

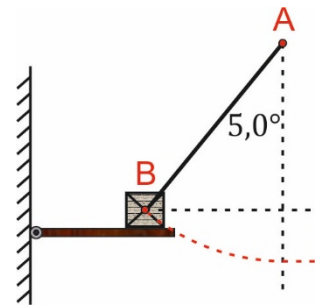
Noteer niet uitsluitend de antwoorden, maar ook je redeneringen (in correct Nederlands) en de formules die je gebruikt hebt! Maak daar waar nodig een schets van de situatie. Let op het juiste aantal significante cijfers en vergeet de eenheden niet! Maak de opgaven in de juiste volgorde en werk netjes.

**Met potlood geschreven tekst wordt niet gecorrigeerd!  
Het gebruik van Tipp-Ex is niet toegestaan.**

**Opgave 1**

Een massa van 1,5 kg is opgehangen aan een touw AB met een lengte van 2,5 m.

Men wil met de opstelling, zoals deze hiernaast is afgebeeld, slingerbewegingen bestuderen. Men wil men de massa heel gecontroleerd op tijdstip  $t = 0,0$  s vanuit steeds dezelfde hoogte loslaten. Daartoe plaatst men de massa op een plankje. Dit plankje kan op commando van een computer naar beneden wegklappen, waardoor de slingerbeweging start.



Voordat het experiment start ligt de massa in rust op het plankje. De spankracht in het touw AB bedraagt dan 10,0 N.

a) **Bereken** de wrijvingskracht die het plankje op het blokje uitoefent.

Op tijdstip  $t = 0$  s klappt het plankje omlaag.

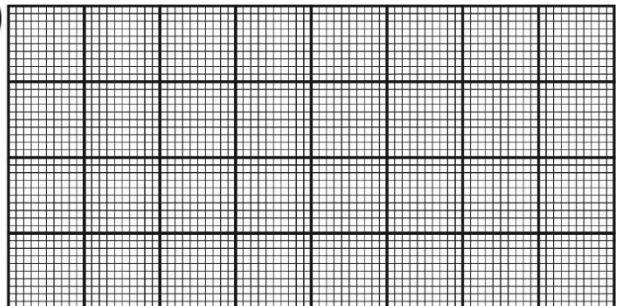
b) **Bereken** de snelheid waarmee massa B door de evenwichtstand gaat.

c) **Bereken** hoelang het duurt voordat massa B voor de tweede keer de evenwichtstand passeert.

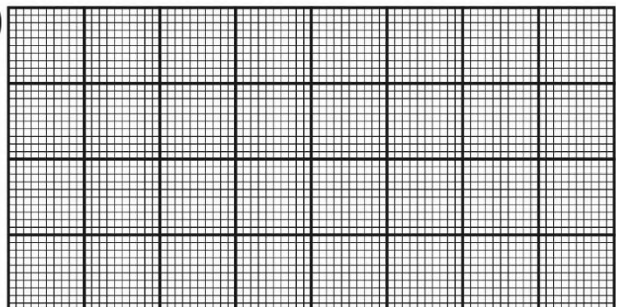
d) **Teken**, in nevenstaande afbeelding, onder elkaar het  $(u,t)$ - en het  $(v,t)$ -diagram voor deze beweging.

Geef twee trillingstijden weer op de tijd-as.

$u$  (m)



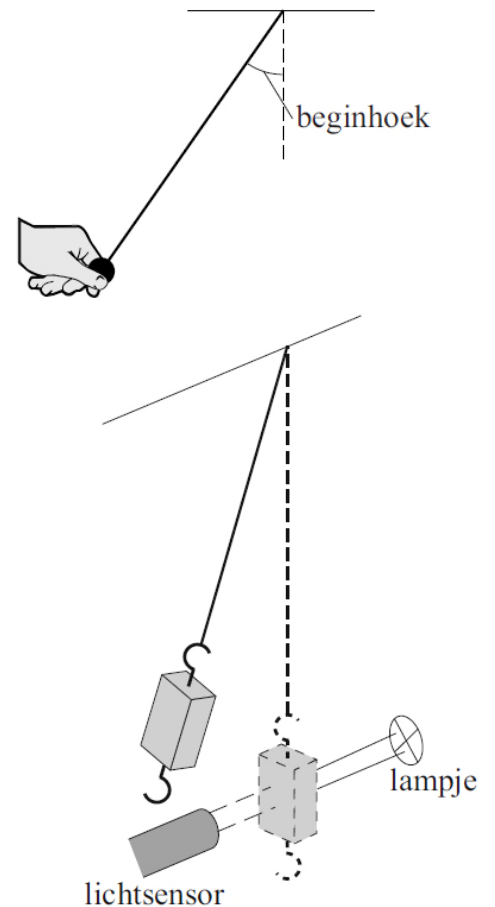
$v$  (m/s)



