CENTRALE COMMISSIE VOORTENTAMEN NATUURKUNDE

# TENTAMEN NATUURKUNDE

| | |
|---|---|
| datum | : maandag 18 juli 2022 |
| tijd | : 13.30 tot 16.30 uur |
| aantal opgaven | : 5 |
| aantal antwoordbladen | : geen |

Iedere opgave dient op een afzonderlijk vel te worden gemaakt
(want voor iedere opgave is er een afzonderlijke corrector).

Vermeld op ieder in te leveren vel uw naam.

Niet met potlood schrijven en geen tipp-ex of iets dergelijks gebruiken.

Antwoorden zonder motivering worden niet gehonoreerd.

Aanvullende gegevens zijn te vinden in Binas ($5^{e}$ of $6^{e}$ druk).

De norm bij de beoordeling is:

| | |
|---|---|
| opgave 1 | : 13 punten |
| opgave 2 | : 23 punten |
| opgave 3 | : 11 punten |
| opgave 4 | : 13 punten |
| opgave 5 | : 15 punten |

Het cijfer = aantal behaalde punten / 75 * 9 + 1

**Informatie over de voortgang en het verloop van de correctie op:**
**www.ccvx.nl**

## OPGAVE 1 - thuis trainen

In figuur 1 is een atleet afgebeeld die een oefening doet op een roeitrainer. De man zit op een bankje dat over een balk kan rollen. Eén roeibeweging bestaat uit twee delen:

A Vanaf de beginpositie (figuur 1a) duwt de atleet zichzelf en het bankje naar achteren. Tegelijkertijd trekt hij via een kabel aan een vliegwiel, waardoor dit sneller gaat ronddraaien. Een vliegwiel is een wiel met grote massa dat wordt gebruikt om kinetische energie in op te slaan.

B Vanuit de achterste positie (figuur 1b) trekt hij zich vervolgens met zijn benen naar voren totdat hij weer in de beginpositie is. Tijdens dit tweede deel van de roeibeweging neemt de draaisnelheid van het vliegwiel door wrijving weer af.

fig. 1a

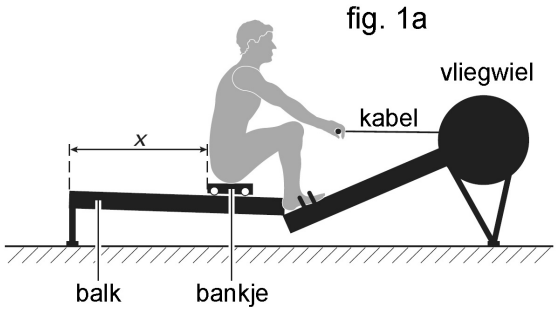
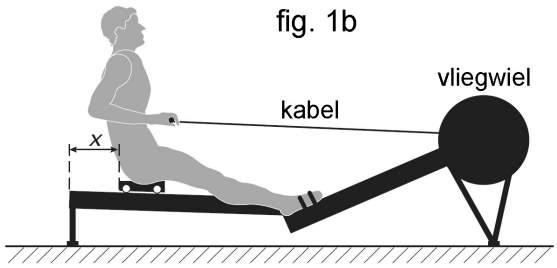



fig. 1b




De afstand x tussen het bankje en de achterkant van de balk is weergegeven in het (x,t)-diagram in figuur 2.

