Examen VWO

2021

tijdvak 2
dinsdag 22 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Achter het correctievoorschrift is een aanvulling op het correctievoorschrift opgenomen.

Dit examen bestaat uit 23 vragen.
Voor dit examen zijn maximaal 73 punten te behalen.
Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

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.

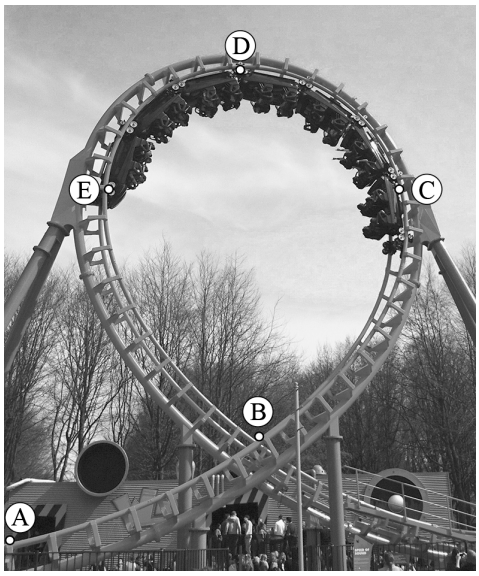
VW-1023-a-21-2-o

natuurkundeuitgelegd.nl

Looping

Een spectaculair onderdeel van veel achtbanen is de looping. Als het treintje van de achtbaan vanaf punt A door de looping beweegt, gaat de passagier 'over de kop'. Zie figuur 1.

figuur 1



Voordat het treintje bij punt A komt, rijdt het vanuit stilstand vanaf een bepaalde hoogte h boven punt A langs een helling naar beneden. (Dit is niet te zien in figuur 1.)
Het treintje heeft in punt A een snelheid van $27{,}8\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

3p **1** Bereken hoe groot deze hoogte h boven punt A minimaal moet zijn.

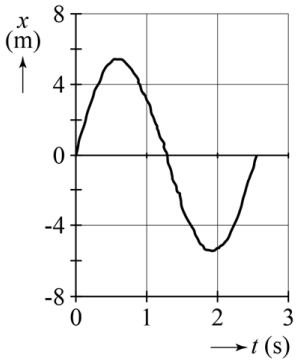
De passagier beweegt in baandeel CDE in een halve cirkel met een diameter van $11{,}0\ \mathrm{m}$.
Als de passagier zich in het hoogste punt van de looping bevindt (en dus ondersteboven hangt), mag hij niet uit het treintje vallen.
Hiervoor moet het treintje in het hoogste punt van de looping minimaal een bepaalde snelheid hebben.

3p **2** Bereken deze snelheid.

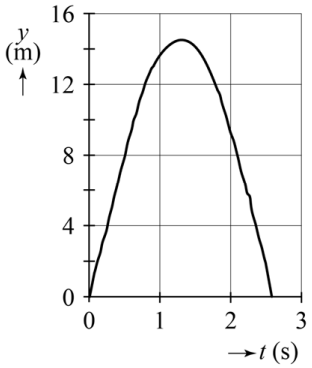
Ineke en Rob onderzoeken met videometen de beweging van het treintje door de looping. Ze hebben de beweging van het midden van de middelste wagon van het treintje gemeten. Punt B in figuur 1 wordt twee keer gepasseerd: één keer als het treintje de looping in beweegt en één keer als het treintje de looping weer verlaat. De richtingen omhoog en naar rechts worden als positief genomen.
Uit de videometing krijgen ze de grafieken van figuur 2 en 3.
In figuur 2 ((x,t)-diagram) is de beweging in de horizontale richting te zien.
In figuur 3 ((y,t)-diagram) is de beweging in de verticale richting te zien.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 2



figuur 3



Figuur 2 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage. Op $t = 0$ s passeert het treintje punt B.

1p **3** Geef in de figuur op de uitwerkbijlage aan op welk tijdstip het treintje punt E passeert.

Ineke en Rob willen de snelheid bepalen op het moment dat het treintje in punt B de looping ingaat. De grootheid snelheid is een vectorgrootheid, net als de grootheid kracht. Je kunt daarom de grootte van de snelheid op dezelfde manier uit zijn componenten berekenen als bij kracht. Op de uitwerkbijlage staan figuur 2 (nogmaals) en figuur 3 vergroot weergegeven.

