

Voor dit examen zijn maximaal 83 punten te behalen; het examen bestaat uit 25 vragen.
Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.
Voor de uitwerking van de vragen 6, 10 en 12 is een uitwerkbijlage toegevoegd.

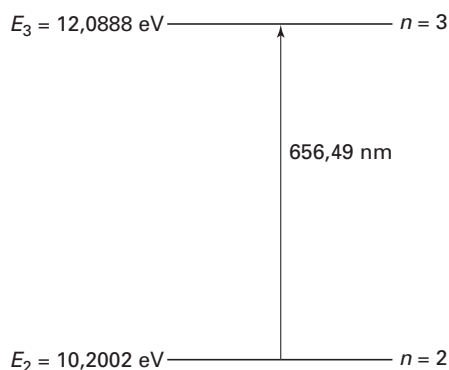
Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

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.

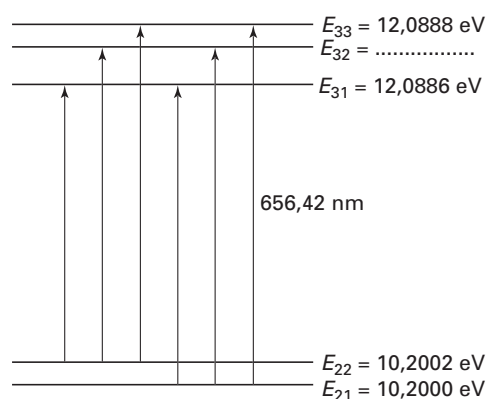
Opgave 1 Natuurconstanten

In tabel 21A van het informatieboek Binas staat het energieniveauschema van het waterstofatoom volgens het atoommodel van Bohr. In figuur 1 is de situatie voor de energieniveaus voor de hoofdkwantumgetallen $n = 2$ en $n = 3$ weergegeven.

figuur 1



figuur 2



Volgens het model van Bohr zou de geabsorbeerde golflengte tussen deze niveaus 656,49 nm bedragen.

In werkelijkheid zijn de twee getoonde niveaus opgesplitst in een aantal subniveaus.

Men spreekt van de ‘fijnstructuur’. Zie figuur 2. Deze figuur is niet op schaal.

Hierbij speelt de zogeheten fijnstructuurconstante α een rol.

Voor α geldt:

$$\alpha = \frac{1}{2\varepsilon_0} \cdot \frac{e^2}{hc} = 0,00729735$$

Hierin is:

- ε_0 de diëlektrische constante; $\varepsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ C V}^{-1} \text{ m}^{-1}$;
- e het elementair ladingskwantum;
- h de constante van Planck;
- c de lichtsnelheid.

3p **1** ☐ Laat met een berekening zien dat de gegeven waarde van α zowel wat betreft getalwaarde als wat betreft significantie in overeenstemming is met de benodigde gegevens uit tabel 7 van het informatieboek Binas.

3p **2** ☐ Ga met een eenhedenbeschouwing na of α een eenheid heeft.

In onderstaande tabel is aangegeven hoe de energiewaarden die bij de subniveaus van figuur 2 horen, afhangen van de fijnstructuurconstante α .

tabel

$E_{21} = E_2 \cdot \left(1 - \frac{5\alpha^2}{16}\right)$	$E_{31} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{4}\right)$
$E_{22} = E_2 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{16}\right)$	$E_{32} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{6}\right)$
	$E_{33} = E_3 \cdot \left(1 - \frac{\alpha^2}{12}\right)$

2p **3** ☐ Bereken de waarde van E_{32} .

De absorptielijn van 656,49 nm uit figuur 1 heeft een zekere lijnbreedte $\Delta\lambda$. Dit komt omdat de lijn feitelijk bestaat uit de 6 absorptielijnen die uit de energieniveaus van figuur 2 volgen. De lijnbreedte $\Delta\lambda$ is het verschil tussen de grootste golflengte en de kleinste golflengte van deze absorptielijnen. De golflengte die hoort bij de absorptielijn van de grootste energie-overgang is 656,42 nm.

4p **4** ☐ Bereken de lijnbreedte $\Delta\lambda$.

