Correctievoorschrift VWO

2026

tijdvak 1

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 tot en met 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 goedgerekend 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.

Toelichting status 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

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.

Toelichting 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 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 Het scorepunt voor het ‘gebruik van een formule’ wordt toegekend als:
- bij berekeningen en bepalingen de juiste formule is geselecteerd en voor minstens één grootheid de overeenkomstige waarde is ingevuld of elders in de uitwerking de grootheid met bijbehorende waarde is genoteerd.
    - Als in een formule eenzelfde grootheid meermaals voorkomt moet de waarde van de grootheid juist in de formule zijn ingevuld.
    - De formule hoeft niet genoteerd te zijn. Het gebruik ervan kan blijken uit de berekening/bepaling zelf.
- bij afleidingen en redeneringen de juiste formule volledig is genoteerd en met deze formule een relevante bewerking of redeneerstap is uitgevoerd.
    - Bij een afleiding gaat het om een relevante wiskundige bewerking (omschrijving, substitutie) van de formule.
    - Bij een redenering gaat het om de beschrijving van het effect van de verandering van minstens één grootheid in de formule.

2 Het scorepunt, aangeduid met ‘completeren van de berekening/bepaling’, wordt niet toegekend als:
- door een onjuist antwoordelement (waarvoor bij een eerder scorepunt al aftrek heeft plaatsgevonden) de berekening of bepaling substantieel is vereenvoudigd ten opzichte van de correcte uitkomst, of
- antwoordelementen foutief met elkaar zijn gecombineerd, of
- één of meer rekenfouten zijn gemaakt, of
- de eenheid van de uitkomst niet of niet passend bij de grootheid is vermeld, tenzij uit het beoordelingsmodel blijkt dat vermelding van de eenheid niet is vereist, of
- de uitkomst alleen als orde van grootte is genoteerd, tenzij naar de orde van grootte is gevraagd.

3 Significantie wordt alleen beoordeeld als: (a) gevraagd wordt naar een uitkomst in een gegeven aantal significante cijfers, of de vraag betrekking heeft op een gegeven waarde waarvan de juistheid aangetoond moet worden, of (b) gevraagd wordt naar een uitkomst in het juiste aantal significante cijfers. Significantie wordt als juist beoordeeld indien aan de volgende twee voorwaarden is voldaan:
- Het aantal significante cijfers in de genoteerde uitkomst past bij de oplosroute die de kandidaat heeft gevolgd en deze oplosroute past bij de gestelde vraag. Bij vraagsoort (b) kan het juiste aantal cijfers dus afwijken van het aantal in het beoordelingsmodel.
- Bij tussentijds afronden is minimaal het aantal cijfers van de genoteerde uitkomst gebruikt.

Als een tussenantwoord is genoteerd in meer dan het juiste of het gegeven aantal significante cijfers hoeven de extra cijfers niet gecontroleerd te worden op rekenfouten.

natuurkundeuitgelegd.nl

4 Beoordelingsmodel

Vraag	Antwoord	Scores

Botsproef

1 maximumscore 3

uitkomst: $h = 0{,}82$ m

voorbeeld van een antwoord:
Zwaarte-energie wordt omgezet in kinetische energie. Dus er geldt:
$\Delta E_z = (-)\Delta E_k$. Invullen van de formules voor deze energieën geeft:

$mgh = \frac{1}{2}mv^2$, dus $h = \frac{\frac{1}{2}v^2}{g} = \frac{\frac{1}{2}\cdot 4{,}0^2}{9{,}81} = 0{,}82$ m.

- inzicht dat $\Delta E_z = (-)\Delta E_k$ 1
- gebruik van $E_z = mgh$ en $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 1
- completeren van de berekening 1

2 maximumscore 2

uitkomst: $\Delta x = 2$ cm

voorbeeld van een antwoord:
In de vergroting van het beeldje op de uitwerkbijlage kan de positie van een markering op 1 millimeter nauwkeurig bepaald worden. De balk is daar 45 mm lang, en dat komt overeen met 0,91 m. De nauwkeurigheid van de positiebepaling is dus $0{,}91 \cdot \frac{1}{45} = 0{,}02$ m = 2 cm.

