Examen VWO

2024

tijdvak 2
maandag 24 juni
13.30 - 16.30 uur

natuurkunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 27 vragen.
Voor dit examen zijn maximaal 76 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-24-2-o

natuurkundeuitgelegd.nl

Elektrische scooter

Mees heeft een elektrische scooter aangeschaft om daarmee naar school te reizen. Zie figuur 1. In het accupakket van de scooter kan volgens de fabrikant een energie van $1{,}74\ \text{kWh}$ opgeslagen worden.
Het opladen van de accu gebeurt met een oplader die via een elektriciteitskabel aangesloten wordt op de netspanning van $230\ \text{V}$. De oplader zet de netspanning om naar de laadspanning. Mees plaatst een stroommeter tussen het stopcontact en de oplader en meet de stoomsterkte tijdens het opladen.

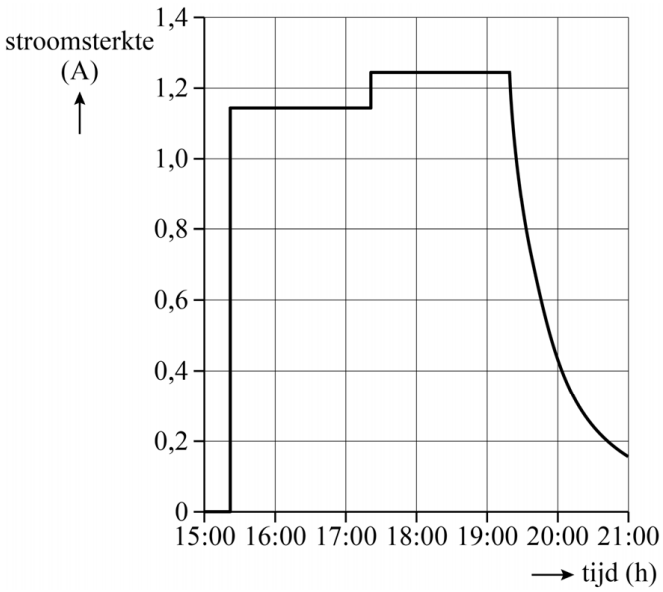
figuur 1

Op de uitwerkbijlage staat een schematische tekening van het stopcontact, de stroommeter en de kabels naar de oplader en scooter.

1p **1** Maak het schakelschema op de uitwerkbijlage compleet zodat de stroommeter de juiste stroomsterkte meet.

Om $15.20\ \text{uur}$ sluit Mees de scooter aan op de oplader. Op dat moment is de accu nog voor 35% opgeladen. Van het opladen heeft Mees een (I,t)-diagram gemaakt, zie figuur 2. Deze figuur staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 2



natuurkundeuitgelegd.nl

Om 21.00 uur geeft de scooter aan dat de accu 100% opgeladen is. Mees bepaalt hoeveel energie er is gebruikt om de accu op te laden. Hij vindt $1{,}3$ kWh.

3p **2** Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat deze waarde klopt.

4p **3** Bereken het rendement van het opladen. Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

In het achterwiel van de scooter zit een elektromotor met een maximaal vermogen van $1{,}5$ kW. De motor is elektronisch begrensd, waardoor de scooter maximaal 25 km h^{-1} kan rijden.
Mees wil de maximum snelheid van scooter weten als deze onbegrensd zou zijn. Hij bepaalt de rol- en luchtweerstandskracht om deze snelheid te kunnen bepalen.

Voor het bepalen van de rolweerstandskracht voert Mees een experiment uit. Hij meet bij verschillende beginsnelheden v_0 de afstand s die nodig is om tot stilstand te komen zonder de remmen te gebruiken. Hij voert de metingen uit op een vlakke, rechte, geasfalteerde weg. Omdat het die dag een beetje waait, besluit Mees de metingen ook uit te voeren in tegenovergestelde bewegingsrichting. Van zijn metingen heeft hij een tabel gemaakt (zie figuur 3).