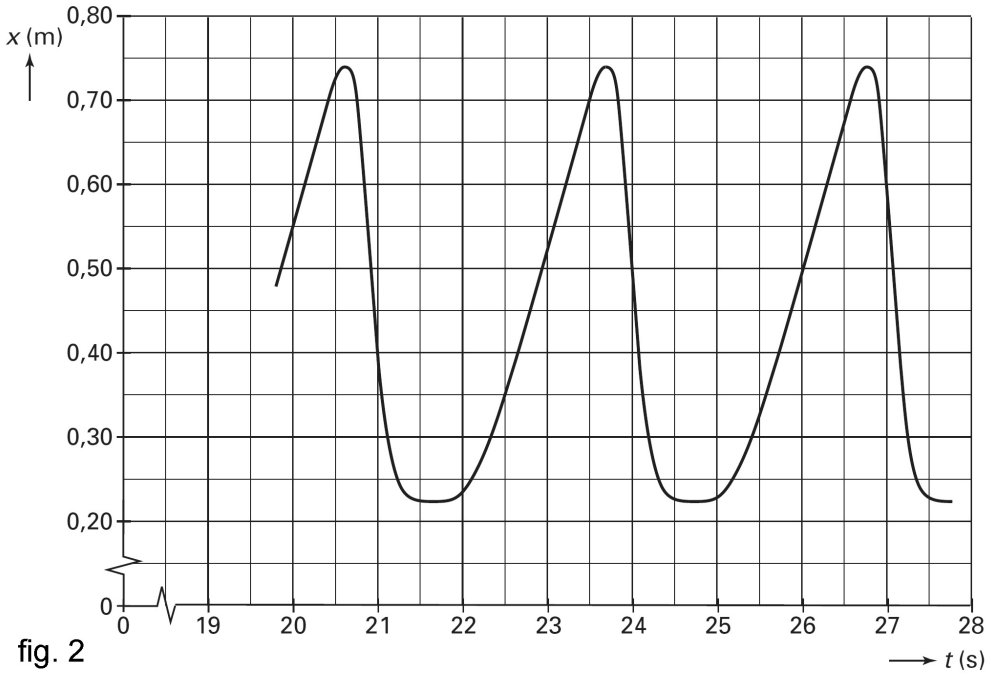



fig. 2

3p a. Leg met behulp van figuur 2 uit of de atleet een hogere snelheid bereikt tijdens deel A of tijdens deel B van een roeibeweging.


Copyright © 2022 CCVX

In figuur 3 staat het (v,t)-diagram van enkele roeibewegingen.

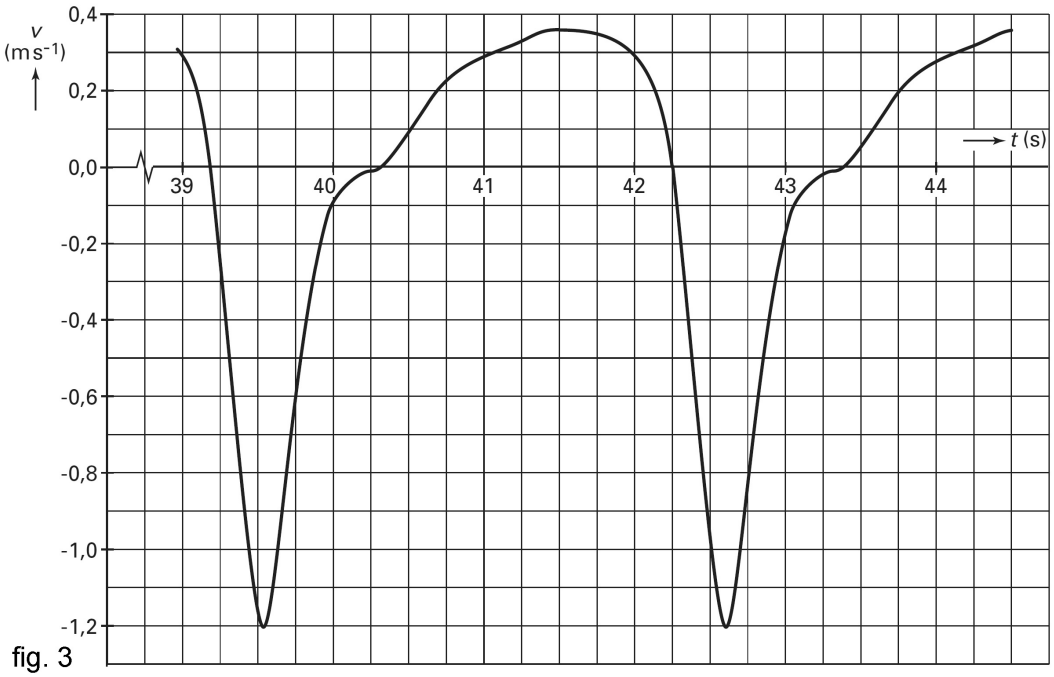


fig. 3

De maximale afstand waarover het bankje rolt tijdens deel A van een roeibeweging noemen we $x_{max}$. Deze $x_{max}$ is zowel uit figuur 2 als uit figuur 3 te bepalen.

3p b. Leg voor beide figuren uit hoe. (Je hoeft de bepaling niet uit te voeren).

