Correctievoorschrift VWO

2023

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

Fietshelm

1 maximumscore 3
uitkomst: 1,50 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

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{5,42}{2 \cdot 9,81} = 1,50 \text{ m}.$$

- inzicht in de wet van behoud van energie 1
- gebruik van $E_z = mgh$ en $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 1
- completeren van de berekening 1

2 maximumscore 4
voorbeeld van een antwoord:
Tijdens de botsing ondervindt het hoofd een (gemiddelde) remkracht F_{res} over een remweg die gelijk is aan 20 mm. De verrichte arbeid is gelijk aan de verandering van de kinetische energie: $W = \Delta E_k$, dus $F_{res}s = \frac{1}{2}mv^2$. Met $F_{res} = ma$ volgt hieruit voor de gemiddelde versnelling van het hoofd:

$a_{gem} = \frac{v^2}{2s} = \frac{5,42^2}{2 \cdot 0,020} = 7,3 \cdot 10^2$ ms^{-2}. Dit is gelijk aan 75 g en dus minder dan de gestelde norm van 250 g.

- gebruik van $\Sigma W = \Delta E_k$ 1
- gebruik van $W = F_{res}s$ en $F = ma$ 1
- completeren van de berekening van a 1
- vergelijken van a met de normwaarde 1

natuurkundeuitgelegd.nl

3 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
In een (a,t)-diagram is de oppervlakte onder de grafiek gelijk aan de grootte van de snelheidsverandering. (De eindsnelheid is nul, dus de snelheidsverandering is gelijk aan de snelheid waarmee het dummyhoofd de plaat raakt.) Je moet dus de oppervlakten onder beide grafieken bepalen en vergelijken. (Deze blijken dan bij benadering gelijk te zijn aan elkaar.)

- inzicht dat het oppervlak onder een (a,t)-grafiek gelijk is aan de snelheidsverandering 1
- inzicht dat beide oppervlakken vergeleken moeten worden 1

4 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
In figuur 5 is te zien dat elk van de drie grafieken sterk naar boven afbuigt wanneer de indrukking de 20 mm nadert. De grote kracht die in de buurt van 20 mm optreedt leidt ook tot grote versnellingen. En dit wil je juist voorkomen bij een helm.

- inzicht dat de kracht sterk toeneemt als de indrukking 20 mm nadert 1
- inzicht in het verband tussen kracht en versnelling 1

5 maximumscore 2

uitkomst: $7 \cdot 10^5$ (N m^{-1})

voorbeeld van een antwoord:
Voor $x = 0{,}001$ moeten beide functies aan elkaar gelijk zijn.
Invullen in regel 4 geeft: $F_p = \dfrac{19{,}8}{(0{,}020 - 0{,}001)^{0{,}9}} = 7{,}0 \cdot 10^2$ (N)
Invullen in regel 2 geeft vervolgens: $7{,}0 \cdot 10^2 = C \cdot 0{,}001$
Dus $C = 7 \cdot 10^5$ (N m^{-1}).

- inzicht dat beide functies voor F_p aan elkaar gelijk zijn voor $x = 0{,}001$ 1
- completeren van de berekening 1

6 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
$F_{res} = F_z - F_p$

- teken voor F_z positief 1
- F_z en F_p tegengesteld van teken 1

natuurkundeuitgelegd.nl

7 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
De maximale versnelling hangt samen met de grootste steilheid van de grafiek. Het steilste stuk (dus het laatste stuk) van de grafieken van 15 kg m^{-3} en 51 kg m^{-3} zijn steiler dan het steilste stuk van de grafiek van 31 kg m^{-3}. Het piepschuim van 31 kg m^{-3} geeft de kleinste maximale versnelling (en voldoet dus het beste).

- inzicht dat gekeken moet worden naar de maximale steilheid bij elk van de drie grafieklijnen 1
- consequente conclusie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Deuterium

8 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He}$

- deuterium en proton links van de pijl 1
- He rechts van de pijl, mits verkregen via kloppende atoomnummers 1
- aantal nucleonen links en rechts gelijk 1

9 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

Er geldt: $E_\mathrm{f} = \Delta E_n = E_3 - E_2 = \left(-\frac{13{,}609}{3^2}\right) - \left(-\frac{13{,}609}{2^2}\right) = 1{,}89014\,\mathrm{eV}$

De golflengte is dan gelijk aan:

$$\lambda = \frac{hc}{E_\mathrm{f}} = \frac{6{,}62607 \cdot 10^{-34} \cdot 2{,}99792 \cdot 10^{8}}{1{,}89014 \cdot 1{,}60218 \cdot 10^{-19}} = 6{,}55950 \cdot 10^{-7} = 655{,}95\,\mathrm{nm}$$

- inzicht dat $E_\mathrm{f} = E_3 - E_2$ 1
- gebruik van $E_n = -\frac{13{,}609}{n^2}$ 1
- gebruik van $E_\mathrm{f} = \frac{hc}{\lambda}$ 1
- completeren van de berekening 1

10 maximumscore 5

uitkomst: $8{,}7 \cdot 10^{4}\,\mathrm{m\,s^{-1}}$

voorbeeld van een antwoord:

– De waargenomen golflengte is groter. Er is dus sprake van roodverschuiving. De Orionnevel beweegt van ons af.