- schatten van de meetnauwkeurigheid op het beeldje tussen 0,5 en 2 mm 1
- completeren van de bepaling 1

3 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

De tijd T tussen twee opgenomen beeldjes is $\frac{1}{50} = 0{,}020$ s. Uit het (y,x)-diagram blijkt dat markering S zich gedurende 17 opeenvolgende beeldjes rechts van $x = 0$ bevindt. De bijbehorende tijdsduur is $\Delta t = 17 \cdot 0{,}020 = 0{,}34$ s.

- berekenen van het tijdsinterval tussen twee beeldjes 1
- inzicht dat $\Delta t =$ aantal beeldjes $\cdot T$ en completeren 1

natuurkundeuitgelegd.nl

4 maximumscore 2

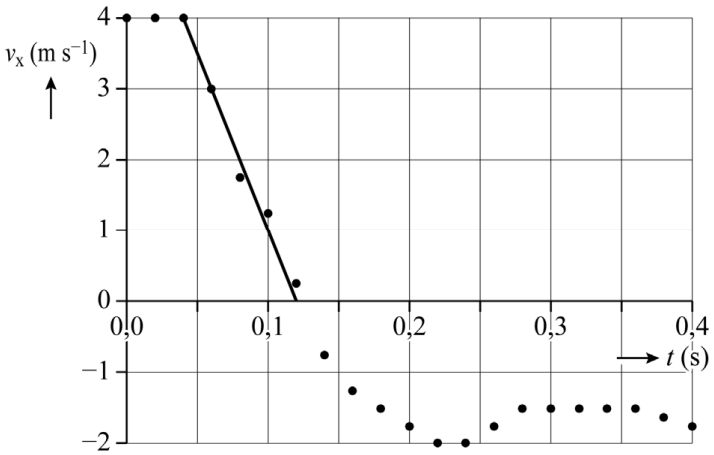
voorbeeld van een antwoord:
Uit de onderlinge afstand tussen de meetpunten in figuur 3 volgt dat de snelheid van markering S rond meetpunt 17 / rond het tijdstip $t = 0{,}34$ s groter is dan de snelheid van markering M. Op $t = 0{,}34$ s beweegt S dus nog steeds ten opzichte van M. (Aya heeft ongelijk.)

- inzicht dat de snelheden van M en S op $t = 0{,}34$ s vergeleken moeten worden 1
- consequente conclusie 1

5 maximumscore 3

uitkomst: $a_{x,gem} = (-)50\ \mathrm{m\,s^{-2}}$ (met een marge van $6\ \mathrm{m\,s^{-2}}$)

voorbeeld van een antwoord:



Vlak voor het begin van de vertraging is de snelheid $v_x = 4{,}0\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. Het vertragen tot aan het omkeerpunt bij $v_x = 0$ duurt van $t = 0{,}040$ s tot $t = 0{,}120$ s, dus $\Delta t = 0{,}080$ s. Hieruit volgt $a_{x,gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0 - 4{,}0}{0{,}080} = -50\ \mathrm{m\,s^{-2}}$.

(De gemiddelde vertraging is $50\ \mathrm{m\,s^{-2}}$).

- gebruik van $a_{gem} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 1
- bepalen van de tijdsduur van het begin van de vertraging tot aan het omkeerpunt 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

6 maximumscore 4

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

Tijdens het vertragen geldt: $W = \Delta E_k$.

Hierin is W de arbeid die door de (horizontale component van de) remkracht F_{rem} wordt verricht.

Er geldt $W = F_{rem} \cdot s$ en $F_{rem} = m \cdot a_x$.

Invullen in $W = \Delta E_k$ geeft: $m \cdot a_x \cdot s = \frac{1}{2} m v_{x,eind}^2 - \frac{1}{2} m v_{x,begin}^2$.

Met $v_{x,eind} = 0$ en $v_{x,begin} = v_b$ en door de massa weg te delen volgt hieruit $a_x \cdot s = (-)\frac{1}{2} v_b^2$. De vertraging tijdens het afremmen is $a_x = \frac{v_b^2}{2s}$.

- gebruik van $W = \Delta E_k$ met $E_k = \frac{1}{2} m v^2$ 1
- gebruik van $W = F \cdot s$ 1
- gebruik van $F = m \cdot a$ 1
- completeren van de afleiding 1

methode 2

De horizontale vertraging tijdens het afremmen is gelijk aan $a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}$. Met $v_{x,eind} = 0$ en $v_{x,begin} = v_b$ volgt hieruit $a_x = \frac{v_b}{\Delta t}$.

