Correctievoorschrift VWO

2025

tijdvak 2

natuurkunde

Het correctievoorschrift bestaat uit:
1 Regels voor de beoordeling
2 Algemene regels
3 Vakspecifieke regels
4 Beoordelingsmodel
5 Aanleveren scores
6 Bronvermeldingen

1 Regels voor de beoordeling

Het werk van de kandidaten wordt beoordeeld met inachtneming van de artikelen 3.21, 3.24 en 3.25 van het Uitvoeringsbesluit WVO 2020.
Voorts heeft het College voor Toetsen en Examens op grond van artikel 2 lid 2d van de Wet College voor toetsen en examens de Regeling beoordelingsnormen en bijbehorende scores centraal examen vastgesteld.
Voor de beoordeling zijn de volgende aspecten van de artikelen 3.21 t/m 3.25 van het Uitvoeringsbesluit WVO 2020 van belang:
1 De directeur doet het gemaakte werk met een exemplaar van de opgaven, de beoordelingsnormen en het proces-verbaal van het examen toekomen aan de examinator. Deze kijkt het werk na en zendt het met zijn beoordeling aan de directeur. De examinator past de beoordelingsnormen en de regels voor het toekennen van scorepunten toe die zijn gegeven door het College voor Toetsen en Examens.
2 De directeur doet de van de examinator ontvangen stukken met een exemplaar van de opgaven, de beoordelingsnormen, het proces-verbaal en de regels voor het bepalen van de score onverwijld aan de directeur van de school van de gecommitteerde toekomen. Deze stelt het ter hand aan de gecommitteerde.

natuurkundeuitgelegd.nl

3 De gecommitteerde beoordeelt het werk zo spoedig mogelijk en past de beoordelingsnormen en de regels voor het bepalen van de score toe die zijn gegeven door het College voor Toetsen en Examens.
De gecommitteerde voegt bij het gecorrigeerde werk een verklaring betreffende de verrichte correctie. Deze verklaring wordt mede ondertekend door het bevoegd gezag van de gecommitteerde.
4 De examinator en de gecommitteerde stellen in onderling overleg het behaalde aantal scorepunten voor het centraal examen vast.
5 Indien de examinator en de gecommitteerde daarbij niet tot overeenstemming komen, wordt het geschil voorgelegd aan het bevoegd gezag van de gecommitteerde. Dit bevoegd gezag kan hierover in overleg treden met het bevoegd gezag van de examinator. Indien het geschil niet kan worden beslecht, wordt hiervan melding gemaakt aan de inspectie. De inspectie kan een derde onafhankelijke corrector aanwijzen. De beoordeling van deze derde corrector komt in de plaats van de eerdere beoordelingen.

2 Algemene regels

Voor de beoordeling van het examenwerk zijn de volgende bepalingen uit de regeling van het College voor Toetsen en Examens van toepassing:
1 De examinator vermeldt op een lijst de namen en/of nummers van de kandidaten, het aan iedere kandidaat voor iedere vraag toegekende aantal scorepunten en het totaal aantal scorepunten van iedere kandidaat.
2 Voor het antwoord op een vraag worden door de examinator en door de gecommitteerde scorepunten toegekend, in overeenstemming met correctievoorschrift. Scorepunten zijn de getallen 0, 1, 2, ..., n, waarbij n het maximaal te behalen aantal scorepunten voor een vraag is. Andere scorepunten die geen gehele getallen zijn, of een score minder dan 0 zijn niet geoorloofd.
3 Scorepunten worden toegekend met inachtneming van de volgende regels:
3.1 indien een vraag volledig juist is beantwoord, wordt het maximaal te behalen aantal scorepunten toegekend;
3.2 indien een vraag gedeeltelijk juist is beantwoord, wordt een deel van de te behalen scorepunten toegekend in overeenstemming met het beoordelingsmodel;
3.3 indien een antwoord op een open vraag niet in het beoordelingsmodel voorkomt en dit antwoord op grond van aantoonbare, vakinhoudelijke argumenten als juist of gedeeltelijk juist aangemerkt kan worden, moeten scorepunten worden toegekend naar analogie of in de geest van het beoordelingsmodel;
3.4 indien slechts één voorbeeld, reden, uitwerking, citaat of andersoortig antwoord gevraagd wordt, wordt uitsluitend het eerstgegeven antwoord beoordeeld;
3.5 indien meer dan één voorbeeld, reden, uitwerking, citaat of andersoortig antwoord gevraagd wordt, worden uitsluitend de eerstgegeven antwoorden beoordeeld, tot maximaal het gevraagde aantal;
3.6 indien in een antwoord een gevraagde verklaring of uitleg of afleiding of berekening ontbreekt dan wel foutief is, worden 0 scorepunten toegekend tenzij in het beoordelingsmodel anders is aangegeven;