De resulterende kracht op de atleet en het bankje is tijdens de roeibeweging niet constant.

3p c. Leg uit op welke tijdstippen in figuur 3 er geen resulterende kracht op de atleet en het bankje werkt.

**lees verder op de volgende bladzijde**


Copyright © 2022 CCVX

Voor de rotatie-energie $E_{rot}$ van het vliegwiel geldt: $E_{rot} = k \cdot f^2$

Hierin is: k een constante, die gelijk is aan 1,2 $Js^2$
f de omloopfrequentie, dus het aantal omwentelingen per seconde van het vliegwiel.

In figuur 4 is de omloopfrequentie van het vliegwiel als functie van de tijd weergegeven.

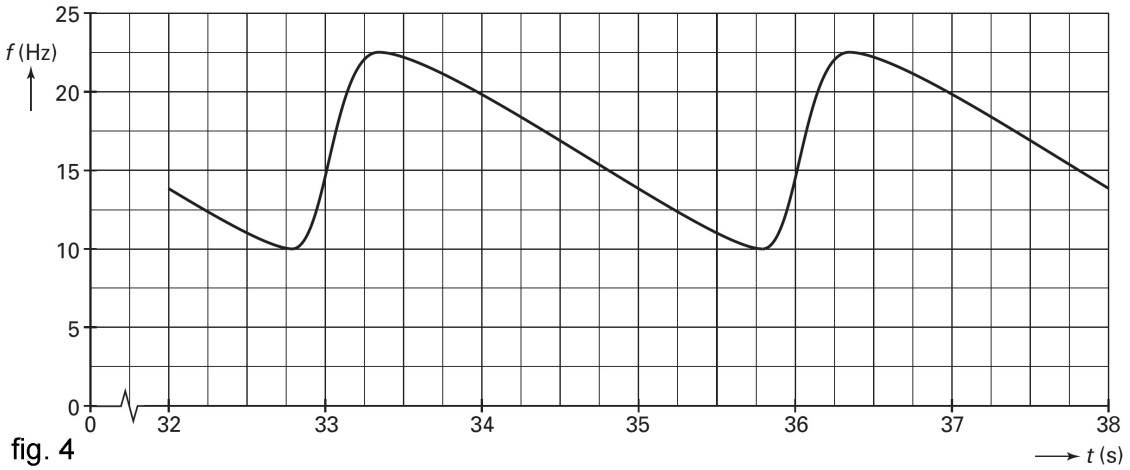


fig. 4

Onder het duurvermogen van de atleet verstaat men hier het vermogen dat hij gedurende langere tijd gemiddeld aan het vliegwiel overdraagt.

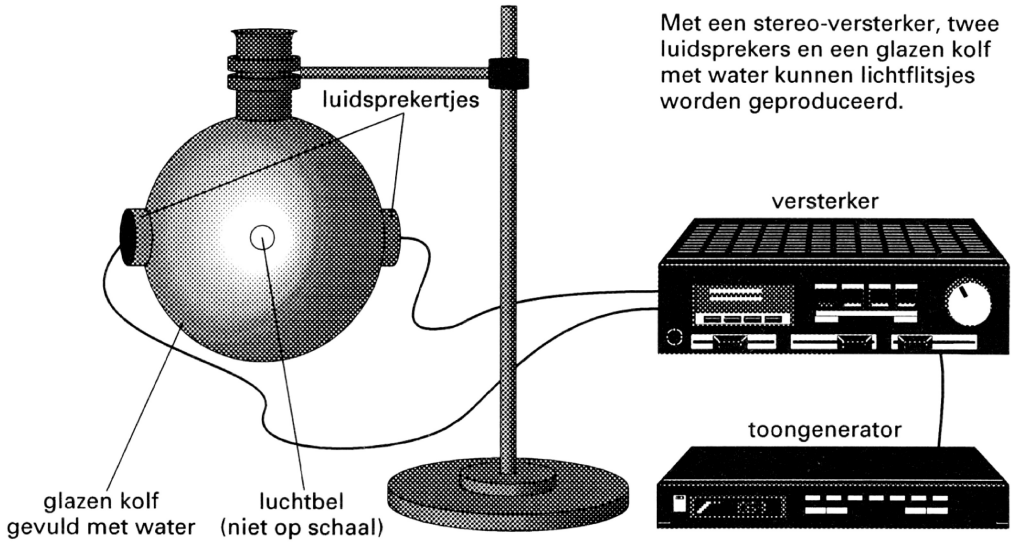
4p d. Bepaal dit duurvermogen als de omloopfrequentie van het vliegwiel blijft verlopen zoals in figuur 4. Bepaal daartoe eerst hoeveel energie van de atleet tijdens één roeibeweging wordt omgezet in rotatie-energie van het vliegwiel.