Uit $s = v_{gem} \Delta t$ en $v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$ volgt $\Delta t = \frac{2s}{v_b}$.

Voor de horizontale vertraging a_x geldt dus: $a_x = \frac{v_b}{\Delta t} = \frac{v_b}{\left(\frac{2s}{v_b}\right)} = \frac{v_b^2}{2s}$.

- gebruik van $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 1
- inzicht dat $s = v_{gem} \Delta t$ 1
- inzicht dat $v_{gem} = \frac{1}{2} v_b$ 1
- completeren van de afleiding 1

natuurkundeuitgelegd.nl

7 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:
Uit figuur 3 blijkt dat de vertraging van de schouder plaatsvindt over een (horizontale) remafstand $s = 0{,}33 - 0{,}20 = 0{,}13$ m. Deze remafstand is kleiner dan de uitrekking van de schouderband van de driepuntsgordel. Volgens formule (1) is a_x kleiner bij een grotere remafstand s. De vertraging zou bij gebruik van de driepuntsgordel dus kleiner geweest zijn dan bij gebruik van de veiligheidsriem. (Aya heeft gelijk.)

- inzicht dat de remafstand van de schouder van Stapp kleiner is dan de uitrekking van de schouderband 1
- inzicht dat $a_{rem} \propto s^{-1}$ / gebruik van formule (1) 1
- consequente conclusie 1

Opmerking
Het eerste scorepunt kan ook behaald worden als de remafstand wordt geschat met behulp van figuur 5.

natuurkundeuitgelegd.nl

Elektriciteitspracticum

8 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

De waarde van de ohmse weerstand is tot op (±)0,5 Ω bekend.

Voor de weerstand R van een draad geldt $\rho = \frac{RA}{l} \rightarrow R = \frac{\rho l}{A}$. De soortelijke weerstand van koper is $\rho = 17 \cdot 10^{-9}$ Ωm en de doorsnede van de meetsnoeren is $A = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4}\pi \cdot (0{,}80 \cdot 10^{-3})^2 = 5{,}03 \cdot 10^{-7}$ m^2.

De weerstand van de twee meetsnoeren is $R = 2 \cdot \frac{17 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}40}{5{,}03 \cdot 10^{-7}} = 0{,}095\,\Omega$.

(De weerstand van de twee meetsnoeren is dus kleiner dan de onnauwkeurigheid in de waarde van de ohmse weerstand.)

- inzicht in de grootte van de onnauwkeurigheid in de opgegeven waarde van de ohmse weerstand 1
- gebruik van $\rho = \frac{RA}{l}$ met opzoeken van ρ 1
- gebruik van $A = \frac{1}{4}\pi d^2$ of $A = \pi r^2$ met $r = \frac{1}{2}d$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

9 maximumscore 3

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

Aangezien de weerstanden gelijk zijn, verdeelt de stroom zich gelijk over de parallelle takken met R_1 en R_2. Dus is de stroomsterkte door R_3 twee maal zo groot als door R_1. Er geldt $U = IR$ dus $U_{R3} = I_3R = 2I_1R = 2U_{R1}$.

- inzicht dat de stroomsterkte door R_3 tweemaal zo groot is als door R_1 1
- gebruik van $U = IR$ 1
- completeren van de afleiding 1

methode 2

De vervangingsweerstand van het parallelle deel in de schakeling is $\frac{1}{2}R$.

De weerstanden in de serieschakeling verhouden zich dus als $\frac{R_{\text{parallel}}}{R_3} = \frac{\frac{1}{2}R}{R} = \frac{1}{2}$. De spanningen verhouden zich op dezelfde manier, dus $\frac{U_{\text{parallel}}}{U_{R3}} = \frac{1}{2}$. Omdat $U_{\text{parallel}} = U_{R1} (= U_{R2})$ volgt hieruit $U_{R3} = 2U_{R1}$.

- inzicht dat de vervangingsweerstand van de parallelschakeling tweemaal zo klein is als R_3 1
- inzicht dat $\frac{U_{\text{parallel}}}{U_{R3}} = \frac{R_{\text{parallel}}}{R_3}$ 1
- completeren van de afleiding 1

10 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

De weerstand van een PTC neemt toe als de temperatuur toeneemt. De stroom door L_3 is groter dan die door L_1 (en L_2). Daarom heeft L_3 een hogere temperatuur en dus een grotere weerstand. Hierdoor staat over L_3 een groter deel van de totale spanning dan volgens formule (1) (dus meer dan 12 V). Het lampje L_3 brandt op een te hoog vermogen.