5p **4** Bepaal met behulp van de figuren op de uitwerkbijlage de grootte van de snelheid op het moment dat het treintje in punt B de looping ingaat.

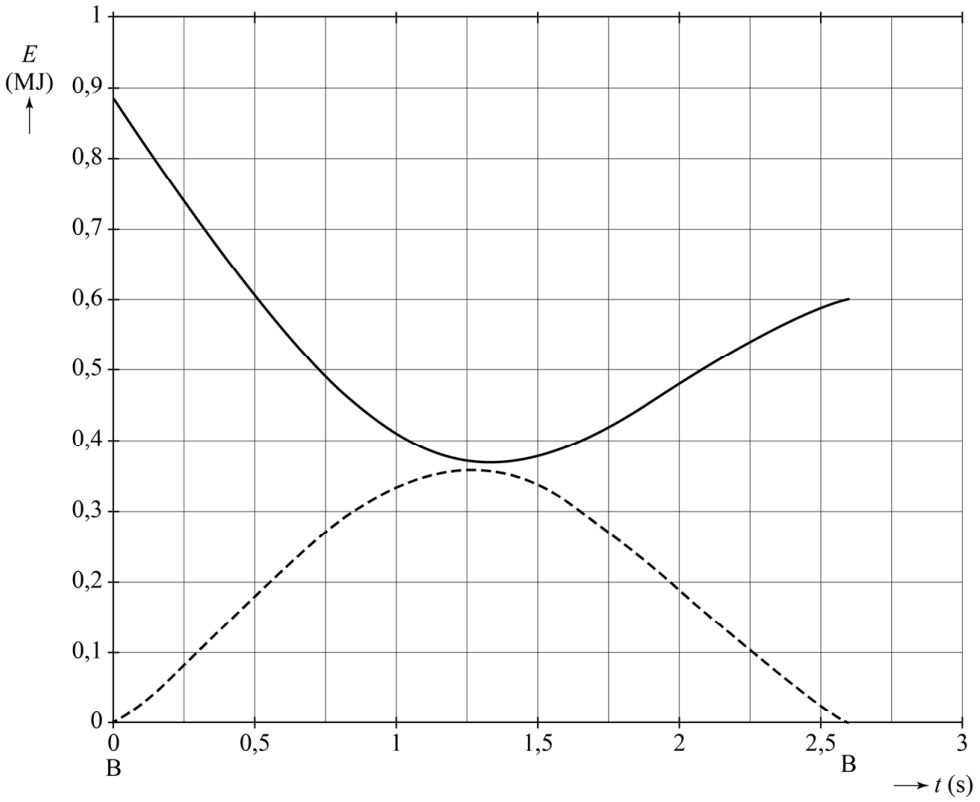
Ineke beweert dat de **voorste** wagon van het treintje het hoogste punt D met een grotere snelheid passeert dan de middelste wagon (zie figuur 1). Rob beweert dat de **achterste** wagon van het treintje het hoogste punt D met een grotere snelheid passeert dan de middelste wagon.

3p **5** Leg voor Ineke uit of ze gelijk heeft en leg voor Rob uit of hij gelijk heeft.

natuurkundeuitgelegd.nl

Punt B in figuur 1 wordt gepasseerd als het treintje de looping in beweegt en als het treintje de looping weer verlaat. Door wrijvingskrachten in de looping komt er warmte vrij.
In figuur 4 staan de kinetische energie en de zwaarte-energie tijdens de beweging van de middelste wagon door de looping (het traject BCDEB) uitgezet als functie van de tijd.

figuur 4



4p **6** Bepaal met behulp van de figuren 1 en 4 de gemiddelde wrijvingskracht die het treintje in het traject BCDEB ondervindt.

natuurkundeuitgelegd.nl

In het British Museum staat de beker van Lycurgus (zie figuur 1a en 1b). De kleur van het glas van deze beker hangt af van de belichting. Als de beker van **binnenuit** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een rode kleur. Als de beker van **buitenaf** wordt beschenen met wit licht, dan heeft de beker een groene kleur.