– De dopplerverschuiving is gelijk aan $\Delta\lambda = 656{,}14 - 655{,}95 = 0{,}19\,\mathrm{nm}$.
Voor de radiale snelheid geldt dan:

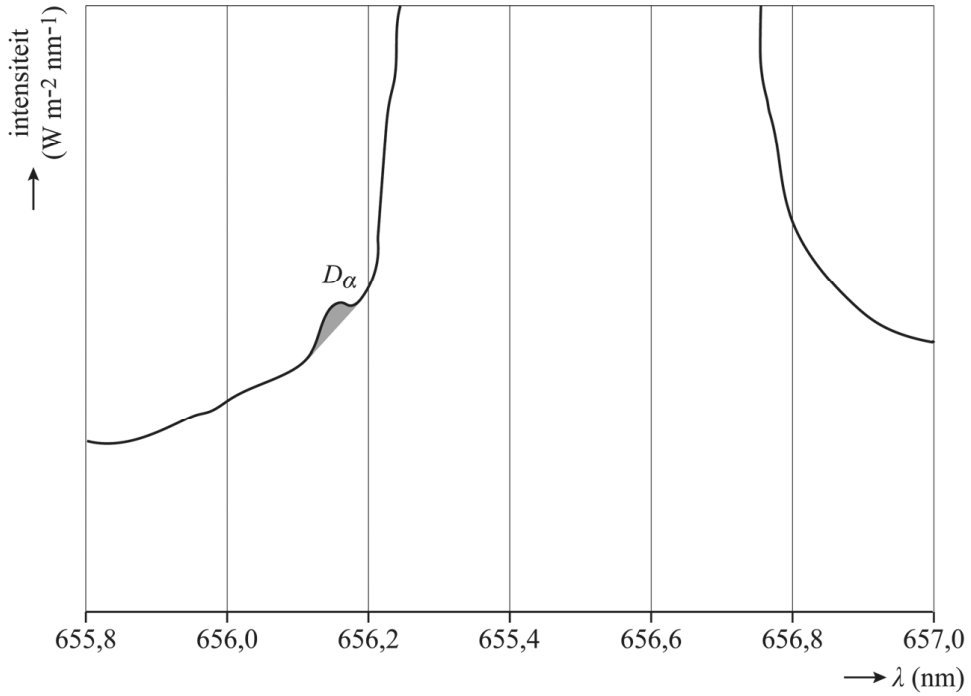
$$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c = \frac{0{,}19}{655{,}95} \cdot 3{,}00 \cdot 10^{8} = 8{,}7 \cdot 10^{4}\,\mathrm{m\,s^{-1}}$$

- inzicht dat er sprake is van roodverschuiving 1
- consequente conclusie over de bewegingsrichting 1
- gebruik van $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot c$ 1
- completeren van de berekening 1
- significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

11 maximumscore 1

Voorbeeld van een antwoord:



12 maximumscore 3

uitkomst: 9 miljard jaar

voorbeeld van een antwoord:
Een kleine halveringstijd betekent een snelle afname. Dus bij de ondergrens hoort de afnamefactor 3.

Voor de afname van het aantal deeltjes geldt: $N(t) = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{½}}}$.

Invullen geeft: $\frac{N_0}{3} = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{15}{t_{½}}}$.

Uitwerken geeft: $t_{½} = 9$ miljard jaar.

- inzicht dat de ondergrens voor de halveringstijd overeenkomt met grootste afnamefactor 1
- gebruik van $N(t) = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{½}}}$, met $N(t) = \frac{N_0}{\text{gekozen factor}}$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Treinwielen

13 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Doordat de wielen en de as een star geheel vormen is de omlooptijd T is voor beide wielen gelijk. Op tijdstip a heeft het linker wiel een grotere straal dan het rechter wiel. Het linker wiel legt dus per omwenteling een grotere afstand af dan het rechter wiel. Dit wiel dus gaat dus sneller in de voorwaartse richting, waardoor de trein naar rechts stuurt.

