Correctievoorschrift VWO

2026

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 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

Aan het juiste antwoord op een meerkeuzevraag wordt 1 scorepunt toegekend.

Lost and found

1 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

$\left({}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\text{Ba} + {}^{0}_{-1}\text{e}\right)$

Bij het verval van Cs-137 naar X wordt een bèta-min-deeltje uitgezonden. Het atoomnummer neemt dus met 1 toe van 55 naar 56. Dit is het atoomnummer van het element barium.

- inzicht dat bij bèta-min-verval het atoomnummer met 1 toeneemt 1
- consequente conclusie 1

2 maximumscore 3

uitkomst: $t = 15\,(\text{j})$

voorbeeld van een antwoord:

Wanneer de capsule vervangen wordt heeft deze nog $100\% - 30\% = 70\%$ van de oorspronkelijke activiteit. Uit figuur 1 / Binas-tabel 25A / ScienceData-tabel 1.11 volgt dat de halveringstijd van Cs-137 gelijk is aan 30 jaar.

Er geldt $A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{½}}$, dus $\frac{A}{A_0} = 0,70 = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/30}$.

Hieruit volgt: $\log(0,70) = \frac{t}{30} \cdot \log\left(\frac{1}{2}\right) \rightarrow t = 30 \cdot \frac{\log(0,70)}{\log(\frac{1}{2})} = 15\,(\text{j})$.

- gebruik van $A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{t/t_{½}}$ met $t_{½} = 30$ y 1
- inzicht dat $\frac{A}{A_0} = 0,70$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

3 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

Het dosisequivalent ten gevolge van de straling van de capsule is $H = w_R D = w_R \frac{E}{m}$. (De weegfactor w_R van gammastraling is 1.)

De geabsorbeerde stralingsenergie in een uur is

$E = N \cdot E_\gamma = 3 \cdot 10^{12} \cdot 662 \cdot 10^3 \cdot 1{,}60 \cdot 10^{-19} = 0{,}32$ J.

Daarmee is het dosisequivalent in een uur

$H = 1 \cdot \frac{0{,}32}{74} = 4{,}3 \cdot 10^{-3}$ Sv $= 4{,}3$ mSv.

Dit komt overeen met zeven keer het dosisequivalent ten gevolge van een röntgenfoto van de onderrug.

- gebruik van $H = w_R D$ en $D = \frac{E}{m}$ 1
- inzicht dat $E = N \cdot E_\gamma$ 1
- completeren van de berekening van H 1
- consequente conclusie 1

4 maximumscore 4

uitkomst: $r = 20$ m

voorbeeld van een antwoord:

Er komen per seconde $19 \cdot 10^9 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}96 = 15{,}5 \cdot 10^9$ gammafotonen uit de capsule. Deze fotonen worden in alle richtingen verspreid, dus op een afstand r is het aantal fotonen dat per seconde door een vierkante meter gaat gelijk aan $\frac{15{,}5 \cdot 10^9}{4\pi r^2}$. Op het detectoroppervlak van 6,3 cm² komen per seconde $\frac{15{,}5 \cdot 10^9}{4\pi r^2} \cdot 6{,}3 \cdot 10^{-4} = \frac{9{,}77 \cdot 10^6}{4\pi r^2}$ fotonen terecht.

Er moeten minimaal $2{,}0 \cdot 10^3$ fotonen op het detectoroppervlak vallen.

