

Het Centraal Examen vwo

Het vwo-examen dat hoort bij het programma Nieuwe Natuurkunde toetst kennisaspecten, vaardigheden, conceptueel begrip en activiteiten die relevant zijn voor natuurkunde.

Het examen toetst in hoeverre kandidaten geleerde concepten kunnen toepassen in nieuwe of bekende contexten. Een context wordt voor een kandidaat beschreven en de kandidaat wordt gevraagd een probleem op te lossen via een aantal relevante deelvragen. Hierbij kunnen een beperkt aantal gesloten vragen, ook wel multiple choice vragen genoemd, in het examen voorkomen.

Het maken van contextrijke opgaven voor de vwo-examens natuurkunde is niet nieuw. Al geruime tijd worden de examenopgaven zo geconstrueerd. De voorbeeldopgaven die bij deze syllabus zijn gevoegd vormen daarop geen uitzondering. De gekozen contexten worden zoveel mogelijk gekozen uit voor leerlingen aansprekende wetenschappelijk, soms maatschappelijke of toepassingsgerichte voorbeelden.

In de syllabus die het examenprogramma van Nieuwe Natuurkunde vastlegt, wordt bij de specificaties met de cijfers 1 tot en met 4 het beheersingsniveau aangegeven waarop deze onderwezen en getoetst moeten worden. Ook wordt er een verschil gemaakt in kwalitatief en kwantitatief gebruik van formules. Dit verschil in omgaan met formules en beheersingsniveaus zal ook in de examens tot uiting komen. Om mogelijke onduidelijkheden bij deze twee kwalificaties te voorkomen de volgende toelichting. De aanduiding kwalitatief is een beperking van het genoemde beheersingsniveau. Als er bij een formule staat: "de volgende formule kwalitatief hanteren [3]", mogen er op beheersingsniveau 3 alleen kwalitatieve vragen gesteld worden. Het is echter wel mogelijk om op beheersingsniveau 2 kwantitatieve vragen te stellen, want lagere niveaus worden ingesloten. Dit zijn vragen die via het invullen van de formule rechtstreeks naar het antwoord leiden.

Een voorbeeld

In de syllabus staat bij subdomein B1 Informatieoverdracht bij specificatie 5:

de volgende formules kwalitatief hanteren [3]:

$$l = n \frac{1}{2} \lambda$$

$$l = (2n - 1) \frac{1}{4} \lambda$$

Er kan bij gegeven lengte l wel gevraagd worden de golflengte λ uit te rekenen: een niveau 2 vraag. Er kan echter niet gevraagd worden om de frequentie uit te rekenen. De uitdrukking $l = n \frac{1}{2} \lambda$ of $l = (2n - 1) \frac{1}{4} \lambda$ moet daarvoor gecombineerd worden met $v = \lambda f$ en de vraag is daarmee een kwantitatieve vraag van beheersniveau 3 of 4 geworden.

Voorbeeldopgave 1 Rode reus

Als een ster zoals de zon aan het einde van zijn leven komt, zet hij enorm uit. Zo'n ster noemt men een rode reus, omdat de top van de bijbehorende stralingskromme van een gele naar een rode kleur verschuift.

- 2p **1** Leg met behulp van de wet van Wien uit dat de temperatuur van het stralend oppervlak hierbij afneemt. ($\lambda_{\max} T = k_w$ kwalitatief toepassen op niveau 3; eindterm E2.3)

Voor de lichtkracht (of stralingsvermogen) van een ster geldt:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

Hierin is:

- L de lichtkracht van de ster;
- R de straal van de ster;
- σ de constante van Stefan-Boltzmann;
- T de absolute temperatuur van de ster.

Uit een computermodel volgt dat onze zon bij het uitzetten tot een rode reus een straal krijgt van ongeveer de aardbaan: $r_{\text{zon}} \rightarrow 1,5 \cdot 10^{11}$ m en een temperatuur van $2,7 \cdot 10^3$ K.