Copyright © 2022 CCVX

## OPGAVE 2 - geluid

Geluidsgolven kunnen in water lichtflitsjes opwekken.

Men vult een glazen kolf met water. Op de buitenkant worden tegenover elkaar twee miniluidsprekertjes geplakt die op een versterker worden aangesloten. Deze versterkt de wisselspanning, afkomstig uit een toongenerator.




Door de geluidsgolven neemt de druk in het water afwisselend toe en af. In het water zitten luchtbelletjes die uitzetten wanneer de druk in het water afneemt. Ook de luchtdruk in de belletjes neemt dan sterk af. Bij stijgende waterdruk worden de belletjes samengedrukt, waarbij energie uit de geluidsgolven wordt opgeslagen. Dat gebeurt totdat de opgeslagen energie in de vorm van een lichtflitsje vrijkomt. De flitsjes worden met grote regelmaat uitgezonden, afhankelijk van de ingestelde geluidsfrequentie

De geluidsgolven gaan door de glazen wand van de kolf het water in.

3p a. Leg uit of de golflengte van het geluid in het glas kleiner is dan, groter is dan, of gelijk is aan die in het water.

De glazen kolf is bolvormig en heeft een binnendiameter van 6,2 cm. De frequentie van het geluid wordt zó gekozen, dat er in het water in de kolf een staande golf ontstaat. Langs de verbindingslijn tussen de twee luidsprekertjes ontstaan daarbij drie (druk)buiken, namelijk bij de grensvlakken tussen water en glas en in het middelpunt van de kolf. Het water heeft een temperatuur van 20 °C.

4p b. Bereken de laagste frequentie van het geluid waarbij deze staande golf ontstaat.


Copyright © 2022 CCVX

Elk van de gebruikte luidsprekertjes heeft een elektrisch vermogen van 1,5 W. Daarvan wordt slechts 0,22% omgezet in geluid, dat in alle richtingen even sterk wordt uitgezonden.
Stel dat slechts één luidsprekertje van 1,5 W aanstaat, en dat reflectie en absorptie van het geluid mogen worden verwaarloosd.

4p c. Bereken op welke afstand van het luidsprekertje de intensiteit van het geluid $1{,}4 \cdot 10^{-1}$ W/m$^2$ bedraagt.

Een luchtbelletje heeft de temperatuur van het water en een druk van $1{,}0 \cdot 10^5$ Pa.
Tijdens het uitzetten kan de diameter van een luchtbelletje 13 maal zo groot worden.
De temperatuur in het belletje daalt dan met $1{,}6 \cdot 10^2$ °C.

4p d. Bereken de druk in het luchtbelletje als het een 13 maal zo grote diameter heeft.

Tegen de buitenkant van de kolf is een lichtdetector geplakt. De lichtflitsjes ontstaan in het midden van de kolf. Het blijkt dat de detector bij elk lichtflitsje $8{,}5 \cdot 10^4$ fotonen ontvangt.
De energie die de detector bij elk flitsje bereikt, is $4{,}1 \cdot 10^{-14}$ J.

Neem aan dat het uitgezonden licht monochromatisch is.

3p e. Bereken de golflengte van het uitgezonden licht in lucht.

De dikte van de wand van de kolf is 4,0 mm. De detector heeft een ontvangoppervlakte van 1,3 cm$^2$. Van het licht dat op het ontvangoppervlak van de detector is gericht, wordt 17% niet geregistreerd als gevolg van reflectie en absorptie.

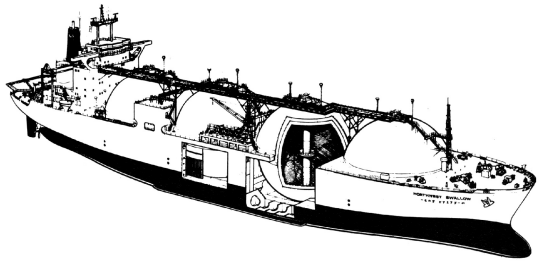
5p f. Bereken hoeveel fotonen de luchtbel per flitsje uitzendt.


