



College voor Toetsen en Examens

NATUURKUNDE VWO

CONCEPT SYLLABUS CENTRAAL EXAMEN 2024
NADERE VASTSTELLING

versie 4, juni 2023

© 2023 College voor Toetsen en Examens vwo, havo, vmbo, Utrecht.

Alle rechten voorbehouden. Alles uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Inhoud

Voorwoord	5
1 Inleiding	6
1.1 Het centraal examen natuurkunde	6
1.2 Domeinindeling en CE-toekenning	6
2 Specificaties	7
2.1 Toelichting op de specificaties	7
2.1.1 Bekend verondersteld	7
2.1.2 Contexten	7
2.1.3 Vakbegrippen en instrumenten	8
2.1.4 Formules	9
2.1.5 Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo	9
2.1.6 Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen	10
2.2 Specificaties	11
Bijlage 1. Examenprogramma natuurkunde vwo	29
Bijlage 2. Grootheden- en eenhedenoverzicht	34
Bijlage 3. Examenwerkwoorden bij natuurkunde	36
BIJLAGE 4. DE CORRECTIE VAN HET CENTRAAL EXAMEN NATUURKUNDE	38

VOORWOORD

De minister heeft de examenprogramma's op hoofdlijnen vastgesteld. In het examenprogramma zijn de exameneenheden aangewezen waarover het centraal examen (CE) zich uitstrekt: het CE-deel van het examenprogramma.

Het College voor Toetsen en Examens (CvTE) geeft in een syllabus, die jaarlijks verschijnt, een toelichting op het CE-deel van het examenprogramma. Behalve een beschrijving van de exameneisen voor een centraal examen kan een syllabus verdere informatie over het centraal examen bevatten. Bijvoorbeeld over een of meer van de volgende onderwerpen: specificaties van examenstof, begrippenlijsten, bekend veronderstelde onderdelen van domeinen of exameneenheden die verplicht zijn op het schoolexamen, bekend veronderstelde voorkennis uit de onderbouw, bijzondere vormen van examinering (zoals computerexamens), voorbeeldopgaven, toelichting op de vraagstelling, toegestane hulpmiddelen.

De functie van een syllabus is een leraar in staat te stellen zich een goed beeld te vormen van wat in het centraal examen wel en niet gevraagd kan worden. Naar zijn aard is een syllabus dus niet een volledig gesloten en afgebakende beschrijving van alles wat op een examen zou kunnen voorkomen. Het is mogelijk, al zal dat maar in beperkte mate voorkomen, dat op een CE ook iets aan de orde komt dat niet met zo veel woorden in deze syllabus staat, maar dat naar het algemeen gevoelen in het verlengde daarvan ligt.

Een syllabus is ook een hulpmiddel voor degenen die zichzelf op een centraal examen voorbereiden. Een syllabus kan ook behulpzaam zijn voor de producenten van leermiddelen en voor nascholingsinstanties. De syllabus is niet van belang voor het schoolexamen. Daarvoor zijn door de SLO handreikingen geproduceerd die niet in deze uitgave zijn opgenomen.

Deze syllabus geldt voor het examenjaar 2024. Syllabi van eerdere jaren zijn niet meer geldig en kunnen van deze versie afwijken. Voor het examenjaar 2025 wordt een nieuwe syllabus vastgesteld.

Het CvTE publiceert uitsluitend digitale versies van de syllabi. Dit gebeurt via Examenblad.nl (www.examenblad.nl), de officiële website voor de examens in het voortgezet onderwijs. In de syllabi 2024 zijn de wijzigingen ten opzichte van de vorige syllabus voor het examenjaar 2023 duidelijk zichtbaar. De veranderingen zijn geel gemarkeerd. Er zijn diverse vakken waarbij de syllabus 2024 geen inhoudelijke veranderingen heeft ondergaan. **In 2023 is bijlage 4 weer toegevoegd en zijn enkele wijzigingen in bijlage 3 doorgevoerd. Deze wijzigingen zijn blauw gemarkeerd.**

Een syllabus kan ook tussentijds worden aangepast, bijvoorbeeld als een in de syllabus beschreven situatie feitelijk veranderd is. De aan een centraal examen voorafgaande Septembermededeling is dan het moment waarop dergelijke veranderingen bekendgemaakt worden. Kijkt u voor alle zekerheid jaarlijks in september op Examenblad.nl.

Het CvTE stelt het aantal en de tijdsduur van de toetsen van het centraal examen vast en de wijze waarop het centraal examen wordt afgenomen. Deze vaststelling wordt gepubliceerd in het rooster voor de centrale examens en in de Septembermededeling.

Voor opmerkingen over syllabi houdt het CvTE zich steeds aanbevolen. U kunt die zenden aan info@cvte.nl of aan CvTE, Postbus 315, 3500 AH Utrecht.

De voorzitter van het College voor Toetsen en Examens,
Drs. J.H (John) van der Vegt MPM

1 Inleiding

Deze syllabus specificeert de eindtermen van het CE-deel van het examenprogramma natuurkunde vwo. De syllabus natuurkunde is afgestemd met die voor scheikunde en biologie voor wat betreft de inhoudsopgave en de specificaties voor domein A.

1.1 Het centraal examen natuurkunde

De zitting en de zittingsduur van het centraal examen worden gepubliceerd op www.examenblad.nl. Ook wordt daar dan een lijst gepubliceerd met hulpmiddelen die bij het examen zijn toegestaan.

Bij het maken van het centraal examen wordt ernaar gestreefd dat 50% van het totaal aantal scorepunten dat door de kandidaat behaald kan worden, afkomstig is van vragen waarbij voor de beantwoording een expliciete berekening noodzakelijk is.

~~In bijlage 4 van deze syllabus wordt informatie gegeven over de correctie van het centraal examen natuurkunde.¹~~

1.2 Domeinindeling en CE-toekenning

Het examenprogramma staat in bijlage 1. Het betreft hier het programma met globale eindtermen, waarvan het CE-deel in hoofdstuk 2 van deze syllabus wordt gespecificeerd. Het SE-deel is nader gespecificeerd in een [handreiking](#) van SLO. In de handreiking zijn suggesties opgenomen voor het SE-deel welke dus niet bindend zijn.

In de onderstaande tabel staat vermeld welke subdomeinen op het centraal examen geëxamineerd kunnen worden:

Domein	Subdomein	in CE	moet in SE	mag in SE	
A	Vaardigheden	X	X		
B	Golven	B1	Informatieoverdracht	X	X
		B2	Medische beeldvorming	X	X
C	Beweging en wisselwerking	C1	Kracht en beweging	X	X
		C2	Energie en wisselwerking	X	X
		C3	Gravitatie	X	X
D	Lading en veld	D1	Elektrische systemen	X	X
		D2	Elektrische en magnetische velden	X	X
E	Straling en materie	E1	Eigenschappen van stoffen en materialen		X
		E2	Elektromagnetische straling en materie	X	X
		E3*	Kern- en deeltjesprocessen		bk*
F	Quantumwereld en relativiteit	F1	Quantumwereld	X	X
		F2*	Relativiteitstheorie		bk*
G	Leven en aarde	G1*	Biofysica		bk*
		G2*	Geofysica		bk*
H	Natuurwetten en modellen	X		X	
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		X
		I2	Modelstudie		X
		I3	Ontwerp		X

* bk = beperkte keuze: uit deze vier subdomeinen worden er twee gekozen.

¹ Deze bijlage wordt herschreven en zal op een later moment gepubliceerd worden.

2 Specificaties

2.1 Toelichting op de specificaties

2.1.1 *Bekend verondersteld*

Per domein is aangegeven wat bij het betreffende domein bekend wordt verondersteld. Het gaat om natuurkundige kennis en vaardigheden, waarvan wordt aangenomen dat deze *in de onderbouw of in de voorbereiding op het SE* behandeld zijn. Let op: voorkennis die bij een domein vermeld staat, kan ook voor andere domeinen relevant zijn.

De als 'bekend veronderstelde' leerstof dient geïnterpreteerd te worden in het licht van de daarop volgende subdomeinen. Dat wil zeggen: de als bekend veronderstelde leerstof betreft onderdelen uit de onderbouw of uit het SE die nodig (kunnen) zijn bij de bevraging van de betreffende subdomeinen, maar niet expliciet in de specificaties bij die domeinen vermeld worden.

Voorbeeld:

Bij domein B is als voorkennis opgenomen:

het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreeerde toon.

