



College voor Toetsen en Examens

NATUURKUNDE VWO

SYLLABUS CENTRAAL EXAMEN 2017

2-versie juni 2015

Samenstelling syllabuscommissie:

Edgar Groenen	-	voorzitter
Berenice Michels	-	secretaris (SLO)
Pieter Smeets	-	Cito
Anneke de Leeuw	-	vakvernieuwingscommissie (docent)
Dirk-Jan van de Poppe	-	NVON (docent)
Robert Bouwens	-	CvE-vaksectie (docent)
Arean Verbrugge	-	docent pilotschool
Harm Meek	-	docent pilotschool

© 2015 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 Natuurkunde in de tweede fase	6
1.2 Het centraal examen natuurkunde	6
1.3 Totstandkoming syllabus	6
1.4 Domeinindeling en CE-toekenning	7
2 Specificaties	8
2.1 Toelichting op de specificaties	8
2.1.1 Bekend verondersteld	8
2.1.2 Contexten	8
2.1.3 Vakbegrippen en instrumenten	9
2.1.4 Formules	10
2.1.5 Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo	10
2.1.6 Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen	11
2.2 Specificaties	12
3 Voorbeeldopgaven	29
Bijlage 1. Examenprogramma natuurkunde vwo	59
Bijlage 2. Grootheden- en eenhedenoverzicht	64
Bijlage 3. Examenwerkwoorden bij natuurkunde	66
Bijlage 4. Vergelijking met vorig natuurkundeprogramma	68
Bijlage 5. Nieuwe Natuurkunde in het centraal examen	80
Bijlage 6: De correctie van het centraal examen natuurkunde	81

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 examenprogramma geldt tot nader order.

Het College voor Toetsen en Examens (CvTE) geeft in een syllabus, die in beginsel 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.

Ten aanzien van de syllabus is nog het volgende op te merken. De functie ervan 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 zodoende een hulpmiddel voor degenen die anderen of 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 2017. Syllabi van eerdere jaren zijn niet meer geldig en kunnen van deze versie afwijken. Voor het examenjaar 2018 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.

Een syllabus kan zo nodig 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. In de syllabi 2017 zijn de wijzigingen ten opzichte van de vorige syllabus voor het examenjaar 2016 duidelijk zichtbaar. Inhoudelijke wijzigingen zijn geel gemarkeerd. Er zijn diverse vakken waarbij de syllabus 2017 geen inhoudelijke veranderingen heeft ondergaan.

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

De voorzitter van het College voor Toetsen en Examens,
Drs. P.J.J. Hendrikse

1 Inleiding

Deze syllabus specificeert de eindtermen van het CE-deel van het nieuwe examenprogramma natuurkunde vwo. In dit verband wordt eerst kort de achtergrond van het nieuwe programma beschreven.

1.1 Natuurkunde in de tweede fase

Het vak natuurkunde is een verplicht profielvak in het profiel Natuur en Techniek. Het neemt daar een plaats in naast wiskunde B, scheikunde en één profielkeuzevak, te kiezen uit wiskunde D, biologie, informatica en NLT. In het profiel Natuur en Gezondheid is natuurkunde een profielkeuzevak. In de profielen Economie en Maatschappij en Cultuur en Maatschappij is natuurkunde een keuze-examenvak. Het is een school toegestaan om het vak natuurkunde (of gedeelten daarvan, bijvoorbeeld in de vorm van modulen) ook in het vrije deel aan te bieden.

De omvang van het vak natuurkunde is voor het vwo 480 SLU. Hiervan beslaat het in deze syllabus gespecificeerde CE-deel ongeveer 60%. Bij de totstandkoming van de syllabus is een inschatting gemaakt van de studielast die nodig is om de beschreven stof aan te leren. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat onderdelen van de stof al in de onderbouw aan bod zijn geweest en dus niet volledig nieuw geleerd hoeven te worden. Welke onderdelen dit betreft is niet volledig vastgelegd, omdat dit per school kan verschillen.

1.2 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. Zie hiervoor ook bijlage 5.

In bijlage 6 van deze syllabus wordt informatie gegeven over de correctie van het centraal examen natuurkunde.

1.3 Totstandkoming syllabus

In het kader van de vernieuwing van het onderwijs in de vijf bètavakken heeft het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap in februari 2005 de commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo ingesteld. Deze commissie had de opdracht een integraal examenprogramma te ontwerpen en te toetsen in een innovatietraject. In 2007 is door deze commissie een concept vernieuwd examenprogramma natuurkunde geformuleerd. Bij dit concept-examenprogramma is door een breed samengestelde syllabuscommissie natuurkunde een werkversie van een syllabus ontwikkeld. Het concept-examenprogramma met bijbehorende werkversiesyllabus is op pilotscholen getest. Op grond van de ervaringen in de pilots is het concept-examenprogramma aangepast. De voorliggende syllabus hoort bij het nieuwe natuurkundeprogramma, waarvan de eerste landelijke examens plaatsvinden in 2016. Zie bijlage 5 voor meer informatie over dit nieuwe programma.

De huidige syllabus voor natuurkunde is afgestemd met die voor scheikunde en biologie voor wat betreft de inhoudsopgave en de specificaties van het A-domein. Verder zijn er afspraken gemaakt tussen de syllabuscommissies biologie, natuurkunde en scheikunde ten aanzien van de omgang met voorkennis, contexten en wendbaarheid. Ook met de syllabuscommissies wiskunde A en wiskunde B zijn gesprekken gevoerd over de inhoud van de natuurkundesyllabus en de gebruikte notaties. Middels een landelijke veldraadpleging is de mening van natuurkundedocenten en andere betrokkenen over de nieuwe syllabus gepeild. De resultaten van deze veldraadpleging zijn door de syllabuscommissie gewogen en in deze syllabus verwerkt.

1.4 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.

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.
Let op: E1 en I zijn verplicht voor het SE.

** Tijdelijke afwijking voor 2016 en 2017

In het centraal examen van 2016 en 2017 zullen GEEN vragen worden gesteld over subdomein D2. Het onderwerp mag wel getoetst worden in het SE, maar dat is niet verplicht. Meer informatie hierover is te vinden in de handreiking van SLO.

NB. Het feit dat het hier een tijdelijke afwijking betreft, houdt in dat er vanaf het centraal examen van 2018 wel vragen gesteld kunnen worden over subdomein D2.

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)activiteiten¹.*

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.

¹ 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 *niet* nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën van een dergelijk vakbegrip kent.

Voorbeeld:

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.

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 gelijkloidend 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.

Geen nadere specificatie voor het vak natuurkunde

Subdomein A2. Communiceren

Eindterm

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

Geen nadere specificatie voor het vak natuurkunde

Subdomein A3. Reflecteren op leren

Eindterm

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

Geen nadere specificatie voor het vak natuurkunde

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.

Geen nadere specificatie voor het vak natuurkunde

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.

Specificatie²

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 bewerkingen³.

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 Bij vragen op het centraal examen over modelleren, zal de kandidaat de keuze hebben tussen het gebruik van een grafisch of een tekstueel model (zie de voorbeeldopgaven in hoofdstuk 3)

³ Zie voor de specificaties van de rekenkundige bewerkingen subdomein A12.

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,
 - 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;
 - 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;
 - substitueren van formules;
 - in natuurkundige formules eenheden 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.

Geen nadere specificatie (Zie A8)

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 gebruiken⁴.

De kandidaat kent:

- een modeltaal voor een computermodel in modelregels of in grafische weergave⁵;
- de volgende verschijnselen:
 - geluid;
 - echo;
- de volgende verbanden:
 - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidsterkte van de geregistreeerde toon;
 - het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreeerde 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;
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. informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger beschrijven⁶,
 - vakbegrippen: radiogolf, draaggolf, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, digitale codering, bemonsteringsfrequentie, bandbreedte, kanaalscheiding, bit, datatransfer rate;

⁴ Bekend verondersteld vanuit het schoolexamen (subdomein I2).

⁵ Zie voetnoot 4.

⁶ Kandidaten hoeven de kennis uit deze specificatie *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

- minimaal in de context: telecommunicatie (tv, radio, telefoon).