figuur 1a

rode kleur

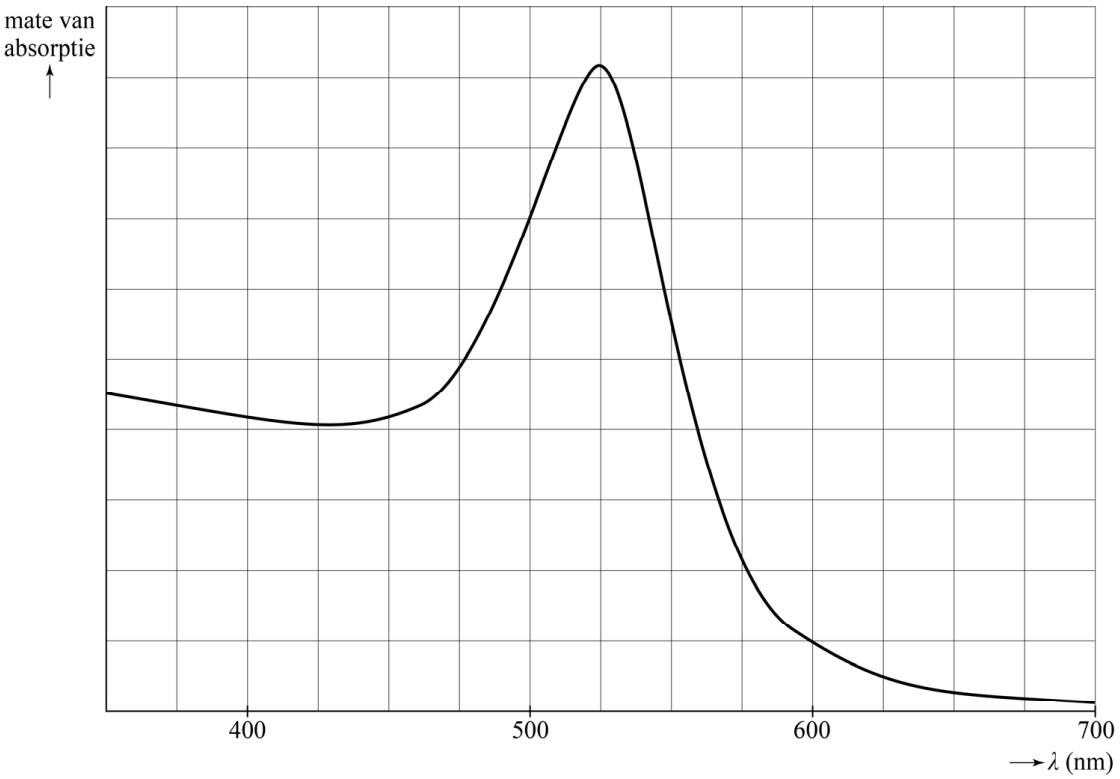
figuur 1b

groene kleur

Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van nanodeeltjes goud in het glas. Nanodeeltjes zijn deeltjes die kleiner zijn dan $100\ \text{nm}$.
Als het glas wordt beschenen, wordt een deel van het licht door het glas geabsorbeerd en wordt de rest van het licht doorgelaten. De mate van absorptie is afhankelijk van de golflengte van het licht dat erop valt. Een deel van het geabsorbeerde licht wordt weer uitgezonden met dezelfde golflengte. Dit is zichtbaar als gereflecteerd licht.
In figuur 2 is weergegeven hoe de mate van absorptie door de nanodeeltjes in de beker van Lycurgus afhangt van de golflengte van het licht.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 2



De buitenkant van de beker kleurt bij belichting van binnenuit rood (figuur 1a) en bij belichting van buitenaf groen (figuur 1b).