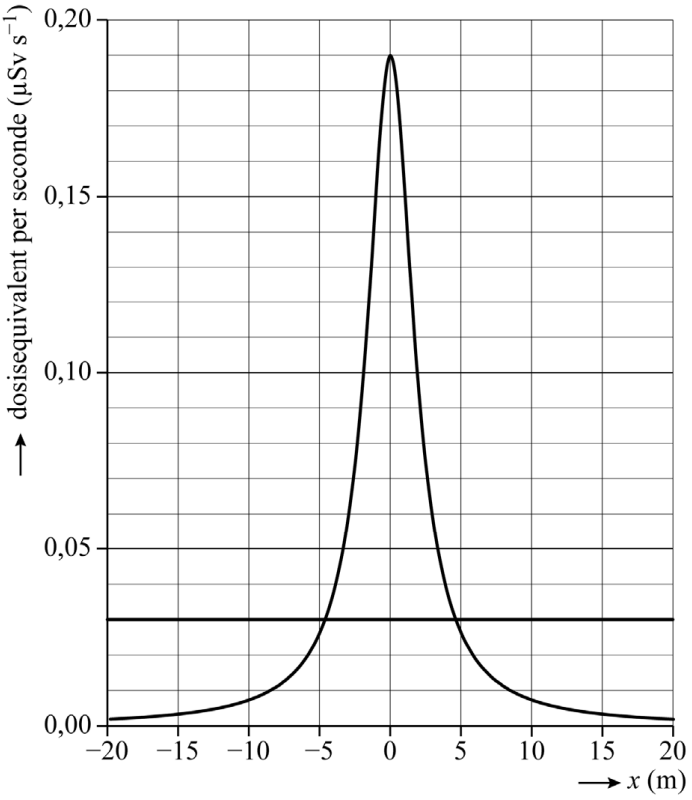
Hieruit volgt $2{,}0 \cdot 10^3 = \frac{9{,}77 \cdot 10^6}{4\pi r^2} \rightarrow r = \sqrt{\frac{9{,}77 \cdot 10^6}{4\pi \cdot 2{,}0 \cdot 10^3}} = 20$ m.

- correct toepassen van de factoren 0,85 en 0,96 1
- inzicht dat het aantal fotonen per s per m² evenredig is met $\frac{1}{r^2}$ 1
- inzicht dat het aantal fotonen dat op de detector valt evenredig is met de oppervlakte van de detector 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

5 maximumscore 4

uitkomst: $H = 0{,}05\ \mu\text{Sv}$ $(0{,}04\ \mu\text{Sv} \leq H \leq 0{,}06\ \mu\text{Sv})$



voorbeelden van een antwoord:

methode 1

Het gemiddelde dosisequivalent per seconde is in het weergegeven traject $0{,}03\ \mu\text{Sv s}^{-1}$. De automobilist rijdt met een constante snelheid van $90\ \text{km h}^{-1} = 25\ \text{m s}^{-1}$ en doet $t = \frac{s}{v} = \frac{\Delta x}{v} = \frac{40}{25} = 1{,}6\ \text{s}$ over het traject. Het extra dosisequivalent is $H = 0{,}03 \cdot 1{,}6 = 0{,}048\ \mu\text{Sv}$. Afronden op 1 significant cijfer geeft $H = 0{,}05\ \mu\text{Sv}$.

- inzicht dat $H =$ gemiddelde dosisequivalent per seconde $\cdot\, \Delta t$ 1
- schatten van het gemiddelde dosisequivalent per seconde 1
- gebruik van $s = vt$, met v constant 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

methode 2
De horizontale as kan worden omgezet in een tijd-as, waarbij iedere verplaatsing van 5 m langs de as overeenkomt met een tijdsduur $\Delta t = \frac{\Delta x}{v_{\text{gem}}} = \frac{5,0}{(90/3,6)} = 0,20\ \text{s}$.
Het oppervlak onder de grafiek geeft dan het totale extra dosisequivalent. Er liggen 23 hokjes onder de grafiek, waarbij ieder hokje overeenkomt met een extra dosisequivalent van $0,01\ \mu\text{Sv s}^{-1} \cdot 0,20\ \text{s} = 0,002\ \mu\text{Sv}$. Het totale extra dosisequivalent is $23 \cdot 0,002 = 0,046\ \mu\text{Sv}$. Afronden op 1 significant cijfer geeft $H = 0,05\ \mu\text{Sv}$.

- inzicht dat de horizontale as omgerekend kan worden naar een tijd-as en dat H dan overeenkomt met de oppervlakte onder de grafiek 1
- toepassen van een juiste methode om de oppervlakte onder de grafiek te bepalen 1
- gebruik van $v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Sporen op Phobos

6 maximumscore 4

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

Ten gevolge van de schuifwrijvingskracht neemt de kinetische energie van het rotsblok af. Er geldt $\Delta E_{\text{k}} = \sum W$ met $\Delta E_{\text{k}} = (-)\frac{1}{2}mv_{\text{begin}}^2$ en $\sum W = W_{\text{w}} = (-)F_{\text{w}}s$. De schuifwrijvingskracht F_{w} is gelijk aan $0,25 \cdot F_{\text{N}} = 0,25 \cdot F_{\text{z}} = 0,25 \cdot mg$.