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 - 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 beargumenteren⁷,

⁷ Kandidaten hoeven de kennis uit deze specificatie *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

- beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, PET-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;
- 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:

$$E_f = hf$$

$$c = f \lambda$$

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

$$A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

$$D = \frac{E}{m}$$

$$H = w_R D$$

$$A = N + Z$$

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

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

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

Domain C. Beweging en wisselwerking

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen⁸ 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 rechtlijnige bewegingen;

⁸ Een eenvoudige berekening is een berekening van *maximaal twee* denkstappen.

2. eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijd diagrammen en snelheid-tijd diagrammen,
 - de volgende bewegingen herkennen: eenparig rechtlijnige 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:

$$s = vt, \text{ met } v \text{ constant}$$

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

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

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

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

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

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

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

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:

$$W = Fs \cos \alpha$$

$$P = \frac{E}{t}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = Fv$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_z = mgh$$

$$E_v = \frac{1}{2}Cu^2$$

$$E_{\text{ch}} = r_v V$$

$$E_{\text{ch}} = r_m m$$

$$\sum W = \Delta E_k \quad \sum E_{\text{in}} = \sum E_{\text{uit}}$$

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

Subdomein C3. Gravitatie

Eindterm

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

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 heeft;
 - 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:

$$F_g = G \frac{mM}{r^2} \quad E_g = -G \frac{mM}{r}$$
$$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r} \quad v = \frac{2\pi r}{T}$$

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 berekeningen⁹ 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;

⁹ Een eenvoudige berekening is een berekening van *maximaal twee* denkstappen.

- 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:

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

$$P = UI$$

$$E = Pt$$

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

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:

1. 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;
2. 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;
3. 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;
4. 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;
5. 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:

1. 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;
2. de golf-deeltjedualiteit toepassen bij het verklaren van interferentieverschijnselen bij elektromagnetische straling en bij materiedeeltjes,
 - berekeningen maken met de de Broglie-golflengte;
 - het dubbelspleet-experiment beschrijven en de betekenis ervan uitleggen;
 - vakbegrippen: waarschijnlijkheid, waarschijnlijkheidsverdeling;
 - minimaal in de context: elektronenmicroscop;
3. het foto-elektrisch effect gebruiken om aan te tonen dat elektromagnetische straling gequantiseerd is,
 - vakbegrippen: foton, uittree-energie, energiequantum;
4. quantumverschijnselen beschrijven in termen van de opsluiting van een deeltje,
 - inschatten of er quantumverschijnselen zijn te verwachten door de de Broglie-golflengte te vergelijken met de orde van grootte van de opsluiting van het 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;
5. 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:

$$p = mv \qquad \lambda = \frac{h}{p}$$
$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$
$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \quad (\text{in eV}) \qquad E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$$

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 toepassen¹⁰,
 - 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: reken capaciteit, stapgrootte, beginvoorwaarde.

¹⁰ 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.

3 Voorbeeldopgaven

Hier volgen een aantal **voorbeeldopgaven** om specificaties uit deze syllabus te verduidelijken. Elke voorbeeldopgave is voorzien van een toelichting, waarin aangegeven wordt wat de betreffende voorbeeldopgave wil verduidelijken. Per vraag is een uitwerking toegevoegd zodat duidelijk is wat het beoogde antwoord is. Aan het eind van dit hoofdstuk staat aangegeven, uit welke bron de voorbeeldopgaven afkomstig zijn.

Voorbeeldexamens

In 2013 is bij de definitieve syllabus een voorbeeldexamen gepubliceerd. Daarnaast kunnen de pilotexamens een goed beeld geven van de te verwachten centrale examens vanaf 2016. Pilotexamens zijn de examens die op de pilotscholen van het nieuwe natuurkundeprogramma in de jaren 2010-2015 zijn/worden afgenomen. Deze examens zijn geconstrueerd aan de hand van de werkversies van de syllabus bij het experimentele examenprogramma natuurkunde.

- De pilotexamens en de werkversies van de syllabus (die ten grondslag liggen aan de pilotexamens) zijn te vinden op www.hetcvte.nl via Onderwerpen – Centrale examens VO – Vakvernieuwingen – Natuurkunde havo/vwo.

Domein A Vaardigheden

Redeneren met verbanden

In specificatie A15.3 wordt gesproken over redeneren met natuurkundige verbanden.

Opgave 1 en 2 bevatten voorbeelden waarbij het redeneren met verbanden centraal staat zonder dat daarbij gerekend hoeft te worden.

Opgave 3 is een voorbeeld van redeneren met verbanden, waarbij in de laatste vraag wel gerekend moet worden.

Opgaven 1 en 2 zijn voorbeelden van een opgave over subdomein D2 Elektrische en magnetische velden.

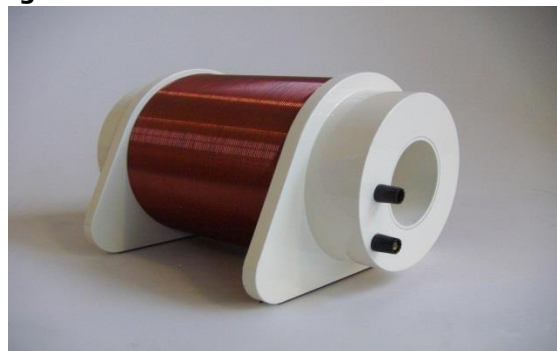
Opgave 3 is een voorbeeld van een opgave over het subdomein C3 Gravitatie.

Opgave 1 Spoel van koperdraad

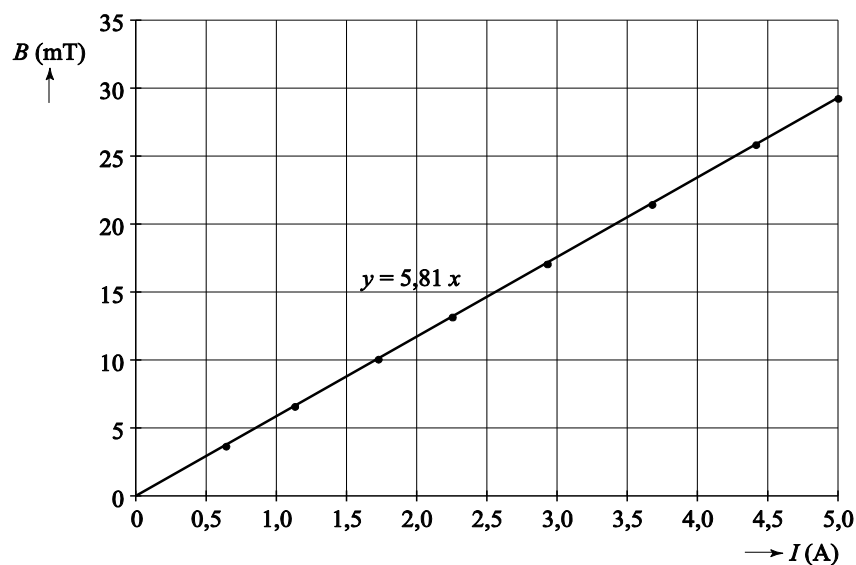
Henk en Nina krijgen van hun natuurkundeleraar een spoel van geïsoleerd koperdraad met de opdracht de lengte van de draad te bepalen. De spoel mag niet afgewikkeld worden. De spoel heeft twee aansluitpunten. Zie figuur 1.

