

Voor dit examen zijn maximaal 86 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 7, 14, 16 en 19 is een bijlage 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 Seconde

Een van de eerste klokken waarmee men redelijk nauwkeurig de tijd kon meten, was het door Christiaan Huygens ontwikkelde slingeruurwerk.

3p **1** Bereken de lengte van een slinger waarvan de periode 1,00 s is.

Sinds 1967 definieert men de precieze duur van de seconde met behulp van zogenoemde atoomklokken. Hierbij gebruikt men straling met een bepaalde golflengte die door een cesium-133 atoom wordt geabsorbeerd. De seconde is per definitie de duur van 9192631770 periodes van deze straling.

2p **2** Tot welk deel van het elektromagnetische spectrum behoort deze straling? Licht je antwoord toe.

Om de nauwkeurigheid te verhogen, wordt de meting van de seconde sinds 1997 uitgevoerd aan cesiumatomen met een lage snelheid. Daartoe wordt het cesium sterk afgekoeld. Men gebruikt daarbij een gas dat men adiabatisch laat expanderen. Ga ervan uit dat het gas niet vloeibaar wordt.

4p **3** Leg met behulp van de eerste hoofdwet van de warmteleer uit waarom bij adiabatische expansie de temperatuur van een gas daalt.

Opgave 2 Millenniumrad

Aan de oever van de Theems in Londen werd voor de start van het jaar 2000 een enorm reuzenrad gebouwd: het Millenniumrad. De foto in figuur 1 werd genomen toen men bezig was het rad omhoog te trekken.

figuur 1



Een gebouw op de achtergrond is sterker verkleind dan de boot op de voorgrond. Voor deze twee voorwerpen geldt dat hun lineaire vergroting N omgekeerd evenredig is met hun afstand v tot de fotograaf, dus $N_{\text{boot}} : N_{\text{gebouw}} = v_{\text{gebouw}} : v_{\text{boot}}$. Iemand beweert dat deze relatie geldt omdat beide voorwerpen ver verwijderd zijn van de fotograaf.

4p **4** Ben je het met deze bewering eens? Licht je antwoord toe.

Het Millenniumrad heeft een straal van 75,5 m. De autobus op de brug in het midden van de foto heeft een lengte van 10 m.

3p **5** Toon met behulp van de foto aan dat de as van het rad ongeveer twee keer zo ver van de fotograaf verwijderd was als de autobus in het midden van de foto.

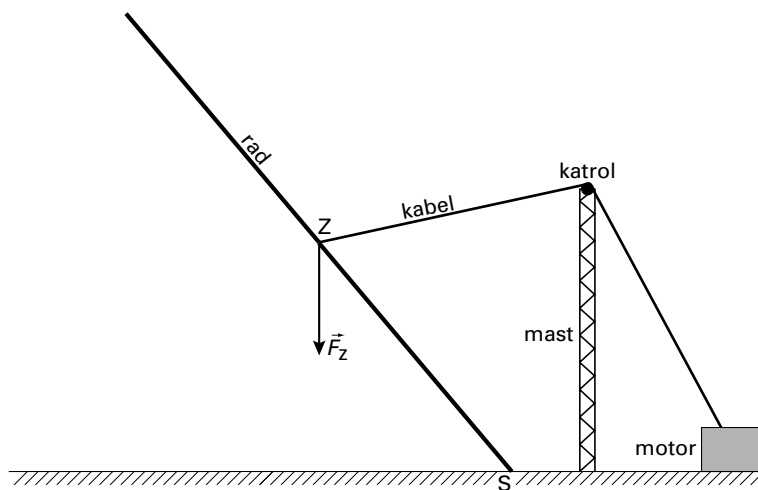
Vanaf de plaats waar hij de foto nam, kon de fotograaf het rad zonder zijn fototoestel te gebruiken alleen maar scherp zien dankzij zijn contactlenzen. Zonder contactlenzen kan de fotograaf dichtbij wél scherp zien.

2p **6** Leg uit of de fotograaf negatieve of positieve contactlenzen droeg.

Op de foto kun je zien dat het rad met één kabel omhoog werd getrokken. De kabel was in het zwaartepunt Z van het rad vastgemaakt en liep via een katrol op een mast naar een motor op de grond. Tijdens het omhoogtrekken werd het rad aan één kant in een punt S op de grond vastgehouden, zodat het om dit punt kon kantelen.