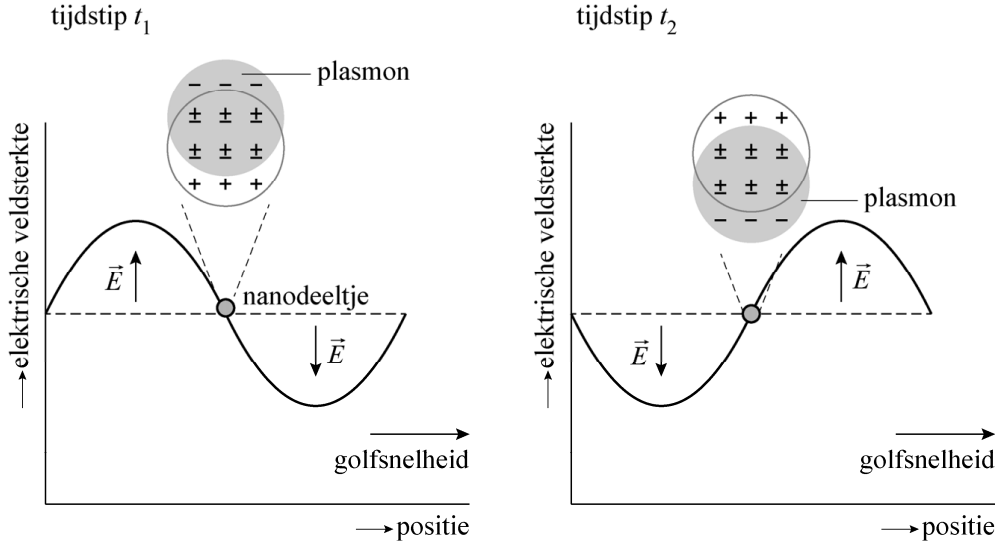
3p **7** Leg dit uit met behulp van figuur 2.

Het ontstaan van de absorptiepiek in figuur 2 kan worden begrepen met behulp van het zogenaamde plasmonmodel. Uitgangspunt van dit model is dat elk metalen nanodeeltje bestaat uit veel positieve ionen, omringd door geleidingselektronen. Deze geleidingselektronen reageren op licht. Een lichtgolf heeft een sinusvormig variërend elektrisch veld, dat de geleidingselektronen als één geheel in trilling brengt. Deze trillende wolk van geleidingselektronen wordt ook wel een ‘plasmon’ genoemd.

In figuur 3 is de situatie voor een plasmon op twee verschillende tijdstippen weergegeven. De lichtgolf in figuur 3 beweegt naar rechts. Op tijdstip t_1 heeft het elektrisch veld het negatieve plasmon naar zijn hoogste stand getrokken en op een later tijdstip t_2 naar zijn laagste stand. De positieve ionen blijven op hun plaats, waardoor een ladingsscheiding in het nanodeeltje optreedt. De richting van het elektrisch veld $\vec{E}$ is in de figuur aangegeven. Op de positie van het nanodeeltje wisselt $\vec{E}$ dus voortdurend van richting. Dit is een reden waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 3



5p **8** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan waardoor de metaalionen op hun plaats blijven.
- Geef een andere reden dan het elektrisch veld van de lichtgolf waarom het plasmon telkens weer in de richting van de evenwichtspositie beweegt.
- In figuur 3 is aangegeven dat de lichtgolf naar rechts beweegt. Leg aan de hand van de figuur uit dat dit inderdaad het geval is.

De absorptiepiek in figuur 2 is het gevolg van resonantie. De sterkste absorptie van licht vindt plaats als de eigenfrequentie van het plasmon overeenkomt met de frequentie van het licht dat erop valt. Het plasmonmodel is vergelijkbaar met een massa-veersysteem waarbij de elektrische kracht de rol van veerkracht heeft. Voor de resonantiefrequentie van het plasmonmodel geldt:

$$f_{\text{res}} = k\sqrt{\frac{ne^2 f}{\pi m}} \qquad (1)$$

Hierin is:
- f_{res} de frequentie waarbij resonantie optreedt in Hz
- n het aantal geleidingselektronen per m^3
- e de lading van het elektron in C
- f de constante (in de wet) van Coulomb in Nm^2C^{-2}
- m de massa van een elektron in kg
- k een constante

3p **9** Leid af of k een eenheid heeft.

natuurkundeuitgelegd.nl

Goud bevat één geleidingselektron per ion.
Voor goud geldt: $n = 5{,}90 \cdot 10^{28}\ \mathrm{m}^{-3}$.

3p **10** Toon dat aan.