figuur 3

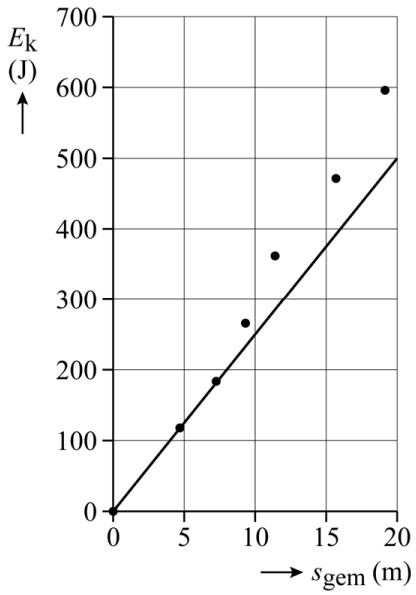
v_0 (km h^{-1})	s_{heen} (m)	s_{terug} (m)	s_{gem} (m)
4	4,2	5,2	4,7
5	6,6	8,0	7,3
6	8,5	10,0	9,3
7	10,8	12,8	11,4
8	14,4	17,0	15,7
9	18,2	20,1	19,1

2p **4** Leg uit of Mees op de heenweg wind mee of wind tegen had.

natuurkundeuitgelegd.nl

Mees breidt de tabel uit met een kolom voor de kinetische energie. Hij gebruikt daarbij de totale massa van zichzelf en de scooter samen. Vervolgens maakt hij een (E_k, s_{gem})-diagram en tekent hij een trendlijn door de eerste meetpunten om de rolweerstandskracht $F_{w,rol}$ te bepalen. Zijn resultaat is te vinden in figuur 4.

figuur 4



2p **5** Leg uit waarom Mees alleen de eerste meetpunten kiest voor de trendlijn.

2p **6** Bepaal de grootte van $F_{w,rol}$. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

Mees vereenvoudigt de formule voor $F_{w,lucht}$ tot:

$$F_{w,\,lucht} = k \cdot v^2 \qquad (1)$$

3p **7** Leid de eenheid van k af in (grond)eenheden van het SI zoals vermeld in Binas-tabel 3a of Sciencedata-tabel 1.3a.

Mees bepaalt de (getals)waarde van de constante k. Hierbij gebruikt hij een waarde van $1{,}2$ voor de luchtweerstandscoëfficiënt c_w. Ook gebruikt hij de schematische tekening van de scooter die is weergegeven op de uitwerkbijlage.

Mees vindt voor de constante k een waarde van $0{,}4$.

4p **8** Toon met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage aan dat deze waarde klopt.

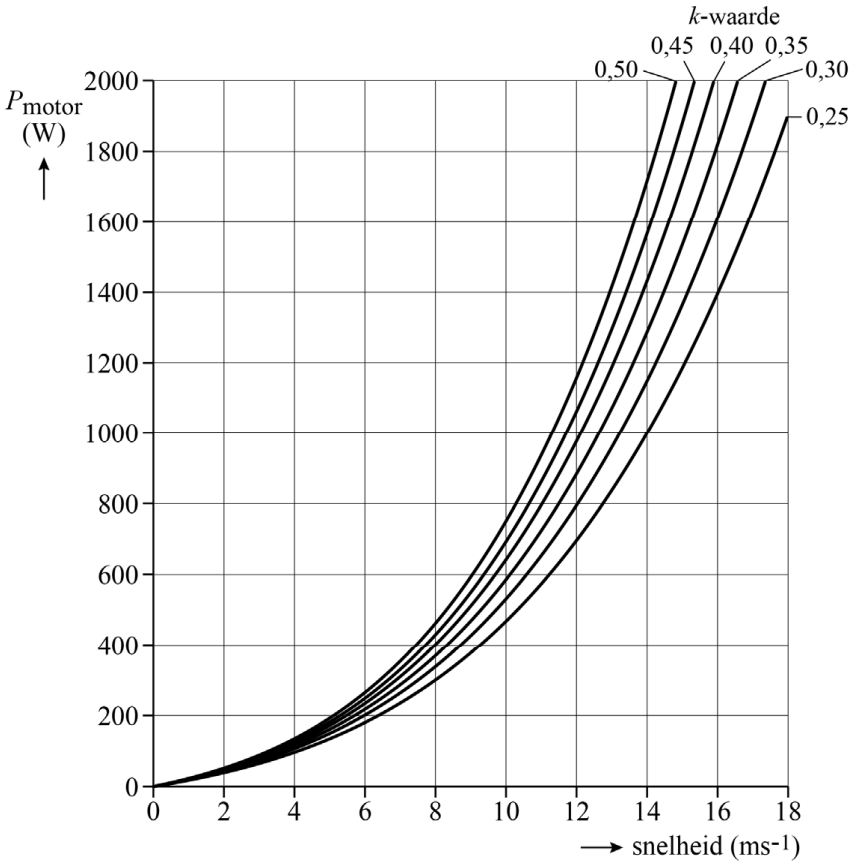
Mees realiseert zich dat het verband tussen het vermogen dat de scooter levert (P_{motor}) en de snelheid van de scooter (v) te beschrijven is met de volgende formule:

$$P_{motor} = F_{w,rol} \cdot v + k \cdot v^3 \qquad (2)$$

natuurkundeuitgelegd.nl

Omdat de bepaling in vraag 8 niet erg nauwkeurig uitgevoerd kan worden, lukt het Mees niet om de constante k op meer dan één significant cijfer te bepalen. Hij wil nagaan gaan wat hiervan de invloed is op de bepaling van de maximale snelheid van zijn scooter als die onbegrensd zou zijn. Met behulp van formule 2 maakt hij figuur 5, waarbij hij voor verschillende mogelijke waarden van k het verband tussen P_{motor} en de snelheid berekend heeft. Figuur 5 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 5



Met behulp van figuur 5 kan Mees de ondergrens en bovengrens bepalen van de maximale snelheid van zijn scooter als die onbegrensd zou zijn.

3p **9** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage zowel deze ondergrens als deze bovengrens, beide in km h^{-1}. Noteer je antwoorden in drie significante cijfers.

natuurkundeuitgelegd.nl

Lise Meitner

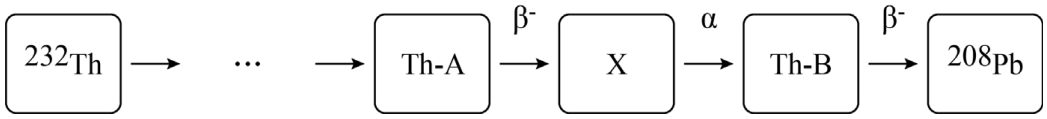
figuur 1

Lise Meitner (1878-1968, zie figuur 1) werd in totaal 48 maal genomineerd voor een Nobelprijs, maar kreeg de prijs nooit.

Rond 1910 deed Meitner onderzoek naar de eigenschappen van β^--straling. Ze gebruikte hierbij preparaten met thorium. Het bestaan van isotopen was in die tijd nog niet bekend. Nu weten we dat het preparaat niet alleen het instabiele Thorium-232 bevatte, maar ook alle vervalproducten van Thorium-232 (ook wel de vervalreeks genoemd). Deze vervalreeks eindigt bij het stabiele isotoop Pb-208.

In de vervalreeks van Th-232 zitten meerdere β^--stralers. Meitner was vooral geïnteresseerd in twee specifieke β^--stralers. Omdat Meitner nog niet in staat was om de afzonderlijke isotopen in het preparaat te identificeren, noemde ze deze β^--stralers 'Th-A' en 'Th-B'. Zie figuur 2, de isotoop 'X' is een onbekende α-straler.

figuur 2



Wat Meitner 'Thorium A' noemde blijkt een isotoop van lood te zijn.

3p **10** Leg dit uit aan de hand van de laatste drie vervalprocessen van de vervalreeks in figuur 2.

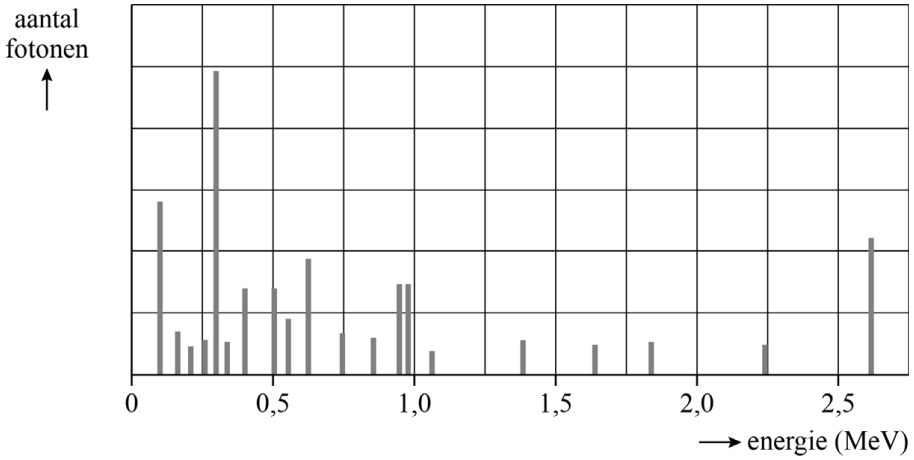
Een aantal van de gebruikte thorium-preparaten wordt nog steeds bewaard in het Max Planck Instituut in Berlijn. De activiteit van de twee β^--stralers, die beide een halveringstijd hebben van minder dan één dag, is in meer dan 100 jaar nauwelijks afgenomen.