Hieruit volgt $s = \frac{\Delta E_k}{F_w} = \frac{\frac{1}{2}mv_{\text{begin}}^2}{0,25 \cdot mg} = \frac{2v_{\text{begin}}^2}{g} = \frac{2 \cdot 14^2}{5,7 \cdot 10^{-3}} = 6,9 \cdot 10^4$ m.

- gebruik van $\Delta E_{\text{k}} = \sum W$ 1
- gebruik van $E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2$ en $W = Fs$ 1
- inzicht dat $F_{\text{w}} = 0,25 \cdot mg$ met $g = 5,7 \cdot 10^{-3}$ m s^{-2} 1
- completeren van de berekening 1

methode 2

Omdat de schuifwrijvingskracht constant is, is de beweging eenparig vertraagd. Uit $F_{\text{res}} = ma$ en $F_{\text{w}} = 0,25 \cdot mg$ volgt $a = 0,25g$. Met $a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ volgt hieruit voor de remtijd: $\Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{14}{0,25 \cdot 5,7 \cdot 10^{-3}} = 9,82 \cdot 10^3$ s.

De gemiddelde snelheid is $v_{\text{gem}} = \frac{v_{\text{begin}} + v_{\text{eind}}}{2} = \frac{14 + 0}{2} = 7,0$ m s^{-1}, dus de remafstand is $\Delta x = v_{\text{gem}} \cdot \Delta t = 7,0 \cdot 9,82 \cdot 10^3 = 6,9 \cdot 10^4$ m.

- gebruik van $F_{\text{res}} = ma$ en $a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 1
- inzicht dat $F_{\text{w}} = 0,25 \cdot mg$ met $g = 5,7 \cdot 10^{-3}$ m s^{-2} 1
- gebruik van $v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ en inzicht dat $v_{\text{gem}} = \frac{1}{2}v_{\text{begin}}$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

7 maximumscore 3

uitkomst: $v_o = 11{,}3\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

voorbeeld van een antwoord:

(Bij de ontsnappingssnelheid geldt: $E_g + E_k = -G\frac{mM}{R} + \frac{1}{2}mv_o^2 = 0$.)

Uit $\frac{1}{2}mv_o^2 = G\frac{mM}{R}$ volgt

$$v_o = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 1{,}07 \cdot 10^{16}}{1{,}11 \cdot 10^{4}}} = 11{,}3\ \mathrm{m\,s^{-1}}.$$

- inzicht dat $\frac{1}{2}mv_o^2 = G\frac{mM}{R}$ 1
- opzoeken van G en gebruik van R en M van Phobos 1
- completeren van de berekening 1

Opmerking
Bij een berekening waarin niet consequent is omgegaan met de mintekens mag het derde scorepunt niet worden toegekend.

natuurkundeuitgelegd.nl

8 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Naarmate het rotsblok dichter bij het eind van het spoor komt, wordt zijn snelheid kleiner, waardoor ook de benodigde middelpuntzoekende kracht kleiner wordt. De wrijvingskracht in model 2 benadert dan steeds meer die in model 1 (waardoor de afname van de kinetische energie per afgelegde meter aan het einde van het spoor gelijk is aan die in model 1).

- inzicht dat de snelheid en benodigde F_{mpz} aan het eind van het spoor klein zijn 1
- inzicht dat daardoor F_w aan het eind van het spoor in beide modellen vrijwel even groot is 1

9 maximumscore 1

uitkomst: $v_b = 7{,}78\ \mathrm{m\,s^{-1}}$

Opmerking
$v_b = 7{,}77\ \mathrm{m\,s^{-1}}$ *ook goedrekenen.*

natuurkundeuitgelegd.nl

10 maximumscore 4

uitkomst: $v_{grens} = 8{,}0\ \text{m s}^{-1}$

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

– Het rotsblok kan oneindig lang door bewegen als er geen wrijvingskracht is. Dit betekent dat de normaalkracht nul is. Aan het oppervlak van Phobos geldt dan (volgens modelregel 3) dat $0 = F_z - F_{mpz}$. Hieruit volgt $F_z = F_{mpz}$ dus

$$mg = \frac{mv_{grens}^2}{R} \quad \rightarrow \quad v_{grens} = \sqrt{gR} = \sqrt{5{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}11 \cdot 10^{4}} = 8{,}0\ \text{m s}^{-1}.$$

– Het rotsblok beweegt voor $v_{grens} < v < v_o$ in een baan boven het oppervlak van Phobos.