Ze willen om de magnetische veldsterkte van de spoel te meten en met behulp daarvan ook de draadlengte te berekenen. Ze schuiven een magneetveldsensor midden in de spoel. Ze meten de magnetische veldsterkte B als functie van de stroomsterkte I . De meetpunten staan in de grafiek van figuur 2.

figuur 1



figuur 2



In Binas vindt Henk de volgende formule voor de grootte van het magneetveld in een spoel.

$$B = \mu_0 \frac{NI}{L}$$

Hierin is:

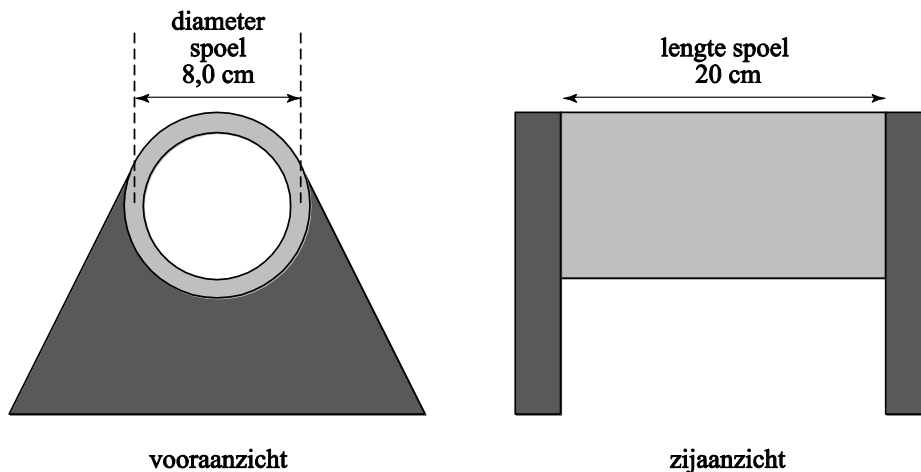
- B de grootte van het magneetveld;
- μ_0 magnetische permeabiliteit, gelijk aan $1,25664 \text{ T m A}^{-1}$;
- N het aantal windingen;
- I de stroomsterkte door de spoel;
- L de lengte van de spoel.

Op grond van deze formule gebruikt Henk een rechte lijn door de oorsprong als trendlijn.

- 1 Leg uit waarom dit de juiste keuze is.

De vergelijking van de getrokken trendlijn staat bij de grafiek van figuur 2. Om hiermee de lengte van het koperdraad te berekenen is het nodig om de afmetingen van de spoel te weten. Deze staan weergegeven in figuur 3.

figuur 3



Nina vindt in een theorieboek een uitgebreidere formule voor de magnetische veldsterkte in het midden van een spoel.

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\sqrt{L^2 + d^2}}$$

Hierin is:

- L de lengte van de spoel;
- d de diameter van de spoel.

Volgens Nina volgt de formule uit Binas uit de uitgebreidere formule met de aanname dat de diameter veel kleiner is dan de lengte van de spoel.

- 2 Leg dat uit.

Daarna gebruikt Henk de formule uit Binas om het aantal windingen N te bepalen en daaruit de draadlengte af te leiden.

- 3** Leg uit of Henk op deze manier een te grote of een te kleine lengte zal vinden.

antwoorden

- 1** Voor het magneetveld van een spoel geldt: $B = \mu_0 \frac{NI}{L}$.

Omdat $\mu_0 \frac{N}{L}$ constant is, volgt hieruit dat B recht evenredig is met I .

Dus geeft de grafiek van B tegen I een rechte lijn.

- 2** Als $d \ll L$, kan de diameter in de noemer ten opzichte van de lengte verwaarloosd worden, zodat men krijgt:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\sqrt{L^2 + d^2}} \approx \mu_0 \frac{NI}{\sqrt{L^2 + 0^2}} = \mu_0 \frac{NI}{L}.$$

Dit komt overeen met de formule uit Binas.

- 3** Henk komt op een te kleine lengte uit.

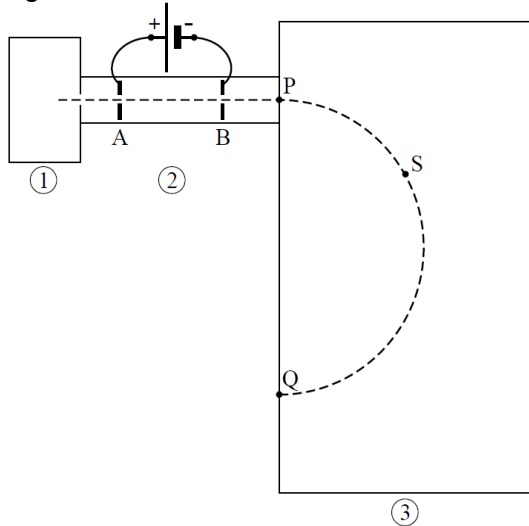
Bij gebruik van de Binas formule heeft Henk een te kleine noemer, en dus ook bij de gegeven trendlijn een te kleine waarde voor N in de teller. Een te kleine N levert een te kleine lengte op.

Opgave 2 Massaspectrometer

Lood in ertsen uit mijnen bestaat voornamelijk uit de isotopen lood-206, lood-207 en lood-208. Om na te gaan of een bepaalde isotoop in een stofmengsel aanwezig is, kan een massaspectrometer gebruikt worden.

In figuur 1 is een massaspectrometer schematisch weergegeven.

figuur 1



Het stofmengsel wordt eerst gasvormig gemaakt en daarna onder lage druk in de ionisatieruimte (1) gebracht. De geïoniseerde moleculen of atomen komen vervolgens in een vacuümruimte (2). Hierin worden ze door een elektrisch veld versneld. In ruimte (3) worden ze door een magnetisch veld afgebogen en ten slotte in punt Q gedetecteerd.

Een mengsel met éénwaardige positieve ionen van lood-206, lood-207 en lood-208 komt met een te verwaarlozen beginsnelheid in ruimte (2). De ionen worden in het elektrische veld tussen de platen A en B versneld. Tussen B en P veranderen de snelheden niet meer.

- 4 Beredeneer welke van de drie isotopen in P de grootste snelheid heeft.

antwoord

- 4 Er geldt; Voor het versnellen geldt: $\Delta E_k = -\Delta E_{el}$ met $\Delta E_{el} = qU$.
 q en U zijn voor alle ionen gelijk. De snelheid van de isotopen met de kleinste massa is dus het grootst. Dus lood-206 heeft de grootste snelheid.

Opgave 3 Maanrobotjes

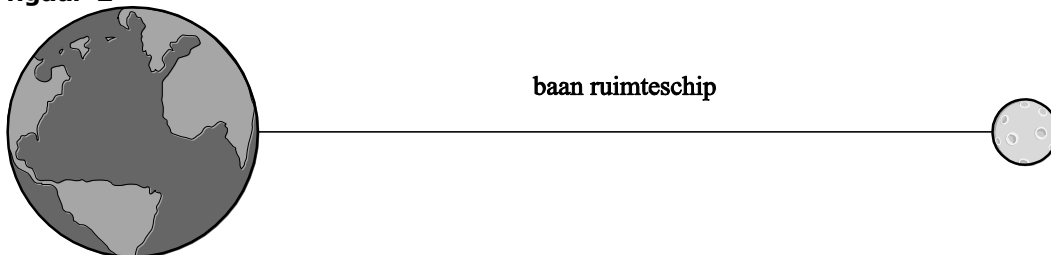
Sinds astronaut Jack Schmidt in 1972 de maan verliet, zijn er geen mensen meer op de maan geweest. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft denkt dat dit op korte termijn ook niet meer zal gebeuren. In zijn boek *'Playing with planets'* beschrijft hij een plan om de maan te koloniseren met behulp van minirobotjes. Zie figuur 1. Zo'n maanrobotje is voorzien van een camera en kan via internet bestuurd worden. Iedereen kan zo zelf via internet de maan verkennen.

figuur 1



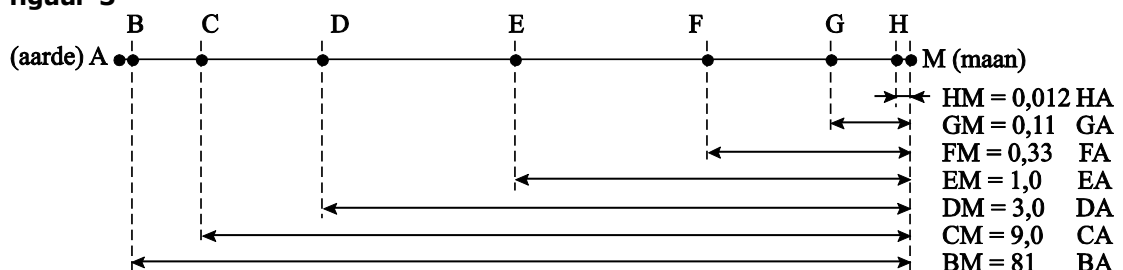
Een ruimtevaartorganisatie als de NASA of de ESA zou een ruimteschip naar de maan kunnen sturen om de maanrobotjes af te leveren. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van een methode waarbij een ruimteschip rechtstreeks van de aarde naar de maan vliegt. Zie figuur 2.

figuur 2



Op de reis zal het ruimteschip een punt passeren waar de gravitatiekracht van de aarde even groot is als de gravitatiekracht van de maan. In de figuur 3 staan zeven plaatsen (B tot en met H) waar dit punt zich mogelijk bevindt. De afstanden in deze figuur zijn op schaal. Voor ieder punt is aangegeven hoe de afstand van het punt tot de maan zich verhoudt tot de afstand van het punt tot de aarde.

figuur 3



- Leg uit waarom de plaatsen B tot en met E zeker niet juist kunnen zijn.
- Geef aan welke van de plaatsen F, G of H de juiste is. Licht je antwoord toe met een berekening of een redenering.

antwoorden

5 Het juiste punt moet verder van de aarde dan van de maan afliggen, omdat de massa van de aarde groter is dan de massa van de maan.