Opgave 2 Fietskar

Lees het artikel.

artikel

Fietskar duwt fiets

Het is de omgekeerde wereld: normaal trekt een fietser zijn bagagekarretje voort, maar de fietskar die hiernaast te zien is, duwt de fiets. Deze is namelijk voorzien van een accu met twee elektromotoren en kan 220 liter bagage bergen. De maximale snelheid zonder te trappen bedraagt 40 km/h. Als de fietser niet trapt, bedraagt de actieradius 50 km bij een constante snelheid van 20 km/h. Een benzinemotor zou hier 10 centiliter benzine voor nodig gehad hebben. Uiteraard bepaalt de fietser de snelheid. In de handremmen van de fiets zijn twee microschakelaars ingebouwd, die een signaal afgeven aan de elektromagnetische remmen in de fietskar. De fabrikant overweegt om de fietskar op zonne-energie te laten rijden door middel van zonnecellen op het deksel.



naar: *Technisch Weekblad*, 9 mei 2001

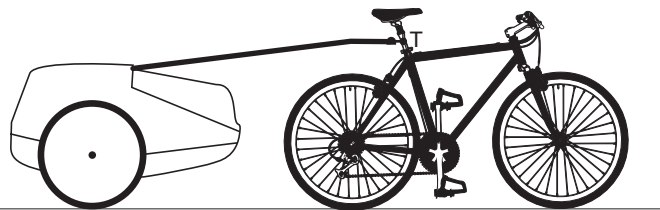
Zonder dat de berijder hoeft te trappen, legt zij een afstand van 35 m af bij het optrekken van 0 tot 20 km h⁻¹.

Ga ervan uit dat de beweging eenparig versneld is.

4p **5** ☐ Bereken de versnelling tijdens het optrekken.

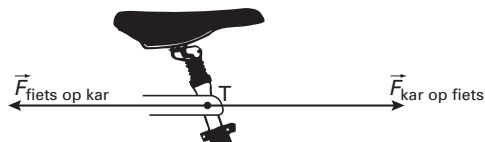
In figuur 3 zijn de fietskar en de fiets getekend. Hierin is T het punt waar de kar aan de fiets gekoppeld is. Het geheel rijdt met een constante snelheid van 20 km h^{-1} .

figuur 3



In figuur 4 zijn getekend: de kracht die de kar op de fiets in T uitoefent en de kracht die de fiets op de kar in T uitoefent. De fietser gaat harder rijden.

figuur 4

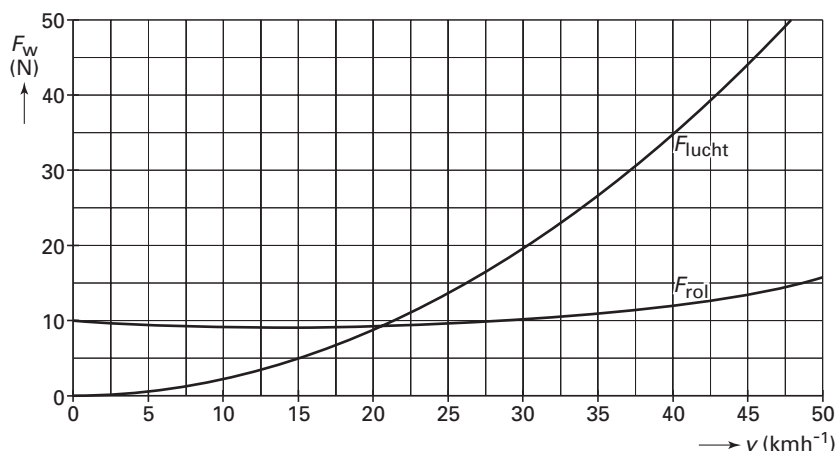


Figuur 4 is op de uitwerkbijlage nogmaals weergegeven. Op de uitwerkbijlage is nog een tweede figuur weergegeven, waarin de krachten niet zijn getekend.

- 3p **6** ☐ Schets in deze tweede figuur op de uitwerkbijlage de krachten $\vec{F}_{\text{kar op fiets}}$ en $\vec{F}_{\text{fiets op kar}}$ tijdens het versnellen. Geef een toelichting bij de grootte van de vectoren.