Bij het CE kan het nodig zijn dat een kandidaat dit verband hanteert bij het beantwoorden van een vraag die betrekking heeft op een specificatie uit domein B of een ander domein uit de syllabus.

2.1.2 *Contexten*

Het begrip *context* wordt door de bètavernieuwingscommissies gedefinieerd als:
de omgeving waarin leren plaatsvindt; een situatie of probleemstelling die voor leerlingen betekenis heeft of krijgt door de uit te voeren (leer)activiteiten².

In deze syllabus is bij een aantal specificaties aangegeven in welke context(en) de kennis en vaardigheden uit de specificatie minimaal beheerst moeten worden. Contexten die in de syllabus vermeld staan, worden op het centraal examen bekend verondersteld. Dat wil zeggen dat vragen binnen deze context niet veel toelichting nodig hebben.

Van de kandidaten wordt daarnaast verwacht dat ze hun kennis en vaardigheden *wendbaar* kunnen toepassen. Dat wil zeggen dat ze bij het CE de betreffende kennis en vaardigheden ook in andere contexten en situaties kunnen toepassen, mits de bij een vraag aangeboden informatie voldoende houvast biedt voor een correcte beantwoording van die vraag.

² Bron: Boersma et al., 2003. De relatie tussen context en concept.
Te downloaden via: www.betanova.nl

Voorbeeld:

In specificatie B1.5 staat

De kandidaat kan uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen van de trillingen en golven bepalen,

Met als toevoeging: *minimaal in de context: cardiogram;*

Dit betekent dat de kandidaten bekend zijn met een cardiogram en daaruit bijvoorbeeld de frequentie van de hartslag kunnen bepalen. Indien bij het CE deze specificatie in een andere context wordt getoetst, dan moet deze context in het vraagstuk worden toegelicht.

Bij een aantal specificaties is door middel van een voetnoot aangegeven, dat de natuurkundige kennis en vaardigheden uit de specificatie *niet wendbaar* hoeven te worden toegepast.

Voorbeeld:

Bij specificatie B2.4 staat in een voetnoot dat de kandidaat kennis en vaardigheden uit deze specificatie niet wendbaar hoeft te kunnen toepassen.

Dit betekent dat de 'natuurkundige achtergronden' die in deze specificatie worden genoemd (voor zover deze niet elders in de syllabus ook staan) alleen toegepast hoeven te worden in de context van medische beeldvormingstechnieken.

2.1.3

Vakbegrippen en instrumenten

Bij veel specificaties zijn vakbegrippen of instrumenten opgenomen.

Onder een *vakbegrip* wordt verstaan: een begrip uit het natuurkundig vakjargon, d.w.z. een begrip dat binnen de natuurkunde een vast omschreven betekenis heeft. Deze betekenis kan afwijken van de betekenis in het dagelijks leven.

Als een *vakbegrip* opgenomen is bij een specificatie, dan moet de kandidaat:

- bekend zijn met de natuurkundige betekenis van het begrip: "..., in de natuurkunde noemen we dat <vakbegrip>";
- de natuurkundige betekenis in voorkomende gevallen kunnen onderscheiden van de betekenis in het dagelijks leven;
- de natuurkundige betekenis van het begrip kunnen toepassen.

Het is níet nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën van een dergelijk vakbegrip kent.

Voorbeeld:³

Bij specificatie B1.6 staan de vakbegrippen 'amplitudemodulatie' en 'frequentiemodulatie'.

De kandidaat moet bekend zijn met de betekenis van deze begrippen. *Bijvoorbeeld:* "Bij informatieoverdracht wordt gebruik gemaakt van het combineren van een gegevenssignaal met een draaggolf met een hogere frequentie. Dit noemen we modulatie. Er zijn twee vormen van modulatie, bij amplitudemodulatie wordt de amplitude van de draaggolf gevarieerd, bij frequentiemodulatie de frequentie."

De kandidaat moet deze kennis ook kunnen toepassen, bijvoorbeeld bij het onderscheiden van het (u,t) -diagram van een amplitude- gemoduleerd signaal of van een frequentie-gemoduleerd signaal van dat van het oorspronkelijke signaal.

³ Specificatie B1.6 is met ingang van 2020 geschrapt uit de syllabus. Hoewel de precieze inhoud van dit voorbeeld dus niet meer tot de CE-stof behoort, is de intentie van het voorbeeld nog wel relevant: het gaat er om het verschil toe te lichten tussen de natuurkundige betekenis van een begrip (die de kandidaat moet kennen en kunnen toepassen) en de achterliggende verklaringen en theorieën (die niet bekend verondersteld worden).

De kandidaat hoeft de techniek achter de amplitude- en frequentiemodulatie en de wiskundige beschrijvingen ervan niet te kennen.

Als een *instrument* of *apparaat* opgenomen is bij een specificatie, dan moet de kandidaat:

- bekend zijn met het natuurkundig gebruik van het instrument / apparaat: "..., in de natuurkunde gebruiken we hiervoor een <instrument / apparaat>";
- de kennis over het natuurkundig gebruik van het instrument / apparaat kunnen toepassen.

Het is níet nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën of de werking van het instrument of apparaat kent.

Voorbeeld:

Bij specificatie E2.5 staat het instrument 'optische telescoop'.

De kandidaat moet bekend zijn met het natuurkundig gebruik van de telescoop. *Bijvoorbeeld:* "Om zwakke objecten met lage stralingsintensiteiten zichtbaar te maken, wordt gebruik gemaakt van telescopen. Een optische telescoop is een telescoop die geschikt is voor het optisch gebied (ongeveer 400 tot 750 nm)".

De kandidaat moet deze kennis ook kunnen toepassen, bijvoorbeeld om te analyseren of een bepaald type telescoop wel of niet geschikt is voor waarnemingen vanaf een bepaalde locatie of in een bepaald gebied van het spectrum.

De kandidaat hoeft de werking van het apparaat en de achterliggende theorieën uit de geometrische optica niet te kennen.

2.1.4 *Formules*

Bij ieder subdomein staat vermeld welke *formules* erbij horen.

Kandidaten moeten:

- berekeningen kunnen maken met deze formules;
- kunnen redeneren met deze formules (zie subdomein A15, specificatie 3);
- de grootheden kennen die in de formules voorkomen, evenals de bijbehorende eenheden. Zie ook bijlage 2.

2.1.5 *Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo*

Sommige (sub)domeinen zijn specifiek voor havo of vwo, andere (sub)domeinen overlappen. Bij de overlappende subdomeinen is geprobeerd de omschrijvingen zoveel mogelijk gelijklopend te maken. Daar waar de omschrijvingen verschillend zijn, kan ervan uitgegaan worden dat voor havo en vwo *verschillende eisen* worden gesteld.

De verschillen tussen havo en vwo betreffen:

- 1 De inhoud:
Er zijn inhoudelijke verschillen tussen de specificaties voor havo en vwo: andere begrippen, contexten en formules.
- 2 Het wiskundig karakter:
Van vwo-kandidaten wordt voor meer specificaties een wiskundige beschrijving verlangd dan van havo-kandidaten.
- 3 De notatie:
De gekozen notaties zijn bij vwo formeler dan bij havo,

- bij de havo wordt geen gebruik gemaakt van vectornotatie, bij het vwo wel (overigens alleen waar de richting van de vector van belang is; bij vectorgrootheden die genoteerd staan zonder vectornotatie wordt alleen de grootte van de vector bedoeld);
- bij vwo wordt gebruik gemaakt van het sommatieteken, bij havo niet;
- bij vwo wordt gebruik gemaakt van differentie-notatie, bij havo niet.

2.1.6

Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen

Iedere domeinspecificatie is op dezelfde wijze opgezet:

Domein

Bekend verondersteld: (Zie paragraaf 2.1.1)

De kandidaat kan:

Vaardigheden die de kandidaat moet beheersen, ook formules waarmee gerekend moet kunnen worden

- ...

De kandidaat kent:

Beschrijvende kennis

- de volgende verschijnselen:
- de volgende vakbegrippen:
- de volgende verbanden:

Subdomein + naam

Eindterm

Eindterm uit het examenprogramma

Specificaties

De kandidaat kan:

x. *Specificatie*

- (Evt.) verdere beperking/afbakening of nadere aanduiding
- (Evt.) vakbegrippen: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) instrumenten / apparaten: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) minimaal in de contexten: (zie paragraaf 2.1.2)

y. *Specificatie*

- (Evt.) verdere beperking/afbakening
- (Evt.) vakbegrippen: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) instrumenten / apparaten: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) minimaal in de contexten: (zie paragraaf 2.1.2)

z. *Specificatie ...*

De volgende formules horen bij deze specificaties:

Opsomming van bij de specificaties behorende formules (zie paragraaf 2.1.4).