- inzicht dat de omlooptijd voor beide wielen gelijk is 1
- inzicht dat straal van beide wielen (en dus de snelheid) verschilt 1
- completeren van de uitleg 1

14 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

Omschrijven van de formule van Klingel geeft: $\gamma = \dfrac{2\pi^2 d r_0}{\lambda^2}$, dus voor de eenheid van γ geldt: $\gamma = \dfrac{[d][r_0]}{[\lambda^2]} = \dfrac{\text{m m}}{\text{m}^2} = 1$.

- gebruik van de formule van Klingel met $[d] = [r_0] = [\lambda] = \text{m}$ 1
- completeren van de afleiding 1

15 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Voor de golflengte geldt volgens de formule van Klingel: $\lambda = 2\pi\sqrt{\dfrac{d\, r_0}{2\gamma}}$

Invullen geeft: $\lambda = 2\pi\sqrt{\dfrac{1{,}435 \cdot 0{,}475}{2 \cdot 0{,}050}} = 16{,}4 \text{ m}$

Voor de periode geldt dan: $T = \dfrac{\lambda}{v}$ met $v = \dfrac{140}{3{,}6} = 38{,}9 \text{ m s}^{-1}$.

Invullen geeft: $T = 0{,}42 \text{ s}$

- gebruik van de formule van Klingel 1
- gebruik van $v = \lambda f$ en $f = \dfrac{1}{T}$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

16 maximumscore 3

uitkomst: 20 km h^{-1} (5,6 m s^{-1})

voorbeeld van een antwoord:
Er treedt resonantie op als de trillingstijd gelijk is aan de eigentrilling van het massa-veersysteem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_{\text{wagon}}}{C_{\text{totaal}}}} = 2\pi\sqrt{\frac{21{,}5\cdot10^{3}}{1{,}0\cdot10^{5}}} = 2{,}91\,\text{s}$$

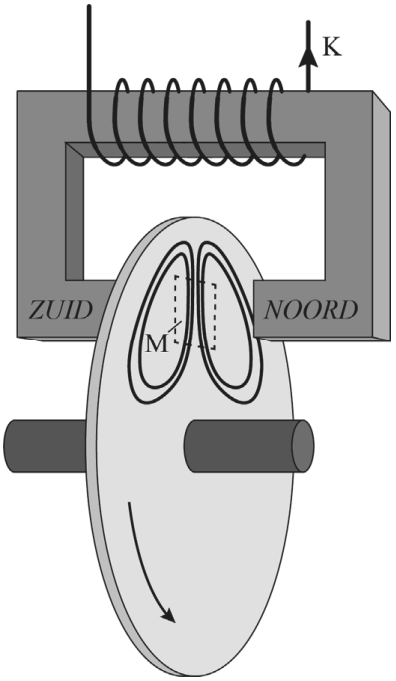
Voor sinusloop geldt $v = \lambda f$ met $f = \frac{1}{T}$. De golflengte van de sinusloop is onafhankelijk van de snelheid, dus λ is constant. Er geldt dus: $v_1T_1 = v_2T_2$
Invullen geeft: $140\cdot0{,}42 = v_2\cdot2{,}91$. Dus $v_2 = 20\,\text{km}\,\text{h}^{-1}$

- gebruik van $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ 1
- gebruik van $v = \lambda f$ met λ constant / inzicht dat $v_1T_1 = v_2T_2$ 1
- completeren van de berekening 1

Opmerking:
Als de kandidaat bij vraag 15 een foutieve golflengte heeft berekend en hiermee doorrekent, dit niet aanrekenen.