natuurkundeuitgelegd.nl

3.7 indien in het beoordelingsmodel verschillende mogelijkheden zijn opgenomen, gescheiden door het teken /, gelden deze mogelijkheden als verschillende formuleringen van hetzelfde antwoord of onderdeel van dat antwoord;
3.8 indien in het beoordelingsmodel een gedeelte van het antwoord tussen haakjes staat, behoeft dit gedeelte niet in het antwoord van de kandidaat voor te komen;
3.9 indien een kandidaat op grond van een algemeen geldende woordbetekenis, zoals bijvoorbeeld vermeld in een woordenboek, een antwoord geeft dat vakinhoudelijk onjuist is, worden aan dat antwoord geen scorepunten toegekend, of tenminste niet de scorepunten die met de vakinhoudelijke onjuistheid gemoeid zijn.

4 Het juiste antwoord op een meerkeuzevraag is de hoofdletter die behoort bij de juiste keuzemogelijkheid. Als het antwoord op een andere manier is gegeven, maar onomstotelijk vaststaat dat het juist is, dan moet dit antwoord ook goed gerekend worden. Voor het juiste antwoord op een meerkeuzevraag wordt het in het beoordelingsmodel vermelde aantal scorepunten toegekend. Voor elk ander antwoord worden geen scorepunten toegekend. Indien meer dan één antwoord gegeven is, worden eveneens geen scorepunten toegekend.

5 Een fout mag in de uitwerking van een vraag maar één keer worden aangerekend, tenzij daardoor de vraag aanzienlijk vereenvoudigd wordt en/of tenzij in het beoordelingsmodel anders is vermeld.

6 Een zelfde fout in de beantwoording van verschillende vragen moet steeds opnieuw worden aangerekend, tenzij in het beoordelingsmodel anders is vermeld.

7 Indien de examinator of de gecommitteerde meent dat in een examen of in het beoordelingsmodel bij dat examen een fout of onvolkomenheid zit, beoordeelt hij het werk van de kandidaten alsof examen en beoordelingsmodel juist zijn. Hij kan de fout of onvolkomenheid mededelen aan het College voor Toetsen en Examens.
Het is niet toegestaan zelfstandig af te wijken van het beoordelingsmodel. Met een eventuele fout wordt bij de definitieve normering van het examen rekening gehouden.

8 Scorepunten worden toegekend op grond van het door de kandidaat gegeven antwoord op iedere vraag. Er worden geen scorepunten vooraf gegeven.

9 Het cijfer voor het centraal examen wordt als volgt verkregen.
Eerste en tweede corrector stellen de score voor iedere kandidaat vast. Deze score wordt meegedeeld aan de directeur.
De directeur stelt het cijfer voor het centraal examen vast op basis van de regels voor omzetting van score naar cijfer.

NB1 *T.a.v. de status van het correctievoorschrift:*
Het College voor Toetsen en Examens heeft de correctievoorschriften bij regeling vastgesteld. Het correctievoorschrift is een zogeheten algemeen verbindend voorschrift en valt onder wet- en regelgeving die van overheidswege wordt verstrekt. De corrector mag dus niet afwijken van het correctievoorschrift.

natuurkundeuitgelegd.nl

NB2 *T.a.v. het verkeer tussen examinator en gecommitteerde (eerste en tweede corrector):*
Het aangeven van de onvolkomenheden op het werk en/of het noteren van de behaalde scores bij de vraag is toegestaan, maar niet verplicht. Evenmin is er een standaardformulier voorgeschreven voor de vermelding van de scores van de kandidaten. Het vermelden van het schoolexamencijfer is toegestaan, maar niet verplicht. Binnen de ruimte die de regelgeving biedt, kunnen scholen afzonderlijk of in gezamenlijk overleg keuzes maken.