2.2 Specificaties

Domein A. Vaardigheden

De vaardigheden zijn onderverdeeld in drie categorieën:

Subdomeinen A1 t/m A4: Algemene vaardigheden (profieloverstijgend niveau);

Subdomeinen A5 t/m A9: Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden (bètaprofielniveau);

Subdomeinen A10 t/m A15: Natuurkunde – specifieke vaardigheden.

De eerste categorie met algemene, profieloverstijgende vaardigheden worden in deze syllabus niet verder gespecificeerd. De specificaties van de subdomeinen A5 t/m A9 zijn afgestemd met de syllabuscommissies scheikunde en biologie.

Sommige vaardigheden of onderdelen daarvan zullen *niet op het centraal examen getoetst worden*. Omwille van de volledigheid, zijn deze vaardigheden wel in de syllabus opgenomen, maar *cursief en grijs* afgedrukt.

Subdomein A1. Informatievaardigheden gebruiken

Eindterm

De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

Subdomein A2. Communiceren

Eindterm

De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

Subdomein A3. Reflecteren op leren

Eindterm

De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

Subdomein A4. Studie en beroep

Eindterm

De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

Subdomein A5. Onderzoeken

Eindterm

De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Specificatie

De kandidaat kan gebruik makend van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden:

1. een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren;
2. een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);
3. verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;
4. een hypothese opstellen bij een onderzoeksvraag en verwachtingen formuleren;
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en) door middel van verificatie of falsificatie;
6. *voor de beantwoording van een onderzoeksvraag relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen;*
7. meetgegevens verwerken en presenteren op een wijze die helpt bij de beantwoording van een onderzoeksvraag;
8. op grond van verzamelde gegevens van een uitgevoerd onderzoek conclusies trekken die aansluiten bij de onderzoeksvra(a)g(en) van het onderzoek;
9. de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren, gebruik makend van de begrippen validiteit, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid;
10. *een natuurwetenschappelijk onderzoek presenteren.*

Subdomein A6. Ontwerpen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

Specificatie

De kandidaat kan gebruik makend van relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen:

1. *een technisch-ontwerpprobleem analyseren en beschrijven;*
2. *voor een ontwerp een programma van eisen en wensen opstellen;*
3. verbanden leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en taken en eigenschappen van een ontwerp;
4. verschillende (deel)uitwerkingen geven voor taken en eigenschappen van een ontwerp;
5. *een beargumenteerd ontwerpvoorstel doen voor een ontwerp, rekening houdend met het programma van eisen, prioriteiten en randvoorwaarden;*
6. *een prototype van een ontwerp bouwen;*
7. een ontwerpproces en -product *testen en* evalueren, rekening houdend met het programma van eisen;
8. voorstellen doen voor verbetering van een ontwerp;
9. *een ontwerpproces en -product presenteren.*

Subdomein A7. Modelvorming

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een relevant probleem analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren, en het model toetsen en beoordelen. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Specificatie⁴

De kandidaat kan gebruik makend van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden:

1. relevante grootheden en relaties in een probleemsituatie identificeren en selecteren;
2. door het doen van aannamen en het maken van vereenvoudigingen een natuurwetenschappelijk probleem inperken tot een onderzoekbare vraagstelling;
3. bij een natuurwetenschappelijk probleem een model selecteren dat geschikt is om het probleem te bestuderen;
4. *een bestaand rekenmodel omzetten naar een computermodel;*
5. een beargumenteerde schatting maken voor waarden en foutmarges van modelparameters op basis van gegevens;
6. toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van een model;
7. *een model met een geschikte tijdstap doorrekenen;*
8. een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens, rekening houdend met eventuele foutmarges in modelparameters;
9. *een modelstudie presenteren.*

Subdomein A8. Natuurwetenschappelijk instrumentarium

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen⁵.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen *mede met behulp van ICT*,
 - gegevens halen uit grafieken, tabellen, tekeningen, simulaties, schema's en diagrammen;
 - grootheden, eenheden, symbolen, formules en gegevens opzoeken in geschikte tabellen;
2. informatie, gegevens en meetresultaten analyseren, weergeven en structureren in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen *mede met behulp van ICT*;
3. uitleggen wat bedoeld wordt met de significantie van meetwaarden en uitkomsten van berekeningen weergeven in het juiste aantal significante cijfers,

⁴ Bij vragen op het centraal examen over modelleren, zal de kandidaat de keuze hebben tussen het gebruik van een grafisch of een tekstueel model

⁵ Zie voor de specificaties van de rekenkundige bewerkingen subdomein A12.

- bij het optellen en aftrekken van meetwaarden wordt de uitkomst gegeven met evenveel decimalen als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal decimalen;
 - bij het delen en vermenigvuldigen wordt de uitkomst gegeven in evenveel significante cijfers als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal significante cijfers;
 - als de logaritme van een meetwaarde wordt genomen, krijgt het antwoord evenveel decimalen als de meetwaarde significante cijfers heeft;
 - gehele getallen die verkregen zijn door discrete objecten te tellen, vallen niet onder de regels van significante cijfers (dit geldt ook voor wiskundige constanten en geldbedragen);
4. aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten;
5. *verantwoord omgaan met materialen, instrumenten, organismen en milieu.*

Subdomein A9. Waarderen en oordelen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een belangrijke rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard;
2. onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen;
3. feiten met bronnen verantwoorden;
4. de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor de beantwoording van het betreffende vraagstuk.

Subdomein A10. Kennisontwikkeling en –toepassing

Eindterm

De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

Geen nadere specificatie

Subdomein A11. Technisch-instrumentele vaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor de natuurkunde relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. gebruik maken van kennis over materialen, meetinstrumenten en apparaten voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technisch ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
 - in elk geval de volgende materialen, meetinstrumenten en apparaten:

- meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;
 - stemvork, toongenerator, oscilloscoop, GM-teller;
 - krachtmeter, luchtkussenbaan, stroboscoop;
 - (vloeistof)thermometer, veer;
 - filters, spectroscop;
 - elektroscop, voedingsapparaat, regelbare weerstand.
2. gebruik maken van kennis over ICT-toepassingen voor het uitvoeren van experimenten en modelstudies met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
- in elk geval de volgende toepassingen:
 - computer met sensoren, lichtpoortje;
 - videometen, meetprogrammatuur;
 - modelleerprogrammatuur;
 - programmatuur voor het verwerken en analyseren van meetgegevens.

Subdomein A12. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan een aantal voor de natuurkunde relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij voor de natuurkunde specifieke probleemsituaties.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren,
 - rekenen met verhoudingen, procenten, breuken, machten en wortels;
 - de omtrek en de oppervlakte berekenen van een cirkel, een driehoek en een rechthoek;
 - de oppervlakte berekenen van een bol;
 - de oppervlakte berekenen van een cilinder
 - het volume berekenen van een balk, een cilinder en een bol;
 - absolute waarde toepassen;
2. wiskundige technieken toepassen,
 - herleiden van formules;
 - redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
 - oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen;
 - oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden;
 - toepassen van $\log x$, $\ln x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x , x^a , $\sin x$ en $\cos x$;
 - in een rechthoekige driehoek met twee zijdes of met één zijde en één hoek gegeven, de overige zijdes en hoeken uitrekenen, gebruik makend van sinus, cosinus, tangens en de stelling van Pythagoras;
 - grafisch optellen en ontbinden van vectoren;
 - grafieken tekenen bij een meetserie;
 - functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden, evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en wortelverbanden;
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
 - aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen, dubbel-logaritmische diagrammen en diagrammen met asonderbrekingen;
 - interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;

- differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties;
 - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
 - de oppervlakte onder een grafiek bepalen;
 - relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als een rechte lijn door de oorsprong;
3. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren,
- formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen of gegeven in het examen;
 - substitueren van formules;
 - eenheden omrekenen, afleiden en controleren.

Subdomein A13. Vaktaal

Eindterm

De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

Geen nadere specificatie (Zie A8)

Subdomein A14. Vakspecifiek gebruik van de computer

Eindterm

De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

Subdomein A15. Kwantificeren en interpreteren

Eindterm

De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. gebruik maken van beredeneerde schattingen voor onbekende grootheden bij het oplossen van natuurkundige vraagstukken;
2. vooraf de orde van grootte van een grootheid of uitkomst inschatten en achteraf beoordelen in hoeverre de uitkomst van een vraagstuk juist kan zijn;
3. redeneren met natuurkundige verbanden.