17 maximumscore 1

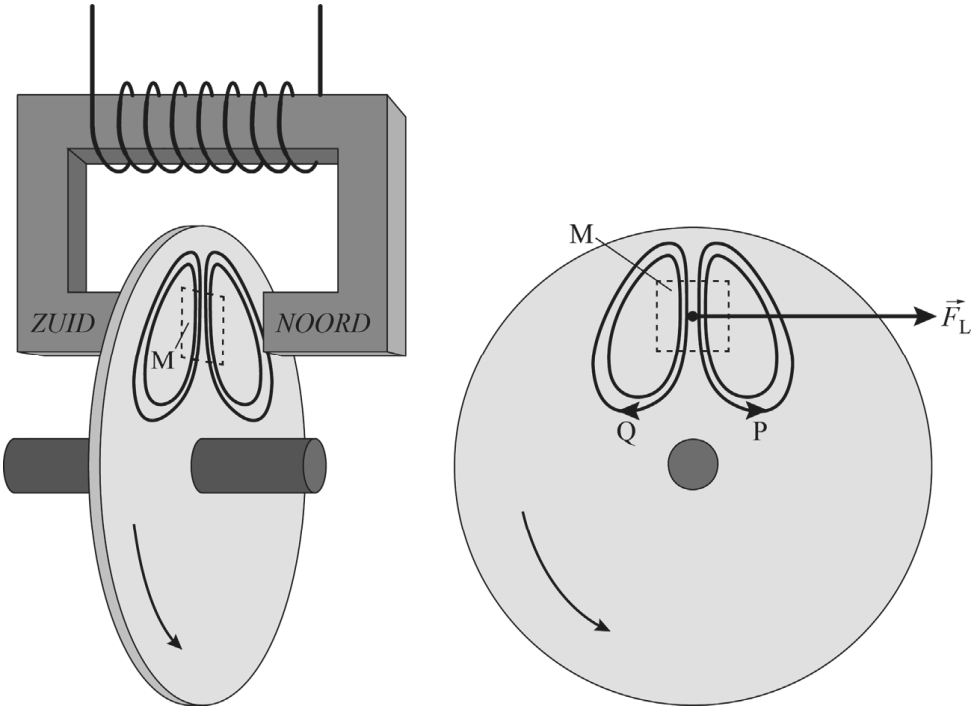
voorbeeld van een antwoord:



natuurkundeuitgelegd.nl

18 maximumscore 1

voorbeeld van een antwoord:



19 maximumscore 3

Bij een lagere snelheid (is de lorentzkracht die de elektronen in beweging brengt kleiner en daardoor) ontstaan er minder sterke wervelstromen. De afremmende (lorentz-)kracht zal dus kleiner zijn. Om dit te compenseren moet de magneetveldsterkte dus groter zijn.

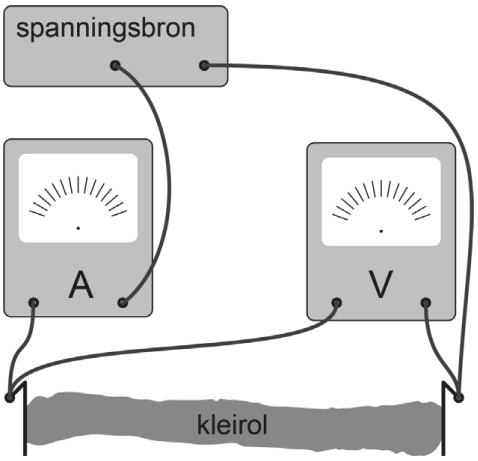
- inzicht in het verband tussen de snelheid en de sterkte van de geïnduceerde wervelstromen 1
- inzicht in het verband tussen de sterkte van de wervelstromen en de afremmende kracht 1
- inzicht in het verband tussen de magneetveldsterkte en de afremmende kracht en consequente conclusie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Geleidende klei

20 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:



- serieschakeling van spanningsbron, stroommeter en kleirol 1
- spanningsmeter parallel aan de klei 1

Opmerkingen:
- *Als bijvoorbeeld door het tekenen van extra verbindingen een niet-werkende schakeling is ontstaan: maximaal 1 punt toekennen.*
- *Als de kandidaat de spanningsmeter parallel aan de spanningsbron heeft getekend, dit niet aanrekenen*

21 maximumscore 5

uitkomst: $0{,}4\ \Omega\text{m}$

voorbeeld van een berekening:

Voor de soortelijke weerstand geldt $\rho = \frac{RA}{\ell}$, met $R = \frac{U}{I}$ en $A = \frac{1}{4}\pi d^2$

Invullen van de gegevens geeft:

$A = \frac{1}{4}\pi \cdot 0{,}04^2 = 1{,}3 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^2$ en $R = \frac{12{,}0}{0{,}186} = 64{,}5\ \Omega$

Dus $\rho = \frac{RA}{\ell} = \frac{64{,}5 \cdot 1{,}3 \cdot 10^{-3}}{0{,}21} = 0{,}4\ \Omega\text{m}$

- gebruik van $U = IR$ 1
- gebruik van $A = \frac{1}{4}\pi d^2$ / $A = \pi r^2$ met $r = \frac{d}{2}$ 1
- gebruik van $\rho = \frac{RA}{\ell}$ 1
- completeren van de berekening 1
- significantie 1

natuurkundeuitgelegd.nl

22 maximumscore 3

uitkomst: vier keer zo groot

voorbeeld van een antwoord:

Voor de weerstand van de kleirol geldt: $R = \rho\frac{l}{A}$.

Het volume van de kleirol blijft constant. Hiervoor geldt: $V = Al$, dus $A = \frac{V}{l}$.