NB3 *T.a.v. aanvullingen op het correctievoorschrift:*
Er zijn twee redenen voor een aanvulling op het correctievoorschrift: verduidelijking en een fout.
Verduidelijking
Het correctievoorschrift is vóór de afname opgesteld. Na de afname blijkt pas welke antwoorden kandidaten geven. Vragen en reacties die via het Examenloket bij de Toets- en Examenlijn binnenkomen, kunnen duidelijk maken dat het correctievoorschrift niet voldoende recht doet aan door kandidaten gegeven antwoorden. Een aanvulling op het correctievoorschrift kan dan alsnog duidelijkheid bieden.
Een fout
Als het College voor Toetsen en Examens vaststelt dat een centraal examen een fout bevat, kan het besluiten tot een aanvulling op het correctievoorschrift.

Een aanvulling op het correctievoorschrift wordt door middel van een mailing vanuit Examenblad.nl bekendgemaakt. Een aanvulling op het correctievoorschrift wordt zo spoedig mogelijk verstuurd aan de examensecretarissen.
Soms komt een onvolkomenheid pas geruime tijd na de afname aan het licht. In die gevallen vermeldt de aanvulling:

– Als het werk al naar de tweede corrector is gezonden, past de tweede corrector deze aanvulling op het correctievoorschrift toe.
  en/of
– Als de aanvulling niet is verwerkt in de naar Cito gezonden Wolf-scores, voert Cito dezelfde wijziging door die de correctoren op de verzamelstaat doorvoeren.

Dit laatste gebeurt alleen als de aanvulling luidt dat voor een vraag alle scorepunten moeten worden toegekend.

Als een onvolkomenheid op een dusdanig laat tijdstip geconstateerd wordt dat een aanvulling op het correctievoorschrift ook voor de tweede corrector te laat komt, houdt het College voor Toetsen en Examens bij de vaststelling van de N-term rekening met de onvolkomenheid.

natuurkundeuitgelegd.nl

3 Vakspecifieke regels

Voor dit examen zijn de volgende vakspecifieke regels vastgesteld:

1 Een afwijking in de uitkomst van een berekening/bepaling door acceptabel tussentijds afronden wordt de kandidaat niet aangerekend.

2 Het laatste scorepunt, aangeduid met ‘completeren van de berekening/bepaling’, wordt niet toegekend als:
- een of meer rekenfouten gemaakt zijn,
- de eenheid van een uitkomst niet of verkeerd vermeld is, tenzij gezien de vraagstelling het weergeven van de eenheid overbodig is (In zo’n geval staat in het beoordelingsmodel de eenheid tussen haakjes),
- antwoordelementen foutief met elkaar gecombineerd zijn,
- een onjuist antwoordelement een substantiële vereenvoudiging van de berekening/bepaling tot gevolg heeft.

3 Het scorepunt voor het gebruik van een formule wordt toegekend als de kandidaat laat zien kennis te hebben van de betekenis van de symbolen uit de formule. Dit blijkt als:
- de juiste formule is geselecteerd, én
- voor minstens één symbool een waarde is ingevuld die past bij de betreffende grootheid.

natuurkundeuitgelegd.nl

4 Beoordelingsmodel

Vraag	Antwoord	Scores

Lampjespracticum

1 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

In figuur 1 is te zien dat $\frac{U}{I}$, dus de weerstand, groter wordt als I groter wordt. Bij een grotere stroomsterkte zal ook de temperatuur van het gloeilampje toenemen. De weerstand neemt dus toe als de temperatuur toeneemt. Het lampje kan dus beschouwd worden als een PTC.

- inzicht dat uit figuur 1 volgt dat de weerstand toeneemt met toenemende stroomsterkte 1
- inzicht in het verband tussen de stroomsterkte en de temperatuur 1
- consequente conclusie 1

2 maximumscore 4

uitkomst: $1{,}6 \cdot 10^2\ \Omega$

voorbeeld van een antwoord:

De stroomsterkte door L_1 bij $U = 5{,}0\ \text{V}$ is 64 mA.

Voor de weerstand van L_1 geldt: $R = \frac{U}{I} = \frac{5{,}0}{0{,}064} = 78{,}1\ \Omega$. De lampjes staan in serie, dus de vervangingsweerstand is gelijk aan $2R$, dus $1{,}6 \cdot 10^2\ \Omega$.