- inzicht dat de weerstand van een lampje / PTC hoger is bij een hogere temperatuur 1
- inzicht dat L_3 een hogere temperatuur heeft dan L_1 en L_2 1
- consequente conclusie over het vermogen van L_3 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Cepheïden

11 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Er geldt: $\tan(p) = \frac{r}{d}$, waarbij r gelijk is aan de baanstraal van de aarde.

Hieruit volgt bij een minimale parallax van $3 \cdot 10^{-5}$ ° dat de maximale afstand die nog kan worden bepaald gelijk is aan

$d = \frac{1{,}5 \cdot 10^{11}}{\tan(3 \cdot 10^{-5})} = 2{,}9 \cdot 10^{17}$ (m).

(Afstanden van de ordegrootte 10^{18} m en meer konden niet onderscheiden worden.)

- inzicht dat $\tan(p) = \frac{r}{d}$ 1
- opzoeken van de baanstraal van de aarde 1
- completeren van de berekening 1

Opmerking
Wanneer de kandidaat de sinus gebruikt in plaats van de tangens: goedrekenen.

12 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Aflezen van de minimale en de maximale intensiteit in figuur 3 geeft $I_{min} = 0{,}46 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2} en $I_{max} = 1{,}10 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2}. De intensiteit varieert met een factor $\frac{1{,}10}{0{,}46} = 2{,}39$.

Voor de stralingsintensiteit van een ster geldt $I \propto P_{bron} \propto T^4$, met P_{bron} het stralingsvermogen en T de oppervlaktetemperatuur van de ster. Ten gevolge van de variatie van de temperatuur zal de stralingsintensiteit dus variëren met een factor $\left(\frac{6{,}8 \cdot 10^3}{5{,}5 \cdot 10^3}\right)^4 = 2{,}34$.

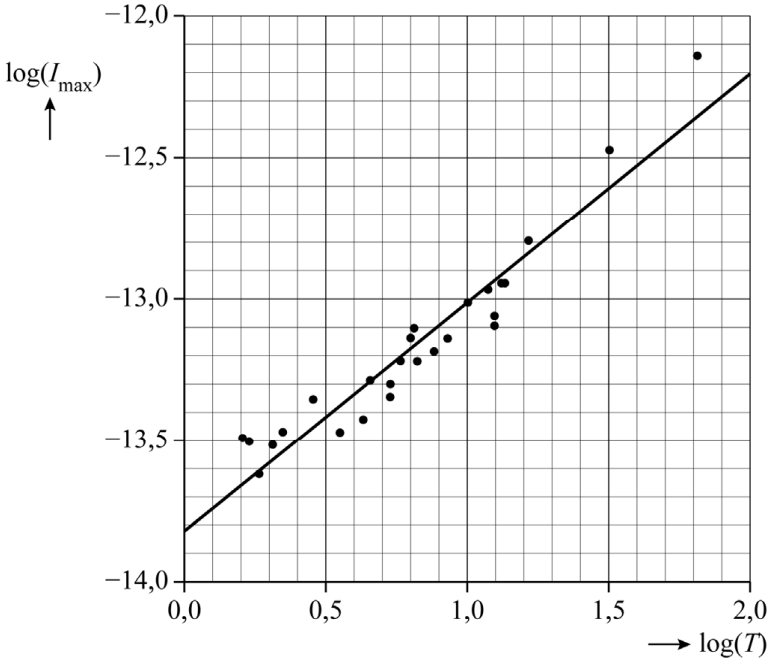
(De variatie in de waargenomen stralingsintensiteit komt overeen met de verwachte variatie op basis van de oppervlaktetemperaturen.)

- aflezen van I_{min} en I_{max} met een marge van $0{,}02 \cdot 10^{-9}$ W m^{-2} 1
- inzicht dat $I \propto P_{bron}$ en $P_{bron} \propto T^4$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

13 maximumscore 4

uitkomst: $a = 0{,}81$ (met een marge van 0,01)



voorbeeld van een bepaling:

– a komt overeen met de steilheid van het lineaire verband.
Deze steilheid is gelijk aan $a = \dfrac{-12{,}61 - -13{,}50}{1{,}50 - 0{,}40} = 0{,}81$.