6 Op de juiste plaats geldt: $F_{g,aarde} = F_{g,maan}$

Invullen levert: $\frac{GmM_{aarde}}{r_{aarde}^2} = \frac{GmM_{maan}}{r_{maan}^2}$. Dit geeft: $\frac{M_{aarde}}{r_{aarde}^2} = \frac{M_{maan}}{r_{maan}^2}$.

Hieruit volgt: $\frac{r_{maan}}{r_{aarde}} = \sqrt{\frac{M_{maan}}{M_{aarde}}} = \sqrt{\frac{0,0735 \cdot 10^{24}}{5,976 \cdot 10^{24}}} = 0,111$.

Dus G is de juiste plaats.

Afleiden van eenheden

In specificatie A 12.3 staat dat een leerling eenheden moet kunnen afleiden.

Opgave 4 bevat daarvan een voorbeeld.

Opgave 4 is een voorbeeld van een opgave uit subdomein B1 Informatieoverdracht.

Opgave 4 Harp

De golfsnelheid v in een snaar is te berekenen met:

$$v = \sqrt{\frac{F_s \ell}{m}}$$

Hierin is:

- F_s de spankracht (in N);
- ℓ de lengte van de snaar (in m);
- m de massa van de snaar (in kg).

7 Laat zien dat $\sqrt{\frac{F_s \ell}{m}}$ dezelfde eenheid heeft als v .

antwoord

7 De spankracht F_s heeft als eenheid $N = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$;

de eenheid van de massa m is kg ;

de eenheid van de lengte ℓ is m . Voor $\left[\frac{F_s \ell}{m} \right]$ geeft dit: $\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$.

$\left[\sqrt{\frac{F_s \ell}{m}} \right] = \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$; dit is de eenheid van snelheid.

Afleiden van formules

In specificatie A 12.3 staat dat een leerling formules moet kunnen substitueren. Opgave 5 bevat een voorbeeld van het afleiden van een formule, waarbij substitutie moet worden toegepast.

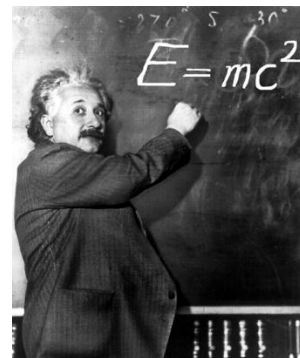
Opgave 5 is een voorbeeld van een opgave over subdomein D2 Elektrische en magnetische velden.

Opgave 5 Formule van Einstein

Lees onderstaand artikel.

Amerikaanse en Europese wetenschappers hebben in 2005 in een gezamenlijk project de juistheid van de beroemde formule van Einstein $E = mc^2$ onderzocht.

De onderzoekers konden gedurende een half jaar heel nauwkeurig de frequenties meten waarmee de ionen ronddraiden.



De frequentie f waarmee een ion met lading q rondraait in een magneetveld met sterkte B hangt af van zijn massa m en niet van zijn snelheid en de straal van de cirkel: $f = \frac{Bq}{2\pi m}$.

8 Leid deze formule af uit formules in Binas.

antwoord

8 Voor de omlooptijd geldt: $T = \frac{2\pi r}{v}$. In syllabus $v = 2\pi r/T$. Dus $f = \frac{v}{2\pi r}$.

Voor een cirkelbaan geldt: $F_L = F_{\text{mpz}}$ zodat $Bqv = \frac{mv^2}{r}$.

Hieruit volgt: $r = \frac{mv}{Bq}$.

Invullen geeft: $f = \frac{v}{2\pi \frac{mv}{Bq}}$ zodat $f = \frac{Bq}{2\pi m}$.

Schatten

In eindterm A15.1 staat dat een leerling een beredeneerde schatting moet kunnen maken.

Opgave 6 en 7 bevatten voorbeelden van schattingen. Duidelijk wordt dat een schatting op verschillende manieren bevraagd kan worden.

Bij de examenwerkwoorden staat een definitie wat de leerling moet doen als er alleen "schat" gevraagd wordt. In de praktijk bevat een schattingsvraag meestal meer aanwijzingen voor de leerling wat hij moet doen.

In Opgave 6 is dit gedaan door meerdere alternatieven te geven waaruit de leerling een beredeneerde keuze moet maken.

In Opgave 7 wordt ook extra aangegeven wat de leerling moet doen.

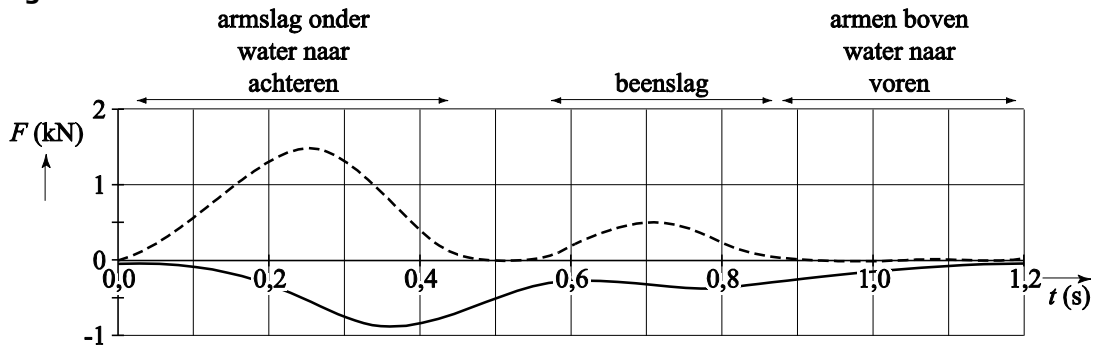
Opgave 6 is een voorbeeld van een opgave over subdomein C2 Energie en wisselwerking.

Opgave 7 is een voorbeeld van een opgave over subdomein C1 Kracht en beweging.

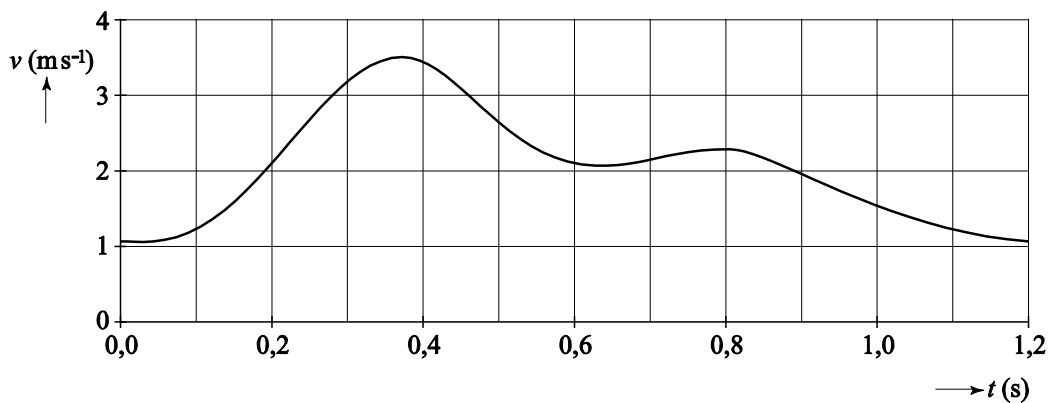
Opgave 6 Vijftig meter vlinderslag

In figuur 1 staat het verloop van de voortstuwingskracht en de weerstandskracht tijdens één zwemslag. In figuur 2 staat het verloop van de snelheid van het zwaartepunt van de zwemmer.

figuur 1



figuur 2



De zwemmer verricht de meeste arbeid in de eerste 0,5 s. De arbeid die hij tussen $t = 0$ s en $t = 0,5$ s verricht, is (ongeveer) gelijk aan:

- a 0,09 kJ
- b 0,3 kJ
- c 0,9 kJ
- d 3,0 kJ

9 Welke van deze antwoorden is juist? Licht je antwoord toe op basis van schattingen.

antwoord

9 Voor de arbeid geldt: $W = Fs$.

Met behulp van figuur 1 is een schatting te maken van de voortstuwende kracht.