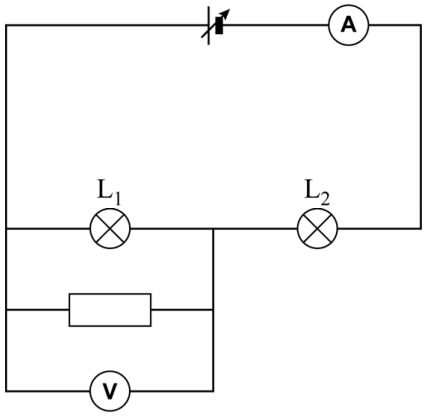
- bepalen van de stroomsterkte bij 5,0 V, met een marge van 1 mA 1
- gebruik van $U = IR$ 1
- inzicht in serieschakeling 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

opmerking
Als de kandidaat het inzicht in de serieschakeling niet toont, kan ook de laatste deelscore niet toegekend worden.

natuurkundeuitgelegd.nl

3 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:



- weerstand parallel aan L_1 1
- stroommeter in de hoofdtak in serie met de spanningsbron en spanningsmeter parallel aan lampje L_1 1

opmerking
Als bijvoorbeeld door het tekenen van extra verbindingen een niet-werkende schakeling is ontstaan: maximaal 1 scorepunt toekennen

4 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

– Door de extra (parallelle) weerstand wordt de weerstand van het linkerdeel van de serieschakeling kleiner en dus wordt de totale weerstand van de schakeling kleiner. Omdat de bronspanning gelijk blijft wordt dus de totale stroomsterkte groter.
– De stroomsterkte door L_2 is gelijk aan de totale stroomsterkte, dus dit lampje zal feller branden. Omdat de stroomsterkte door L_2 groter wordt, wordt de spanning over L_2 groter. Omdat de totale spanning gelijk blijft, wordt dus de spanning over L_1 kleiner. Dit lampje zal dus minder fel branden.

- inzicht dat de totale vervangingsweerstand kleiner wordt 1
- consequente conclusie ten aanzien van de stroomsterkte 1
- inzicht dat de stroomsterkte door L_2 gelijk is aan de totale stroomsterkte en consequente conclusie ten aanzien van de felheid van L_2 1
- inzicht in de spanning over L_1 en consequente conclusie ten aanzien van de felheid van L_1 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Springende hydrogelballetjes

5 maximumscore 3

uitkomst: $4{,}1 \cdot 10^{-4}$ J

voorbeeld van een antwoord:
Het balletje wordt losgelaten op een hoogte van 9,2 cm. In de figuur is te zien dat het balletje na de stuit een hoogte bereikt van 6,8 cm.
De afname in zwaarte-energie is dus:
$\Delta E_z = mg\Delta h = 1{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}024 = 4{,}1 \cdot 10^{-4}$ J.

- bepalen van de hoogte na de stuit tussen 6,7 cm en 6,8 cm 1
- gebruik van $E_z = mgh$ 1
- completeren van de bepaling 1

6 maximumscore 4

uitkomst: $1{,}3\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

voorbeeld van een antwoord:
– bij 13% energieverlies: $E_k = 0{,}87E_z$, dus
$v = \sqrt{0{,}87 \cdot 2gh} = \sqrt{0{,}87 \cdot 2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}092} = 1{,}25\ \mathrm{m\,s^{-1}}$
– bij 0% energieverlies: $E_k = E_z$, dus
$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}092} = 1{,}34\ \mathrm{m\,s^{-1}}$
Aangezien de beginhoogte gegeven is in twee significante cijfers, moet de berekende snelheid ook in twee cijfers genoteerd worden, dus in beide gevallen $1{,}3\ \mathrm{m\,s^{-1}}$.

- inzicht dat $E_k = (1 - \text{verliespercentage}) \cdot E_z$ 1
- gebruik van $E_z = mgh$ en $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 1
- completeren van de berekeningen 1
- significantie 1

Opmerking
Als de kandidaat het verliespercentage toepast op de berekende snelheid, maximaal 1 scorepunt toekennen

natuurkundeuitgelegd.nl

7 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:
De hellingen van de raaklijnen vlak voor ($t = 0{,}137$ s) en direct na de stuit ($t = 0{,}144$ s) zijn gelijk aan de respectievelijke snelheden.

Hiermee is met $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ de kinetische energie te berekenen.