Domein B. Golven

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- een numeriek model ontwerpen en gebruiken⁶.

De kandidaat kent:

- een modeltaal voor een computermodel in modelregels of in grafische weergave⁷;
- de volgende verschijnselen:
 - geluid;
 - echo;
- de volgende verbanden:
 - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidssterkte van de geregistreerde toon;
 - het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreerde toon.

Subdomein B1. Informatieoverdracht

Eindterm

De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van onder andere informatieoverdracht.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. trillingsverschijnselen analyseren en grafisch weergeven,
 - aan de hand van een numeriek model het verband laten zien tussen de natuurkundige voorwaarde van een harmonische trilling (kracht evenredig met en tegengesteld gericht aan de uitwijking) en de wiskundige beschrijving ervan (sinusfunctie);
 - vakbegrippen: periode, gereduceerde fase, faseverschil;
2. berekeningen maken aan de eigentrilling van een massa-veersysteem,
 - vakbegrippen: eigenfrequentie, resonantie;
3. golfverschijnselen analyseren en grafisch weergeven,
 - vakbegrippen: gereduceerde fase, faseverschil, lopende golf, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal;
 - Minimaal in de context: Informatieoverdracht
4. bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium analyseren,
 - vakbegrippen: knoop, buik, grondtoon, boventoon;
 - minimaal in de context: muziekinstrumenten;
5. uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen (zie specificaties 1 en 3) van de trillingen en golven bepalen,
 - minimaal in de context: cardiogram;

⁶ Bekend verondersteld vanuit het schoolexamen (subdomein I2).

⁷ Zie voetnoot 4.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$f = \frac{1}{T} \quad v = f\lambda \quad \vec{F}_{\text{res}} = -C\vec{u}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \quad v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T}$$

$$u = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right), \text{ niet : uitrekenen van } t \text{ als } u \text{ gegeven is}$$

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

Subdomein B2. Medische beeldvorming

Eindterm

De kandidaat kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten van deze straling op mens en milieu beschrijven. Ook kan de kandidaat medische beeldvormingstechnieken beschrijven en analyseren aan de hand van fysische principes en de diagnostische functie van deze beeldvormingstechnieken voor de gezondheid toelichten.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. uitzending, voortplanting en opname van elektromagnetische straling beschrijven,
 - vakbegrippen: absorptie, emissie, elektromagnetische golf, foton;
2. de verschillende soorten ioniserende straling, hun ontstaan en hun eigenschappen benoemen, evenals de risico's van deze soorten straling voor mens en milieu, en berekeningen maken met (equivalente) dosis,
 - de activiteit op een bepaald moment berekenen en bepalen uit een (N,t) -diagram;
 - de vergelijking opstellen van een kernreactie;
 - vakbegrippen: stralingsbron, radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, atomaire massa-eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling, α -, β^{\pm} - en γ -straling, kosmische straling, achtergrondstraling, bestraling, besmetting, effectieve totale lichaamsdosis in relatie tot stralingsbeschermingsnormen, dosimeter;
 - minimaal in de contexten: nucleaire diagnostische geneeskunde, stralingsbescherming;
3. problemen oplossen waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt,
 - vakbegrippen: doorlaatkromme, vervalkromme;
 - minimaal in de context: medische diagnostiek;
4. medische beeldvormingstechnieken aan de hand van hun natuurkundige achtergrond beschrijven, voor- en nadelen van deze technieken noemen en op grond daarvan in gegeven situaties een keuze voor een techniek beargumenteren⁹,
 - beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, PET-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;

⁸ β kan zowel β^+ als β^- zijn. In het examen blijkt dat uit de context of wordt expliciet gesproken over β^+ of β^- .

⁹ Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie B2.4 *nietwendbaar* te kunnen toepassen.

- natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, annihilatie, creatie van een elektron-positronpaar, ultrasone geluidsgolf, geluidssnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$E_f = hf \quad c = f \lambda$$

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

$$D = \frac{E}{m} \quad H = w_R D \quad A = N + Z$$

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{d}{d_{1/2}}}$$

Domein C. Beweging en wisselwerking

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formule:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

De kandidaat kent:

- de volgende verschijnselen:
 - de opbouw van ons zonnestelsel: zon, maan en planeten;
- het volgende vakbegrip:
 - energieopslag.

Subdomein C1. Kracht en beweging

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen kwalitatief en kwantitatief analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. berekeningen maken aan eenparige rechte bewegingen;
2. eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen,
 - de volgende bewegingen herkennen: eenparige rechte beweging, eenparig versnelde / vertraagde beweging, vrije val, valbeweging met wrijving;
 - uit een (x,t) -diagram de gemiddelde snelheid bepalen;
 - uit een (x,t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, gebruik makend van het inzicht dat de snelheid de afgeleide is van de plaats naar de tijd;
 - uit een (v,t) -diagram de (val)versnelling op een bepaald moment bepalen, gebruik makend van het inzicht dat de versnelling de afgeleide is van de snelheid naar de tijd;
 - uit een (v,t) -diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen met behulp van de oppervlakte;
3. krachten op een systeem analyseren zowel aan de hand van een vectortekening als met behulp van goniometrische relaties, waaronder het samenstellen van en ontbinden in componenten en het bepalen van de grootte en/of richting van krachten,
 - krachten: zwaartekracht, schuifwrijvingskracht, rolweerstandskracht, luchtweerstandskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
4. de eerste wet van Newton uitleggen en toepassen,
 - vakbegrip: traagheid;
5. de tweede wet van Newton uitleggen en toepassen;
6. de derde wet van Newton uitleggen en toepassen,
 - vakbegrippen: actiekracht, reactiekracht, gewicht;
7. op grond van een analyse van krachten een geschikt numeriek model voor een beweging kiezen en het model gebruiken om de beweging te analyseren.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$s = vt$, met v constant

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$v = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$\vec{F}_z = m\vec{g} \quad F_v = Cu$$

$$F_{w,\ell} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2$$

$$F_{w,s,\max} = fF_N$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Subdomein C2. Energie en wisselwerking

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. berekeningen maken met betrekking tot kracht, verplaatsing, arbeid, snelheid en vermogen,
 - de arbeid bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram;
2. energieomzettingen bij bewegingen analyseren,
 - de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie toepassen;
 - minimaal de bewegingen: vrije val, valbeweging met wrijving, verticale worp, trilling en stuiterbeweging;
 - energieën: kinetische energie, zwaarte-energie, veerenergie, chemische energie, warmte;
 - vakbegrippen: potentiële energie, (positieve en negatieve) arbeid, wrijvingsarbeid, periodieke beweging;
 - minimaal in de contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$\begin{aligned}W &= Fs \cos \alpha \\P &= \frac{E}{t} & P &= \frac{W}{t} & P &= Fv \\E_k &= \frac{1}{2}mv^2 & E_z &= mgh & E_v &= \frac{1}{2}Cu^2 \\E_{\text{ch}} &= r_v V & E_{\text{ch}} &= r_m m \\ \sum W &= \Delta E_k & \sum E_{\text{in}} &= \sum E_{\text{uit}} \\ \eta &= \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}\end{aligned}$$

Subdomein C3. Gravitatie

Eindterm

De kandidaat kan ten minste in de context van het heelal bewegingen analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatiewisselwerking.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. cirkelbewegingen met constante baansnelheid analyseren,
 - berekeningen maken aan de middelpuntzoekende kracht alleen in situaties waarin slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft¹⁰;
 - vakbegrippen: omlooptijd, baanstraal, baansnelheid;
2. bewegingen van voorwerpen in een gravitatieveld analyseren met behulp van de gravitatiekracht en de gravitatie-energie,
 - aan de hand van een numeriek model de bewegingen van planeten, kometen en andere hemellichamen analyseren;
 - het verband toepassen tussen ontsnappingsnelheid en de massa en straal van een hemellichaam;
 - uitleggen hoe de valversnelling aan het planeetoppervlak afhangt van de massa en de straal van de planeet;
 - vakbegrippen: gravitatiewisselwerking, ellipsbaan, geostationaire baan;
 - minimaal in de contexten: maan, planeet, satelliet.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$\begin{aligned}F_g &= G \frac{mM}{r^2} & E_g &= -G \frac{mM}{r} \\ F_{\text{mpz}} &= \frac{mv^2}{r} & v &= \frac{2\pi r}{T}\end{aligned}$$

¹⁰ In constructies, tekeningen en redeneringen kan het wel voorkomen dat er meerdere krachten de rol van middelpuntzoekende kracht vervullen. Zie ook specificatie C1.3.