In figuur 2 is een schematisch zijaanzicht getekend van een situatie waarin het rad stil hangt.

figuur 2

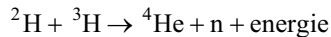


Het rad heeft een massa van $1,5 \cdot 10^3$ ton. De zwaartekracht op het rad is met een pijl in de figuur aangegeven. Figuur 2 is op schaal en staat vergroot op de bijlage.

4p **7** Bepaal met behulp van de momentenwet de grootte van de kracht die de kabel in deze situatie op het rad uitoefent. Geef daartoe in de figuur op de bijlage de arm aan van deze kracht en die van de zwaartekracht ten opzichte van het kantelpunt S .

Opgave 3 Kernfusiereactor

Natuurkundigen proberen een kernfusiereactor te ontwerpen die in de toekomst de mensheid van energie kan voorzien. Kernfusie kan verlopen via de volgende reactie:



Voordat tot de bouw van dit soort kernfusiereactoren wordt besloten, wordt eerst berekend hoe lang de mensheid van deze energiebron zou kunnen profiteren.

Het benodigde tritium (${}^3\text{H}$) komt nauwelijks in de natuur voor maar kan gemaakt worden uit lithium (${}^6\text{Li}$). De beschikbare hoeveelheid ${}^6\text{Li}$ wordt geschat op $7,5 \cdot 10^8$ kg. Men gaat er van uit dat het gemiddelde energieverbruik per persoon per dag gelijk is aan 50 kWh.

- 3p **8** Noem drie van de gegevens die nog nodig zijn om te berekenen hoe lang kernfusie in de totale energiebehoefte van de wereldbevolking kan voorzien.

Helaas brengen fusiereactoren ook risico's met zich mee: er is kans op het ontsnappen van radioactief tritium (${}^3\text{H}$).

- 3p **9** Geef de vervalreactie van tritium.

Stel je de volgende situatie voor. In zo'n centrale ontsnapt een hoeveelheid radioactief tritium uit de reactorkern en blijft in de centrale achter. Eén van de werknemers wordt 1,5 minuut blootgesteld aan de β -straling van het ontsnapte tritium.

Hij kan voorkomen dat hij radioactief materiaal inademt, maar per cm^2 wordt zijn huid getroffen door $1,7 \cdot 10^7$ β -deeltjes per seconde.

Neem aan dat $6,0 \text{ dm}^2$ huidoppervlak bestraald is.

De β -straling dringt $80 \mu\text{m}$ in het huidweefsel door.

De massa van $1,0 \text{ cm}^3$ huidweefsel is 1,0 gram.

De gemiddelde energie van een β -deeltje is 0,013 MeV.

Het ontvangen dosisequivalent H kan berekend worden met de formule

$$H = Q \frac{E}{m}$$

Hierin is

- Q de kwaliteitsfactor (weegfactor). Deze is voor β -straling gelijk aan 1.
- E de ontvangen energie;
- m de massa van het bestraalde weefsel.

- 5p **10** Zoek in tabel 99E van het informatieboek Binas de dosislimiet per jaar op en ga met een berekening na of alleen al door dit ene ongeluk de limiet wordt overschreden.

Een GM-buis registreert op de plaats waar het tritium ontsnapt is $9,2 \cdot 10^3$ pulsen per seconde. Neem aan dat de centrale in beton wordt gegoten, zodat het tritium de centrale niet uit kan.

De achtergrondstraling is verwaarloosbaar.

- 3p **11** Bereken na hoeveel jaar de GM-buis minder dan 6,0 pulsen per seconde zou registreren als deze zou blijven werken.

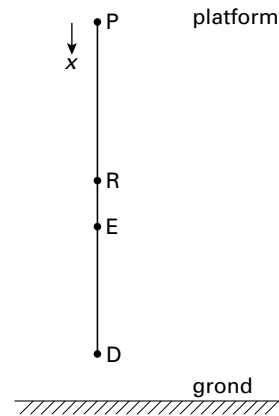
Opgave 4 Bungee jump

Joop mag voor zijn verjaardag op kosten van zijn vrienden een bungee jump maken. Een 15 m lang, elastisch koord is aan één kant vastgemaakt aan een platform en aan de andere kant aan Joop. Hij laat zich zonder beginsnelheid van het platform vallen. Zie figuur 3. In het laagste punt van de 'sprong' is het koord 20 m uitgerekt.

figuur 3



figuur 4



3p **12** Bereken de snelheid na 15 m vallen. Verwaarloos wrijvingskrachten.