2p **11** Leg uit waardoor de activiteit van de twee β^--stralers constant is gebleven.

natuurkundeuitgelegd.nl

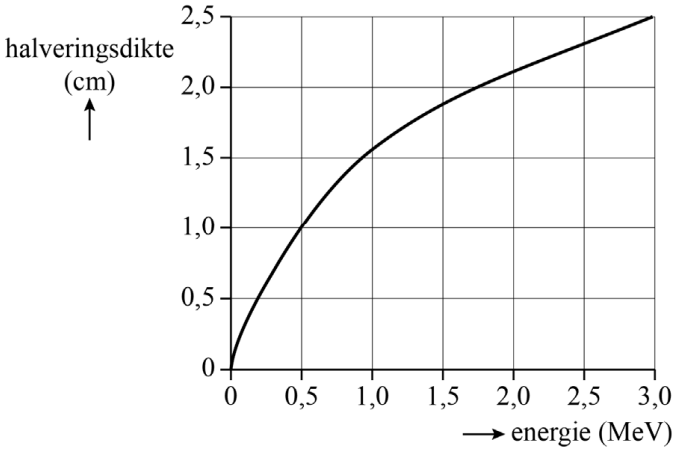
Elk van de isotopen in de vervalreeks zendt gammafotonen uit met specifieke energieën. Daardoor straalt een Th-232-preparaat een herkenbaar spectrum van gamma-energieën uit. Figuur 3 geeft meetwaarden weer van een Th-232-preparaat.

figuur 3



Meitner gebruikte ijzeren plaatjes (dikte 2,5 mm) om haar meetinstrumenten van te maken. Dit materiaal houdt slechts een klein gedeelte van de gammafotonen van het preparaat tegen. In figuur 4 is voor ijzer de relatie weergegeven tussen de energie van de gammastraling en de halveringsdikte.

figuur 4

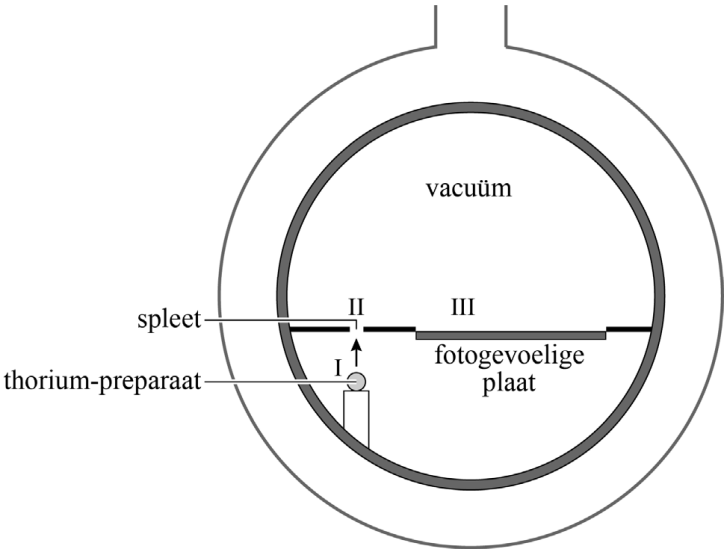


4p **12** Bepaal hoeveel procent van de meest doordringende gammafotonen uit een Th-232-preparaat wordt tegengehouden door het ijzer.

natuurkundeuitgelegd.nl

Voor haar onderzoek naar β^--deeltjes ontwierp Meitner de zogenaamde magnetische spectrometer. Zie figuur 5.