Het energieverlies wordt dan gegeven door :

$$\text{energieverlies} = \frac{E_{k,voor} - E_{k,na}}{E_{k,voor}} (\cdot 100\%).$$

- inzicht dat de hellingen van de raaklijnen bepaald moet worden 1
- tekenen van de raaklijnen vlak voor en direct na de stuit 1
- inzicht dat E_k berekend moet worden 1
- inzicht dat $\text{energieverlies} = \frac{E_{k,voor} - E_{k,na}}{E_{k,voor}} (\cdot 100\%)$ 1

8 maximumscore 2

uitkomst: $9 \cdot 10^{-5}$ J of $1 \cdot 10^{-4}$ J

voorbeeld van een antwoord:
In figuur 4 is te zien dat bij een stuiterhoogte van ongeveer 4 cm deze niet verandert. In figuur 3 is af te lezen dat dan de energie-overdracht per stuit gelijk is aan $1 \cdot 10^{-4}$ J .

- aflezen van de stabiele stuiterhoogte 1
- aflezen van de energie-overdracht per stuit en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Sterrenlicht

9 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Het tralie met 200 lijnen per millimeter heeft de kleinste tralieconstante d. Voor de afbuighoek geldt dat $d \sin\alpha = n\lambda$, dus bij de kleinste d hoort de grootste α. Bij dit tralie is dus de afbeelding het grootst. (En dus moet het tralie met 200 lijnen pet millimeter gekozen worden.)

- inzicht in het verband tussen het aantal lijnen per millimeter en d 1
- inzicht in het verband tussen d en de afbuighoek en consequente conclusie 1

10 maximumscore 3

uitkomst: $3{,}3°$

voorbeeld van een antwoord:

Voor de afbuighoek geldt: $d \sin\alpha_n = n\lambda$, dus $\sin\alpha_n = \dfrac{n\lambda}{d}$.

De tralieconstante is gelijk aan: $d = \dfrac{1}{100 \text{ mm}^{-1}} = 1{,}00 \cdot 10^{-5}$ m.

Invullen van de gegevens geeft: $\sin\alpha = \dfrac{1 \cdot 0{,}58 \cdot 10^{-6}}{1{,}00 \cdot 10^{-5}} = 0{,}058$, dus $\alpha = 3{,}3°$.

- gebruik van $d \sin\alpha_n = n\lambda$, met $n = 1$ 1
- inzicht dat $d = \dfrac{1}{\text{aantal lijnen per mm}}$ 1
- completeren van de berekening 1

11 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Bij een tralie ontstaan meerdere maxima per golflengte. Het is dus nog steeds niet mogelijk om precies te voorspellen op welke plaats een foton op de chip valt. Er is dus wel degelijk sprake van een waarschijnlijkheidsverdeling. (Dus Luna heeft geen gelijk.)

- inzicht dat per golflengte meerdere maxima ontstaan 1
- inzicht dat de plaats waar één foton terecht komt niet vast ligt 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Experiment van Millikan

12 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Omschrijven van formule (1) geeft: $\eta = \dfrac{F_w}{6\pi r v}$.

Dus voor de eenheden geldt: $[\eta] = \dfrac{[F_w]}{[r][v]} = \dfrac{\text{N}}{\text{m m s}^{-1}}$.

Invullen van $\text{N} = \text{kg m s}^{-2}$ geeft uiteindelijk: $[\eta] = \dfrac{\text{kg m s}^{-2}}{\text{m m s}^{-1}} = \text{kg m}^{-1}\,\text{s}^{-1}$.

- invullen van de eenheden in formule (1) 1
- gebruik van $\text{N} = \text{kg m s}^{-2}$ 1
- completeren van de afleiding 1

Opmerking
Als de kandidaat het tweede scorepunt niet behaalt mag het laatste scorepunt niet worden toegekend.

13 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

De constante snelheid betekent dat er krachtenevenwicht is: $F_w = F_z$.

Invullen van formule (1) en $F_z = mg$ geeft: $6\pi\eta r v = mg$.

Voor de massa van de druppel geldt: $m = \rho_{olie} V = \rho_{olie} \cdot \dfrac{4}{3}\pi r^3$.

Invullen en uitwerken levert dan: $r = \sqrt{\dfrac{9\eta v}{2g\rho_{olie}}}$.