- 3p **2** Laat met een berekening zien dat de lichtkracht L van de zon tijdens dit proces groter wordt.
(De formule voor de lichtkracht krijgt in de syllabus als beheersingsniveau een 3 met toevoeging kwalitatief maar kan wel kwantitatief op niveau 2 bevraagd worden; eindterm E2.4.)

Figuur 1 is een Hertzsprung-Russeldiagram met daarin de huidige zon. De punten A, B, C en D geven mogelijke eindstadia aan.

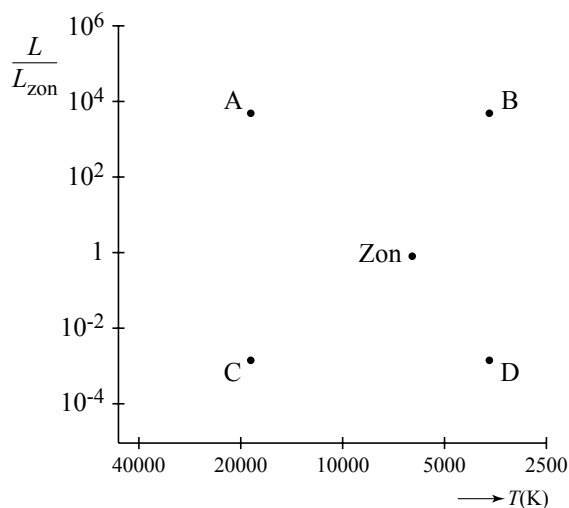
- 3p **3** Leg uit welke van de vier punten overeenkomt met het eindstadium van de ZON. (kwalitatief redeneren; eindterm A2.4 in combinatie met E2.2)

Voor leven in de ruimte is vloeibaar water nodig. In het rode reus stadium van de zon ligt het gebied waar leven mogelijk is verder van de zon af. Een hemellichaam als Europa, een maan van Jupiter met veel waterijs, zou kunnen ontdooien en misschien tot leven kunnen komen. Om de temperatuur te berekenen die Europa dan heeft, mag je uitgaan van stralingsevenwicht: de inkomende stralingsintensiteit is gelijk aan de uitgaande stralingsintensiteit.

Voor de inkomende stralingsintensiteit I op Europa geldt: $I_{\text{in}} = \frac{0,16L_{\text{zon}}}{4\pi r^2}$.

Voor de uitgaande stralingsintensiteit geldt: $I_{\text{uit}} = \sigma T^4$.

figuur 1



- 4p **4** Laat met een berekening van de oppervlaktetemperatuur van de maan Europa zien of water daar vloeibaar kan worden. (Kwantitatieve vraag op niveau 4. Voor de oplossing is een combinatie van formules nodig die op beheersingsniveau 3 moeten worden toegepast. Deze vraag kan daarom niet voorkomen in een centraal eindexamen Nieuwe Natuurkunde.)

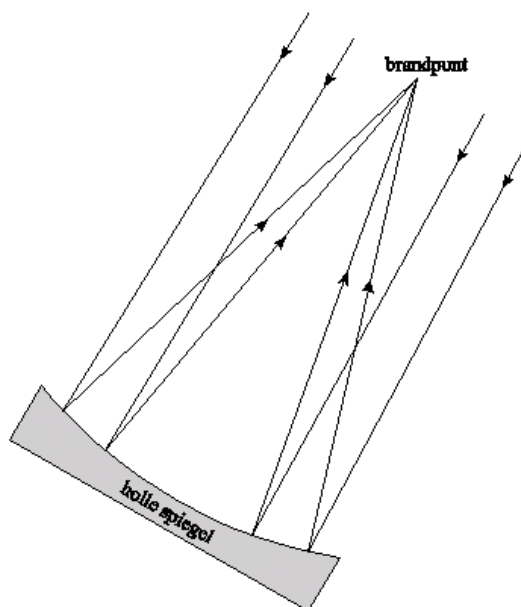
Gegevens over sterren en planeten, zoals temperatuur en stralingsintensiteit, worden verkregen uit waarnemingen met telescopen. Er bestaan verschillende soorten telescopen, afhankelijk van het golflengtegebied dat de telescoop bestrijkt.