Copyright © 2022 CCVX

# OPGAVE 3 - import van aardgas

Om minder afhankelijk te zijn van Russisch aardgas kan men ook aardgas uit Amerika importeren. Voor het vervoer wordt het aardgas sterk afgekoeld tot –161 °C waarbij het vloeibaar wordt.
Dit vloeibaar gemaakte aardgas wordt vervolgens in speciaal daarvoor ontworpen tankers vervoerd.

figuur 1



De tanker, afgebeeld in de figuur, heeft vier bolvormige tanks. In totaal kan de tanker $120 \cdot 10^3$ $m^3$ vloeibaar aardgas vervoeren.

Door verdamping bevindt zich boven de vloeistof wat gasvormig aardgas in de tank. Dit gasvormige gas zorgt voor een lichte overdruk ten opzichte van de buitenlucht.
De overdruk dient om te voorkomen dat er bij kleine lekken lucht in de tanks komt, waardoor een explosief mengsel ontstaat.

2p a. Leg uit of bij een temperatuurdaling in de tanks de kans op het ontstaan van een explosief mengsel afneemt of juist toeneemt.

De temperatuur in de tanks is –161 °C. Hoewel de tanks goed geïsoleerd zijn, vindt er toch warmte-uitwisseling met de omgeving plaats. Dit wordt veroorzaakt door het lekken van warmte van buiten naar binnen door de isolatielaag om de tanks. Dit warmtelek bedraagt 350 kW. Om voor het warmtelek te compenseren, zodat de temperatuur in de tanks constant blijft, laat men regelmatig vloeibaar aardgas verdampen.
Voor het verdampen van dit vloeibaar aardgas is per kilogram een hoeveelheid warmte nodig van $0{,}51 \cdot 10^6$ J. De dichtheid van het vloeibare aardgas is, bij de in de tanks heersende temperatuur, 423 $kg \cdot m^{-3}$.

3p b. Bereken het aantal $m^3$ vloeibaar gas dat per etmaal zo verdampt

De warmte die tijdens het verdampen aan het vloeibaar gas wordt onttrokken, is onder andere nodig voor de toename van de inwendige energie van de gasmoleculen.

2p c. Leg met behulp van de moleculaire theorie uit dat de inwendige energie van de gasmoleculen in de damp tijdens het verdampen is toegenomen.

De dichtheid van aardgas bij kamertemperatuur en een luchtdruk op zeeniveau (zogenaamde standaard omstandigheden) is 0,776 $kg/m^3$.
Een Nederlands huishouden verbruikt jaarlijks gemiddeld 1169 $m^3$ gas.

3p d1. Bereken hoeveel $m^3$ aardgas er bij standaard omstandigheden ontstaat als men al het vloeibare aardgas laat verdampen. Verwaarloos de hoeveelheid gas die gebruikt werd om het aardgas tijdens het transport te koelen.

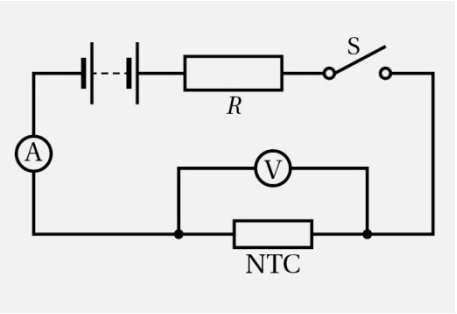
1p d2. Bereken hoeveel huishoudens hiervan een jaar lang van gas kunnen worden voorzien.