Invullen geeft: $R = \rho\frac{l^2}{V}$. Dus als l twee keer zo groot wordt, wordt de weerstand vier keer zo groot.

- inzicht dat R evenredig is met l en $\frac{1}{A}$ 1
- inzicht dat V constant blijft en dat $A = \frac{V}{l}$ 1
- completeren van de redenering 1

natuurkundeuitgelegd.nl

Hawkingstraling

23 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Het stralingsvermogen van de ster is $10^{4,5}$ keer zo groot is als dat van de zon. Voor de massaverhouding geldt dan: $\frac{M}{M_{\text{zon}}} = \left(10^{4,5}\right)^{\frac{1}{3,8}} = 15$. Deze ster is meer dan 12 keer zo zwaar als de zon en zal dus eindigen als een zwart gat.

- bepalen van $\frac{P}{P_{\text{zon}}}$ 1
- gebruik van $\frac{P}{P_{\text{zon}}} = \left(\frac{M}{M_{\text{zon}}}\right)^{3,8}$ 1
- completeren van de berekening en consequente conclusie 1

24 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

(De kinetische energie aan het begin moet groot genoeg zijn om aan het gravitatieveld te ontsnappen.) Toepassen van de wet van behoud van energie: $(E_{\text{kin}} + E_{\text{g}})_r = (E_{\text{kin}} + E_{\text{g}})_\infty$, met $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ en $E_{\text{g}} = -G\frac{mM}{r}$.

Invullen geeft: $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{mM}{r} = 0$.

Omschrijven geeft vervolgens: $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$

- gebruik van de wet van behoud van energie 1
- gebruik van $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$ en $E_{\text{g}} = -G\frac{mM}{r}$ 1
- completeren van de afleiding 1

25 maximumscore 2

uitkomst: $5{,}9 \cdot 10^4$ m

voorbeeld van een antwoord:

Voor de schwartzschildstraal geldt formule (2) met $v = c$, Dus: $r_{\text{s}} = \frac{2GM}{c^2}$

Invullen geeft: $r_{\text{s}} = \frac{2 \cdot 6{,}67 \cdot 10^{-11} \cdot 20 \cdot 1{,}99 \cdot 10^{30}}{(3{,}00 \cdot 10^8)^2} = 5{,}9 \cdot 10^4$ m.

- gebruik van formule (2) met $v = c$ 1
- completeren van de berekening 1

natuurkundeuitgelegd.nl

26 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
(De massa van een zwart gat is in de orde van 10^{31} kg of groter. Volgens formule (3) is de temperatuur dan in de orde van 10^{-8} K.)
Vanwege de grote massa van een zwart gat is de temperatuur (volgens formule (3)) extreem laag. Hierdoor zal de stralingsintensiteit van het zwarte gat heel laag zijn / Hierdoor zal de bijbehorende λ_{max} erg groot zijn.

- gebruik van het verband tussen massa en temperatuur 1
- inzicht in het verband tussen de temperatuur en de uitgezonden stralingsintensiteit / λ_{max} 1

27 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:
Voor het uitgestraalde vermogen geldt de wet van Stefan-Boltzmann:
$P = \sigma A T^4$, met $A = 4\pi r_s^2$.

Volgens formule (3) geldt: $T \propto M^{-1}$.
Uit formule (2) is af te leiden dat: $r_s \propto M$.

Invullen geeft: $P \propto M^2 \left(M^{-1}\right)^4$, dus $P \propto M^{-2}$.

- gebruik van $P = \sigma A T^4$, met $A = 4\pi r_s^2$. 1
- inzicht dat geldt $r_s \propto M$ en $T \propto M^{-1}$ 1
- completeren van de bepaling 1

28 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:
Volgens formule (4) is het uitgestraalde vermogen groter naarmate de massa kleiner is. De uitgestraalde energie per seconde is dan groter en daarmee het massaverlies per seconde. In de loop van de tijd zal de massa van een zwart gat dus steeds sneller afnemen. Grafiek A geeft dus het juiste verband weer.

- gebruik van het verband tussen P en M 1
- gebruik van het verband tussen uitgestraalde energie en massaverlies en consequente conclusie 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 26 juni.

6 Bronvermeldingen

Fietshelm

figuur 1	Shutterstock ID: 316542686
overige figuren	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2023

Deuterium

figuur 1	Shutterstock ID: 455426386/NASA images
overige figuren	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2023

Treinwielen

alle figuren	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2023

Geleidende klei

figuur 1	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2023

Hawkingstraling

figuur 1	Shutterstock ID: 1366494671
figuur 2	Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling, 2023

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