De constante k hangt onder andere af van de grootte en de vorm van het nanodeeltje.

4p **11** Bepaal met behulp van formule (1) de waarde van de constante k die hoort bij de absorptiepiek in figuur 2.

natuurkundeuitgelegd.nl

SPECT-scan bij parkinson

Bij de SPECT-scan (Single Photon Emission Computer Tomography) worden tracers gebruikt die zich ophopen in de cellen die bestudeerd worden.
Met een SPECT-scanner (zie figuur 1) kan parkinson aangetoond worden. Dit is een hersenaandoening waarbij bewegingsklachten optreden.
Als tracer wordt vaak een verbinding met jood-123 gebruikt, dat vervalt onder uitzending van een γ-foton.

figuur 1

Om jood-123 te maken wordt telluur-123 beschoten met protonen.

3p **12** Geef hiervan de reactievergelijking.

Een jood-123-kern vervalt met een halveringstijd van 13,2 h.

Het jood-123 wordt 24 uur vóór gebruik geproduceerd.

2p **13** Bereken welk percentage van het geproduceerde jood-123 na 24 uur vervallen is.

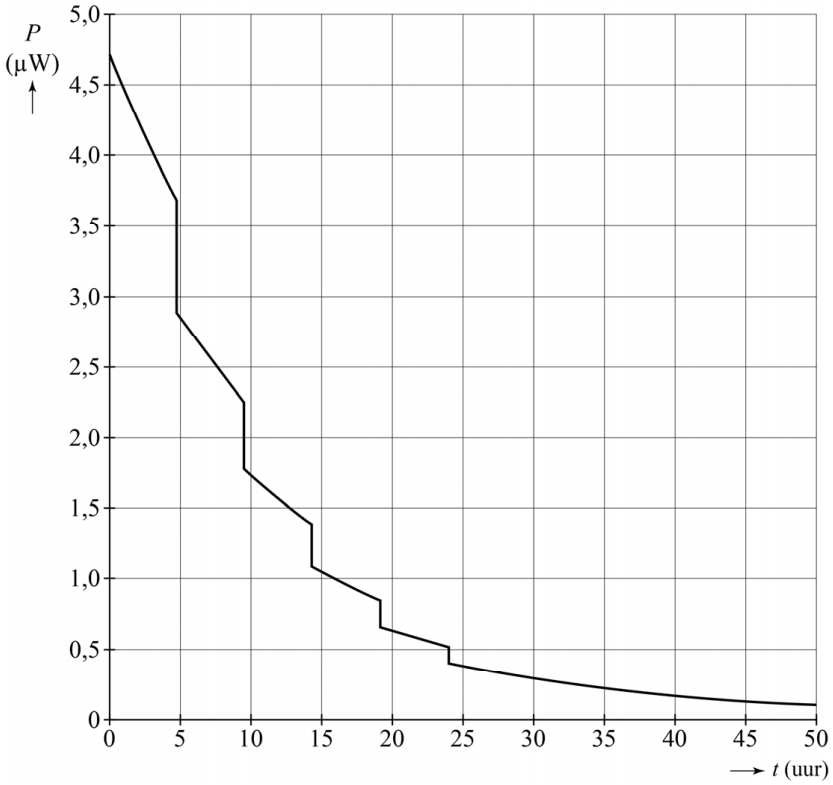
Het γ-foton dat wordt uitgezonden heeft een energie van 160 keV.

4p **14** Bereken de golflengte van het γ-foton in vacuüm.

Om de stralingsbelasting te verkleinen, moet de patiënt de blaas minstens vijf keer in 24 uur legen. In een vereenvoudigd model wordt aangenomen dat de patiënt (massa 70 kg) elke 4,8 uur het toilet bezoekt en elke keer hetzelfde percentage van de aanwezige jood-123-kernen uitscheidt. Dit noemen we het verliespercentage. Het verloop van het totale door de patiënt geabsorbeerde stralingsvermogen P tegen de tijd is weergegeven in figuur 2 op de volgende bladzijde.
Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

natuurkundeuitgelegd.nl

figuur 2



Uit deze grafiek is het verliespercentage af te leiden dat gehanteerd is in dit model.