Figuur 5 toont de grafieken van de luchtweerstand F_{lucht} en de rolweerstand F_{rol} als functie van de snelheid.

figuur 5



De actieradius is de maximale afstand die door het voertuig met een volle accu afgelegd kan worden als er niet wordt getrapt.

Aangenomen mag worden dat de totale hoeveelheid energie die een volle accu kan leveren bij elke snelheid hetzelfde is.

- 4p **7** ☐ Bepaal met behulp van figuur 5 en de gegevens uit het artikel de actieradius bij een constante snelheid van 40 km h^{-1} .

In het artikel worden de elektromotoren vergeleken met een benzinemotor. Het rendement van de elektromotoren is 3,0 keer zo groot als het rendement van een benzinemotor.

- 5p **8** ☐ Bereken met behulp van de gegevens uit het artikel en figuur 5 het rendement van de elektromotoren bij een constante snelheid van 20 km h^{-1} .

Volgens het artikel overweegt de fabrikant om de fietskar te laten rijden op zonnecellen op het deksel van de kar. Om de fiets, berijder en fietskar met een constante snelheid van 20 km h^{-1} te laten rijden, moeten de zonnecellen samen een vermogen van $1,1 \cdot 10^2 \text{ W}$ kunnen leveren.

Men wil een type zonnecel gebruiken dat een stroomsterkte van $2,0 \text{ mA}$ levert bij een spanning van $3,0 \text{ V}$.

De oppervlakte van zo'n zonnecel is $4,5 \text{ cm}^2$.

- 4p **9** ☐ Ga met een berekening van de benodigde oppervlakte na of dit type zonnecel hiervoor geschikt is.

De elektromotoren in de fietskar bevatten elk een cilindervormige kern met daaromheen een spoel in een uitwendig magneetveld. Zie figuur 6.

De commutator van de elektromotor draait tussen de contactpunten P en Q. P is aangesloten op de positieve pool van de accu, Q op de negatieve pool.

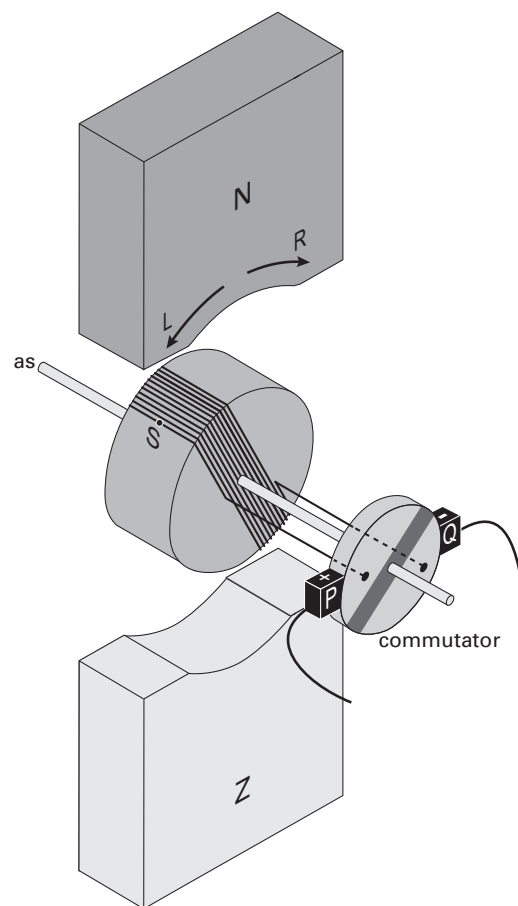
figuur 6

Figuur 6 staat in vooraanzicht weergegeven op de uitwerkbijlage.

- 3p **10** ☐ Beredeneer of de motor linksom (L) of rechtsom (R) draait. Geef daartoe in de figuur op de uitwerkbijlage de richtingen aan van $\vec{I}$, $\vec{B}$ en $\vec{F}_L$ in het punt S.

Bij het inknijpen van de handremmen wordt de stroom naar de elektromotoren onderbroken. Omdat de wielen van de fietskar nog draaien, gaat de elektromotor werken als een dynamo, die de opgewekte energie weer teruglevert aan de accu's. De inductiestroom, die in de spoel ontstaat, ondervindt vanwege het uitwendige magneetveld een lorentzkracht tegen de draairichting van de cilindervormige kern in. De zo opgewekte lorentzkracht is daarmee de kracht die de fietskar afremt.