Domein D. Lading en veld

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- schakelschema's tekenen en interpreteren.

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
 - geleider, isolator.

Subdomein D1. Elektrische systemen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten elektrische schakelingen analyseren met behulp van de wetten van Kirchhoff. Daarbij kan de kandidaat energieomzettingen analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning,
 - de definities van stroomsterkte, spanning en soortelijke weerstand gebruiken;
 - vakbegrippen: vrij elektron, ion, elementaire lading, spanningsbron, batterij, accu;
2. de wetten van Kirchhoff toepassen als wetten voor behoud van stroomsterkte in een punt en van spanning in een kring;
3. stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid,
 - bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen maken;
 - de juiste aansluitwijze van stroommeter en spanningsmeter toepassen;
 - de volgende componenten toepassen binnen een schakeling: diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, lamp, motor, verwarmingselement, zekering, aardlekschakelaar;
 - vakbegrippen: stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting;
4. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren,
 - berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur;
 - minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$G = \frac{1}{R}$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$U = \frac{\Delta E}{Q}$$

$$\rho = \frac{RA}{\ell}$$

$$I = GU$$

$$U = IR$$

Voor een punt in een schakeling:

$$\sum_i I_i = 0$$

Voor een stroomkring:

$$\sum_i U_i = 0$$

Voor een serieschakeling:

$$U_{\text{tot}} = U_1 + U_2 + \dots \quad I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = \dots \quad R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots$$

Voor een parallelschakeling:

$$U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = \dots \quad I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 + \dots \quad G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots$$

$$P = UI \quad E = Pt$$

$$\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}$$

Subdomein D2. Elektrische en magnetische velden

Eindterm

De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren met behulp van elektrische en magnetische velden.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. een elektrisch veld beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van elektrische lading,
 - richting van het elektrisch veld bepalen;
 - vakbegrippen: afstotende en aantrekkende elektrische kracht, homogeen en radiaal elektrisch veld, veldlijn;
2. het verband tussen spanning en kinetische energie toepassen op een geladen deeltje in een homogeen elektrisch veld,
 - elektrische energie als vorm van potentiële energie gebruiken;
 - eenheid elektronvolt uitleggen;
 - minimaal in de contexten: röntgenbuis, lineaire versneller;
3. een magnetisch veld beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van bewegende elektrische lading,
 - richting van het magnetisch veld bepalen bij een permanente magneet, een rechte stroomdraad en een spoel;
 - vakbegrippen: homogeen en inhomogeen magnetisch veld, veldlijn, elektromagneet;
 - minimaal in de context: aardmagnetisch veld;
4. het effect van een magnetisch veld op een elektrische stroom en op bewegende lading beschrijven,
 - grootte en richting van de lorentzkracht bepalen;
 - minimaal in de contexten: elektromotor, luidspreker;
5. elektromagnetische inductieverschijnselen in verschillende situaties analyseren,
 - gebruik maken van de definitie van flux;

- toepassen van het inzicht dat de inductiespanning recht evenredig is met het aantal windingen en met de fluxverandering per tijdseenheid;
- minimaal in de volgende situaties: een bewegende magneet in een spoel en een draaiend draadraam in een homogeen magneetveld;
- minimaal in de contexten: dynamo, microfoon.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$F_{\text{el}} = f \frac{qQ}{r^2} \quad \vec{F}_{\text{el}} = q\vec{E}$$

$$\Delta E_{\text{k}} = -\Delta E_{\text{el}} \quad \Delta E_{\text{el}} = qU$$

$$F_{\text{L}} = BI\ell \quad F_{\text{L}} = Bqv$$

$$\Phi = B_{\perp} A$$

$$U_{\text{ind}} \propto N \quad U_{\text{ind}} \propto \frac{d\Phi}{dt}$$

Domein E. Straling en materie

Subdomein E2. Elektromagnetische straling en materie

Eindterm

De kandidaat kan in astrofysische en andere contexten de wisselwerking tussen straling en materie beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen atoomspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.

Specificatie

De kandidaat kan:

- het atoommodel van Bohr beschrijven en toepassen,
 - uit energieniveauschema's golflengtes en frequenties van spectraallijnen bepalen;
 - absorptie- en emissiespectra verklaren;
 - vakbegrippen: foton, grondtoestand, aangeslagen toestand, ionisatie-energie;
- het licht van sterren analyseren,
 - een hertzsprung-russelldiagram gebruiken om sterren te classificeren naar temperatuur, totaal stralingsvermogen en grootte;
 - de radiale snelheid van sterren analyseren aan de hand van het spectrum;
 - een uitspraak doen over de aanwezigheid van elementen in sterren aan de hand van het spectrum;
 - vakbegrippen: fraunhoferlijn, roodverschuiving en blauwverschuiving;
- het verband tussen de uitgezonden golflengtes en de temperatuur beschrijven en toepassen,
 - de wet van Wien toepassen;
 - vakbegrippen: planck-kromme, continu spectrum;
 - minimaal in de contexten: gloeilampen, sterren;
- verklaren hoe de op aarde waargenomen intensiteit van een ster samenhangt met het totale stralingsvermogen van de ster en de afstand tot de ster,
 - de wet van Stefan-Boltzmann toepassen;
 - vakbegrip: zonneconstante;
 - minimaal in de context: zon;
- beschrijven hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht vanaf de aarde en vanuit de ruimte,
 - de verschillende onderdelen van het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van deze stralingssoorten beschrijven: gammastraling, röntgenstraling, ultraviolet, (zichtbaar) licht, infrarood, radiogolven, microgolven;
 - instrumenten: optische telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$E_f = hf \quad E_f = \frac{hc}{\lambda} \quad E_f = |E_m - E_n|$$

$$v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$

$$\lambda_{\max} T = k_W \quad I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi r^2} \quad P_{\text{bron}} = \sigma AT^4$$

Domein F. Quantumwereld en relativiteit

Subdomein F1. Quantumwereld

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

Specificatie

De kandidaat kan:

- licht als golfverschijnsel benoemen en dit toelichten,
 - uitleggen in welke situaties buiging van lichtgolven optreedt;
 - een intensiteitspatroon verklaren in termen van constructieve en destructieve interferentie;
- de golf-deeltjedualiteit toepassen bij het verklaren van interferentieverschijnselen bij elektromagnetische straling en bij materiedeeltjes,
 - berekeningen maken met de de Broglie-golf lengte;
 - het dubbelspleet-experiment beschrijven en de betekenis ervan uitleggen;
 - vakbegrippen: waarschijnlijkheid, waarschijnlijkheidsverdeling;
 - minimaal in de context: elektronenmicroscop;
- het foto-elektrisch effect gebruiken om aan te tonen dat elektromagnetische straling gequantiseerd is,
 - vakbegrippen: foton, uittree-energie, energiequantum;
- quantumverschijnselen beschrijven in termen van de opsluiting van een deeltje,
 - de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen;
 - het quantummodel van het waterstofatoom beschrijven en de mogelijke energieën van het waterstofatoom berekenen;
 - het quantummodel van een deeltje in een één-dimensionale energieput beschrijven en de mogelijke energieën van het deeltje berekenen;
 - vakbegrippen: bohrstraal, nulpuntsenergie;
- het quantum-tunneleffect beschrijven aan de hand van een eenvoudig model en daarbij aangeven hoe de kans op tunneling afhangt van de massa van het deeltje en de hoogte en breedte van de energie-barrière,
 - minimaal in de contexten: Scanning Tunneling Microscope (STM), alfa-verval.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$p = mv$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \quad (\text{in eV})$$

$$E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$$

Domein H. Natuurwetten en modellen

Eindterm

De kandidaat kan in voorbeelden die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.