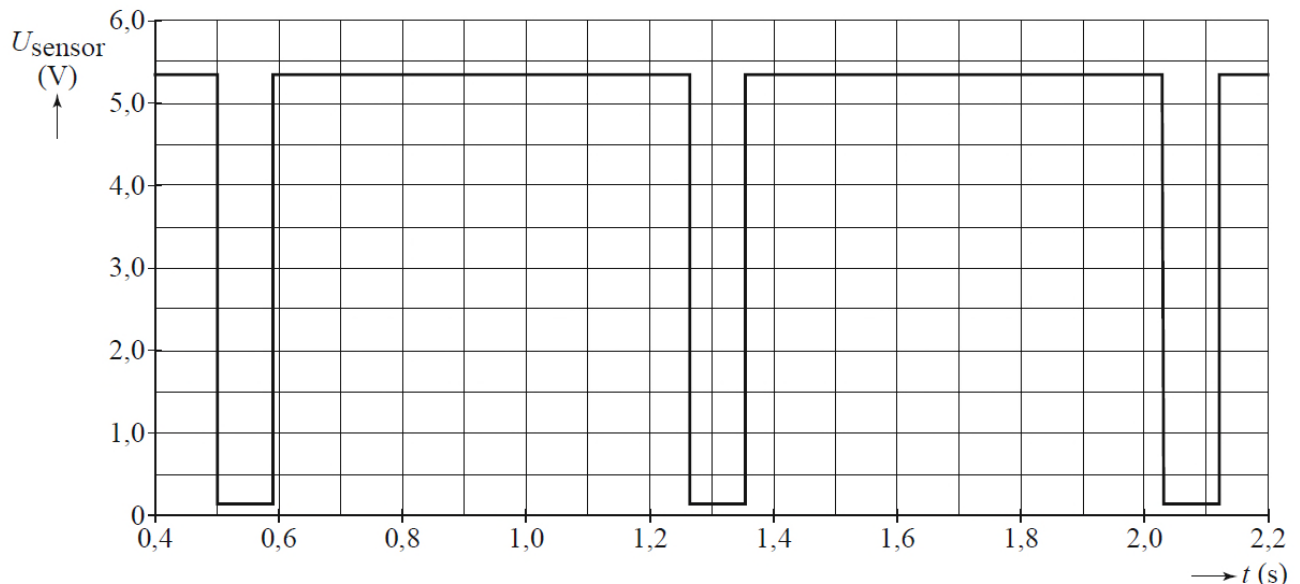
## Opgave 2

Lees eerst onderstaande tekst.

Al in de zeventiende eeuw hebben de natuurkundigen Galileo Galilei en Christiaan Huygens de slingerbeweging bestudeerd. Galilei schreef: "Elke slinger heeft zijn eigen, door de natuur gegeven slingertijd. Deze hangt niet af van het gewicht dat er aan hangt of van de beginhoek. De slingertijd hangt alleen af van de lengte van de slinger." Huygens was het er mee eens dat de slingertijd afhangt van de lengte van de slinger en niet van het gewicht dat er aan hangt. Maar volgens hem kan de beginhoek van de slinger wel degelijk van invloed zijn op de slingertijd, met name bij grote beginhoeken. Zie de nevenstaande afbeelding.



Hiske wil de beweringen van Galilei en Huygens controleren. Ze gebruikt de opstelling die in nevenstaande afbeelding schematisch is weergegeven. Steeds als het blokje de evenwichtsstand passeert, wordt de smalle lichtbundel die op de sensor valt even onderbroken. De lichtsensor is aangesloten op een computer die de sensorspanning meet als functie van de tijd. In onderstaande afbeelding staat de eerste meting van Hiske. Daarin heeft ze de slinger met een kleine beginhoek losgelaten.