Dit levert: $F_{\text{gem}} = 0,7 \cdot 10^3$ N.

De afgelegde weg is te schatten met behulp van de gemiddelde snelheid. Dit levert:

$v_{\text{gem}} = 2,5 \text{ ms}^{-1}$. Invullen levert: $W = 0,7 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 0,5 = 0,9 \text{ kJ}$.

Dus antwoord c is juist.

Opgave 7 Auto

Figuur 1 toont een foto van een auto.

Door de snelheid waarmee de auto rijdt, is de afbeelding op de foto onscherp.

De onscherpte in de foto van figuur 1 is ontstaan doordat de sluitertijd van de fotocamera bij het nemen van de foto enige tijd open stond, in dit geval $\frac{1}{30}$ seconde.

figuur 1



- 10** Schat de snelheid waarmee de auto reed. Licht je antwoord toe.

antwoord

- 10** Op de foto is de breedte van het achterwiel ongeveer 2,5 maal zo groot als de hoogte. Dus heeft de auto zich tijdens het maken van de foto 1,5 wioldiameters verplaatst. Een auto is ongeveer anderhalve meter hoog, voor de diameter van een wiel schatten we een halve meter.

Voor de snelheid geldt dan:
$$v = \frac{s}{t} = \frac{1,5 \cdot 0,5}{\frac{1}{30}} = 23 \text{ ms}^{-1}.$$

Modelleren

In Subdomein A7 staat wat een leerling moet kunnen met modellen.

In specificatie B1.1 staat dat een leerling in een numeriek model het verband moet laten zien tussen de voorwaarde voor een harmonische trilling en de wiskundige beschrijving ervan.

In Specificatie C1.7 staat dat de leerling een numeriek model voor het simuleren van bewegingen moet kunnen kiezen en gebruiken.

In specificatie H1.3 staat dat de leerling modelstructuren in computermodellen moet kunnen herkennen.

Opgave 8 bevat voorbeelden van vragen over modelleren. Van een model wordt altijd de tekstversie en de grafische versie getoond.

Opgave 9 bevat een voorbeeld over een numeriek model van een harmonische trilling.

Opgave 8 is een voorbeeld van een opgave over subdomein C1 Kracht en beweging.

Opgave 9 is een voorbeeld van een opgave over subdomein B1 Informatieoverdracht.

Opgave 8 Parachutespringer

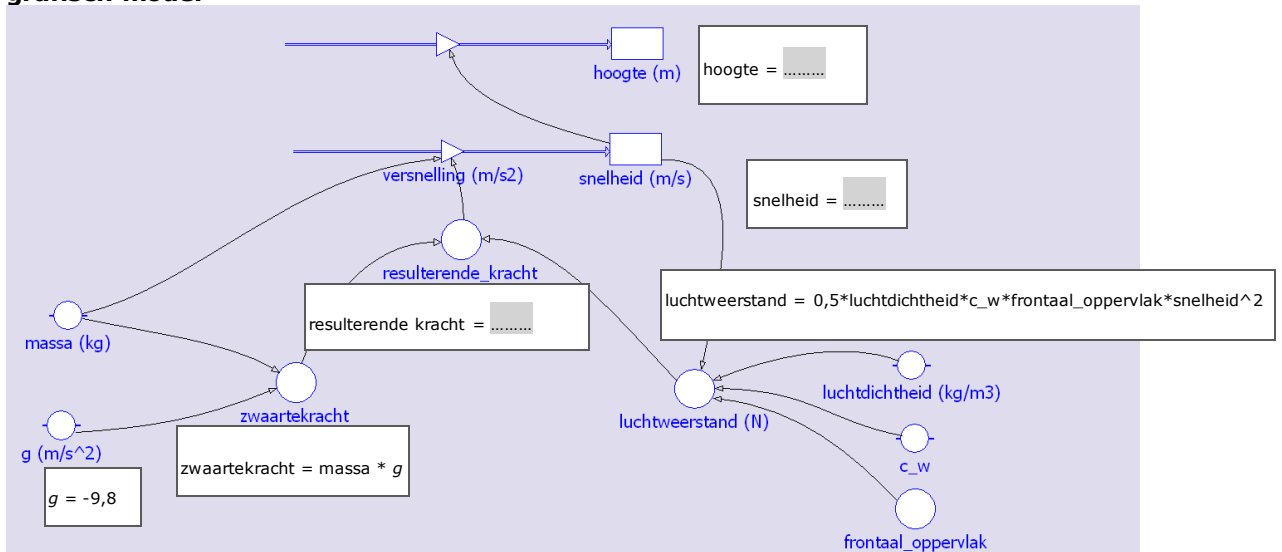
Een parachutist springt op 3800 meter hoogte uit het vliegtuig. Tijdens het eerste deel van de sprong blijft de parachute gesloten ('vrije val'). Zie de figuur 1.

figuur 1

Met behulp van een computermodel wordt deze beweging onderzocht. Hieronder staan twee varianten van zo'n model, een grafisch model en een tekstmodel. Voor de vragen 11 en 12 maak je gebruik van één van beide. Geef duidelijk aan welk model je gebruikt.



grafisch model



Bij sommige grootheden is de inhoud in een kader weergegeven. Dit zijn de gegevens die moeten worden ingevuld om het model te laten werken.

tekstmodel

MODEL	STARTWAARDEN
luchtweerstand = $0,5 * C_w * oppervlakte * luchtdichtheid * snelheid^2$	hoogte =
zwaartekracht := massa * g	snelheid =
resulterende kracht :=	massa := 96 ' kg
versnelling := resulterende kracht / massa	g := -9.81 ' m/s ²
hoogte := hoogte + snelheid * dt	C _w := 1
snelheid := snelheid + versnelling * dt	luchtdichtheid := 1,3 ' kg/m ³
t := t + dt	

In het model ontbreken enkele gegevens.

- 11** Geef aan wat er moet worden ingevuld achter de grootheden hoogte, snelheid en resulterende kracht.

Op een hoogte van 1000 m wordt de parachute (oppervlakte 58 m²) geopend. Het openen van de parachute is nog niet in dit model verwerkt.

- 12** Leg uit welke grootheid in dit model hiervoor moet worden aangepast. Formuleer daarvoor een modelregel.

antwoorden

- 11** - hoogte is 3800
- snelheid is 0
- resulterende kracht = zwaartekracht - luchtweerstandskracht
- 12** De oppervlakte A moet worden aangepast.
Dit kan met de modelregel: Als *hoogte* < 1000 dan oppervlakte = 58

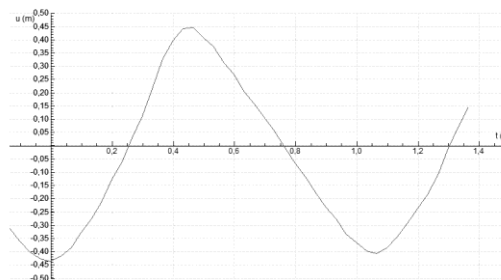
Opgave 9 Lopen

Michiel en Miriam doen een onderzoek naar de loopbeweging op een loopband.
Michiel en Miriam willen nu nagaan in hoeverre de beweging van de voet als een harmonische trilling opgevat kan worden. Miriam maakt daarom een video-opname van Michiel op een loopband. Zie figuur 1
Van de beweging is een (u,t) -diagram gemaakt. Zie figuur 2.

figuur 1



figuur 2

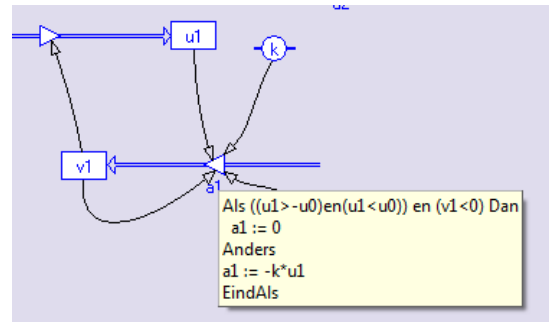


Miriam kijkt goed naar het diagram en zegt dat de voetbeweging van Michiel niet de hele tijd een harmonische trilling is.