Ook kan de kandidaat een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. in voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen¹¹,
 - principes: universaliteit, schaalonafhankelijkheid, denken in ordes van grootte, analogie;
 - wetmatigheden: behoudswetten, wetten van Newton, kwadratenwet;
 - vakbegrippen: natuurwet, natuurconstante, verband, vergelijking;
2. voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus gebruiken om toe te lichten hoe het begrip model in de natuurkunde wordt gehanteerd en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen,
 - het inzicht toepassen dat een model een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid is en dit relateren aan de beperkte toepasbaarheid van het model;
 - onderscheid maken tussen een denkmodel, schaalmodel, numeriek model en computermodel;
 - vakbegrip: iteratief proces;
3. modelstructuren herkennen in computermodellen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken en aan de hand van voorbeelden uitleggen waar grenzen aan de voorspelbaarheid uit voortkomen,
 - modelstructuren: verval en groei (1e orde), oscillaties en bewegingen (2e orde);
 - vakbegrippen: rekencapaciteit, stapgrootte, beginvoorwaarde.

¹¹ Hier wordt bedoeld dat de kandidaat overzicht heeft over de gehele CE-stof en onderwerpen uit de verschillende domeinen met elkaar kan combineren. Deze specificatie is nadrukkelijk niet bedoeld als een uitbreiding van de stof met nieuwe kennis.

Bijlage 1. Examenprogramma natuurkunde vwo

Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A	Vaardigheden
Domein B	Golven
Domein C	Beweging en wisselwerking
Domein D	Lading en veld
Domein E	Straling en materie
Domein F	Quantumwereld en relativiteit
Domein G	Leven en aarde
Domein H	Natuurwetten en modellen
Domein I	Onderzoek en ontwerp

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de (sub)domeinen B1, B2, C1, C2, C3, D1, D2, E2, F1 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

Het CvE kan bepalen, dat het centraal examen ten dele betrekking heeft op andere subdomeinen, mits de subdomeinen van het centraal examen tezamen dezelfde studielast hebben als de in de vorige zin genoemde.

Het CvE stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

Het CvE maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- de subdomeinen E1, I1, I2 en I3;
- een keuze van twee uit de subdomeinen E3, F2, G1 en G2; daarbij kan het bevoegd gezag deze keuze maken, dan wel de keuze aan de kandidaat laten;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: een of meer domeinen of subdomeinen waarop het centraal examen betrekking heeft;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

De examenstof

Domein A Vaardigheden

Algemene vaardigheden (profieloverstijgend niveau)

Subdomein A1: Informatievaardigheden gebruiken

1. De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

Subdomein A2: Communiceren

2. De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

Subdomein A3: Reflecteren op leren

3. De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

Subdomein A4: Studie en beroep

4. De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden (bètaprofielniveau)

Subdomein A5: Onderzoeken

5. De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Subdomein A6: Ontwerpen

6. De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

Subdomein A7: Modelvorming

7. De kandidaat kan in contexten een relevant probleem analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren, en het model toetsen en beoordelen. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Subdomein A8: Natuurwetenschappelijk instrumentarium

8. De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen.

Subdomein A9: Waarderen en oordelen

9. De kandidaat kan in contexten een beargumenteerd oordeel geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

Natuurkunde – specifieke vaardigheden

Subdomein A10: Kennisontwikkeling en -toepassing

10. De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

Subdomein A11: Technisch-instrumentele vaardigheden

11. De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor de natuurkunde relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Subdomein A12: Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

12. De kandidaat kan een aantal voor de natuurkunde relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij voor de natuurkunde specifieke probleemsituaties.

Subdomein A13: Vaktaal

13. De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

Subdomein A14: Vakspecifiek gebruik van de computer

14. De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

Subdomein A15: Kwantificeren en interpreteren

15. De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Domein B Golven

Subdomein B1: Informatieoverdracht

16. De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van onder andere informatieoverdracht.

Subdomein B2: Medische beeldvorming

17. De kandidaat kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten van deze straling op mens en milieu beschrijven. Ook kan de kandidaat medische beeldvormingstechnieken beschrijven en analyseren aan de hand van fysische principes en de diagnostische functie van deze beeldvormingstechnieken voor de gezondheid toelichten.

Domein C Beweging en wisselwerking

Subdomein C1: Kracht en beweging

18. De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen kwalitatief en kwantitatief analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Subdomein C2: Energie en wisselwerking

19. De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Subdomein C3: Gravitatie

20. De kandidaat kan ten minste in de context van het heelal bewegingen analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatie-wisselwerking

Domein D Lading en veld

Subdomein D1: Elektrische systemen

21. De kandidaat kan in contexten elektrische schakelingen analyseren met behulp van de wetten van Kirchhoff. Daarbij kan de kandidaat energieomzettingen analyseren.

Subdomein D2: Elektrische en magnetische velden

22. De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren met behulp van elektrische en magnetische velden.

Domein E Straling en materie

Subdomein E1: Eigenschappen van stoffen en materialen

23. De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.

Subdomein E2: Elektromagnetische straling en materie

24. De kandidaat kan in astrofysische en andere contexten de wisselwerking tussen straling en materie beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen atoomspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.

Subdomein E3: Kern- en deeltjesprocessen*

25. De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van deeltjes- en kernprocessen.

Domein F Quantumwereld en relativiteit

Subdomein F1: Quantumwereld

26. De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

Subdomein F2: Relativiteitstheorie*

27. De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdsrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.

Domein G Leven en aarde

Subdomein G1: Biofysica*

28. De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Subdomein G2: Geofysica*

29. De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Domein H Natuurwetten en modellen

30. De kandidaat kan in voorbeelden die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.

Ook kan de kandidaat een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.

Domein I Onderzoek en ontwerp

Subdomein I1: Experiment

31. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van experimenten en de resultaten analyseren en interpreteren.

Subdomein I2: Modelstudie

32. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van modelstudies en de modeluitkomsten analyseren en interpreteren.

Subdomein I3: Ontwerp

33. De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen op basis van een gesteld probleem een ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

* uit deze vier subdomeinen worden er twee gekozen.

Bijlage 2. Grootheden- en eenhedenoverzicht

grootheid	symbool	Eenheid	symbol
aantal kernen	N	-	-
aantal neutronen in kern	N	-	-
aantal windingen in spoel	N	-	-
activiteit	A	(deeltjes) per seconde, becquerel	s^{-1} , Bq
afstand	x, s	meter	m
amplitude	A	meter	m
arbeid	W	joule	J
atoomnummer	Z	-	-
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	$kg\ m^{-3}$
elektrische veldsterkte	\vec{E}	volt per meter	$V\ m^{-1}$
energie	E	joule, kilowattuur, elektronvolt	J, kWh, eV
equivalente dosis	H	sievert	Sv
fase	φ	-	-
flux	Φ	weber	Wb
frequentie	f	hertz	Hz
geleidbaarheid	G	siemens	S
golflengte	λ	meter	m
halveringsdikte	$d_{1/2}$	meter	m
halveringstijd	$t_{1/2}$	seconde	s
hoek	α	graad	°
impuls	p	kilogram meter per seconde	$kg\ m\ s^{-1}$
hoogte	h	meter	m
intensiteit	I	watt per vierkante meter	$W\ m^{-2}$
intensiteit	I	(deeltjes) per vierkante meter	m^{-2}
kracht	F	newton	N
lading	q, Q	Coulomb	C
lengte	l, L	meter	m
luchtweerstandscoefficiënt	c_w	-	-
magnetische veldsterkte	B	tesla	T
Massa	m, M	kilogram, atomaire massa-eenheid	kg, u
Massagetal	A	-	-
Oppervlakte	A	vierkante meter	m^2
plaats	x	meter	m
Rendement	η	-	-
schuifwrijvingscoëfficiënt	f	-	-
Snelheid	v	meter per seconde	$m\ s^{-1}$
soortelijke weerstand	ρ	ohm meter	$\Omega\ m$
spanning	U	volt	V
stookwaarde	r_v, r_m	joule per kubieke meter, joule per kilogram	$J\ m^{-3}$ $J\ kg^{-1}$
straal	r	meter	m
Stralingsdosis	D	gray	Gy
Stralingsweegfactor	w_R	-	-
Stroomsterkte	I	ampère	A
Temperatuur	T	kelvin, graad Celsius	K, °C

totaal stralingsvermogen	P	watt	W
Tijd	t	seconde	s
Trillingstijd	T	seconde	s
uitwijking, uitrekking	u	meter	m
Valversnelling	g	meter per secondekwadraat	m s^{-2}
Veerconstante	C	newton per meter	N m^{-1}
Vermogen	P	watt	W
verplaatsing ¹²	s	meter	m
versnelling	a	meter per secondekwadraat	m s^{-2}
volume	V	kubieke meter	m^3
weerstand	R	ohm	Ω

natuurconstanten

constante wet van Coulomb	$f (=1/4\pi\epsilon_0)$
gravitatieconstante	G
lichtsnelheid	c
constante van Planck	h
constante van Stefan-Boltzmann	σ
constante van Wien	k_w

symbool

¹² Uit de context blijkt of hiermee de kortste afstand tussen twee punten óf de afgelegde weg wordt bedoeld.