Copyright © 2022 CCVX

## OPGAVE 4 - NTC-weerstand

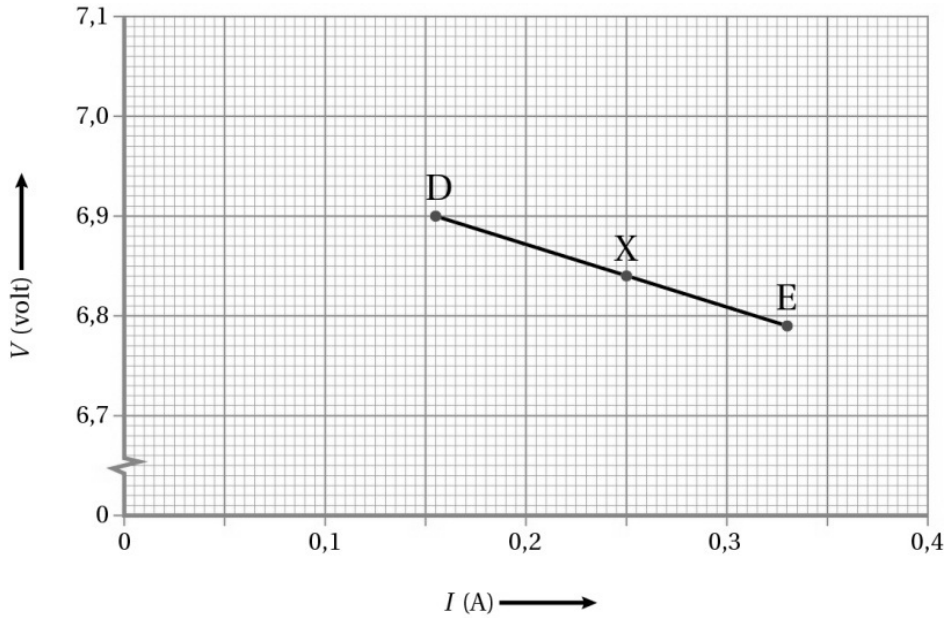
Een NTC-weerstand is een weerstand waarvan de weerstandswaarde afneemt naarmate zijn temperatuur stijgt. Een NTC opgenomen in een elektrische schakeling, zal door zijn eigen warmteontwikkeling van weerstandswaarde veranderen.
Een bepaalde NTC wordt bij kamertemperatuur opgenomen in de schakeling van figuur 1.
De spanningsbron zelf heeft een kleine weerstand R.

Figuur 1




Nadat de schakelaar S is gesloten, stijgt de temperatuur van de NTC. Oksana meet met regelmatige tussenpozen de spanning over de NTC en de stroomsterkte door de NTC tot de gemeten waarden niet meer veranderen. De temperatuur van de NTC verandert dan niet verder.
De meetresultaten zijn in figuur 2 weergegeven met de grafiek tussen de punten D en E.

Figuur 2




3p a. Bepaal in welke richting de grafiek tijdens de proef wordt doorlopen, van D naar E of van E naar D.

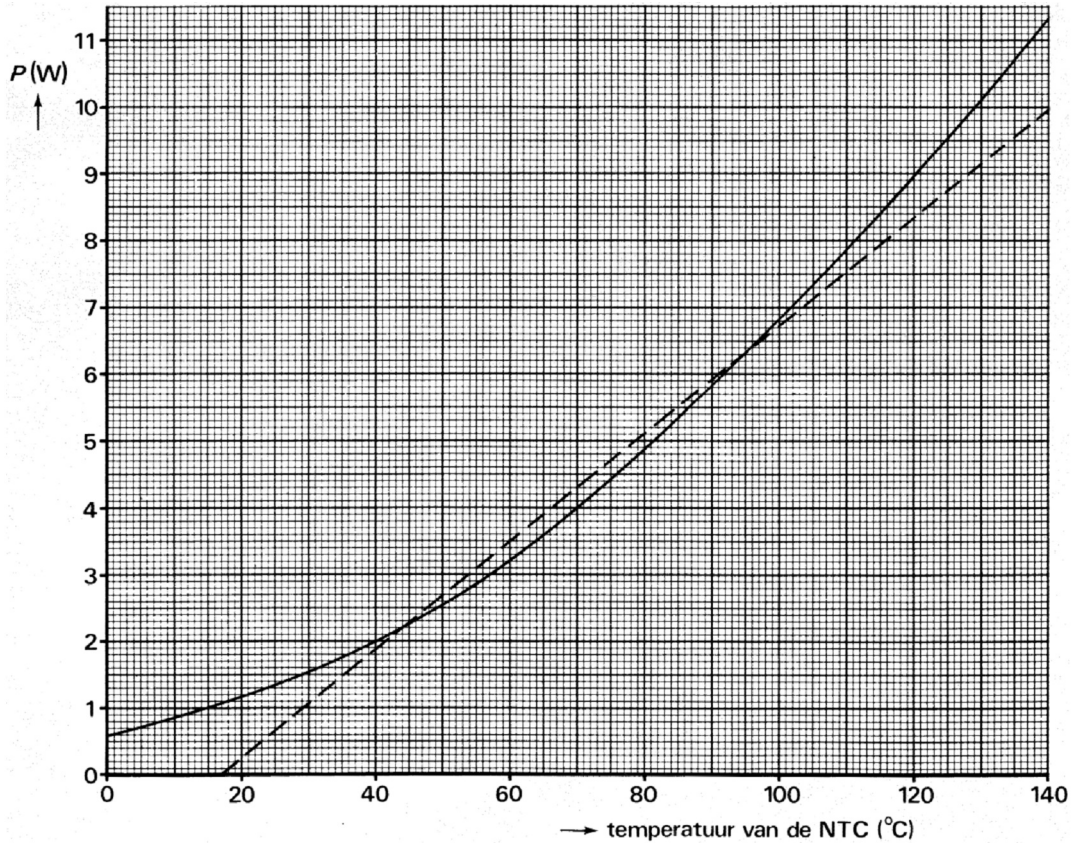
2p b. Toon aan dat de spanning van de spanningsbron gelijk is aan 7,0 V.