Telescopen hebben een holle spiegel. Zie figuur 2. De lichtstralen worden door deze spiegel naar een brandpunt gebundeld. Zie figuur 3.

figuur 2



figuur 3



Om waarnemingen te kunnen doen aan verafgelegen sterren heeft men een telescoop nodig met een spiegel met een zeer grote diameter.

- 1p **5** Waarom is een grote diameter noodzakelijk? (Hoewel de optica geen examendomein meer is, wordt er wel voorkennis vanuit de optica bekend verondersteld zoals beschreven in het domein B Communicatie. Begrippen als brandpunt, spiegelen en breking kunnen daarom in een examen voorkomen maar worden niet specifiek getoetst.)

Als een telescoop infrarode straling van een ster wil waarnemen, moet de telescoop worden gekoeld.

- 2p **6** Waarom moet de telescoop gekoeld worden? (eindterm E2.3, niveau 2)

Om meer te weten te komen over de chemische samenstelling van rode reuzen doet men in het gebied van de infrarode straling waarnemingen. Men gebruikt hiervoor bekende spectraallijnen waarvan men de intensiteit meet.

De siliciumlijn met een golflengte van 2183 nm is zo'n lijn.

Het energieniveauschema van silicium is op schaal weergegeven in figuur 4; 1 cm komt overeen met 2 eV. Figuur 4 staat ook op de uitwerkbijlage.

figuur 4



- 4p 7 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage de energieovergang aan die hoort bij de siliciumlijn die afkomstig is van de ster met een golflengte van 2183 nm.

(De uitdrukking $E = \frac{hc}{\lambda}$ moet zowel kwalitatief als kwantitatief toegepast kunnen worden op niveau 4, eindterm E2.7.)

Een probleem van metingen in het infrarood is de moleculaire absorptie door waterdamp in de aardatmosfeer: bij een droge atmosfeer is de waargenomen intensiteit groter dan bij een vochtige atmosfeer. Als ijking kiest men daarom een titaniumlijn van een andere nabijgelegen ster met een bekende intensiteit.

- 2p 8 Leg uit hoe men op die manier rekening kan houden met de moleculaire absorptie in de atmosfeer. (eindterm A2.4)

Voorbeeldopgave 2 Valtoren

Wetenschappers willen bestuderen hoe vloeistofstromen verlopen als er geen zwaartekracht zou zijn. Om het effect van de zwaartekracht uit te schakelen worden de experimenten uitgevoerd in een capsule die een vrije val maakt. De vloeistoffen zijn dan gewichtloos.

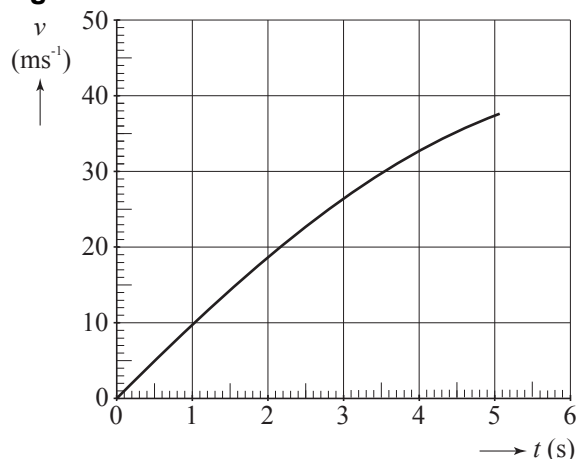
- 1p **1** Waarom zijn de vloeistoffen gewichtloos tijdens de vrije val? (eindterm C1.5)

Deze experimenten kunnen worden uitgevoerd in de valtoren van Bremen, waarin een capsule over een afstand van 110 m kan vallen, zie figuur 1. In figuur 2 staat de (v,t) -grafiek van een vallende capsule.

figuur 1



figuur 2



Aan de grafiek is te zien dat de capsule tijdens deze val luchtweerstand ondervond. Figuur 2 staat ook op de uitwerkbijlage.