Bijlage 3. Examenwerkwoorden bij natuurkunde

Er is een gecombineerde lijst voor examenwerkwoorden opgesteld voor natuur- en wiskunde. Er is gestreefd naar maximale afstemming en overlap. De complete lijst voor wis- en natuurkunde is omstreeks maart 2017 in een nieuwsbericht gepubliceerd op Examenblad.nl.

In onderstaande lijst staan de relevante examenwerkwoorden voor natuurkunde. Als in een natuurkunde-examen een van de woorden uit onderstaande lijst wordt gebruikt, geldt de betekenis die hiervan in deze lijst is gegeven. Deze lijst met examenwerkwoorden is niet uitputtend.

Algemeen: Tenzij anders aangegeven, is de wijze waarop het antwoord gevonden wordt vrij.	
Aantonen dat, laten zien dat	Het geven van een redenering en/of bepaling en/of berekening waaruit de juistheid van het gestelde blijkt. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. In het algemeen geldt dat het gestelde controleren door middel van een of meer voorbeelden niet voldoet
Aantonen of	Het geven van een redenering en/of bepaling en/of berekening waaruit de (on)juistheid van het gestelde blijkt. Het antwoord moet worden afgesloten met een conclusie. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. In het algemeen geldt dat het gestelde controleren door middel van een of meer voorbeelden niet voldoet, tenzij het geven van een tegenvoorbeeld tot de juiste conclusie leidt.
Afleiden van bijvoorbeeld een formule of een eenheid	Het geven van een redenering waaruit de juistheid van de formule of eenheid volgt uit de gegevens en/of formules in de opgave en/of met behulp van toegestane hulpmiddelen, gebruik makend van wiskundige bewerkingen, zoals combineren, herschrijven en substitueren. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. De formule controleren door middel van een of meer getallen of het invullen van eenheden voldoet niet.
Bepalen	Het gevraagde vaststellen en/of uitrekenen uitgaande van gegevens in de opgave en/of andere informatiebronnen. Voor minstens één van de grootheden in de berekening moet een waarde gegenereerd worden uit een grafiek, een figuur, een constructie of andere informatiebron. Uit de uitwerking moet blijken welke formules en/of principes zijn toegepast, welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Beredeneren, uitleggen	Het geven van een uitwerking waarin de denkstappen staan, waaruit het gestelde/gevraagde blijkt.
Berekenen	Het gevraagde uitrekenen, uitgaande van getalsmatige gegevens in de opgave en/of andere informatiebronnen. Uit de uitwerking moet blijken welke formules en/of principes zijn toegepast, welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Construeren	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat met een nauwkeurigheid die overeenkomt met de in het correctievoorschrift aangegeven marge. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet.

Noemen, (aan)geven wat, welke, wanneer, hoeveel	Een eindantwoord geven. Een toelichting is niet vereist tenzij anders is aangegeven.
Schatten	Een benadering van een waarde geven door middel van een berekening, bepaling of redenering. Uit de uitwerking moet blijken welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Schetsen	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat.
Tekenen	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat en voldoende nauwkeurig is. In het geval van een grafiek moet een assenstelsel met schaalverdeling zijn weergegeven. Het assenstelsel moet voorzien zijn van grootheden en eenheden.
Noteer je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.	Het geven van een uitkomst in het juiste aantal significante cijfers passend bij de gebruikte gegevens en uitgevoerde berekening. Bij tussentijds afronden dient minimaal het aantal significante cijfers van de uitkomst meegenomen te worden.
Noteer je antwoord in n significante cijfers.	Het geven van een uitkomst in het gevraagde aantal significante cijfers. Bij tussentijds afronden dient minimaal het aantal significante cijfers van de uitkomst meegenomen te worden.

BIJLAGE 4. DE CORRECTIE VAN HET CENTRAAL EXAMEN NATUURKUNDE

Algemeen

De regels voor de correctie in het correctievoorschrift bevatten algemene regels en vakspecifieke regels. De algemene regels zijn voor alle vakken gelijk. Hierin staat bijvoorbeeld dat voor een antwoord dat helemaal goed is het volle aantal punten toegekend moet worden en dat als een antwoord niet helemaal goed is, de corrector met behulp van de deelscores in het beoordelingsmodel het aantal punten moet vaststellen. Voor welke antwoordelementen punten kunnen worden gegeven, hangt af van het toetsdoel van de vraag en is weergegeven bij de bolletjes in het beoordelingsmodel. Ook staat er in de algemene regels dat een fout in een vraag niet tweemaal aangerekend mag worden, terwijl eenzelfde fout in twee verschillende vragen wel tweemaal aangerekend moet worden. Het is de bedoeling dat kandidaten op verschillende scholen en bij verschillende docenten gelijk beoordeeld worden. Het correctievoorschrift moet voldoende houvast bieden om dat mogelijk te maken.

Vakspecifieke regels

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 grootte.

Toelichting op de vakspecifieke regels

Regel 1: tussentijds afronden

Het is gebruikelijk om tussenantwoorden niet af te ronden of af te ronden op één significant cijfer méér dan in de uitkomst. Als een kandidaat tussentijds bijvoorbeeld afrondt op het juiste aantal significante cijfers, kan dat een (kleine) afwijking in het eindantwoord geven. Dit wordt de kandidaat niet aangerekend. Bij vragen waarin significantie niet beoordeeld wordt, geldt dat elke tussentijdse afronding acceptabel is, mits rekenkundig correct is afgerond.

Regel 2: completeren

Aan de hand van voorbeeld 1 wordt deze regel toegelicht.

Als een kandidaat bij de 3-punts vraag in dit voorbeeld voor r de diameter invult in plaats van de straal en verder alles goed doet, verliest deze kandidaat het tweede scorepunt. Het punt voor het completeren van de berekening kan de kandidaat dan nog krijgen.

De volgende situatie is echter ook denkbaar: Een kandidaat vult in de formule voor de weerstand de dichtheid in voor ρ en voor A de omtrek van de cirkel. Als eindantwoord noteert de kandidaat $l = 4,9 \cdot 10^{-11}$ m.

De bedoeling is dat de kandidaat voor deze vraag 0 punten krijgt. De kandidaat mist alle inhoudelijke deelscores waardoor van completeren geen sprake kan zijn. Als een kandidaat dezelfde fouten maakt in een 4-punts vraag is het denkbaar dat het laatste scorepunt nog wel toegekend kan worden. De elementen van regel 2 moeten in soortgelijke gevallen voldoende zijn om vast te stellen of het laatste scorepunt niet toegekend kan worden.

De laatste twee elementen van regel 2 maken duidelijk dat de oplossing voor een vraag vaak uit meer bestaat dan de afzonderlijke deelscores. Zo is het in voorbeeld 2 denkbaar dat een kandidaat de energie correct berekent en vervolgens het rendement wil berekenen door deze energie te vermenigvuldigen met 0,83. In dat geval is sprake van het foutief combineren van antwoordelementen en kan het laatste scorepunt niet worden toegekend.

Een fout in een van de antwoordelementen kan een substantiële vereenvoudiging tot gevolg hebben. Bijvoorbeeld als een kandidaat in een vraag met meerdere krachten, waarvan twee parallel en één schuin, de schuine kracht vergeet. Het bepalen van de resulterende kracht wordt daardoor een stuk eenvoudiger omdat krachten niet meer hoeven te worden ontbonden. Dan kan één fout naast het betreffende bolletje ook het laatste scorepunt kosten.

Regel 3: gebruik van een formule

Om dit scorepunt te verdienen, moet de kandidaat de juiste formule selecteren en voor minstens een symbool laten zien dat hij weet bij welke grootheid uit de opgave deze hoort. Dit kan door de formule op te schrijven en voor minstens één symbool een waarde in te

Voorbeeld 1:

In een 'rekstrookje' is een lange, dunne constantaandraad verwerkt. Deze draad heeft een weerstand van 350Ω en een diameter van $40 \mu\text{m}$.

Bereken de lengte van de constantaandraad.

Beoordelingsmodel:

Voor de weerstand geldt: $R = \rho \frac{l}{A}$ met $A = \pi r^2$.

Invullen levert: $350 = 0,45 \cdot 10^{-6} \frac{l}{\pi(\frac{1}{2}40 \cdot 10^{-6})^2}$.