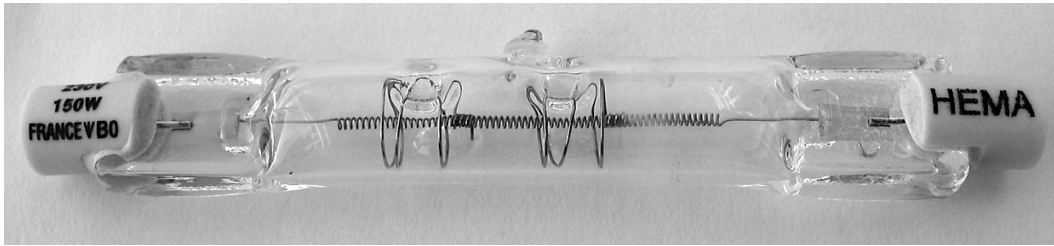
- 3p **11** ☐ Leg uit dat de remkracht groter is naarmate de fietssnelheid groter is.



Opgave 3 Halogeenlamp

In figuur 7 zie je een 2,0 keer vergrote afbeelding van een buisvormige halogeenlamp.

figuur 7



Oscar en Loes doen een onderzoek aan deze halogeenlamp.

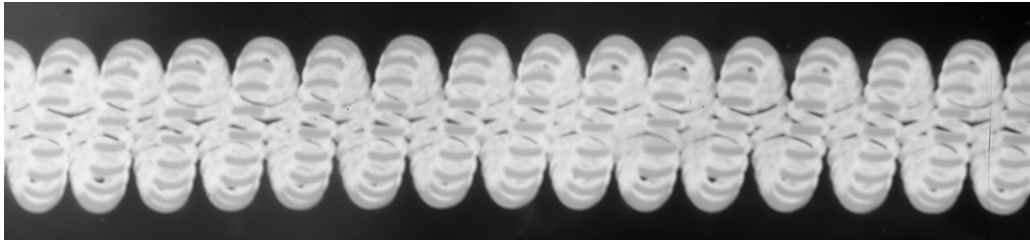
Ze beelden met een lens de gloeidraad van de brandende lamp sterk vergroot af op een wand van het natuurkundelokaal.

Op de uitwerkbijlage is de situatie getekend. Deze figuur is niet op schaal.

- 4p **12** ☐ Construeer in de figuur op de uitwerkbijlage de plaats van de lens en de bijbehorende brandpunten.

In figuur 8 zie je een deel van het beeld op de wand op ware grootte.

figuur 8



De brandpuntsafstand van de gebruikte lens is 50 mm.

- 4p **13** ☐ Bepaal de beeldafstand bij deze afbeelding. Bepaal daartoe eerst uit figuur 7 en 8 de vergrotingsfactor.

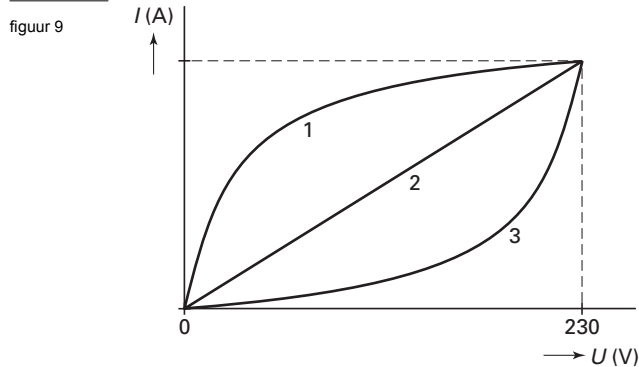
Uit het beeld op de wand kunnen ze zien dat de gloeidraad dubbelgewonden is.

De diameter van de gloeidraad is $40\text{ }\mu\text{m}$. De gloeidraad is gemaakt van wolfram.

Met behulp van een weerstandsmeter vinden zij dat bij kamertemperatuur de weerstand van de gloeidraad $24\text{ }\Omega$ bedraagt.

- 3p **14** ☐ Bereken de lengte van de gloeidraad.