- 13** Hoe is dit in figuur 2 te zien?

De voet beweegt naar voren als een deel van een harmonische trilling, maar beweegt naar achteren met de constante snelheid van de loopband. Miriam maakt een computermodel van de beweging van de voet van Michiel waarin dit verwerkt is. Zie figuur 3.

figuur 3



```

voorwaarde1 = (-u1 < u) en (u < u1)
voorwaarde2 = v < 0
als (voorwaarde1 en voorwaarde2) dan F = 0
anders F = -C*u

eindals
a = F / m
v := v + a * dt
u := u + v * dt
t := t + dt
als t > 1,5 dan
  stop
eindals

```

- 14 Verklaar hoe in het model de voorwaartse en teruggaande beweging van de voet worden beschreven. Leg daartoe voor elk van de eerste vier regels van het model apart uit hoe ze de beweging van de voet beschrijven.

antwoorden

- 13 Het (u, t) -diagram is niet symmetrisch / is niet de hele tijd sinusvormig.
- 14 De voet staat plat op de loopband even nadat de voet zich in het meest rechtse punt bevindt totdat de voet zich bijna in het meest linkse punt bevindt. Dit is zo als voldaan wordt aan de voorwaarden $-u_1 < u$ en $u < u_1$ (waarbij u_1 iets kleiner dan de amplitudo is)
 Als de voet naar achteren beweegt, geldt $v < 0$.
 Als aan deze beide voldaan is, is de snelheid constant, dus geldt: $F = 0$.
 De rest van de beweging is een harmonische trilling, dus geldt: $F = -Cu$.

B1 Informatieoverdracht

Subdomein B1 gaat over informatieoverdracht.

In specificatie B1.6 staat aangegeven wat een leerling moet kennen van de toepassingen van informatieoverdracht.

Opgave 10 bevat voorbeelden van informatieoverdracht in het heelal.

Opgave 10 Pioneer-10

De verkenners Pioneer-10 werd gelanceerd in 1972. Voordat Pioneer-10 het zonnestelsel verliet, beschreef hij een baan langs verschillende planeten. Om continu de snelheid van Pioneer-10 te bepalen en commando's over te brengen, gebruikt men radiocommunicatie. Hiertoe zendt men vanaf de aarde een draaggolf van 2,11 GHz uit (uplink), waarvan de frequentie na ontvangst in Pioneer-10 met een factor $\frac{240}{221}$ wordt vermenigvuldigd en teruggezonden (downlink). Uren later wordt het downlink-signaal op aarde ontvangen, terugvermenigvuldigd en met het oorspronkelijke signaal vergeleken.

De commando's worden gegeven door de draaggolf met een bandbreedte van 40 MHz te moduleren. Het vermenigvuldigen met de factor $\frac{240}{221}$ zorgt ervoor dat de uplink- en downlink-signalen in gescheiden kanalen zitten.

15 Toon dat met een berekening aan.

Zonder kanaalscheiding treedt er storing op tussen de uplink- en downlink-signalen.

16 Leg uit door welk natuurkundig verschijnsel deze storing veroorzaakt wordt.

antwoorden

15 De downlink draaggolf heeft een frequentie van $\left(\frac{240}{221}\right) 2,11 \text{ GHz} = 2,29 \text{ GHz}$.

Voor de grootste frequentie van de uplink geldt:

$$f = 2,11 \cdot 10^9 + 20 \cdot 10^6 = 2,13 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

Voor de kleinste frequentie van de downlink geldt:

$$f = 2,29 \cdot 10^9 - 20 \cdot 10^6 = 2,27 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

(De grootste frequentie in de uplink is dus kleiner dan de kleinste frequentie in de downlink.)

16 Twee signalen in hetzelfde kanaal zullen elkaar door de gelijke frequentie ten gevolge van interferentie hinderlijk storen.

B2 Medische beeldvorming

Subdomein B2 gaat over medische beeldvorming. In specificatie B2.4 staat dat een leerling verschillende beeldvormingstechnieken moet kunnen beschrijven aan de hand van de natuurkundige achtergrond en keuze voor een techniek moet kunnen beargumenteren.

Opgave 11 is hiervan een voorbeeld.

Opgave 11 MRI en PET-scanner in één

Lees het onderstaande artikel.

MRI- en PET-scanner in één

Als eerste ter wereld heeft een Duits bedrijf een apparaat ontworpen dat gelijktijdig een PET-scan en een MRI-scan kan uitvoeren. Bijzonder, want normaal gesproken stoort het magnetisch veld van een MRI-scan de metingen van een PET-scan.

De Biograph mMR, zo heet de gecombineerde full-body MRI (magnetic resonance imaging) en PET (positron emission tomography) scanner van Siemens Healthcare. Op 19 november presenteerde het Duitse bedrijf dit systeem dat als eerste ter wereld de twee veelgebruikte medische diagnosemethoden combineert in één apparaat. Het systeem is inmiddels geïnstalleerd in het academisch ziekenhuis Klinikum rechts der Isar van de technische universiteit van München.

Bij een PET-scan krijgt een patiënt radioactieve markers ingespoten, bijvoorbeeld 18-FDG (fluorodeoxyglucose) die zich vooral concentreren in weefsels met een hoge energiebehoefte, zoals het brein, de nieren, maar ook gezwellen.

Technisch weekblad 4 december 2010

Bij de PET-scan zendt F-18 het antideeltje van een elektron uit. Dit antideeltje botst daarna tegen een elektron. waarbij twee fotonen ontstaan.

- 17 Wat geldt voor de richtingen, waarin de twee fotonen bewegen?
- 18 Leg uit hoe de plaats waar de fotonen ontstaan bepaald kan worden.
- 19 Op welk principes berust De MRI-techniek?

De PET-scan en de MRI-scan konden tot nu toe niet samen gebruikt worden.

- 20 Noem een voordeel en een nadeel van de MRI-scan vergeleken met de PET-scan.

antwoorden

- 17** De twee gammafotonen bewegen zich in tegengestelde richting.
- 18** Rondom de patiënt bevinden zich detectoren die de gammafotonen detecteren. Door de tijdstippen van aankomst te vergelijken kan de plaats worden vastgesteld, waar de fotonen zijn uitgezonden.
- 19** In een magneetveld worden protonen in resonantie gebracht. De omgeving van de protonen bepaalt de resonantiefrequentie. (Zo kunnen verschillende weefsels onderscheiden worden.)
- 20** Voordeel: bij een MRI-scan wordt geen radioactief materiaal in de patiënt gespoten, bij een PET-scan wel
Nadeel: met een MRI-scan kunnen bepaalde weefsels niet onderscheiden worden (bijvoorbeeld gezond weefsel en een gezwel), bij een PET-scan wel.

D1 Elektrische systemen

In de specificaties D1.2 en D1.3 staat aangegeven wat een leerling moet kunnen met betrekking tot elektrische schakelingen.

Als voorbeeld opgave 12.

Vraag 21 is een onderzoeksvraag over het aansluiten van meters.

Vraag 22 vraagt een redenering een gemengde schakeling.

Vraag 23 gaat over de wetten van Kirchhoff.

Vraag 24 bevat een toepassing van die wetten in een berekening.

Opgave 12 WaarschuwingsLED

Pierre en Diane maken tijdens een practicum een waarschuwingssysteem waarbij een LED gaat branden als de temperatuur 20 °C of hoger is.

Op de practicumtafel staan de volgende spullen klaar (zie figuur 1):

- een driepoot met brander en een glas gevuld met water en ijs;
- een NTC en een thermometer die zich in het water bevinden;
- een regelbare spanningsbron, een volt- en een ampèremeter.