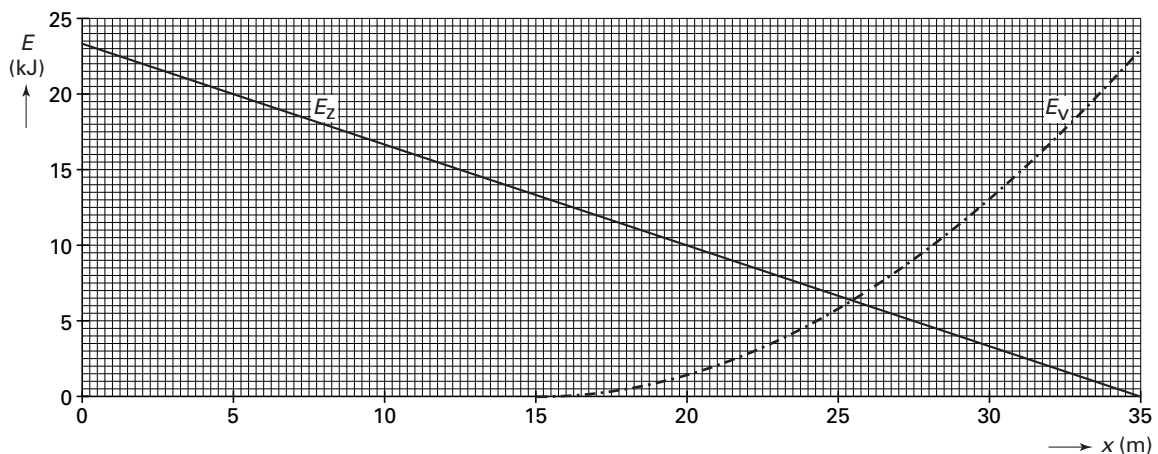
Voor een natuurkundige beschrijving van de sprong zijn vier punten op verschillende hoogten interessant. In de schematische tekening in figuur 4 zijn deze punten met letters aangegeven:

- P is het platform waar de sprong begint;
- R is de plaats (15 m onder P) waar het koord begint uit te rekken;
- E is de evenwichtsstand waar Joop aan het einde van de sprong in rust blijft hangen voordat hij weer omhoog getrokken wordt;
- D is het laagste punt (35 m onder P).

4p **13** Beredeneer of Joop op het traject van R naar E versnelt of vertraagt. Verwaarloos wrijvingskrachten.

In figuur 5 zijn de zwaarte-energie E_z van Joop ten opzichte van punt D en de veerenergie E_v van het koord uitgezet tegen de valafstand x , die gemeten wordt ten opzichte van punt P.

figuur 5



Figuur 5 staat ook op de bijlage.

4p **14** Teken in de figuur op de bijlage de grafiek voor de kinetische energie van Joop als functie van de valafstand x . Verwaarloos wrijvingskrachten.

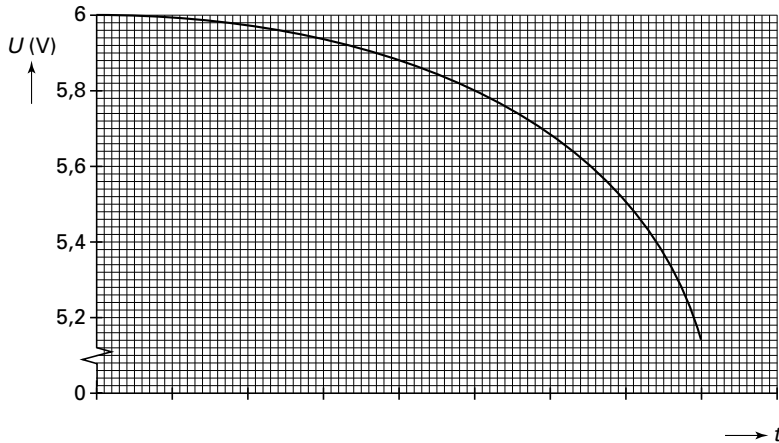
In werkelijkheid spelen wrijvingskrachten bij bungeejumpen een belangrijke rol. Dat kun je zien als je naar een bungee jump staat te kijken.

2p **15** Leg uit waaraan je dat kunt zien.