Met behulp van een dimmer kunnen Loes en Oscar de spanning over de halogeenlamp langzaam opvoeren van 0 tot 230 V. Bij verschillende waarden van de spanning willen zij de stroomsterkte door de lamp meten. Zij maken daartoe eerst een voorspelling van de vorm van de (I, U) -karakteristiek. Zij discussiëren over drie verschillende mogelijkheden: 1, 2 en 3. Zie figuur 9.



- 2p **15** ☐ Leg uit welke van de mogelijkheden 1, 2 of 3 het beste overeenkomt met de te meten grafiek.

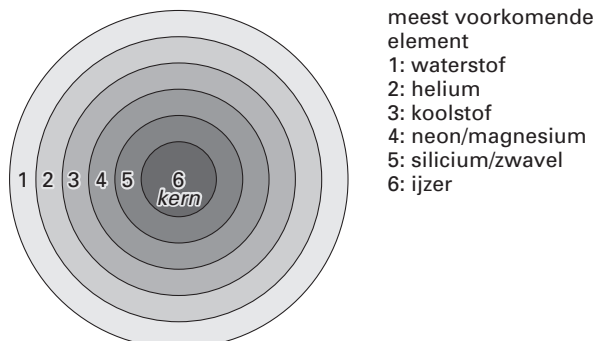
Bij de productie van halogeenlampen worden deze bij een temperatuur van $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een druk van $1,4 \cdot 10^5\text{ Pa}$ met een gasmengsel gevuld. Als de lamp brandt, loopt de temperatuur op tot $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Neem aan dat het volume van het gasmengsel constant blijft. Het gasmengsel gedraagt zich als een ideaal gas.

- 3p **16** ☐ Bereken de druk van het gasmengsel bij een temperatuur van $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Opgave 4 Supernova

Een middelzware ster zoals de zon krijgt zijn energie uit de fusie van waterstof tot helium in zijn kern. Bij zwaardere sterren gaat de fusie verder. De kern van een zware ster bestaat na een tijd voornamelijk uit ijzer in de vorm van plasma. Het fusieproces stopt dan omdat de vorming van nog zwaardere elementen geen energie meer oplevert, maar juist energie kost. De sterkern begint dan te krimpen. Zonder energiebron is de druk in de kern namelijk niet hoog genoeg om het gewicht van de buitenlagen te weerstaan.

figuur 10



Figuur 10 geeft de schematische opbouw van een zware ster, Rigel-A, een “blauwe superreus” met een massa van $5 \cdot 10^{31}$ kg en een straal van $8 \cdot 10^{10}$ m. De straal van de kern is in vergelijking hiermee verwaarloosbaar.

Een ruwe schatting van de druk op de kern kan worden gemaakt met de formule:

$$p = \rho gh$$

Hierin is:

- ρ de gemiddelde dichtheid van de ster;
- g de valversnelling aan het steroppervlak van Rigel-A, deze bedraagt $0,5 \text{ ms}^{-2}$;
- h de straal van de ster.

3p **17** ☐ Bereken met bovenstaande formule de druk op de kern van Rigel-A.

Het plasma waaruit de kern bestaat geleidt zeer goed. Als gevolg hiervan is op de elektronen in goede benadering het deeltje-in-een-doos model van toepassing. De doos is in dit geval de hele sterkern.

4p **18** ☐ Leg met behulp van de golflengte van de Broglie uit dat de kinetische energie van de elektronen toeneemt als de sterkern krimpt.

De energie van de elektronen zal steeds verder toenemen. Hierdoor treedt in sommige atoomkernen elektronvangst op en wordt een proton omgezet in een neutron en een neutrino.

3p **19** ☐ Teken het reactiediagram van de elektronvangst door een proton.

Een kernreactie waarbij elektronvangst plaatsvindt is de vorming van ijzer-59 uit kobalt-59.

4p **20** ☐ Bereken hoeveel energie het elektron minimaal moet hebben om deze reactie tot stand te brengen. Neem aan dat de kobaltkern stilstaat.