- 4p **2** Teken in de figuur op de uitwerkbijlage hoe de grafiek zou lopen indien er helemaal geen luchtweerstand was geweest. Laat de grafiek eindigen op het tijdstip dat de 110 m is afgelegd. (Volgens de syllabus worden bewegingen beperkt tot eenparig versnelde rechtlijnige bewegingen vanuit rust en valbeweging met wrijving; eindterm C1.1.)

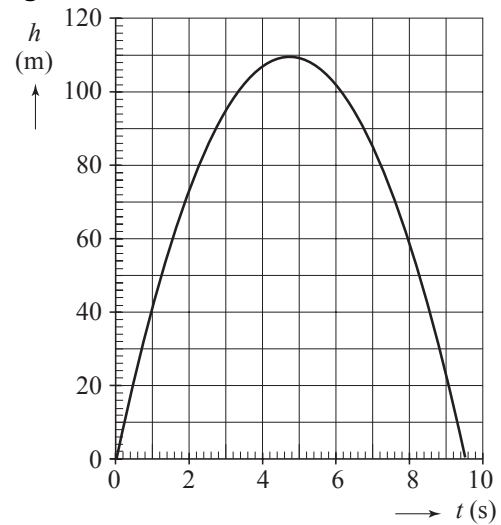
In werkelijkheid is het niet mogelijk om de buis volledig vacuüm te pompen. Daardoor is de vloeistof in de capsule net niet helemaal gewichtloos. Men spreekt dan van microzwaartekracht: tijdens het vallen blijkt het gewicht nog maar een miljoenste deel van de gewone zwaartekracht te zijn.

- 3p **3** Bereken het gewicht van 1,0 mL siliconenolie tijdens het vallen. (Eindterm C1.5; dichtheid wordt bekend verondersteld vanuit de onderbouw; voorkennis bij domein C.)

In plaats van de capsule op te hijsen en te laten vallen, kan men de capsule ook naar boven schieten met een soort katapult.

Figuur 3 is het bijbehorende (h,t) -diagram van deze beweging; $h = 0$ is zowel de hoogte waarop de capsule loskomt van de katapult als de hoogte waarop het afremmen van de landing begint.

figuur 3



- 2p **4** Tijdens de beweging omhoog wordt:
1. kinetische energie van de capsule omgezet in zwaarte-energie;
 2. verricht de zwaartekracht negatieve arbeid op de capsule.

Welke van deze beweringen is juist?

- A** alleen 1
- B** alleen 2
- C** zowel 1 als 2
- D** geen van beide

(Het is mogelijk dat er ook gesloten vragen in de vorm van multiple choice in de examens voorkomen; eindterm C2.2.)

- 2p **5** Toon aan dat de snelheid waarmee de capsule omhooggeschoten wordt gelijk is aan 47 ms^{-1} . *(Eindterm C1.1 of eindterm C2.2, afhankelijk van de gekozen oplossingsmethode.)*

Onder de valbuis bevindt zich een 10 meter lange tank met polystyreenbolletjes die de capsule eenparig afremt tot stilstand. De capsule heeft een massa van 120 kg.