figuur 5



Het thorium-preparaat is geplaatst bij I in figuur 5. Vervolgens wordt er een vacuüm gecreëerd in de spectrometer. De β^--straling komt door een spleet (II in figuur 5) met hoge snelheid een halfronde ruimte in. Onder invloed van een sterk homogeen magnetisch veld voeren de β^--deeltjes een eenparige cirkelbeweging uit, waarna ze bij III op een fotogevoelige plaat terechtkomen. Op de plaats waar de β^--deeltjes het fotogevoelige materiaal treffen, vindt een verkleuring plaats. De verkleuring is een maat voor het aantal deeltjes dat op die locatie de plaat heeft getroffen.

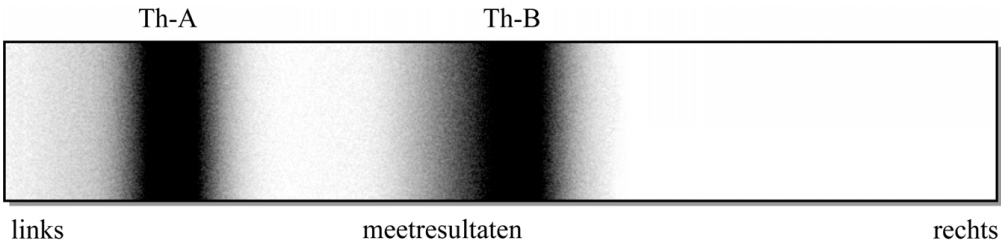
Figuur 5 staat vereenvoudigd op de uitwerkbijlage.

3p **13** Voer de volgende opdrachten uit op de uitwerkbijlage:
- Geef met een pijl de richting aan van de Lorentzkracht die in punt P op het β^--deeltje werkt.
- Geef de richting aan van het magnetisch veld in de spectrometer. Licht je keuze toe.

natuurkundeuitgelegd.nl

Met haar magnetische spectrometer deed Meitner onderzoek aan de twee β^--stralers Th-A en Th-B. In figuur 6 is het meetresultaat van haar onderzoek, de fotogevoelige plaat, weergegeven. De linkerkant van de plaat bevond zich in de opstelling het dichtst bij de spleet (II in figuur 5).

figuur 6



Voor de straal van de cirkelbaan die een bètadeeltje aflegt in de spectrometer geldt:

$$r = \frac{p}{B\,q} \qquad (1)$$

Hierin is:
- r de straal van de cirkelbaan
- p de impuls van het β^--deeltje
- B de sterkte van het magnetisch veld in de spectrometer
- q de lading van het β^--deeltje

5p **14** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.
- Leg met behulp van formule (1) en figuur 6 uit welke β^--straler, Th-A of Th-B, de meest energierijke β^--deeltjes produceert.

In eerdere onderzoeken werd via vergelijkbare experimenten het gedrag van α-deeltjes onderzocht. Hierbij produceerde elke α-straler een dunne scherpe lijn. Meitner was daarom erg verrast toen ze geen scherpe lijnen waarnam, maar brede verkleurde gebieden (zie figuur 6). Dit leek direct in te gaan tegen de wet van behoud van energie, want Meitner ging ervan uit dat er tijdens bètaverval een vaste hoeveelheid energie vrijkwam voor het β^--deeltje.
Het duurde nog vele jaren voordat deze baanbrekende waarnemingen van Meitner verklaard konden worden. Bij β^--verval ontstaat naast het β^--deeltje namelijk nog een tweede deeltje, het neutrino.

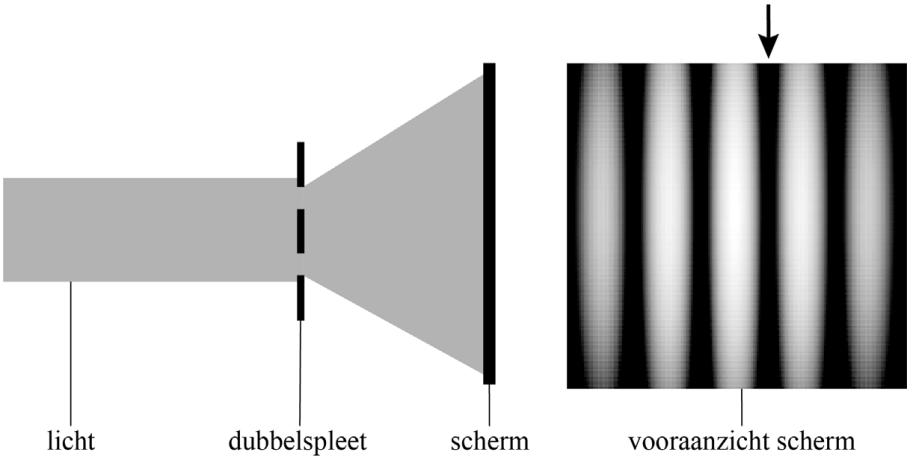
Neutrino's krijgen tijdens bètaverval niet allemaal dezelfde hoeveelheid energie mee.