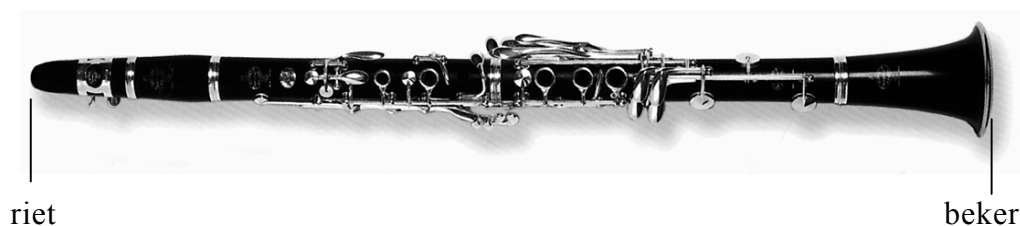
Ijzer-59 vervalst via β^- -verval terug naar kobalt-59. Op een bepaald moment wordt de energie van de elektronen zo groot, dat deze reactie-cyclus op grote schaal heel vaak herhaald wordt. Door de enorme hoeveelheid energie die nu binnen enkele seconden ontsnapt stort de kern in. In de buitenlagen zorgt dit voor een schokgolf die tevens een kernfusiegolf veroorzaakt. Samen met de zwaartekracht op de naar binnen vallende lagen levert dit de energie voor een supernova-explosie, waarbij het stralingsvermogen van de ster met een factor 10^{11} toeneemt. Daarna dooft de ster geleidelijk uit.

2p **21** ☐ Leg uit waardoor een groot deel van de energie die bij de elektronverval- en elektronvangstreacties vrijkomt direct uit de ster kan ontsnappen.

Opgave 5 Klarinet

Een klarinet is een houten blaasinstrument. Zie figuur 11.

figuur 11



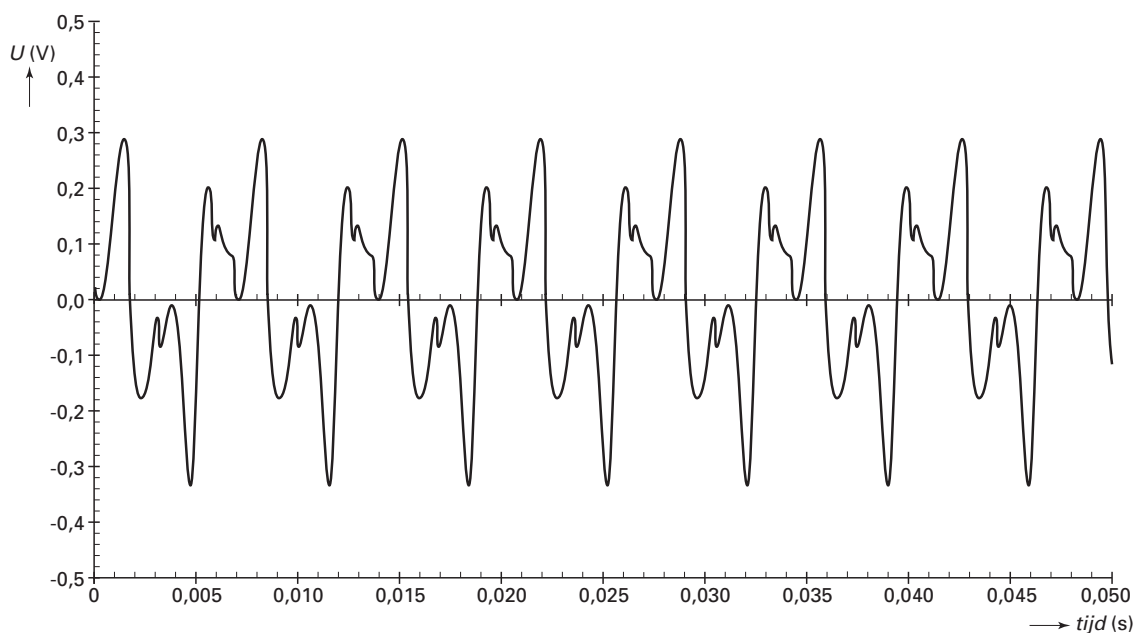
Aan het mondstuk van de klarinet zit een zogeheten “riet”.