3p c. Bepaal de grootte van de weerstand R.


Copyright © 2022 CCVX

Het elektrische vermogen dat de NTC omzet in warmte in de schakeling van figuur 1 hangt af van de weerstand van de NTC en dus van zijn temperatuur. In figuur 3 is dit vermogen als functie van de temperatuur weergegeven met de getrokken gebogen lijn.

Figuur 3




3p d. Bepaal de temperatuur van de NTC die hoort bij de toestand van punt X in figuur 2.

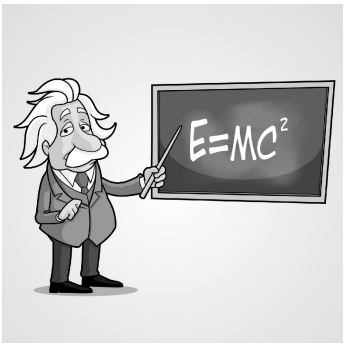
De NTC staat warmte af aan de omgeving ten gevolge van het onderlinge temperatuurverschil. Voor de heersende omgevingstemperatuur is in figuur 3 het door de NTC afgegeven vermogen als functie van zijn temperatuur weergegeven door de streepjeslijn.

Oksana verwarmt de NTC, die nog steeds is opgenomen in de schakeling van figuur 1, met behulp van een vlammetje. De schakelaar in figuur 1 is daarbij gesloten.
De temperatuur van de NTC stijgt hierdoor tot 120 °C. Dan haalt ze het vlammetje weg.

2p e. Beredeneer of de temperatuur van de NTC na het weghalen van het vlammetje stijgt of daalt.


Copyright © 2022 CCVX

# OPGAVE 5 - $E = mc^2$




In een van Albert Einsteins revolutionaire wetenschappelijke artikelen gepubliceerd in 1905 werd de formule $E=mc^2$ gebruikt, waarbij E de energie (in J), m de massa (in kg), en c de lichtsnelheid (in m/s) is in een vacuüm. De formule houdt in dat een bepaalde massa een hoeveelheid energie vertegenwoordigt, en omgekeerd een hoeveelheid energie overeenkomt met een bepaalde massa. In wezen zijn energie en materie niet meer dan twee verschillende vormen van hetzelfde "ding".

Wetenschappers hebben de juistheid van de formule $E = mc^2$ onderzocht. Ze gingen uit van de reactie waarbij Si-28 een neutron invangt. Hierbij ontstaat Si-29 en komen twee gamma-fotonen vrij. Volgens de formule van Einstein zou de energie van de twee fotonen samen overeen moeten komen met het massaverschil voor en na de reactie.

In een eerste experiment werd het massaverschil bepaald en in een tweede experiment de golflengtes van beide fotonen. Beide metingen werden met zeer grote nauwkeurigheid verricht. De wetenschappers hebben hiermee de juistheid van de formule van Einstein met een nauwkeurigheid van één op tien miljoen aangetoond.