2p **15** Leg uit hoe dit volgt uit de meetresultaten van figuur 6.

natuurkundeuitgelegd.nl

Een belangrijk principe in de quantumfysica is de golf-deeltjedualiteit. In deze opgave passen we dit dualiteitsprincipe toe op het dubbelspleet-experiment met licht. In dit experiment valt zichtbaar licht met één golflengte op twee smalle spleten en ontstaat op een scherm achter de spleten een interferentiepatroon van maxima en minima. Zie figuur 1.

figuur 1



1p **16** Geef de naam van het soort interferentie dat optreedt bij de pijl op het scherm in figuur 1.

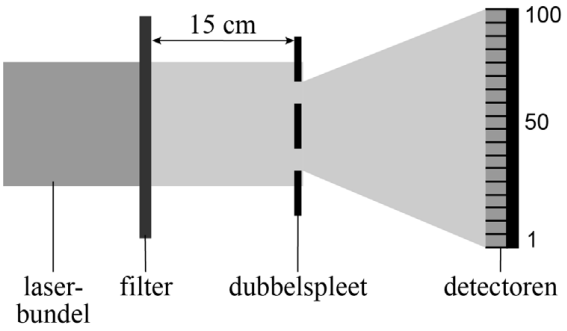
Bij het dubbelspleet-experiment kan het interferentiepatroon alleen ontstaan als er bij elk van de twee spleten buiging optreedt.

3p **17** Voer de volgende opdrachten uit:
- Leg uit in welke orde van grootte de breedte van de spleten maximaal mag zijn om het patroon van figuur 1 mogelijk te maken. Kies hierbij uit: mm, μm, nm, pm.
- Geef aan wat je op het scherm zou zien als er geen buiging zou zijn.

natuurkundeuitgelegd.nl

Een moderne variant van het dubbelspleetexperiment is het zogenaamde kofferexperiment van de Universiteit Twente. Met dit kofferexperiment kan bijvoorbeeld tijdens een les natuurkunde geëxperimenteerd worden. De koffer bevat een opstelling met een laser. De laserbundel wordt gericht op een filter dat slechts een heel klein gedeelte van de fotonen doorlaat. De fotonen die worden doorgelaten gaan vervolgens door een dubbelspleet. In het gebied achter de dubbelspleet tellen 100 detectoren op een rij de inkomende fotonen. Zie figuur 2.