- inzicht dat $F_N = 0$ / inzicht dat $F_z = F_{mpz}$ 1
- gebruik van $F_z = mg$ en $F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$ met $r = R_{Phobos}$ 1
- completeren van de berekening 1
- inzicht dat het rotsblok voor $v_{grens} < v < v_o$ in een baan boven het oppervlak van Phobos beweegt 1

methode 2

– In een cirkelbaan geldt $F_{mpz} = F_g$ dus $\frac{mv^2}{r} = G\frac{mM}{r^2}$, waarbij de kleinst mogelijke baanstraal gelijk is aan de straal R van Phobos. Hieruit volgt $\frac{v_{grens}^2}{R} = G\frac{M}{R^2}$ en $v_{grens} = \sqrt{G\frac{M}{R}} = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{1{,}07 \cdot 10^{16}}{1{,}11 \cdot 10^{4}}} = 8{,}02\ \text{m s}^{-1}$.

– Het rotsblok beweegt voor $v_{grens} < v < v_o$ in een baan boven het oppervlak van Phobos.

- inzicht dat $F_{mpz} = F_g$ 1
- gebruik van $F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$ en $F_g = G\frac{mM}{r^2}$ met $r = R_{Phobos}$ 1
- completeren van de berekening 1
- inzicht dat het rotsblok voor $v_{grens} < v < v_o$ in een baan boven het oppervlak van Phobos beweegt 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Munt krimpen

11 maximumscore 3
uitkomst: 1,9

voorbeeld van een antwoord:
Voor het krimpen is de diameter (op de foto in figuur 1) gelijk aan 3,0 cm, en na het krimpen is de diameter 2,2 cm. Het volume van de munt wordt gegeven door $V = \pi r^2 h = \frac{1}{4}\pi d^2 h$, hierin komt h overeen met de dikte van de munt. Het volume blijft gelijk, en d^2 neemt af met een factor $\left(\frac{3,0}{2,2}\right)^2 = 1,9$.
De munt wordt dus 1,9 keer zo dik.

- bepalen van beide diameters met een marge van 1 mm 1
- gebruik van $V = \pi r^2 h$ met $d = 2r$ / inzicht dat $h \propto \frac{1}{d^2}$ 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

12 B

13 maximumscore 3
uitkomst: $t = 11\,\mu s$

voorbeeld van een antwoord:
De inductiestroom is maximaal op het tijdstip $t = 11\,\mu s$.
Elektromagnetische inductie ontstaat bij een veranderende flux. De flux door de munt verandert als het magnetisch veld in de spoel verandert ten gevolge van de veranderende I_{spoel}. In figuur 6 is te zien dat I_{spoel} direct na het inschakelen het sterkst verandert, dus dan is de inductiestroom in de munt maximaal.

- noteren van het juiste tijdstip 1
- inzicht dat elektromagnetische inductie maximaal is wanneer de fluxverandering maximaal is 1
- inzicht dat de fluxverandering evenredig is met de verandering van I_{spoel} 1

14 maximumscore 2
- Het magnetisch veld wijst loodrecht het papier **uit**. 1
- De stroom door de winding loopt **van B naar A**. 1

Opmerking
*Bij de antwoordcombinatie '**in**' en '**van A naar B**': 1 scorepunt toekennen.*

natuurkundeuitgelegd.nl

15 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Voor het maximale vermogen geldt $P = UI_{max}$, en uit figuur 6 volgt dat $I_{max} = 52$ kA. Dus $P = 7 \cdot 10^3 \cdot 52 \cdot 10^3 = 3{,}6 \cdot 10^8$ W. Dit is van dezelfde orde van grootte als het vermogen van een energiecentrale.

- gebruik van $P = UI$ 1
- inzicht dat de maximale stroomsterkte moet worden bepaald 1
- completeren van de bepaling en consequente conclusie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Kneedbare weerstand

16 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
In een serieschakeling is de verhouding tussen de spanningen hetzelfde als de verhouding tussen de weerstanden. Tussen B en C bevindt zich een kwart van de totale lengte van de kleirol, dus een kwart van de totale weerstand. De spanning tussen B en C is een kwart van de totale spanning (dus 3,0 V).