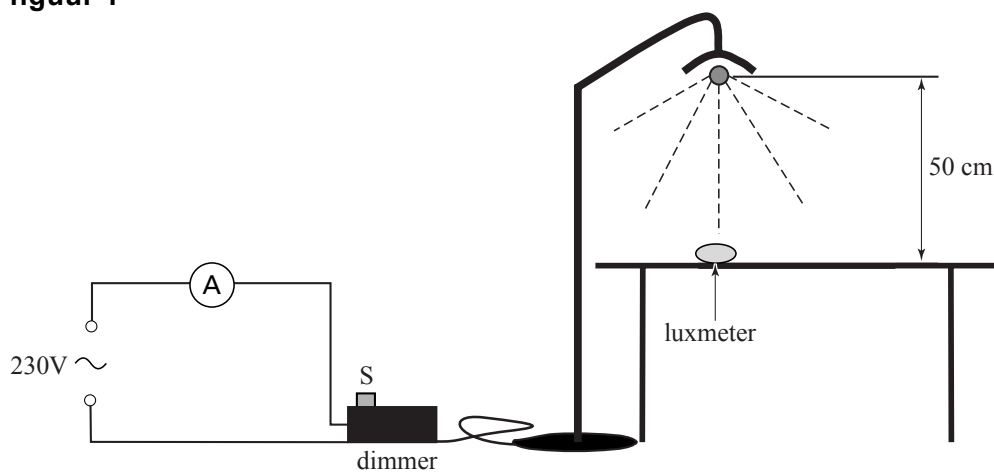
- 3p **6** Bereken de versnelling tijdens dit afremmen. *(eindterm C2.5 of eindterm C1.1)*

Voorbeeldopgave 3 Leeslamp

(In het examen van 2010 worden er geen specifieke onderzoeksvaardigheden getoetst omdat daarvoor dit jaar een uitsluiting is opgenomen, maar er kunnen wel onderzoekscontexten voorkomen. Deze opgave is daarvan een voorbeeld.)

Nicole wil de werking van een dimmer van een staande lamp bestuderen. Zij maakt daarom een opstelling om de verlichtingssterkte en het energieverbruik te meten. Zie figuur 1.

figuur 1



De lamp met de dimmer wordt via een ampèremeter aangesloten op het lichtnet. De lamp bevindt zich 50 cm boven het tafelblad. Op de tafel ligt een luxmeter die de verlichtingssterkte E in lx (lux) meet. Door de schuif S van de dimmer van stand 0 naar 5 te verplaatsen verandert de stroomsterkte in het getekende circuit en gaat de lamp steeds feller branden. In tabel 1 vind je bij verschillende standen van S de gemeten stroomsterkte I en de bijbehorende verlichtingssterkte E .

tabel 1

Stand S	I (A)	E (lx)
0	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0
1	0,10	2
2	0,20	87
3	0,30	478
4	0,40	915
5	0,42	982

Een kWh kost € 0,15.

- 3p **1** Bereken het bedrag dat Nicole in een jaar moet betalen voor de elektrische energie van de lamp, als de dimmer het hele jaar in stand 0 staat. *(eindterm D1.3)*

Nicole definieert de nuttige lichtopbrengst van de leeslamp als de verlichtingssterkte E op de tafel per eenheid van elektrisch vermogen.

- 3p **2** Ga door berekening na bij welke stand van de dimmer de nuttige lichtopbrengst van de bureaulamp het grootst is. *(eindterm D1.3)*

Als de lamp op volle sterkte brandt, is de verlichtingssterkte E recht onder de lamp op een afstand van 50 cm gelijk aan 982 lx.

Het verlichte cirkelvormige oppervlak op 50 cm onder de lamp heeft een diameter van 1,60 m. Neem aan dat door gebruik van de spiegel de verlichtingssterkte E over het hele oppervlak even groot is en al het licht van de lamp de tafel bereikt.

Op de verpakking van de gebruikte halogeenlamp staat dat de lichtstroom Φ van deze lamp gelijk is aan 1800 lm (lumen) als hij maximaal brandt.

$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2}$ (1 lux = 1 lumen per vierkante meter).