Bij het aanblazen van de klarinet gaat dit riet trillen. Deze trilling brengt de luchtkolom in het middenstuk van de klarinet in een staande golfbeweging. In de klarinet zitten gaten. Door één of meer van deze gaten te sluiten, kunnen verschillende tonen worden gemaakt. Zo'n toon is geen zuivere harmonische trilling, maar een samenstelling van meerdere harmonische trillingen: een trilling met de grondfrequentie en trillingen met veelvouden van deze grondfrequentie. Als alle gaten gesloten zijn, produceert de klarinet zijn laagste toon.

Bij het open uiteinde (de beker) van de klarinet plaatst men een microfoon.

In figuur 12 is het uitgangssignaal van de microfoon weergegeven als functie van de tijd bij de laagste toon van de klarinet. Bij deze meting was de temperatuur van de lucht in de klarinet 20 °C.

figuur 12

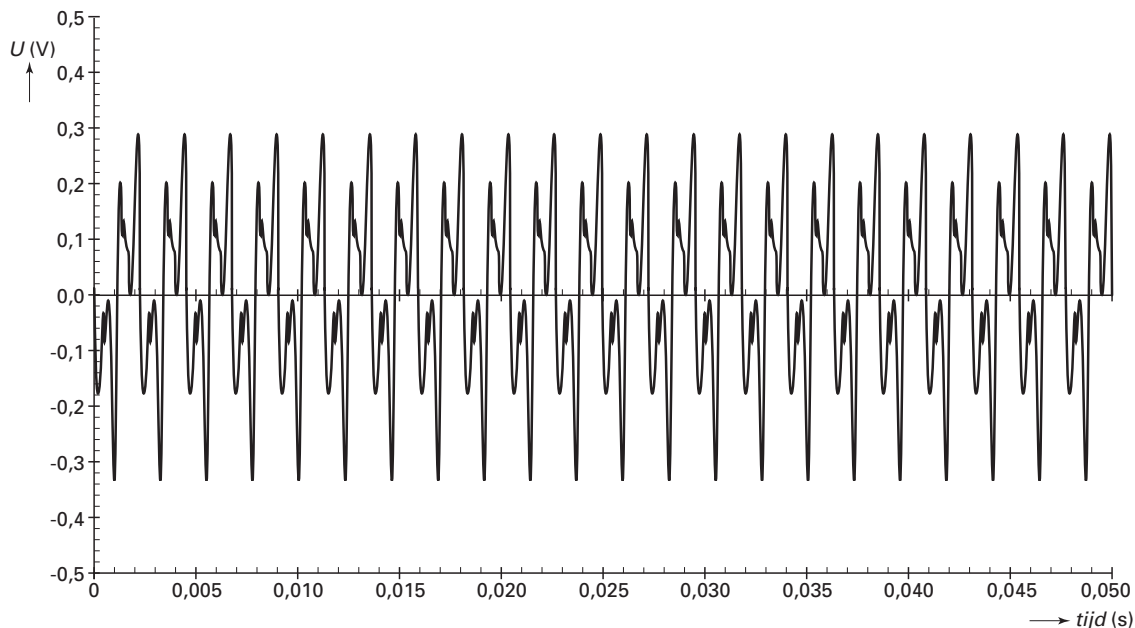


3p **22** □ Bepaal de grondfrequentie van de laagste toon van de klarinet.

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

De eerste boventoon van de laagste toon kan gemaakt worden door een bepaald gat te openen. Figuur 13 toont het uitgangssignaal van de microfoon bij deze boventoon.

figuur 13



- 3p **23** ☐ Leg uit of de kant van het riet opgevat kan worden als een gesloten of een open uiteinde.

Op een andere dag worden dezelfde metingen herhaald. Nu blijkt dat de frequentie van de eerste boventoon van de klarinet 3 Hz lager is dan de frequentie die hoort bij figuur 13.

- 3p **24** ☐ Laat met behulp van een berekening zien of het verschil van 3 Hz het gevolg zou kunnen zijn van een eventueel temperatuurverschil tussen beide dagen.

Bij een bepaalde toon wordt op een afstand van 30 cm recht voor de beker van de klarinet een geluids(druk)niveau van 75 dB gemeten. Veronderstel dat het instrument steeds dezelfde toon met gelijk vermogen produceert. Behalve de toon van de klarinet is er geen geluid te horen.

- 4p **25** ☐ Bereken het geluids(druk)niveau op 1,50 meter van de beker.

Einde