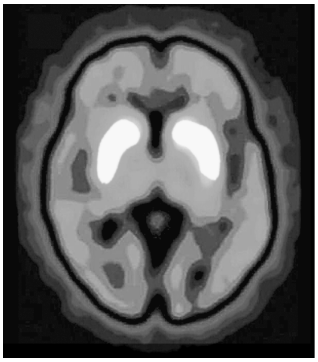
3p **15** Bepaal dit verliespercentage met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage.

4p **16** Bepaal de geabsorbeerde stralingsdosis na 50 uur met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage.

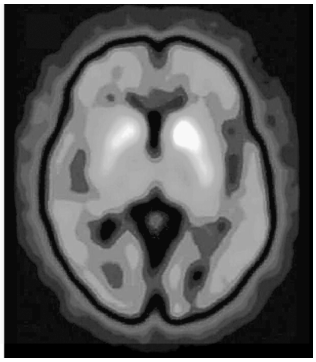
natuurkundeuitgelegd.nl

Patiënten met parkinson hebben een tekort aan dopamine door een verminderd dopaminetransport. De tracer met jood-123 bindt zich specifiek aan structuren in de hersenen die zorgen voor het dopaminetransport. In de figuren 3a en 3b zijn SPECT-scans te zien van een patiënt met parkinson en een patiënt zonder parkinson. Witte gebieden in de afbeeldingen tonen de hoogste stralingsintensiteit.

figuur 3a



figuur 3b



2p **17** Leg uit welke figuur, 3a of 3b, hoort bij de patiënt met parkinson.

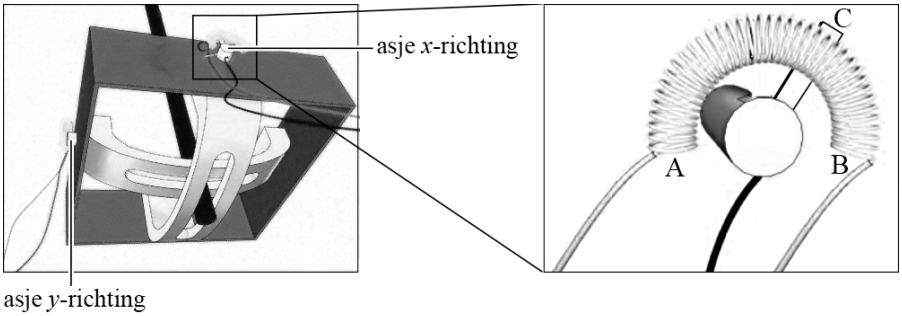
natuurkundeuitgelegd.nl

Joystick met Hall-sensor

Een joystick kan worden gebruikt bij het gamen. Zie figuur 1.
De onderkant van de joystick bevat twee beugels die draaibaar zijn: een voor de beweging in de x-richting (naar links en rechts) en een voor de beweging in de y-richting (naar voren en achteren).
Zie figuur 2.
Als de joystick wordt bewogen, draaien de asjes waaraan de beugels bevestigd zijn. Op deze asjes zit een metalen lipje dat contact maakt met een weerstandsdraad in punt C.
Zie figuur 2, deze figuur is op schaal.

figuur 1

figuur 2



De weerstandsdraad heeft een weerstand van $100\ \text{k}\Omega$, een lengte van $14\ \text{cm}$ en een soortelijke weerstand van $0{,}54\ \Omega\,\text{m}$.

3p **18** Bereken de diameter van de weerstandsdraad.

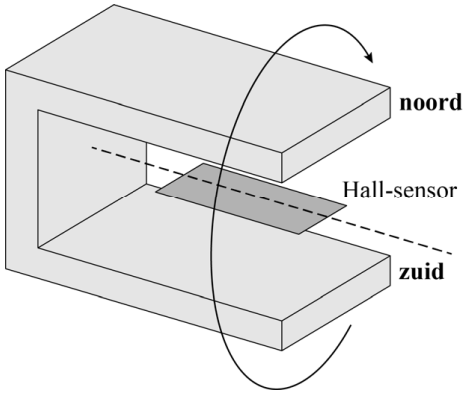
De spanning tussen A en B is $5{,}0\ \text{V}$. De spanning tussen A en C wordt gemeten. Op deze manier is de stand van de joystick in de x-richting te bepalen.