Opgave 5 Controlelampje

Een draagbare radio werkt op vier in serie geschakelde batterijen van 1,5 V. De spanning is kleiner naarmate er meer energie aan de batterijen is onttrokken. In figuur 6 is de totale spanning over de batterijen uitgezet als functie van de tijd dat de radio aan staat.

figuur 6



- 2p **16** Laat met behulp van de figuur op de bijlage zien dat de gemiddelde spanning over de periode dat de spanning van 6,0 V tot 5,2 V daalde gelijk is aan 5,8 V.

De batterijen moeten vervangen worden als de spanning gedaald is tot 5,2 V. Volgens een mededeling op de verpakking hebben ze dan gezamenlijk 700 mAh geleverd. Deze grootte zegt iets over de levensduur van de batterij bij een bepaalde stroomsterkte. Bijvoorbeeld: bij een constante stroomsterkte van 700 mA is de spanning over de batterijen na 1 uur gezakt tot 5,2 V; bij een constante stroomsterkte van 100 mA na 7 uur, enzovoorts. De batterijen hebben samen f 6,95 gekost.

- 4p **17** Bereken de prijs per kWh uit deze vier batterijen.

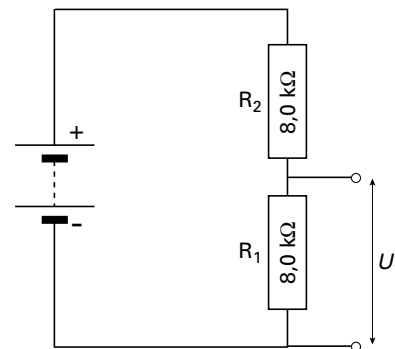
Op de radio zit een controlelampje (een LED) dat gaat knipperen als de batterijen vervangen moeten worden. Een LED (Light Emitting Diode) is een diode die licht uitzendt als er een elektrische stroom door loopt.

Om de spanning te meten, is in de radio een spanningsdeler op de batterijen aangesloten. Zie figuur 7.

Deze spanningsdeler bestaat uit twee weerstanden R_1 en R_2 van ieder 8,0 k Ω . Ook als de radio uit staat, loopt er een stroom door de weerstanden. Daarom wordt aangeraden de batterijen te verwijderen als de radio lange tijd niet gebruikt wordt.

Iemand vergeet dit en zet de radio met volle batterijen weg.

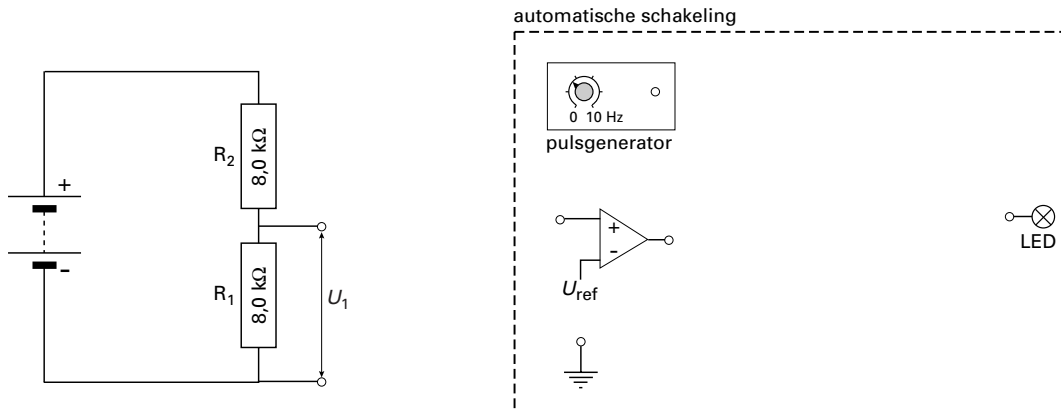
figuur 7



- 4p **18** Bereken hoe lang het duurt voordat de LED gaat knipperen.