– $\log(C)$ komt overeen met het snijpunt van de trendlijn met de verticale as. Dit snijpunt ligt bij $-13{,}82$ dus $\log(C) = -13{,}82$, en
$C = 10^{-13{,}82} = 1{,}5 \cdot 10^{-14}$ (W m^{-2}). / Invullen van $a = 0{,}81$ en de coördinaten van het punt $(0{,}40;-13{,}50)$ in formule (1) geeft
$-13{,}50 = 0{,}81 \cdot 0{,}40 + \log(C) \rightarrow \log(C) = -13{,}82$ en
$C = 10^{-13{,}82} = 1{,}5 \cdot 10^{-14}$ (W m^{-2}).

- inzicht dat a bepaald kan worden uit de steilheid van de trendlijn 1
- completeren van de bepaling van a en significantie 1
- aflezen van het snijpunt van de trendlijn met de verticale as / invullen van a en coördinaten van een punt op de trendlijn in formule (1) 1
- completeren van de bepaling van C 1

Opmerking
Ook als de kandidaat de deelvragen in omgekeerde volgorde heeft beantwoord kunnen alle scorepunten behaald worden.

natuurkundeuitgelegd.nl

14 maximumscore 2

voorbeelden van een antwoord:

methode 1
Van Cepheïden op willekeurige plekken in het heelal is de afstand tot de aarde verschillend. Daarbij horen verschillende waardes van de constante C, waardoor de gegevens van willekeurig gekozen Cepheïden niet op één rechte lijn terecht kunnen komen (en er geen conclusie over a en C getrokken kan worden).

- inzicht dat de afstanden van willekeurige Cepheïden tot de aarde verschillend zijn / dat bij willekeurige Cepheïden de waarde van C verschillend is 1
- inzicht dat de gegevens daardoor niet op één rechte lijn liggen 1

methode 2
Alle Cepheïden in een sterrenstelsel bevinden zich op ongeveer dezelfde afstand van de aarde. Daarmee is de waarde van C voor deze Cepheïden bij benadering gelijk, waardoor de gegevens van deze Cepheïden op één rechte lijn terecht komen (en er een conclusie over a en C getrokken kan worden).

- inzicht dat de afstand van alle Cepheïden in een sterrenstelsel tot de aarde vrijwel gelijk is 1
- inzicht dat de gegevens daardoor op één rechte lijn liggen 1

natuurkundeuitgelegd.nl

15 maximumscore 4

uitkomsten: $T = 5{,}4$ d

$d = 1{,}1 \cdot 10^{21}$ m (met een marge van $0{,}1 \cdot 10^{21}$ m)

voorbeeld van een antwoord:

– Uit aflezen in de (I,t)-grafiek volgt dat de periode van Delta Cephei gelijk is aan $T = 5{,}4$ d.

– Een Cepheïde in de KMW die dezelfde periode heeft als Delta Cephei en op de trendlijn ligt, heeft een waargenomen maximale intensiteit $I_{max} = 5{,}9 \cdot 10^{-14}$ W m^{-2}.

Volgens de wet van Leavitt heeft de Cepheïde in de KMW hetzelfde stralingsvermogen P_{bron} als Delta Cephei. Voor de waargenomen intensiteit geldt de kwadratenwet: $I = \frac{P_{bron}}{4\pi r^2}$. Hieruit volgt dat

$$\frac{I_{\text{Delta Cephei}}}{I_{\text{KMW}}} = \frac{r_{\text{KMW}}^2}{r_{\text{Delta Cephei}}^2} \rightarrow r_{\text{KMW}} = \sqrt{\frac{I_{\text{Delta Cephei}}}{I_{\text{KMW}}}} \cdot r_{\text{Delta Cephei}}$$, dus

$$r_{\text{KMW}} = \sqrt{\frac{1{,}1 \cdot 10^{-9}}{5{,}9 \cdot 10^{-14}}} \cdot 8{,}4 \cdot 10^{18} = 1{,}1 \cdot 10^{21} \text{ m}.$$

- bepalen van T tussen 5,2 en 5,6 dagen 1
- consequent bepalen van de intensiteit in de KMW 1
- gebruik van de kwadratenwet 1
- completeren van de bepaling van de afstand en beide significanties 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Morpho didius

16 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

(Elk energieniveau kan volgens het uitsluitingsprincipe van Pauli maximaal twee elektronen bevatten.) In de grondtoestand zijn de eerste vier energieniveaus gevuld. De kleinst mogelijke energieopname komt overeen met de overgang van een elektron van $n = 4$ naar $n = 5$. Bij deze overgang absorbeert het molecuul een foton met een energie $E_f = E_5 - E_4$.