- inzicht dat $F_w = F_z$ 1
- gebruik van formule (1) en $F_z = mg$ 1
- gebruik van $\rho = \dfrac{m}{V}$ en $V = \dfrac{4}{3}\pi r^3$ 1
- completeren van de afleiding 1

natuurkundeuitgelegd.nl

14 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

– Omschrijven van formule (2) en invullen van de gegevens geeft:

$$\rho_{\text{olie}} = \frac{9\eta v}{2gr^2} = \frac{9 \cdot 1{,}828 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}084 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 9{,}81 \cdot (2{,}7 \cdot 10^{-6})^2} = 9{,}7 \cdot 10^{2}\ \text{kg m}^{-3}.$$

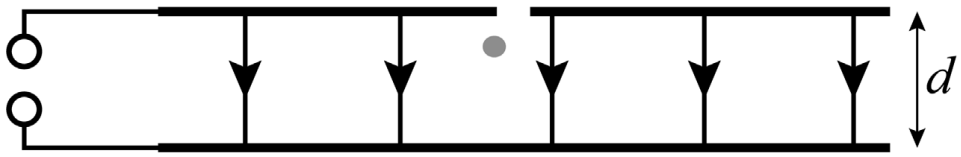
– De zwaartekracht op de druppel is gelijk aan $F_z = \rho_{\text{olie}} V g$. De opwaartse kracht is gelijk aan $F_{\text{op}} = \rho_{\text{lucht}} V g$. De dichtheid van lucht is veel kleiner dan de dichtheid van de olie. (Dus de opwaartse kracht is verwaarloosbaar ten opzichte van de zwaartekracht.)

- gebruik van formule (2) 1
- completeren van de berekening 1
- inzicht dat $F_z \propto \rho_{\text{olie}}$ / inzicht dat $F_{\text{op}} \propto \rho_{\text{lucht}}$ 1
- inzicht dat $\rho_{\text{olie}} >> \rho_{\text{lucht}}$ 1

15 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

–



– Invullen van formule (1) geeft: $E = \frac{U}{d} = \frac{5{,}1 \cdot 10^{3}}{16 \cdot 10^{-3}} = 3{,}2 \cdot 10^{5}\ \text{NC}^{-1}$.

- tekenen van minimaal vijf verticale veldlijnen op gelijke onderlinge afstand 1
- inzicht dat de richting van het veld naar beneden is 1
- gebruik van formule (1) en completeren van de berekening 1

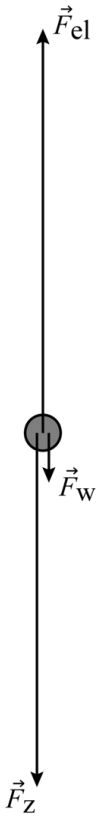
natuurkundeuitgelegd.nl

16 maximumscore 5

uitkomst: $2{,}8\cdot10^{-18}\,\text{C}$ met een marge van $0{,}1\cdot10^{-18}\,\text{C}$

voorbeeld van een antwoord:

–



– De grootte van de zwaartekracht is gelijk aan
$F_z = mg = \frac{4}{3}\pi\left(2{,}7\cdot10^{-6}\right)^3\cdot9{,}7\cdot10^2\cdot9{,}81 = 7{,}8\cdot10^{-13}\,\text{N}$.
De grootte van de elektrische kracht volgt uit de tekening en is gelijk aan $8{,}9\cdot10^{-13}$ N. Voor deze kracht geldt: $F_{\text{el}} = qE$. Dus de lading van de druppel is gelijk aan $q = \frac{F_{\text{el}}}{E} = \frac{8{,}9\cdot10^{-13}}{3{,}2\cdot10^5} = 2{,}8\cdot10^{-18}\,\text{C}$.

- tekenen van F_{el} zodanig dat $F_{\text{el}} = F_z + F_{\text{w}}$ 1
- gebruik van $F_{\text{z}} = mg$, $\rho = \frac{m}{V}$ en $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ 1
- bepalen van F_{el} 1
- gebruik van $F_{\text{el}} = qE$ 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

17 maximumscore 3

uitkomst: $1{,}62 \cdot 10^{-19}$ C, met een marge van $0{,}05 \cdot 10^{-19}$ C

voorbeeld van een antwoord:
De afstand tussen twee streepjes is steeds een veelvoud van het elementair ladingsquantum. De kleinste afstand tussen twee streepjes komt dan overeen met het elementair ladingsquantum. Deze kleinste afstand past 33 keer tussen 0 en $160 \cdot 10^{-10}$ ESU. Dus er geldt:
$33e = 160 \cdot 10^{-10} \cdot 3{,}34 \cdot 10^{-10}$ C.
Dus $e = 1{,}62 \cdot 10^{-19}$ C.