2p **19** Bepaal met behulp van figuur 2 de spanning tussen A en C.

natuurkundeuitgelegd.nl

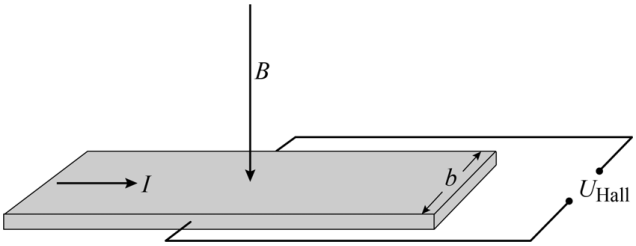
Deze manier van positie bepalen heeft het nadeel dat het contactpunt met de weerstandsdraad gevoelig is voor slijtage en vuil. Een manier om contactloos de stand van de joystick te detecteren, is door gebruik te maken van een zogenaamde Hall-sensor. Daarvoor wordt de weerstandsdraad weggehaald en wordt op het asje een hoefijzermagneet bevestigd. Als de joystick beweegt, draait de hoefijzermagneet om de Hall-sensor heen. Zie figuur 3.
De Hall-sensor bevindt zich dus in het homogene veld van de magneet.

figuur 3



De Hall-sensor bevat een geleidende strip waar geleidingselektronen vrij doorheen kunnen bewegen. Er loopt een stroom I door de Hall-sensor. Zie figuur 4. De bron die deze stroom levert, staat niet aangegeven in de tekening. Het homogene magneetveld staat in deze figuur loodrecht op de strip in de aangegeven richting.

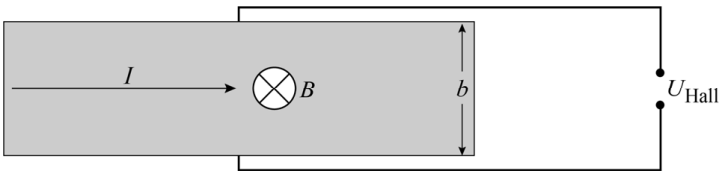
figuur 4



Door de lorentzkracht op de elektronen bewegen de elektronen naar de zijkant van de strip. Daardoor ontstaat aan de ene kant een negatieve lading en aan de andere kant een positieve lading. Deze ladingsverdeling veroorzaakt een elektrisch veld E_{Hall} in de strip. Dit geeft over de breedte van de strip een spanning die de Hall-spanning U_{Hall} genoemd wordt.

Een bovenaanzicht van de strip is getekend in figuur 5. Op de uitwerkbijlage staat ook een bovenaanzicht van de strip getekend.

figuur 5



natuurkundeuitgelegd.nl

3p **20** Voer de volgende opdrachten uit in de figuur op de uitwerkbijlage:
- Leg uit waar de negatieve lading ontstaat en waar de positieve lading ontstaat en geef dit aan in de witte cirkels.
- Geef met een pijl de richting van het elektrisch veld E_{Hall} aan.

Op een gegeven moment is de elektrische kracht op de elektronen als gevolg van het elektrisch veld E_{Hall} even groot als de lorentzkracht op de elektronen.
Voor de Hall-spanning geldt dan: $U_{\text{Hall}} = Bbv$ (1)
Voor een elektrisch veld geldt: $E = \dfrac{U}{\Delta x}$ (2)

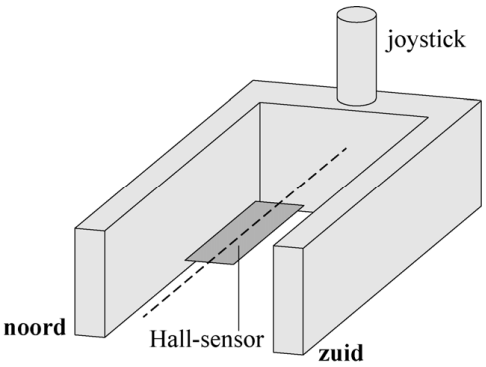
Hierin is:
- U_{Hall} de Hall-spanning in V
- B de grootte van het magneetveld in T
- b de breedte van de strip in m
- v de driftsnelheid (gemiddelde snelheid in de lengterichting van de strip) van de elektronen in m s^{-1}
- E de elektrische veldsterkte in V m^{-1}
- U de spanning in V
- Δx de afstand waarover de spanning staat in m

4p **21** Leid formule (1) voor de Hall-spanning af met behulp van formule (2) en formules uit een tabellenboek.