Met $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$ volgt hieruit:

$$E_f = (5^2 - 4^2)\frac{h^2}{8mL^2} = 9 \cdot \frac{(6{,}626 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9{,}109 \cdot 10^{-31} \cdot (1{,}27 \cdot 10^{-9})^2} = 3{,}36 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2{,}1 \text{ eV}.$$

(Dit komt overeen met de absorptie-energie van een blauw pigment.)

- gebruik van $E_f = E_m - E_n$ met $m = n + 1$ 1
- inzicht dat $n = 4$ 1
- gebruik van $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$ met opzoeken van h en de elektronmassa 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

17 maximumscore 5

uitkomst: $\Delta\varphi = 1,0$

voorbeeld van een antwoord:

– Vergeleken met lichtgolven die direct op lamel 1 terugkaatsen, moeten lichtgolven die terugkaatsen op lamel 2 heen en terug door lamel 1 en door de luchtlaag tussen lamel 1 en 2. Het faseverschil dat hierdoor ontstaat is gelijk aan $\Delta\varphi = \frac{\Delta x_{\text{lamel}}}{\lambda_{\text{lamel}}} + \frac{\Delta x_{\text{lucht}}}{\lambda_{\text{lucht}}} = \frac{2d_{\text{lamel}}}{\lambda_{\text{lamel}}} + \frac{2d_{\text{lucht}}}{\lambda_{\text{lucht}}}$.
Uit $v = \lambda f$ (met f constant) volgt dat de golflengte in een lamel 1,5 keer kleiner is dan in lucht, dus $\lambda_{\text{lamel}} = \frac{480}{1,5} = 320\text{ nm}$.
Het faseverschil dat ontstaat is $\Delta\varphi = \frac{2\cdot 80}{320} + \frac{2\cdot 120}{480} = 1,0$.

– Er is sprake van constructieve interferentie, waardoor de blauwe kleur versterkt wordt (en lichtgolven met andere golflengtes juist uitdoven).

- gebruik van $\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$ 1
- in rekening brengen van de factor 2 1
- inzicht dat $\lambda_{\text{lamel}} = \frac{\lambda_{\text{lucht}}}{1,5}$ 1
- completeren van de bepaling van $\Delta\varphi$ 1
- inzicht dat er sprake is van constructieve interferentie van blauw licht 1

18 maximumscore 3

uitkomst: $1,6\cdot 10^4$ (cm^{-1})

voorbeeld van een antwoord:
Uit het diagram op de uitwerkbijlage blijkt dat het eerste-orde-maximum voor het blauwe licht bij 50° ligt.
Volgens de tralieformule geldt bij dit eerste-orde-maximum:
$d\cdot\sin(50) = 1\cdot\lambda$. Hieruit volgt $d = \frac{480}{\sin(50)} = 627\text{ nm}$.
Het aantal richels is $\frac{1}{627\cdot 10^{-9}} = 1,6\cdot 10^6\text{ m}^{-1}$, dus $1,6\cdot 10^4$ per cm.

- gebruik van $d\cdot\sin\alpha_n = n\cdot\lambda$ 1
- inzicht dat $n = 1$ en aflezen van α_1 tussen 48° en 52° 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

Opmerking
Bij een opgemeten hoek van 48° is de uitkomst $1,5\cdot 10^4$ (cm^{-1}).

natuurkundeuitgelegd.nl

Linac

19 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Het doordringend vermogen van elektronen is klein. De tumor moet bij het gebruik van een elektronenbundel dicht onder de huid liggen.

