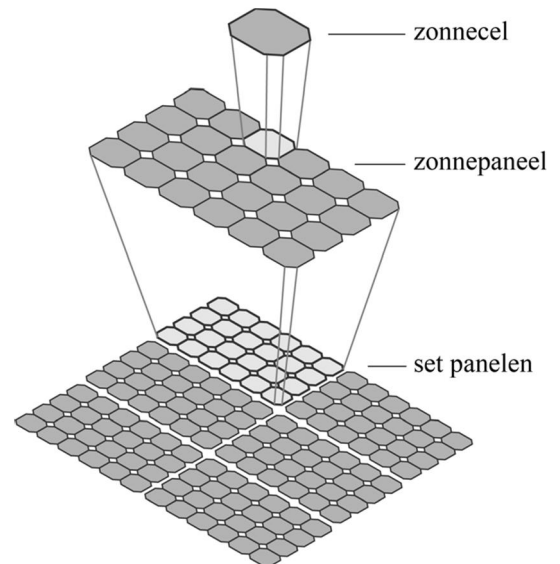
In nevenstaande afbeelding is een simulatie weergegeven van het verval van drie F-18-kernen. De figuur toont de mogelijke positronsporen door het lichaamsweefsel. De F-18-kern is steeds in de oorsprong geplaatst. Een dik spoor geeft aan dat er Cerenkov-straling wordt uitgezonden.



- f) **Leg uit** waarom $d_{CLI} < d_{PET}$.
- g) **Leg uit** waarom de CLI-meting tot een nauwkeurigere plaatsbepaling komt dan de PET-meting.

Opgave 2

Een zonnepaneel bestaat uit een aantal zonnecellen die in serie geschakeld zijn. Zonnepanelen kunnen weer in een grotere schakeling opgenomen worden en bijvoorbeeld op een dak geplaatst worden. Zie nevenstaande afbeelding. Femke en Lotta onderzoeken hoe het vermogen dat een zonnecel levert, afhangt van de grootte van de weerstand die erop is aangesloten. Ze leggen één zonnecel in de zon. Op de zonnecel schijnt de zon met een constante intensiteit. Ze sluiten een variabele weerstand op de zonnecel aan en meten dan de stroom door en de spanning over de zonnecel. Zie onderstaand schakelschema. Ze berekenen het vermogen dat de zonnecel levert en zetten hun resultaten in een grafiek, zie onderstaand diagram.



Bij een spanning van 0,50 V is het vermogen dat de zonnecel levert maximaal. De stroomsterkte is dan 2,7 A.

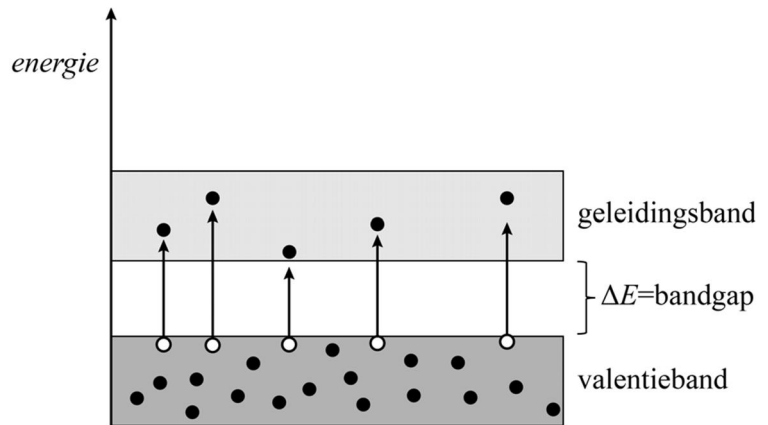
a) **Toon dat aan.**

Eén zonnepaneel bestaat uit 24 zonnecellen die in serie geschakeld zijn. De spanning van elke zonnecel wordt stabiel op 0,50 V gehouden. Op de uitwerkbijlage staat een vereenvoudigd symbool van één zonnepaneel getekend.

b) Voer de volgende opdrachten uit:

- **Toon aan** dat de spanning over één zonnepaneel 12 V is.
- **Teken** op de uitwerkbijlage nog 5 zonnepanelen en verbind de 6 zonnepanelen zodat ze gezamenlijk een spanning van 36 V leveren.
- **Bereken** de stroomsterkte die deze schakeling levert als elk paneel belicht wordt met dezelfde zonne-intensiteit als in het onderzoek van Femke en Lotta.

Een zonnecel is gemaakt van een zogenaamd halfgeleidermateriaal. In een halfgeleider kan een elektron slechts in banden van zeer dicht bij elkaar gelegen energieniveaus bestaan. Twee van zulke banden zijn de valentieband en de geleidingsband. Daartussen zit bij een halfgeleider een energiesprong, de zogeheten bandgap (zie nevenstaande afbeelding). In de grondtoestand is de valentieband volledig bezet met elektronen. De geleidingsband is dan nog niet met elektronen bezet.



Een foton kan één elektron vrijmaken uit het atoomrooster. Dit gebeurt alleen als de energie van dat foton groot genoeg is (groter dan de bandgap). Het elektron gaat dan van een energieniveau in de valentieband naar een energieniveau in de geleidingsband. Als er elektronen in de geleidingsband zitten, wordt het materiaal geleidend en kan er een stroom gaan lopen.

Femke merkt op dat het bovenstaande proces lijkt op het foto-elektrisch effect. c) Geef een overeenkomst en een verschil tussen het bovenstaande proces en het foto-elektrisch effect.

In nevenstaande tabel staat voor verschillende materialen de bandgap weergegeven. Femke en Lotta gebruiken een zonnecel gemaakt van silicium. Een bepaald foton brengt een elektron in de geleidingsband van deze zonnecel.

materiaal	bandgap in eV
CdTe	1,58
Ge	0,72
InSb	0,23
PbSe	0,27
Si	1,10
ZnS	3,60
ZnSe	2,70

d) **Bepaal** met behulp van de tabel wat de golflengte van dit foton maximaal kan zijn. Zonlicht bestaat uit fotonen van verschillende energieën. Fotonen met meer energie dan nodig is om de bandgap te overbruggen, geven het overschot van hun energie af in de vorm van warmte. Hiermee daalt het rendement van een zonnecel. Om het rendement te verhogen worden dunne laagjes van andere halfgeleiders op het silicium aangebracht. Deze laagjes zijn zo dun dat fotonen erdoorheen kunnen gaan.

Op de uitwerkbijlage staat schematisch een dwarsdoorsnede van een zonnecel getekend, met drie dunne laagjes op het silicium. Ieder laagje is gemaakt van een ander materiaal uit bovenstaande tabel. e) Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef op de uitwerkbijlage in iedere laag aan van welk materiaal uit bovenstaande tabel deze laag gemaakt is.
- **Leg** je antwoord uit.