Als de joystick met het asje draait, staat het magneetveld niet meer loodrecht op de Hall-sensor. Daardoor verandert U_{Hall}.

In figuur 6 is schematisch de stand van de magneet ten opzichte van de Hall-sensor getekend wanneer de joystick recht omhoog staat. We noemen deze stand 0°. Als de joystick naar links beweegt, kan hij tot –90° draaien. Als hij naar rechts beweegt, kan hij tot 90° draaien.

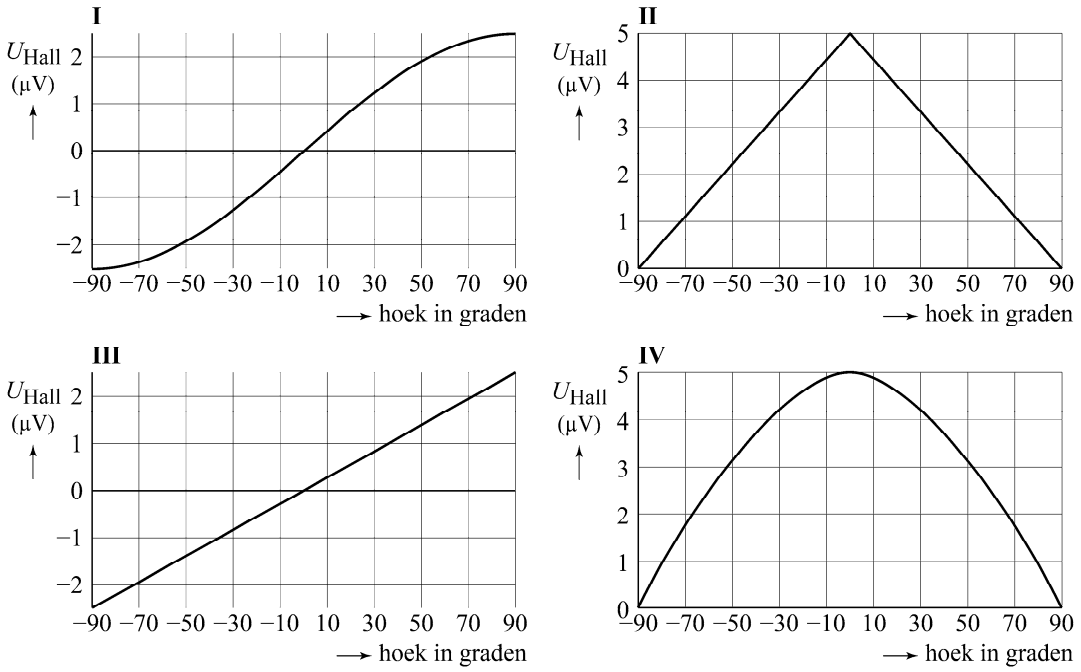
figuur 6



natuurkundeuitgelegd.nl

In figuur 7 staan vier grafieken van U_{Hall} als functie van de stand van de joystick.

figuur 7



3p **22** Leg uit welke grafiek (I, II, III of IV) U_{Hall} als functie van de hoek juist weergeeft.

De sterkte van de gebruikte magneet is ongeveer $0{,}1$ T.

3p **23** Kies de beste schatting van de orde van grootte van de driftsnelheid zoals gebruikt in formule (1). Licht je antwoord toe.

a 10^{-3} m s^{-1}
b 10 m s^{-1}
c 10^{3} m s^{-1}
d de lichtsnelheid

Foton De nieuwe natuurkundemethode voor de bovenbouw
Theorie, oefenopgaven, antwoorden in één overzichtelijk boek inclusief SE-keuzeonderwerpen
Betaalbaar: € 35,- voor de complete stof. Meer info: natuurkundeuitgelegd.nl