- inzicht dat het doordringend vermogen van elektronen klein is 1
- consequente conclusie over de ligging van de tumor 1

20 maximumscore 3

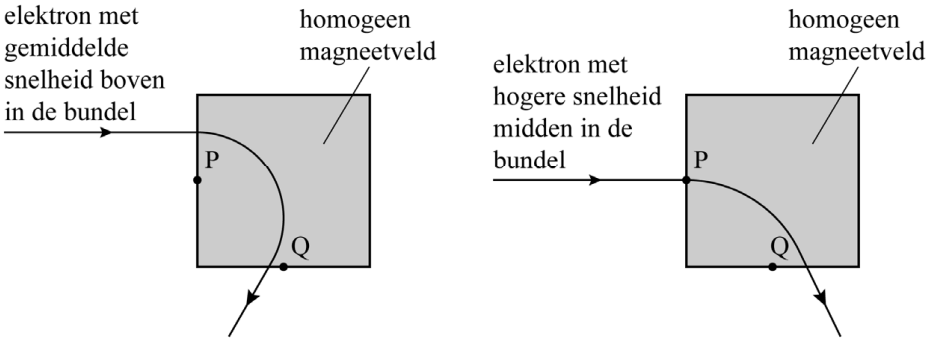
voorbeeld van een antwoord:
Voor een geladen deeltje dat in een magneetveld beweegt geldt:

$F_{mpz} = F_L \rightarrow \frac{mv^2}{r} = Bqv$. Hieruit volgt $r = \frac{mv}{Bq}$.

- inzicht dat $F_{mpz} = F_L$ 1
- gebruik van $F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$ en $F_L = Bqv$ 1
- completeren van de afleiding 1

21 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:



- in de linker figuur buigt het elektron in het magneetveld over meer dan 90° af 1
- in de rechter figuur buigt het elektron in het magneetveld over minder dan 90° af 1
- buiten het magneetveld buigen de elektronen niet verder af 1

natuurkundeuitgelegd.nl

22 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:
Uit een richtingregel voor B, I en F_L volgt dat het magneetveld loodrecht het papier uit komt. De straal van de elektronbaan wordt kleiner in de richting naar rechtsboven. Hieruit volgt dat het magneetveld daar groter is. Plaatje IV geeft een geschikt magneetveld weer.

- bepalen van de richting van B met een relevante richtingregel 1
- inzicht in het verband tussen r en B 1
- consequente keuze van het plaatje 1

Opmerking
Het derde scorepunt mag alleen worden toegekend als er zowel over de richting van het magneetveld als over de sterkte van het magneetveld een uitleg is gegeven.

23 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:
Uit $E_f = \frac{hc}{\lambda}$ volgt dat de golflengte van een röntgenfoton met een energie van 4,1 MeV gelijk is aan

$$\lambda = \frac{hc}{E_f} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8}}{4{,}1 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19}} = 3{,}03 \cdot 10^{-13} \text{ m} = 0{,}30 \text{ pm}.$$

Het röntgenfoton kan niet méér energie hebben dan de energie van een elektron. De golflengte van 0,30 pm is dus de kleinst mogelijke golflengte van de röntgenfotonen.

- gebruik van $E_f = \frac{hc}{\lambda}$ waarbij $E_f = 4{,}1$ MeV / $\lambda = 0{,}30$ pm 1
- completeren van de berekening van λ of E_f 1
- consequente verklaring van het ontbreken van fotonen met $\lambda < 0{,}30$ pm 1

natuurkundeuitgelegd.nl

24 maximumscore 2

uitkomst: $d = 2{,}9\ \text{cm}$

voorbeeld van een berekening:

Er geldt $I = I_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{d}{d_{½}}}$. Uit Binas-tabel 28F of ScienceData-tabel 5.9 volgt dat de halveringsdikte van ijzer voor fotonen met een energie van 2,0 MeV gelijk is aan $d_{½} = 2{,}1\ \text{cm}$. Oplossen van de vergelijking $0{,}38 = \left(\frac{1}{2}\right)^{d/2{,}1}$ geeft $d = 2{,}1 \cdot \frac{\log(0{,}38)}{\log(\frac{1}{2})} = 2{,}9\ \text{cm}$.