figuur 2



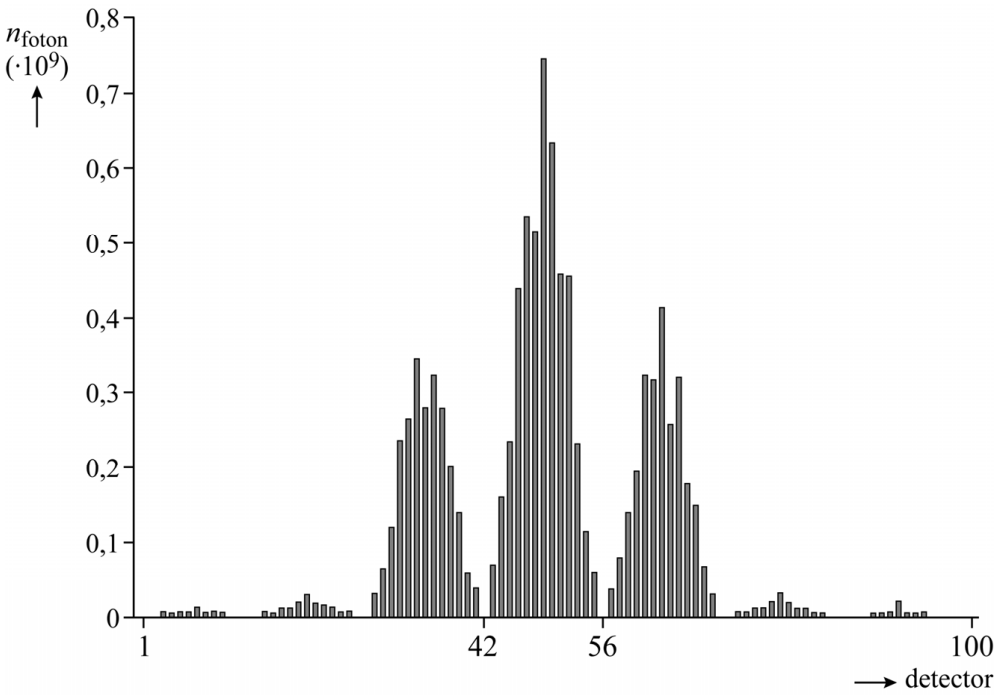
De aanwezigheid van de filter zorgt ervoor dat het vermogen van het laserlicht ($\lambda = 635$ nm) achter de filter extreem laag is, $5 \cdot 10^{-10}$ W. Hierdoor zal in de praktijk op elk tijdstip gemiddeld maar één foton te vinden zijn in het gebied tussen de filter en de dubbelspleet.

5p **18** Toon met een berekening aan dat dit klopt.

natuurkundeuitgelegd.nl

Het aantal getelde fotonen per detector (n_{foton}) kan tijdens het experiment zichtbaar gemaakt worden in een diagram. Hoe langer het experiment duurt, hoe meer fotonen door de spleten zijn gegaan en hoe duidelijker een patroon van pieken en dalen in het diagram zichtbaar wordt.

figuur 3



In figuur 3 is de situatie weergegeven nadat er $1{,}0 \cdot 10^{10}$ fotonen zijn gedetecteerd. Uit figuur 3 volgt dat de kans (of waarschijnlijkheid) dat een foton in de centrale piek (van detector 43 tot en met detector 55) terechtkomt 47% is.

2p **19** Leg uit hoe je deze kans kunt bepalen.

Bente is aanwezig bij het kofferexperiment in haar klas. Zij vraagt zich af wat er gebeurt wanneer het allereerste foton door de opstelling gaat. Omdat het patroon van figuur 3 dan nog moet worden opgebouwd, denkt ze dat de kans 13% is dat de middelste detectoren (43 tot en met 55) dit eerste foton detecteren.

2p **20** Leg uit of Bente gelijk heeft.

In het kofferexperiment vertoont licht zowel golfgedrag als deeltjesgedrag (golf-deeltjedualiteit).

2p **21** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef een voorbeeld van het golfgedrag van licht tijdens het kofferexperiment.
- Geef een voorbeeld van het deeltjesgedrag van licht tijdens het kofferexperiment.

natuurkundeuitgelegd.nl

Latin American Tower

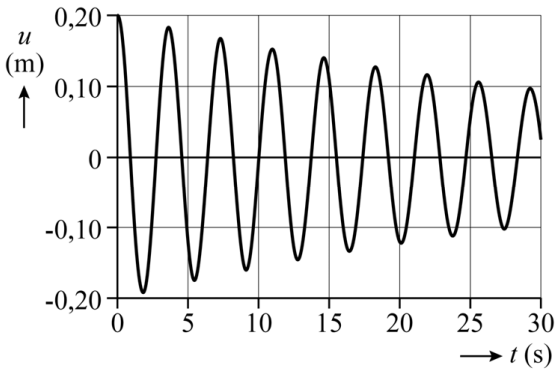
Op 19 september 1985 trilde de grond onder Mexico-Stad hevig gedurende drie minuten. Vele gebouwen stortten in, maar de $182\ \text{m}$ hoge Latin American Tower (zie figuur 1) doorstond de aardbeving zonder noemenswaardige schade. Hetzelfde gold voor de meeste lage gebouwen in de stad.

figuur 1

Gebouwen hebben eigenfrequenties die gemeten kunnen worden. Wanneer een gebouw tijdens een aardbeving begint te trillen in zijn laagste eigenfrequentie (de grondtoon, f_{grond}), kunnen er ernstige beschadigingen aan het gebouw optreden.