- 3p **3** Ga op grond van bovenstaande informatie na of de lichtstroom van de lamp overeenkomt met de informatie op de verpakking. *(Voorkennis A2.6: de oppervlakte van een cirkel wordt bekend verondersteld; gecombineerd met subdomein A3.4.)*

4 Beoordelingsmodel

Vraag	Antwoord	Scores
-------	----------	--------

Voorbeeldopgave 1 Rode reus

1 maximumscore 2

voorbeeld van een uitleg:

De verschuivingswet van Wien luidt: $\lambda_{\max} T = C$

De maximale golflengte verschuift van geel licht naar rood licht, dus van kleine naar grote golflengte. De temperatuur (T) is omgekeerd evenredig met λ_{\max} , dus de temperatuur T zal afnemen.

- inzicht dat de golflengte verschuift van klein naar groot 1
- conclusie 1

2 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

De absolute temperatuur wordt $\frac{5800}{2700} = 2,15$ maal zo klein.

De straal neemt toe van $7,0 \cdot 10^8$ m tot $1,5 \cdot 10^{11}$ m en wordt 214 maal zo groot.

De lichtkracht L_{zon} wordt $\frac{214^2}{2,15^4}$ maal zo groot.

- opzoeken van de R_{zon} en T_{zon} 1
- gebruik van $L_{\text{zon}} = 4\pi R_{\text{zon}}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{zon}}^4$ 1
- completeren van het antwoord 1

3 maximumscore 3

antwoord: de zon ontwikkelt zich tot een ster van type B.

voorbeeld van een uitleg:

De lichtkracht neemt toe en daarom gaat de zon omhoog in het HR-diagram.

De temperatuur neemt af en daarom gaat de zon naar rechts in het HR-diagram.

De zon ontwikkelt zich dus tot een ster van type B.

- inzicht dat $\frac{L}{L_{\text{zon}}}$ toeneemt en een verplaatsing naar boven geeft 1
- inzicht dat een temperatuurafname een verplaatsing naar rechts inhoudt 1
- consequente conclusie 1

4 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

$$\sigma T^4 = \frac{0,16 \cdot 4\pi r_{\text{zon}}^2 \sigma T_{\text{zon}}^4}{4\pi r^2} \rightarrow T^4 = 0,16 \cdot \frac{r_{\text{zon}}^2}{r^2} \cdot T_{\text{zon}}^4 \rightarrow$$

$$T = 0,16^{\frac{1}{4}} T_{\text{zon}} \sqrt{\frac{r_{\text{zon}}}{r}} = 0,16^{\frac{1}{4}} \cdot 2,7 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{1,5 \cdot 10^{11}}{0,7779 \cdot 10^{12}}} = 7,5 \cdot 10^2 \text{ K}.$$

Dit is ruim boven het kookpunt van water. Er is dus geen vloeibaar water mogelijk.

- gebruik van $T^4 = 0,16 \cdot \frac{r_{\text{zon}}^2}{r^2} \cdot T_{\text{zon}}^4$ 1
- opzoeken van de afstand r 1
- berekening van T 1
- consequente conclusie 1

Opmerking

Als voor r gebruikt: $0,7779 \cdot 10^{12} \pm 670,9 \cdot 10^6$: goed rekenen.

5 maximumscore 1

voorbeeld van een antwoord:

Hoe groter de (diameter van de) spiegel is, des te meer licht door de spiegel opgevangen wordt. (Hierdoor ontstaat een beeld van de ster met een grotere lichtsterkte.)

6 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

De warmtestraling van de telescoop zelf ligt ook in het infrarood. Deze straling moet door koeling gereduceerd worden (en verschoven naar grotere golflengte) om de meetresultaten niet te beïnvloeden.

- inzicht dat de telescoop zelf warmtestraling in het infrarood uitzendt 1
- consequente conclusie 1

7 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

Voor de overgangenergie geldt:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{2183 \cdot 10^{-9}} = 9,100 \cdot 10^{-20} \text{ J} = 0,568 \text{ eV}; 1 \text{ cm} = 2 \text{ eV} \text{ dus de pijl}$$

is 2,8 mm lang. Deze overgang past tussen $n = 3$ en $n = 4$ met een pijl omlaag.