- inzicht dat $U_{BC} = \frac{R_{BC}}{R_{tot}} U_{tot}$ 1
- inzicht dat $R_{BC} = \frac{1}{4} R_{tot}$ en conclusie 1

17 maximumscore 3

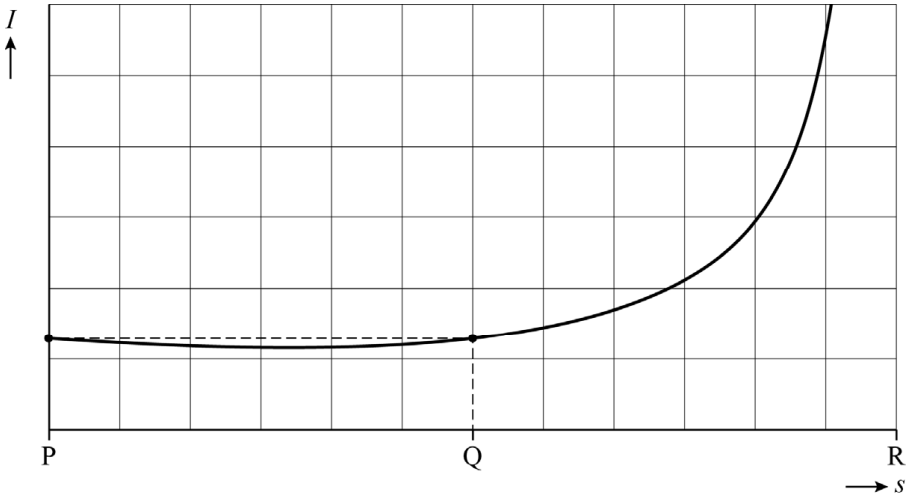
voorbeeld van een antwoord:
Het lampje staat parallel aan het gedeelte BC van de kleirol. Daardoor is de vervangingsweerstand tussen B en C nu kleiner dan in figuur 2. De spanning tussen B en C is dan lager (dan 3,0 V, waardoor het lampje niet optimaal brandt). Om de vervangingsweerstand / de spanning tussen B en C te verhogen, moet er een groter deel van de weerstand van de kleirol parallel aan het lampje geschakeld worden. Het aansluitpunt moet dus richting A verplaatst worden.

- inzicht dat de vervangingsweerstand tussen B en C kleiner wordt 1
- consequente conclusie over de spanning die over het lampje staat 1
- consequente conclusie over de richting waarin het aansluitpunt verplaatst moet worden 1

natuurkundeuitgelegd.nl

18 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:



- stroomsterkte bij Q gelijk aan die bij P 1
- halverwege tussen P en Q een minimum 1
- continu stijgende grafiek vanaf Q 1

Opmerking
Het tweede scorepunt niet toekennen als het minimum op of onder I = 0 ligt.

natuurkundeuitgelegd.nl

Temperatuurbepaling uit lijnverbreding

19 maximumscore 1

helium

20 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

De H_α-lijn hoort bij de overgang van de tweede naar de eerste aangeslagen toestand, dus van $n = 3$ naar $n = 2$. De bijbehorende fotonenergie is:

$$E_f = E_3 - E_2 = -\frac{13{,}5983}{3^2} - -\frac{13{,}5983}{2^2} = 1{,}88865 \text{ eV}.$$

Er geldt $E_f = \frac{hc}{\lambda}$, waaruit volgt dat de golflengte in lucht gelijk is aan

$$\lambda = \frac{hc}{E_f} = \frac{6{,}62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}99706 \cdot 10^{8}}{1{,}88865 \cdot 1{,}60218 \cdot 10^{-19}} = 6{,}56279 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 656{,}28 \text{ nm}.$$

- inzicht dat $E_f = E_3 - E_2$ 1
- gebruik van formule (1) en omrekenen van eV naar J 1
- gebruik van $E_f = \frac{hc}{\lambda}$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

21 maximumscore 2

atoom	waargenomen golflengte van H_α ligt in gebied				
	A	B	C	D	E
1			x		
2		x			
3	x				

- atoom 1 correct 1
- atoom 2 en 3 correct 1

22 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Voor de dopplerverschuiving geldt $\Delta\lambda = \frac{v_x}{c}\lambda$, met v_x de snelheid van de gasatomen naar de spectrometer toe of van de spectrometer af. Hieruit volgt dat $\Delta\lambda \propto v_x$. De kinetische energie van de gasatomen is $E_{k,x} = \frac{1}{2}mv_x^2 = \ln 2 \cdot kT$, dus $v_x \propto \sqrt{T}$. Combineren van beide evenredigheden met $b = 2\Delta\lambda$ geeft $b \propto \sqrt{T}$.