De (u,t)-grafiek in figuur 2 laat een meting zien van de horizontale uitwijking van de top van de Latin American Tower na een kleinere aardbeving dan die van 1985. De toren trilde daarbij in haar grondtoon.

figuur 2



Figuur 2 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

3p **22** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de frequentie van de grondtoon van de Latin American Tower. Noteer je antwoord in drie significante cijfers.

Op de uitwerkbijlage is de beweging van de top van de toren in de eerste seconden van de meting te zien.

4p **23** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de gemiddelde versnelling van de top van de Latin American Tower in het traject van $u = 0{,}20\ \text{m}$ naar $u = 0\ \text{m}$. Noteer je antwoord in twee significante cijfers.

natuurkundeuitgelegd.nl

Voor haar profielwerkstuk onderzoekt Sara het trilgedrag van de Latin American Tower. Het trilgedrag van hoge gebouwen laat ook boventonen zien.

Bij een liniaal die aan één kant is ingeklemd zijn de grond- en boventonen te berekenen met:

$$f = (2n-1)\frac{v}{4l} \qquad (1)$$

Hierin is:
- f de frequentie van de grond- of boventoon
- n een geheel getal dat verwijst naar de grond- of boventoon
- v de golfsnelheid
- l de lengte van de liniaal

2p **24** Leid formule (1) af met behulp van formules uit het informatieboek.

In figuur 3 zijn twee van de gemeten boventonen van de Latin American Tower weergegeven.

figuur 3

	f (Hz)
eerste boventoon van de Latin American Tower	0,654
tweede boventoon van de Latin American Tower	1,03

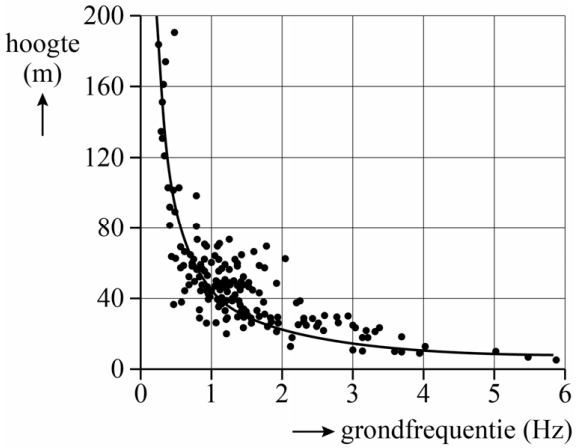
Sara formuleert de hypothese dat de verhouding tussen de eerste en de tweede boventoon van de Latin American Tower overeenkomt met die van een liniaal die aan één kant is ingeklemd.

4p **25** Toon aan of Sara's hypothese klopt binnen een marge van 10%.

natuurkundeuitgelegd.nl

Van een groot aantal gebouwen zijn zowel de hoogte h als de grondfrequentie f_{grond} bepaald. In figuur 4 zijn deze meetwaarden uitgezet in een grafiek. In de grafiek is ook de trendlijn getekend. Deze geeft het gemeten verband weer tussen de grootheden h en f_{grond}.

figuur 4



figuur 5

grondfrequentie (Hz)	hoogte (m)
0,5	96
1,5	32
2,5	20
4,0	12

Sara vermoedt dat de trendlijn in figuur 4 een omgekeerd evenredig verband laat zien. Ze bepaalt van een aantal punten op de trendlijn de coördinaten. Haar resultaten zijn in figuur 5 weergegeven. Deze tabel staat ook op de uitwerkbijlage.

2p **26** Toon met behulp van de tabel op de bijlage aan of de vier punten aan een omgekeerd evenredig verband voldoen.

Tijdens de aardbeving van 1985 begon de zachte bodem onder Mexico-Stad heftig te trillen. Vooral gebouwen met een hoogte tussen $25\ \text{m}$ en $70\ \text{m}$ liepen hierbij grote schade op. Uit dit gegeven kan, met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage, bepaald worden tussen welke twee waarden de frequentie van de bodemtrillingen waarschijnlijk heeft gelegen.

3p **27** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage deze minimum- en maximumfrequentie. Geef in de figuur iedere frequentie aan met een verticale lijn.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.

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