**Eerste experiment**

In het eerste experiment werd het massaverschil van Si-28 en Si-29 bepaald via een frequentiemeting. De atomen werden eerst éénmaal geïoniseerd, vervolgens versneld en daarna in een homogeen magnetisch veld gebracht. De snelheid van de $Si^+$-ionen stond loodrecht op de richting van het magnetisch veld. Hierdoor kwamen beide ionen in een cirkelbaan.

2p a. Leg uit waarom de baan van de ionen cirkelvormig is.

De onderzoekers konden de frequenties heel nauwkeurig meten waarmee de ionen ronddraaiden. De frequentie f waarmee een ion met lading q ronddraait in een magneetveld met sterkte B hangt af van zijn massa m en niet van zijn snelheid en de straal van de cirkel: $f = Bq / 2\pi m$

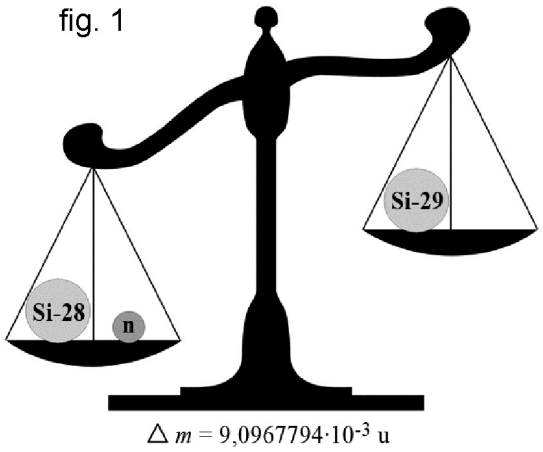
3p b. Leid deze formule af uit formules in Binas.

De waarde van B was 8,5 T.

2p c. Bereken voor één van de ionen de frequentie waarmee hij ronddraaide.

Omdat de massa van het neutron precies bekend was, konden de onderzoekers uit de metingen van de frequenties het massaverschil $\Delta m$ exact bepalen. $\Delta m = 9{,}0967794 \cdot 10^{-3}$ u. Zie ook figuur 1.

fig. 1

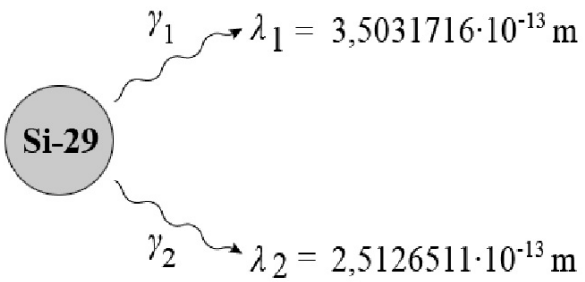



**lees verder op de volgende bladzijde**


Copyright © 2022 CCVX

**Tweede experiment**

De golflengte van gamma-fotonen die vrijkomen bij de invangreactie werd zeer nauwkeurig gemeten. In figuur 2 staan de resultaten weergegeven. Bij elk foton is ook de energie ervan berekend.




$E_1 = 3539198{,}3$ eV

$E_2 = 4934397{,}4$ eV

$E_{tot} = 8473595{,}7$ eV

fig. 2

Omdat de waarden in BINAS niet nauwkeurig genoeg zijn, staan in de tabel hieronder waarden van enkele constanten en grootheden die je moet gebruiken bij de volgende twee vragen.

| | |
|---|---|
| Lichtsnelheid | $c = 2{,}9979246 \cdot 10^{8}$ m s$^{-1}$ |
| Constante van Planck | $h = 6{,}6260690 \cdot 10^{-34}$ J s |
| Elementair ladingskwantum | $e = 1{,}6021765 \cdot 10^{-19}$ C |
| Atomaire massa-eenheid | $u = 1{,}6605388 \cdot 10^{-27}$ kg |

3p d. Laat zien dat de berekende energie $E_1$ van het eerste gamma-foton $\gamma_1$ overeenkomt met de gemeten golflengte $\lambda_1$.

3p e. Ga met een berekening na of met de experimenten de formule van Einstein met een nauwkeurigheid van één op tien miljoen is aangetoond. Gebruik daarbij de gegevens in de figuren 1 en 2.

In één van de twee genoemde experimenten hadden de onderzoekers een neutronenbron nodig om hun experiment uit te kunnen voeren.

2p f. Leg uit in welk experiment dat was.

# EINDE


Copyright © 2022 CCVX