- gebruik van $E = \frac{hc}{\lambda}$ 1
- omrekenen van J naar eV 1
- tekenen van een pijl in het energieniveauschema tussen $n = 3$ en $n = 4$ 1
- richting omlaag 1

8 maximumscore 2

voorbeeld van een uitleg:

Een bekende lijn zal door absorptie een vergelijkbare verandering in intensiteit ondergaan. Op deze manier kan men de gemeten intensiteit van de onbekende ster omrekenen.

- inzicht dat de gemeten intensiteit kan worden omgerekend met behulp van de vergelijking met titaniumlijn 1
- completeren van de uitleg 1

Voorbeeldopgave 2 Valtoren

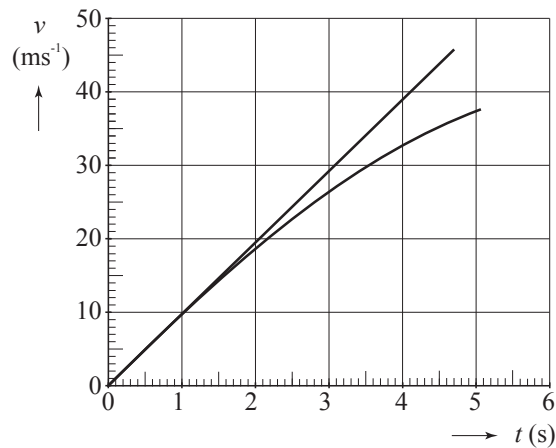
1 maximumscore 1

voorbeeld van een antwoord:

Tijdens de vrije val werkt er geen normaalkracht (of reactiekracht) op de vloeistoffen. De vloeistoffen zijn daarom gewichtslös.

2 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:



De tijdsduur voor 110 m vallen volgt uit:

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow 110 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot t_{\text{eind}}^2 \rightarrow t_{\text{eind}} = 4,736 \text{ s.}$$

Voor de eindsnelheid geldt: $v_{\text{eind}} = gt_{\text{eind}} = 9,81 \cdot 4,736 = 46,5 \text{ m s}^{-1}$.

De grafiek is dus een rechte vanaf het punt (0;0) tot punt (4,7;46,5).

- gebruik van $s = \frac{1}{2}gt^2$ of inzicht dat $E_z = E_k$ 1
- berekenen van t_{eind} 1
- berekenen van v_{eind} 1
- tekenen van een rechte lijn door (0;0) tot $(t_{\text{eind}};v_{\text{eind}})$ 1

3 maximumscore 3

uitkomst: $F_{\text{gew}} = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

voorbeeld van een berekening:

Voor het gewicht van de vloeistof geldt: $F_{\text{gew}} = 10^{-6} mg$.

De massa is gelijk aan: $m = \rho V = 0,76 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$.

Hieruit volgt $F_{\text{gew}} = 7,6 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 10^{-6} = 7,5 \cdot 10^{-9} \text{ N}$.

- inzicht dat $F_{\text{gew}} = 10^{-6} mg$ 1
- gebruik van $m = \rho V$ en opzoeken van ρ 1
- completeren van de berekening 1

4 maximumscore 2

antwoord C

5 maximumscore 2

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

De snelheid is gelijk aan de steilheid van de raaklijn aan de (h, t) -grafiek op $t = 0 \text{ s}$.

Deze steilheid is gelijk aan $\frac{96}{2} = 48 \text{ ms}^{-1}$ (met een marge van 2 m s^{-1}).

- inzicht dat de steilheid van de raaklijn aan de grafiek op $t = 0 \text{ s}$ de gewenste snelheid levert 1
- completeren van de bepaling 1

methode 2

Er geldt $mg\Delta h = \frac{1}{2}mv^2$; invullen geeft: $9,81 \cdot 110 = \frac{1}{2} \cdot v^2$ dus $v = 46,5 \text{ ms}^{-1}$.