De spanning U_1 over weerstand R_1 is het ingangssignaal voor een automatische schakeling. Deze schakeling zorgt ervoor dat de LED uit is als de spanning over de batterijen groter is dan 5,2 V en knippert als die spanning 5,2 V of lager is. Voor het verwerken van het ingangssignaal bevat de schakeling onder meer een comparator. Zie figuur 8.

figuur 8

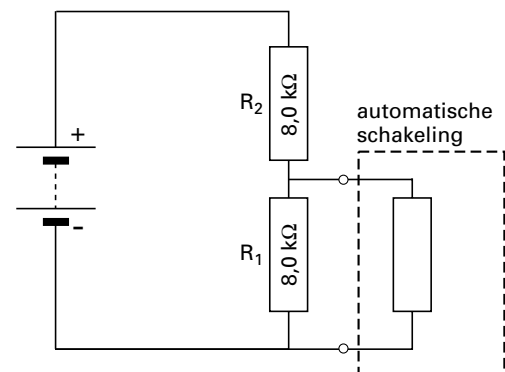


In de figuur zijn ook een pulsgenerator, de LED en een aansluiting voor 'aarde' of 'massa' getekend. Overige benodigde componenten zijn niet getekend. Figuur 8 staat ook op de bijlage.

- 5p **19** Teken in de figuur op de bijlage een automatische schakeling die aan de gestelde voorwaarden voldoet.

De automatische schakeling blijkt aan de spanningsdeler een kleine elektrische stroom te onttrekken. De automatische schakeling gedraagt zich als een apparaat met een grote, maar niet oneindige weerstand. Dit is vereenvoudigd weergegeven in figuur 9.

figuur 9

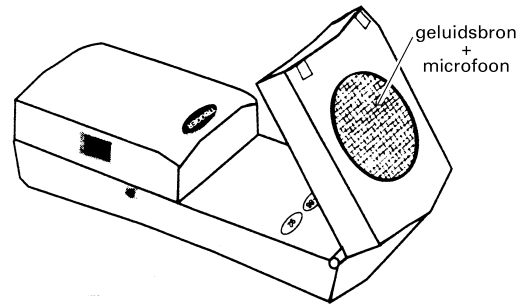


- 4p **20** Leg uit of de referentiespanning in de automatische schakeling lager of hoger dan 2,6 V moet worden ingesteld om het controlelampje nog steeds vanaf het juiste moment te laten knippen.

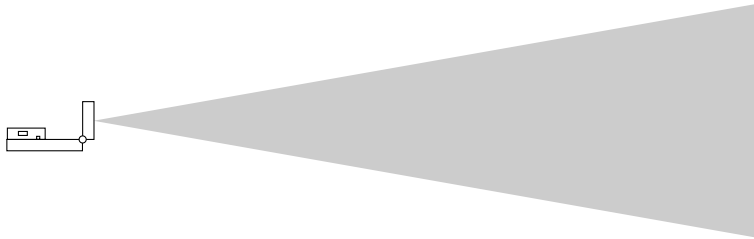
Opgave 6 Bewegingssensor

Het in figuur 10 afgebeelde apparaat is een bewegingssensor. Achter de cirkelvormige opening bevindt zich een geluidsbron die ultrasone pulsen uitzendt. Ultrasoon geluid bestaat uit geluidsgolven met frequenties die groter zijn dan 20 kHz. Het ultrasone geluid verspreidt zich in een kegelvormige bundel. Zie figuur 11.

figuur 10



figuur 11



Voorwerpen binnen deze bundel kaatsen geluid terug in de richting van de geluidsbron. Deze echo wordt geregistreerd door een microfoon die zich ook achter de cirkelvormige opening bevindt.

Volgens een vuistregel kaatst een voorwerp alleen een goed waarneembare echo terug als de diameter van het voorwerp groter is dan de golflengte van het geluid.

Met de afgebeelde sensor wil men de beweging van een slingerend koord met een diameter van 2,0 mm volgen.

- 4p **21** Ga na of volgens de vuistregel ultrasone golven met een frequentie $f = 2,9 \cdot 10^5$ Hz hiervoor geschikt zijn.

De sensor meet de tijd Δt die verstrijkt tussen het begin van een puls en het begin van de echo die hierna arriveert. Met behulp van dit gegeven berekent de sensor de afstand tot het voorwerp. De sensor gebruikt als geluidssnelheid altijd de waarde bij 20 °C.