- inzicht dat de kleinste afstand tussen de streepjes overeenkomt met e 1
- omrekenen van ESU naar C 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Lever zichtbaar maken

18 maximumscore 3
uitkomst: 26 cm

voorbeeld van een antwoord:

Voor de doorgelaten intensiteit geldt: $I = I_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{½}}}$. De halveringsdikte van water bij een fotonenergie van 100 keV is 4,1 cm.

Invullen van de gegevens: $\frac{I}{I_0} = 0{,}012 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{4{,}1}}$.

Uitwerken levert $d = 26$ cm.

- gebruik van $I = I_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{½}}}$ 1
- opzoeken van $d_{½}$ 1
- completeren van de berekening 1

19 maximumscore 5
voorbeeld van een antwoord:

Uit de figuur blijkt dat $\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{lichaamsweefsel}}$ gelijk is aan 0,004 bij acht halveringsdiktes. Omdat $d_{½,\text{ leverweefsel}} = 0{,}9 \cdot d_{½,\text{ water}}$, is $\left(\frac{I}{I_0}\right)_{\text{leverweefsel}}$ dus gelijk aan 0,004 bij 0,9 maal acht halveringsdiktes van water, dus bij $7{,}2\,d_{½,\text{water}}$.

natuurkundeuitgelegd.nl

– De verhouding van de doorgelaten intensiteiten bij water (lichaamsweefsel) en de lever is groter als het aantal halveringsdiktes groter wordt. Dus het contrast is groter bij een groot aantal halveringsdiktes. Voor een zo groot mogelijk contrast moet de halveringsdikte dus zo klein mogelijk zijn.
De halveringsdikte is kleiner bij kleinere fotonenergieën, dus de lever is beter zichtbaar bij kleinere fotonenergieën.

- inzicht dat de grafiek voor leverweefsel een rechte lijn is met hetzelfde beginpunt als de grafiek voor water 1
- gebruik van formule (1) en tekenen van de grafiek voor leverweefsel, met eindpunt tussen $\frac{I}{I_0} = 0,002$ en $\frac{I}{I_0} = 0,003$ 1
- inzicht in het verband tussen het contrast en het aantal halveringsdiktes 1
- inzicht in het verband tussen de fotonenergie en de halveringsdikte 1
- consequente conclusie 1

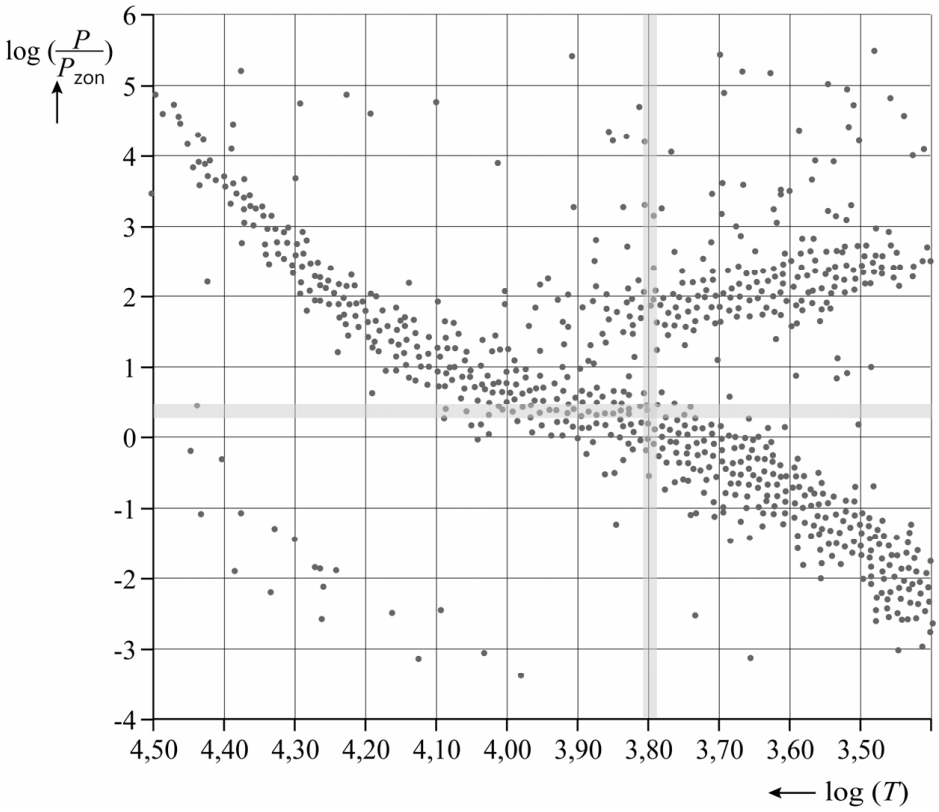
natuurkundeuitgelegd.nl

WASP

20 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:
Voor de ster geldt:

$$\log T = \log(6{,}30 \cdot 10^3) = 3{,}80 \text{ en } \log\left(\frac{P}{P_{\text{zon}}}\right) = \log(2{,}0) = 0{,}30$$