- inzicht dat geldt: $mg\Delta h = \frac{1}{2}mv^2$ 1
- completeren van de bepaling 1

methode 3

Er geldt $s = \frac{1}{2}gt^2$ en $v = gt$. Invullen geeft: $110 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot t^2$ dus $t = 4,74 \text{ s}$.

De snelheid is dan: $9,81 \cdot 4,74 = 46,5 \text{ m s}^{-1}$.

- gebruik van $s = \frac{1}{2}gt^2$ en $v = gt$ 1
- completeren van de berekening 1

6 maximumscore 3

uitkomst: $a = 110 \text{ ms}^{-2}$

voorbeeld van een berekening:

methode 1

Voor eenparig afremmen tot $v_{\text{eind}} = 0$ geldt: $s_t = \frac{1}{2}at^2$ en $v_t = at$ waarbij $s_t = 10 \text{ m}$ en $v_0 = 47 \text{ ms}^{-1}$; invullen en combineren geeft: $t = 0,426 \text{ s}$. Voor de versnelling

geldt: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{47}{0,426} = 110 \text{ ms}^{-2}$.

- gebruik van $s_t = \frac{1}{2}at^2$ en $v_t = at$ met $v_t = 47 \text{ ms}^{-1}$ en $s_t = 10 \text{ m}$ 1
- gebruik van $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 1
- completeren van de berekening 1

methode 2

Voor het afremmen geldt: $W = \Delta E_k$ of: $Fs = -\frac{1}{2}mv^2$.

Er geldt $F = ma$ zodat: $as = -\frac{1}{2}v^2$. Invullen levert $a = \frac{\frac{1}{2}47^2}{10} = 110 \text{ ms}^{-2}$.

- gebruik van $W = \Delta E_k$ 1
- inzicht $F = ma$ 1
- completeren van de berekening 1

Voorbeeldopgave 3 Leeslamp

1 maximumscore 3

uitkomst: bedrag = 1,5 euro

voorbeeld van een berekening:

Voor de door de dimmer verbruikte energie geldt:

$$E = UI t = 230 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 36,3 \text{ MJ} = \frac{36,3}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh} = 10 \text{ kWh.}$$

of:

$$P = UI = 230 \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 1,15 \text{ W} = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \rightarrow$$

$$E = Pt = 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 365 \cdot 24 \text{ kWh} = 10 \text{ kWh}$$

10 kWh kost $10 \cdot 0,15 = 1,5$ euro.

- gebruik van $E = UI t$ of: $P = UI$ en $E = Pt$ 1
- omrekenen van J naar kWh of invullen van P en t in kW en h 1
- completeren van de berekening 1

2 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Stand S	I (A)	E (lx)	P (W)	$\frac{E}{P}$ (lx W ⁻¹)
0	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0	1,15	0
1	0,10	2	23,0	0,087
2	0,20	87	46,0	1,89
3	0,30	478	69,0	6,93
4	0,40	915	92,0	9,95
5	0,42	982	96,6	10,2

De nuttige opbrengst is het hoogste bij stand 5.

- berekenen van het vermogen P bij de standen 1 tot en met 5 1
- inzicht dat de nuttige opbrengst gelijk is aan $\frac{E}{P}$ 1
- berekenen van de nuttige opbrengst bij standen 1 tot en met 5 en conclusie 1

3 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

De oppervlakte van de verlichte cirkel: $A = \pi r^2 = \pi \cdot 0,80^2 = 2,01 \text{ m}^2$.

$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2} \rightarrow E = \frac{\Phi}{A} \rightarrow \Phi = EA = 982 \cdot 2,01 = 1,97 \cdot 10^3 \text{ lm}$, en dat is groter dan wat op de verpakking staat.

- berekenen van de oppervlakte van de cirkel 1
- inzicht dat $E = \frac{\Phi}{A}$ 1
- completeren van het antwoord 1