- Bepaal** de lengte van de slinger met behulp van bovenstaande afbeelding. Het blokje heeft een breedte van 3,0 cm.
- Bepaal** met behulp van bovenstaande afbeelding de snelheid waarmee het blokje de evenwichtsstand passeert.

Om te controleren of de massa die aan de slinger hangt inderdaad geen invloed heeft op de slingertijd, hangt Hiske een tweede blokje aan het koord. Zij kan dat blokje onder of naast het eerste blokje hangen.

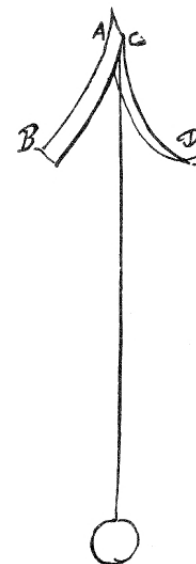
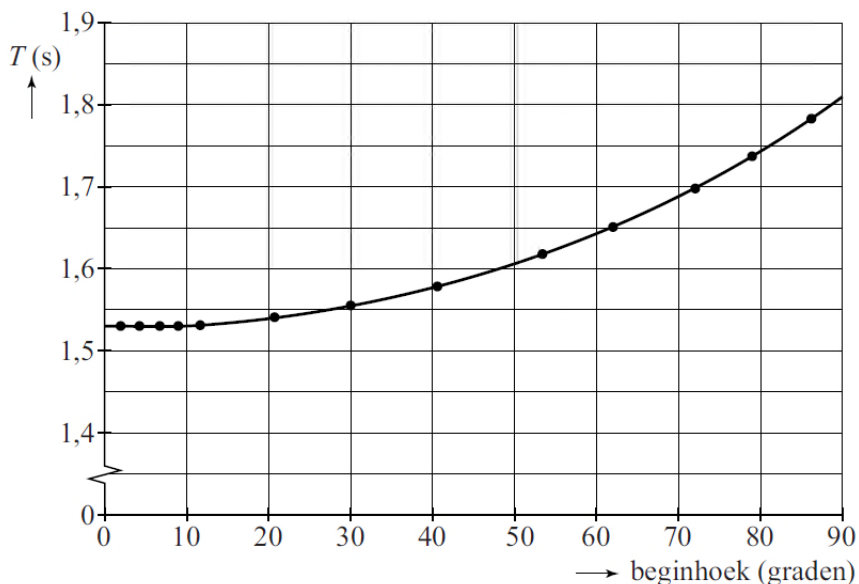
c) Welke manier is het beste? Licht je antwoord toe.

Om te onderzoeken of de beginhoek van invloed is op de slingertijd  $T$  laat Hiske de slinger bij een steeds grotere beginhoek los. Bij elke beginhoek wil ze met de computer zo nauwkeurig mogelijk de slingertijd bepalen. Ze overweegt de volgende twee methodes.

1. Bij elke beginhoek alleen de tijd meten van de eerste slingering, dit vijf keer herhalen en het gemiddelde van die metingen berekenen.
2. Bij elke beginhoek de tijd meten van de eerste vijf slingeringen en deze tijd delen door vijf.

d) Welke methode is voor dit onderzoek het beste? Licht je antwoord toe.

Haar metingen zijn verwerkt in de grafiek van onderstaande afbeelding.



**Slinger met cycloïdale boogjes, tekening door Huygens**

(uit: UBL, brief van Huygens aan P. Petit  
1 november 1658)

e) **Leg uit** tot welke beginhoek de uitspraak van Galilei klopt.

Uit bovenstaand diagram blijkt dat de slingertijd toeneemt als de beginhoek groter wordt. Huygens bedacht een methode om dit effect te compenseren. Bij het ophangpunt bracht hij twee speciaal gevormde boogjes aan. Zie bovenstaande afbeelding. Bij een grote hoek maakt de slinger contact met de boogjes. Daardoor verandert de slingerlengte.

f) **Leg uit** hoe de invloed van de beginhoek op de slingertijd op deze manier wordt gecompenseerd.