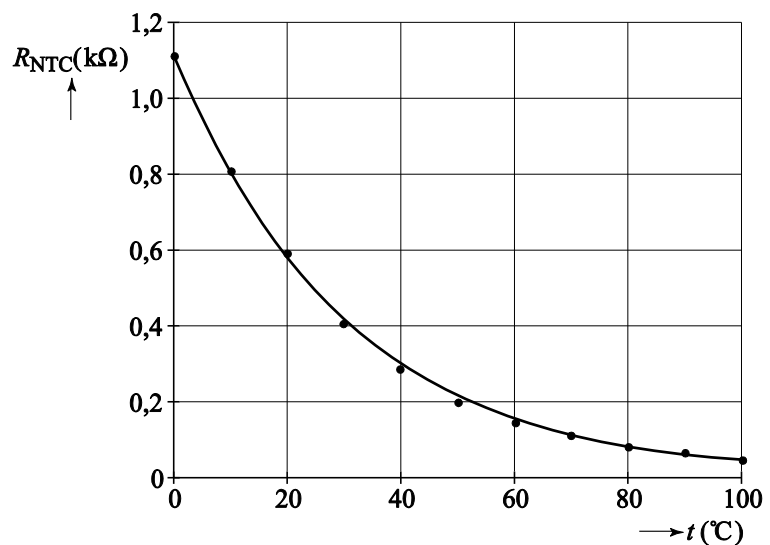
figuur 1



Zij willen eerst een grafiek maken van de weerstand van de NTC tegen de temperatuur. Daarvoor moet nog een aantal elektrische verbindingen in de practicumopstelling van figuur 1 gemaakt worden. P en Q zijn de aansluitpunten van de NTC.

- 21 Teken in de figuur de draden die nodig zijn om de metingen voor deze grafiek te kunnen uitvoeren.

In figuur 2 zie je de grafiek die Diane en Pierre hebben gemaakt.

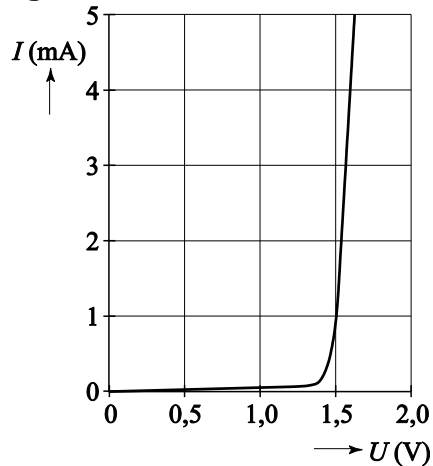


figuur 2

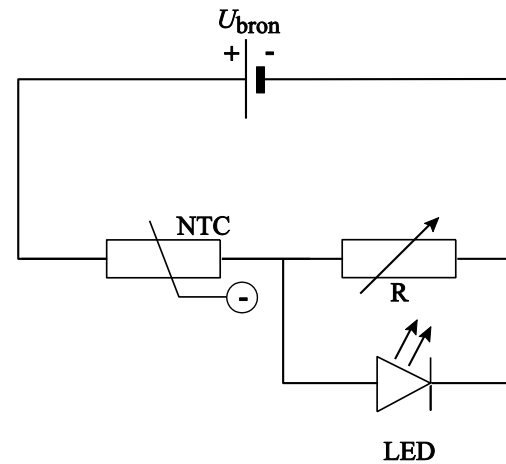
Voor het waarschuwingssysteem beschikken zij verder nog over een variabele weerstand en een LED.

In figuur 3 staat het (I,U)-diagram van de LED. De LED geeft licht als er een stroom van ten minste 1,0 mA door gaat. Diane en Pierre bouwen de schakeling van figuur 4.

figuur 3



figuur 4



- 22 Leg aan de hand van de figuren 2, 3 en 4 uit dat de LED niet brandt bij een lage temperatuur en wel brandt bij een hoge temperatuur.

Er gelden de volgende verbanden: $I_R = I_{NTC} - I_{LED}$ en $U_R = U_{bron} - U_{NTC}$.

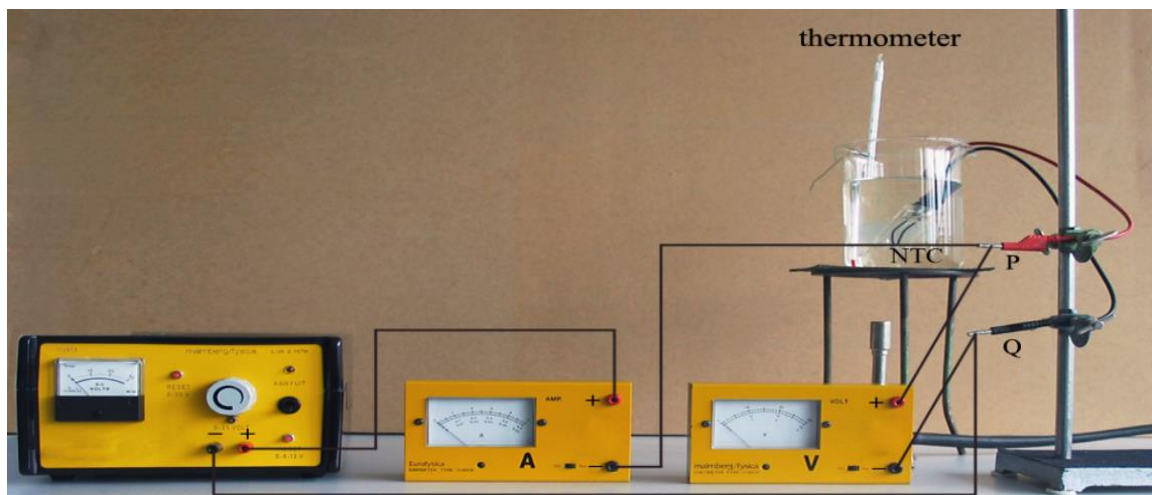
- 23 Toon dit aan met de wetten van Kirchhoff.

De variabele weerstand wordt zo ingesteld dat de LED licht geeft bij een temperatuur van 20 °C en hoger. De spanning van de bron is 5,0 V.

- 24 Bepaal de waarde waarop de variabele weerstand wordt ingesteld.
Hint: Maak gebruik van bovenstaande verbanden en grafieken.

antwoorden

21



22 Bij een lage temperatuur is de weerstand van de NTC groot. Hierdoor is de spanning over de NTC groot en de spanning over de LED dus klein. Als de spanning over de LED kleiner is dan 1,5 V brandt de LED niet.
(Bij een hogere temperatuur brandt de LED dus wel.)

23 Voor de kring van de bron, NTC en weerstand geldt: $U_{\text{NTC}} = U_{\text{bron}} - U_{\text{R}}$.
Voor het knooppunt tussen de NTC en de weerstand geldt: $I_{\text{NTC}} = I_{\text{R}} + I_{\text{LED}}$.
Hieruit volgt: $I_{\text{R}} = I_{\text{NTC}} - I_{\text{LED}}$.

24 Voor de waarde van de variabele weerstand geldt: $R = \frac{U_{\text{R}}}{I_{\text{R}}}$

Aflezend in figuur 3: bij 1,0 mA geldt $U_{\text{R}} = U_{\text{LED}} = 1,5 \text{ V}$.

Daaruit volgt: $U_{\text{NTC}} = 5,0 - 1,5 = 3,5 \text{ V}$.

Aflezend in figuur 2: bij 20°C geldt $R_{\text{NTC}} = 5,9 \cdot 10^2 \Omega$.

Er geldt $I_{\text{NTC}} = \frac{U_{\text{NTC}}}{R_{\text{NTC}}} = \frac{3,5}{5,9 \cdot 10^2} = 5,93 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

$I_{\text{LED}} = 1,0 \text{ mA}$ zodat $I_{\text{R}} = 5,93 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-3} = 4,93 \cdot 10^{-3} \text{ A}$.

invullen levert: $R = \frac{U_{\text{R}}}{I_{\text{R}}} = \frac{1,5}{4,93 \cdot 10^{-3}} = 3,0 \cdot 10^2 \Omega$.