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

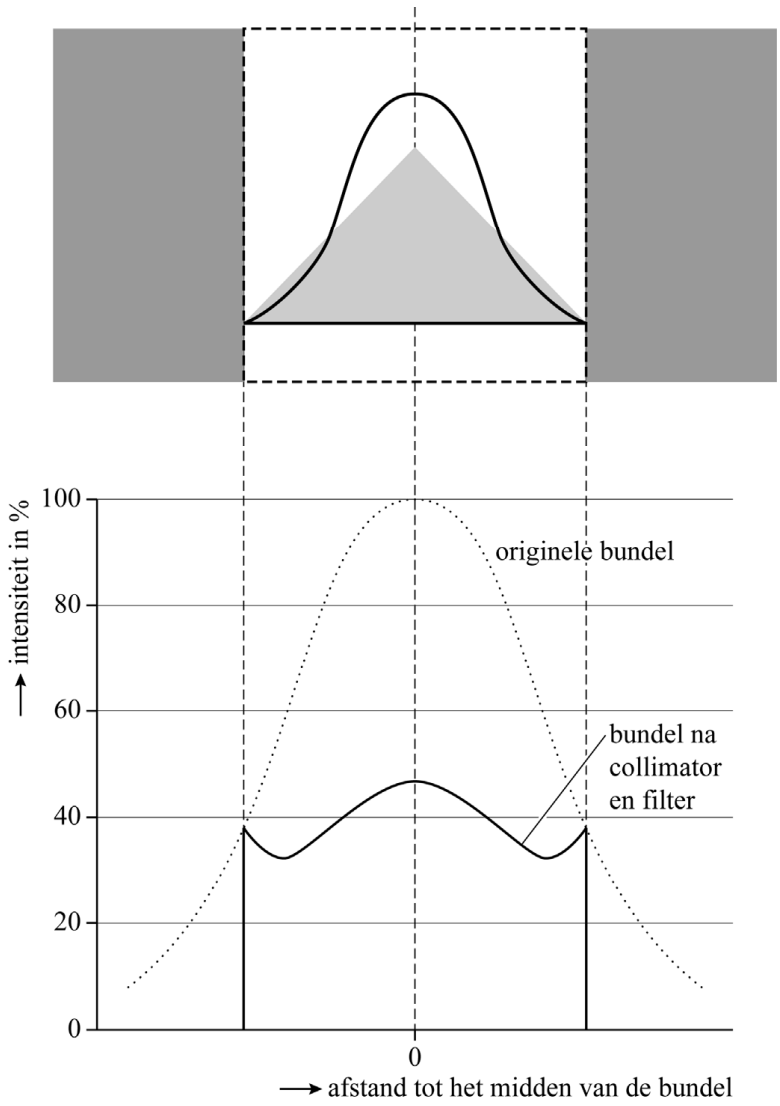
natuurkundeuitgelegd.nl

25 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

– In het midden van het filter wordt meer straling doorgelaten dan verwacht. (Dit betekent dat het doordringend vermogen hier groter is.) De energie van de fotonen is hier dus gemiddeld groter dan 2,0 MeV.

–



- inzicht dat er meer straling wordt doorgelaten bij een hogere fotonenergie 1
- inzicht dat het aangepaste flattening filter rond het midden dikker moet zijn dan het oorspronkelijke filter 1
- inzicht dat de aanpassing van de dikte van het filter in de buurt van de rand tegengesteld is aan die in het midden 1

natuurkundeuitgelegd.nl

5 Aanleveren scores

Verwerk de scores van de alfabetisch eerste vijf kandidaten per examinator in de applicatie Wolf. Cito gebruikt deze gegevens voor de analyse van de examens.
Om de gegevens voor dit doel met Cito uit te wisselen dient u ze uiterlijk op 22 mei te accorderen.

Ook na 22 mei kunt u nog tot en met 10 juni gegevens voor Cito accorderen. Deze gegevens worden niet meer meegenomen in de hierboven genoemde analyses, maar worden wel meegenomen bij het genereren van de groepsrapportage.

Na accordering voor Cito kunt u in Wolf de gegevens nog wijzigen om ze vervolgens vrij te geven voor het overleg met de externe corrector. Deze optie is relevant als u Wolf ook gebruikt voor uitwisseling van de gegevens met de externe corrector.

Tweede tijdvak
Ook in het tweede tijdvak wordt de normering mede gebaseerd op door kandidaten behaalde scores. Wissel te zijner tijd ook voor al uw tweede-tijdvak-kandidaten de scores uit met Cito via Wolf. Dit geldt **niet** voor de aangewezen vakken.

6 Bronvermeldingen

Botsproef
alle figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

Elektriciteitspracticum
alle figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

Cepheïden
figuur 2 Photo by Margaret Harwood, courtesy of AIP Emilio Segrè Visual Archives, Physics Today Collection, Shapley Collection
overige figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

Morpho didius
figuur 1 Shinya Yoshioka, Osaka University
overige figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

Linac
alle figuren Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

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