- inzicht dat $\log T$ berekend moet worden 1
- inzicht dat $\log\left(\frac{P}{P_{\text{zon}}}\right)$ berekend moet worden 1
- completeren van de berekening en consequent aangeven van de ster in het HR-diagram met een marge van 0,01 op de horizontale as en 0,1 op de verticale as 1

natuurkundeuitgelegd.nl

21 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

– Bij een grotere exoplaneet wordt er tijdens een transit méér licht van de ster geblokkeerd. Dat leidt tot een grotere (en makkelijker waar te nemen) dip in de intensiteit van de ster.

– Als de omlooptijd van de exoplaneet kleiner is, zullen er méér transits per tijdseenheid plaatsvinden waardoor ook de kans groter wordt dat de transit waargenomen wordt.

- inzicht dat een grotere planeet méér licht blokkeert / leidt tot een grotere dip in de gemeten intensiteit van de ster 1
- inzicht dat een kleinere omlooptijd van de exoplaneet tot gevolg heeft dat er meer transits per tijdseenheid waar te nemen zijn 1

22 maximumscore 4

uitkomst: $9{,}0 \cdot 10^{-3}$

voorbeeld van een antwoord:

Voor de eenparige cirkelbeweging van de exoplaneet geldt $F_{mpz} = F_g$ met $F_{mpz} = \dfrac{m_{exoplaneet} v^2}{r_{exoplaneet}}$ en $F_g = G\dfrac{m_{exoplaneet} \cdot 1{,}2\, m_{zon}}{r_{exoplaneet}^2}$. Omschrijven en invullen geeft: $r_{exoplaneet} = \dfrac{G \cdot 1{,}2 m_{zon}}{v^2} = \dfrac{6{,}674 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}988 \cdot 10^{30}}{(1{,}5 \cdot 10^5)^2} = 7{,}08 \cdot 10^9$ m.

Dus $\dfrac{r_{exoplaneet}}{r_{Jupiter}} = \dfrac{7{,}08 \cdot 10^9}{0{,}788 \cdot 10^{12}} = 9{,}0 \cdot 10^{-3}$.

- inzicht dat $F_{mpz} = F_g$ 1
- gebruik van $F_{mpz} = \dfrac{mv^2}{r}$ en $F_g = G\dfrac{mM}{r^2}$ 1
- opzoeken van G en m_{zon} en $r_{Jupiter}$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

23 maximumscore 1
Het betreft hier een absorptiespectrum.

24 maximumscore 2
voorbeeld van een antwoord:
Er wordt gekeken naar het licht dat afkomstig is van de ster. De temperatuur van de ster is $6{,}30 \cdot 10^3$ K. Bij deze temperatuur ligt het maximum van de (planck-)kromme in het blauwe licht. De spectra I en II zijn dus niet juist. (spectrum III of IV is dus juist.)
De simulatie van het groene licht toont een minder diepe en smallere dip dan de grafieken van het rode en het blauwe licht. Het groene licht van de ster wordt dus niet geabsorbeerd door de atmosfeer. Het blauwe en het rode licht wél. Dit is te zien in de spectra I en III.
Spectrum III geeft dus het juiste spectrum weer.

- inzicht dat het maximum van het spectrum in het zichtbare licht valt en consequente keuze voor spectrum III of IV 1
- inzicht dat het rode en blauwe licht in de atmosfeer geabsorbeerd worden en groen niet en consequente keuze voor spectrum I of III 1

5 Aanleveren scores

Verwerk de scores van alle kandidaten per examinator in de applicatie Wolf. Accordeer deze gegevens voor Cito uiterlijk op 23 juni.

6 Bronvermeldingen

Experiment van Millikan
figuur 2 Oil drop experiment - Wikipedia

Wasp
figuur 1 https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/03/Hot_exoplanet

overige figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2025

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