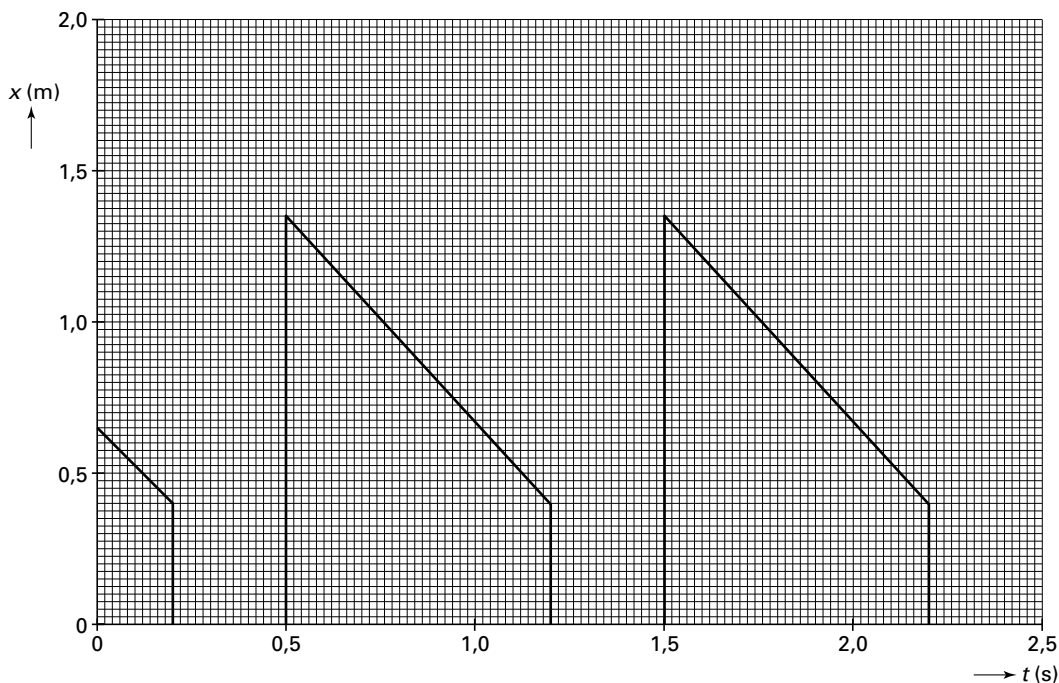
- 3p **22** Leg uit of de sensor een te grote of een te kleine afstand berekent als de temperatuur tijdens de meting hoger is dan 20 °C.

Objecten die ver weg zijn kaatsen een te zwakke echo terug. De sensor kan ze hierdoor niet registreren.

- 4p **23** Bereken het verschil in geluidsterkte (in decibel) tussen een uitgezonden puls die een afstand van 1,5 m heeft afgelegd en dezelfde puls die een afstand van 6,0 m heeft afgelegd.

Frans wil een eenparige beweging registreren. Hiertoe loopt hij met constante snelheid in de richting van een muur van het klaslokaal, die hij na 2,5 s bereikt. Tijdens het lopen houdt hij de sensor voortdurend op de muur gericht. Frans laat de meetgegevens door een computer verwerken tot een (x,t) -grafiek. Zie figuur 12.

figuur 12



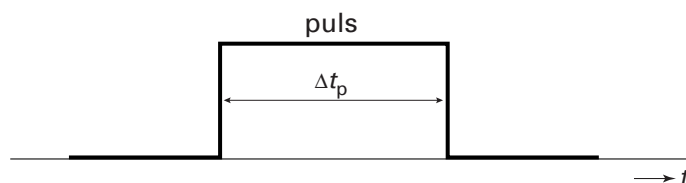
De grafiek is anders dan Frans had verwacht. Uit de grafiek is wel de juiste snelheid te bepalen, maar de afstanden van de sensor tot de muur zijn in de grafiek niet allemaal goed weergegeven.

Het lijkt alsof de sensor nooit meer dan 1,36 m van de muur verwijderd is geweest, terwijl Frans zeker weet dat hij op grotere afstand aan de meting begon. Toen Frans begon te lopen bevond hij zich op een afstand s van de muur.

3p **24** Leg uit hoe s met behulp van figuur 12 kan worden bepaald. Je hoeft de berekening niet uit te voeren.

Uit de grafiek blijkt ook dat de sensor soms helemaal geen meetwaarden heeft geregistreerd. Dat komt doordat de sensor geen echo's verwerkt als hij nog bezig is met het uitzenden van een puls. Bij het meten van afstanden kleiner dan 40 cm van de muur is een puls nog niet geheel verzonden als de echo van die puls al op de microfoon valt. De pulsduur Δt_p is de tijd tussen het begin en het einde van het uitzenden van een puls. Zie figuur 13.

figuur 13



4p **25** Bereken de pulsduur Δt_p .

Einde