- inzicht dat $\Delta\lambda \propto v$ 1
- inzicht dat $v \propto \sqrt{E_k}$ 1
- completeren van de afleiding 1

natuurkundeuitgelegd.nl

23 maximumscore 3

voorbeelden van een antwoord:

methode 1

De temperatuur van de andere gasontladingslamp is $\frac{5,9\cdot10^3}{500}=11,8$ keer zo klein, dus de emissielijn wordt $11,8^{\frac{1}{2}}=3,4$ keer zo smal. Bij $5,9\cdot10^3$ K vallen er maar 3 golflengtebandjes / meetpunten binnen de breedte b. Daarom zal bij temperaturen rond 500 K de volledige breedte van de emissielijn binnen 1 golflengtebandje vallen. De breedte kan dan niet afgelezen worden en de temperatuur niet bepaald worden.

- gebruik van $b \propto \sqrt{T}$ en berekenen van de verhouding van de breedtes 1
- bepalen van het aantal meetpunten binnen b bij $5,9\cdot10^3$ K 1
- inzicht dat er meerdere golflengtebandjes / meetpunten nodig zijn om b te bepalen en consequente conclusie 1

methode 2

De temperatuur van de andere gasontladingslamp is $\frac{5,9\cdot10^3}{500}=11,8$ keer zo klein, dus de breedte van de emissielijn is $11,8^{\frac{1}{2}}=3,4$ keer zo klein. Bij $5,9\cdot10^3$ K is de breedte van de emissielijn ongeveer 0,032 nm. De breedte bij 500 K wordt $\frac{0,032}{3,4}=0,0094\text{ nm}=9,4\text{ pm}$ en dit is kleiner dan de spectrale resolutie. Het is niet mogelijk om de temperatuur nauwkeurig te bepalen.

- bepalen van b bij $5,9\cdot10^3$ K 1
- gebruik van $b \propto \sqrt{T}$ en berekenen van b bij 500 K 1
- inzicht dat de breedte bij 500 K vergeleken moet worden met de spectrale resolutie en consequente conclusie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Wolfstoon

24 maximumscore 3

uitkomst: $f = 2{,}1 \cdot 10^2$ Hz (met een marge van $0{,}1 \cdot 10^2$ Hz)

voorbeeld van een antwoord:
Uit de figuur op de uitwerkbijlage blijkt dat de gespeelde toon 21 trillingen heeft in 0,10 s. De frequentie is dus $f = \frac{21}{0{,}10} = 2{,}1 \cdot 10^2$ Hz.

- keuze van de juiste trilling voor de gespeelde toon 1
- inzicht dat $f = \frac{\text{aantal trillingen}}{\Delta t}$ 1
- completeren van de bepaling en significantie 1

25 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

– De formule voor de trillingstijd van een massa-veersysteem is $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$. Door het wegschaven van het hout wordt de massa van het voorblad kleiner. Daardoor zou T kleiner worden en zou de frequentie $f_{wt} = \frac{1}{T}$ juist toenemen.

– Als de veerconstante C door het schaven (met een grotere factor dan de massa) kleiner wordt, leidt dit tot een toename van T en afname van f_{wt}.

- gebruik van $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ 1
- inzicht dat m door het schaven afneemt 1
- gebruik van $f = \frac{1}{T}$ en completeren van de uitleg 1
- inzicht dat de veerconstante C moet afnemen 1

26 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Door de afwisselend iets kortere en iets langere snaarlengte is de gespeelde toon ook steeds wat hoger en wat lager. Als de gespeelde toon hoger of lager is, wijkt deze af van de eigenfrequentie van het voorblad (waardoor dit minder zal resoneren).

- inzicht dat de snaarlengte varieert 1
- inzicht dat de frequentie dan (vaak) afwijkt van de eigenfrequentie van het voorblad 1

natuurkundeuitgelegd.nl

5 Aanleveren scores

Verwerk de scores van alle kandidaten per examinator in de applicatie Wolf. Accordeer deze gegevens voor Cito uiterlijk op 22 juni.

6 Bronvermeldingen

Phobos

figuur 1	foto: NASA/NSSDCA
overige figuren	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

Munt krimpen

figuur 1	physics girl www.youtube.com/watch?v=d2TDXKfBaMQ
overige figuren	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2026

overige 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