Dit levert: $l = 0,98$ m

- gebruik van $R = \rho \frac{l}{A}$ met $\rho = 0,45 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$
- gebruik van $A = \pi r^2$ met $r = \frac{1}{2}d$
- completeren van de berekening

Voorbeeld 2:

Een VR-verwarmingsketel levert bij een watertemperatuur van 60°C een vermogen van 20 kW , en bij een watertemperatuur van 80°C een vermogen van 30 kW . Het rendement van een VR-ketel bedraagt 83% . Stel dat op een dag de ketel $4,5$ uur brandt.

Bereken de maximale hoeveelheid chemische energie die de ketel die dag verbruikt.

Beoordelingsmodel:

Er geldt: $E = Pt$, waarin $P = 30 \cdot 10^3 \text{ W}$ en invullen levert:

$$E = Pt = 30 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot 3600 = 4,86 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

(Voor het rendement geldt $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$.)

Dus geldt voor de energie die de ketel verbruikt:

$$E_{\text{chem}} = \frac{4,86 \cdot 10^8}{0,83} = 5,9 \cdot 10^8 \text{ J}$$

- gebruik van $E = Pt$
- in rekening brengen van het rendement
- completeren van de berekening

vullen die past bij de betreffende grootheid¹³. Dit invullen hoeft niet direct in de formule te gebeuren. Het kan ook door de grootheid met adequate waarde bij de geselecteerde formule te schrijven. Het selecteren van de juiste formule kan ook zonder de formule zelf op te schrijven, maar door deze direct in te vullen.

Aan de hand van voorbeeld 2 volgt hier een drietal deeltwerkingen om de bedoeling van regel 3 te verduidelijken:

- 1 Een kandidaat noteert de formule $E=Pt$ en vult deze (gedeeltelijk) in.
 - Als deze kandidaat voor P 20 kW invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule wel. De kandidaat laat namelijk zien dat hij/zij weet dat het symbool P het vermogen is.
 - Als deze kandidaat voor P de waarde 30 invult in plaats van $30 \cdot 10^3$, verdient hij het scorepunt. Ook nu laat hij zien de betekenis van het symbool P te kennen.
 - Als deze kandidaat bij $E = Pt$, alleen voor t 60 °C invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule niet. De kandidaat laat namelijk zien dat hij niet weet dat het symbool t hier staat voor tijd.
 - Als deze kandidaat opschrijft: $E=P \cdot t \rightarrow t=E \cdot P=E \cdot 30 \cdot 10^3$ verdient hij, ondanks de fout in het omwerken, het scorepunt voor het gebruik van de formule wel. De omwerkfout wordt aangerekend via de completeer-deelscore.

2 Een kandidaat noteert:

$$E = P \cdot t \text{ én}$$
$$P = 30 \text{ kW}$$

Deze kandidaat verdient het scorepunt.

3 Een kandidaat noteert:

- o $E = 30 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot 3600$
- of
- o $E = 30 \cdot 4,5$
- of
- o $E = 30 \cdot t$

Deze kandidaat verdient het scorepunt. In alle drie de gevallen is immers duidelijk dat de kandidaat de formule $E=Pt$ geselecteerd heeft, en weet dat P het vermogen is.

Soms wordt er bij het deelscorepunt voor het gebruik van een formule een aanvullende eis opgenomen in het beoordelingsmodel, zoals in voorbeeld 1. In dit geval moet de soortelijke weerstand juist ingevuld zijn om het eerste scorepunt te krijgen. Als alleen voor ρ de juiste waarde is ingevuld en verder niets, verdient een kandidaat dit scorepunt wel. Als voor l een lengte is ingevuld en voor ρ niets, verdient een kandidaat dit scorepunt niet.

De formulering 'inzicht in' in plaats van 'gebruik van' is ruimer. Uit hetgeen de kandidaat opschrijft moet het inzicht blijken, zonder dat de formule expliciet geselecteerd en gedeeltelijk ingevuld moet zijn.

Significantie

Een kandidaat kan de vraag krijgen om de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers te noteren. In dat geval is in het beoordelingsmodel een apart scorepunt opgenomen voor significantie. Dit scorepunt kan vanzelfsprekend worden toegekend als een kandidaat de vraag volledig juist beantwoordt en de uitkomst noteert in het aantal significante cijfers uit het beoordelingsmodel. Het is echter ook mogelijk dit punt te verdienen als de vraag niet helemaal juist is en het aantal significante cijfers van de kandidaat afwijkt van het aantal in het beoordelingsmodel. Dit kan bijvoorbeeld als er sprake is van een rekenfout (waardoor de completeer-deelscore vervalt) of als een omrekening vergeten wordt. De significantie moet

¹³ Wanneer het gebruik van een formule gevraagd wordt bij een afleiding of een redentatie (zie vaardigheid A15.3) waarin geen waarden nodig zijn, is het invullen van getallen uiteraard niet nodig.

dan wel consequent zijn met de berekening van de kandidaat. De deelscore voor significantie kan echter alleen worden toegekend als de gegeven uitkomst is voortgekomen uit een berekening die betrekking heeft op de gestelde vraag. Dus de gegevens uit de vraag moeten gebruikt zijn en een deel van de vereiste stappen moet uitgevoerd zijn. Kortom: een kandidaat die geen flauw idee heeft hoe de vraag opgelost moet worden, maar wel een (willekeurige) uitkomst in het 'juiste' aantal significante cijfers opschrijft, kan het significantiepunt niet krijgen.

Om het significantiepunt te krijgen moet het aantal significante cijfers overeenkomen met het juiste aantal significante cijfers op basis van de gegevens in de vraag en de berekening van de kandidaat. Wanneer een kandidaat bijvoorbeeld kiest voor een (alternatieve) oplosmethode, die niet het aantal significante cijfers in het beoordelingsmodel rechtvaardigt, vervalt de deelscore voor significantie als de kandidaat het antwoord toch in het aantal significante cijfers genoteerd heeft zoals in het beoordelingsmodel vermeld. Indien in de vraag naar een specifiek aantal significante cijfers is gevraagd, dient de kandidaat te allen tijde het antwoord in het gevraagde aantal significante cijfers te geven. Daarbij moet ook het tussentijds afronden in lijn zijn met de significantie van de uitkomst.

Als in het correctievoorschrift staat dat punten toegekend moeten worden voor het opzoeken van constanten, dan moeten constanten opgezocht worden met het aantal significante cijfers minimaal gelijk aan de significantie van de door de kandidaat gegeven uitkomst. Een eventuele fout in de significantie van de opgezochte waarde wordt aangerekend als significantiefout.

Bij de vragen waar de significantie niet getoetst wordt, staat dus geen 'significantie' in een van de deelscores. Bij deze vragen wordt een correcte uitkomst goed gerekend, ongeacht het aantal significante cijfers waarin de uitkomst is genoteerd, mits minimaal 1. Mocht een kandidaat een antwoord in 0 significante cijfers geven, is dat een orde van grootte schatting en een substantiële vereenvoudiging van het rekenwerk waardoor het completeerpunt niet kan worden toegekend.

In het correctievoorschrift zal de uitkomst op deze vragen wel staan in het juiste aantal significante cijfers. Eventuele extra significante cijfers die door de kandidaat genoteerd worden, hoeven niet gecontroleerd te worden op reken- of afrondfouten.

Tot slot

Het zal duidelijk zijn dat het onmogelijk is alles zo te formuleren dat er geen discussie meer mogelijk is. Dat wordt dan overgelaten aan de professionaliteit van de docenten in hun functie van eerste en tweede corrector. Binnen de gestelde regels bepalen zij samen hoeveel punten een kandidaat krijgt. Belangrijk hierbij is dat alleen het correctievoorschrift met eventuele aanvullingen, uitgegeven door het CvTE en gepubliceerd op [Examenblad.nl](https://www.examenblad.nl), bindend is voor correctoren. Voor problemen met het correctievoorschrift kunt u altijd terecht bij de [Examenlijn](https://www.examenlijn.nl) van het CvTE. Elke opmerking wordt op waarde geschat en waar nodig worden maatregelen genomen, zoals een aanvulling op het correctievoorschrift of het aanpassen van de N-term bij de normering. Voor de langere termijn kan het leiden tot het aanpassen van de syllabus of het examen. Een set aan veelgestelde vragen is te vinden op [Examenblad.nl](https://www.examenblad.nl) op de vakpagina van natuurkunde.