D2 Elektrische en magnetische velden

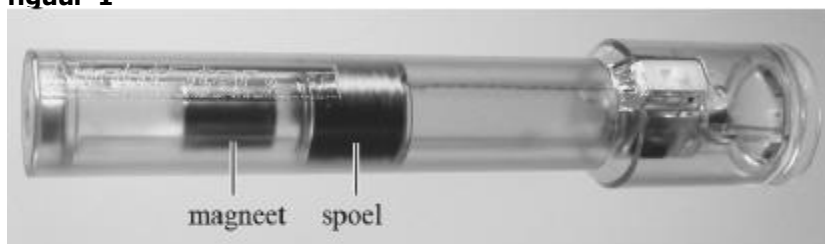
In specificatie D2.5 staat dat een leerling de evenredige verbanden bij inductie moet kennen.

Opgave 16 is een voorbeeld van een opgave die over die verbanden gaat zonder dat er gerekend wordt.

Opgave 13 Schudlamp

Een schudlamp is een lamp die licht kan geven nadat je hem heen en weer hebt geschud. Zie figuur 1.

figuur 1

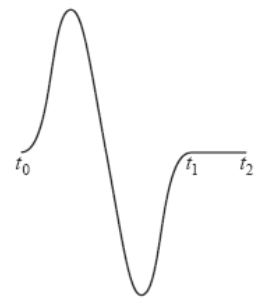


In het handvat zit een vaste spoel. Bij het schudden gaat een magneet door deze spoel heen en weer. Hierdoor wordt in de spoel een inductiespanning opgewekt.

- 25** Leg uit dat er zowel een positieve als een negatieve spanning ontstaat als de magneet één keer door de spoel gaat.

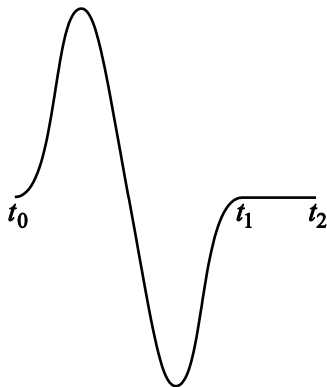
In figuur 2 is het verloop van de inductiespanning getekend tussen de tijdstippen t_0 en t_1 . Tussen deze tijdstippen bewoog de magneet van links naar rechts door de spoel. Vanaf het tijdstip t_2 bewoog de magneet twee keer zo langzaam terug van rechts naar links.

figuur 2



Figuur 2 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

- 26** Schets in de figuur op de uitwerkbijlage het verloop van de inductiespanning vanaf het tijdstip t_2 .



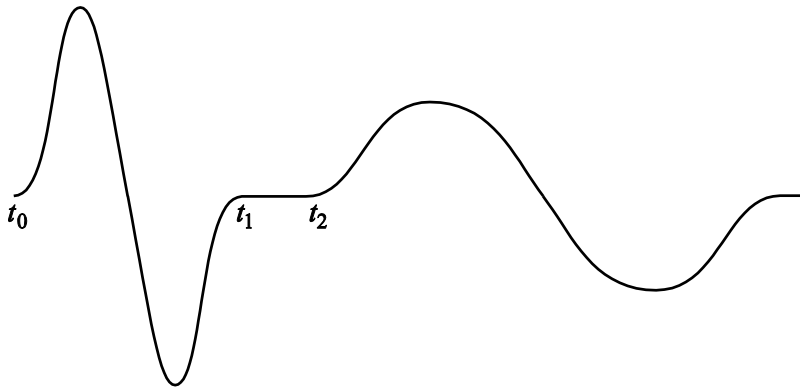
Een ontwerper overweegt een spoel met meer windingen te gebruiken.

- 27** Leg uit wat er dan verandert aan figuur 2.

antwoorden

- 25** Bij het naderen van de magneet neemt de magnetische flux in de spoel toe. (Hierdoor ontstaat er een spanningspuls.)
Als de magneet de spoel verlaat, neemt de flux weer af.
Hierdoor ontstaat een tegenovergestelde spanningspuls.

26



- 27 Omdat de inductiespanning evenredig met N is, zal bij meer windingen de puls hoger zijn.

E2 Elektromagnetische straling en materie

In domein E2 staat aangegeven wat de leerling moet kennen op het gebied van elektromagnetische straling en materie.

Opgave 14 bevat voorbeelden van vragen over domein E2.

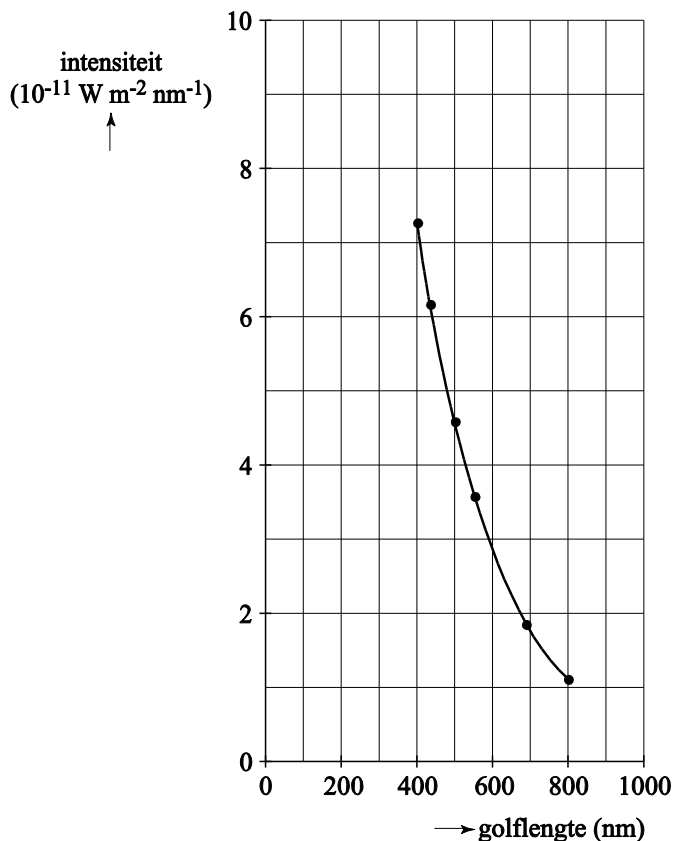
Opgave 15 bevat voorbeelden van vragen over specificatie E2.5.

Opgave 14 Wega

Wega is een heldere ster in het sterrenbeeld Lyra (Lier). Op grond van een analyse van de straling van Wega kunnen eigenschappen van de ster bepaald worden, zoals de temperatuur en het totale stralingsvermogen.

Hiervoor heeft men op aarde heel nauwkeurig de ontvangen stralingsintensiteit (per golflengtegebied van 1 nm) in het zichtbare gebied als functie van de golflengte bepaald. In figuur 1 staan de resultaten.

figuur 1



Hieruit kan worden afgeleid dat de temperatuur van Wega hoger is dan 7000 K.

28 Laat dat zien.

Met behulp van figuur 1 kan de grootte van de (stralings)intensiteit in het gebied van het zichtbare licht geschat worden.

Men heeft ook de totale (stralings)intensiteit van Wega gemeten die bij de aarde aankomt. Over het gehele spectrum gemeten is dit $2,9 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$. Een percentage hiervan ligt in het zichtbare gebied.

- 29** Bepaal dit percentage.

Het totale stralingsvermogen van Wega is groter dan het totale stralingsvermogen van de zon.

- 30** Bereken hoeveel maal zo groot. Je hoeft geen rekening te houden met absorptie in de atmosfeer.

antwoorden

- 28** Voor het verband tussen de temperatuur van de ster en de golflengte waarbij de stralingsintensiteit maximaal is, geldt: $\lambda_{\text{max}} T = k_w$.

Uit figuur 1 blijkt dat dit maximum in elk geval kleiner is dan 400 nm.

Invullen van deze waarde levert: $400 \cdot 10^{-9} T = 2,8978 \cdot 10^{-3}$.

Dit levert: $T = 7245 \text{ K}$, dus $> 7000 \text{ K}$.

- 29** De intensiteit van het licht uit een bepaald golflengtegebied is de oppervlakte onder de curve. Het zichtbare gebied ligt globaal tussen 400 en 800 nm. In dit gebied is de oppervlakte gelijk aan ongeveer 13 hokjes.

Dus de intensiteit in het zichtbare gebied is $13 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$.

Het gevraagde percentage is: $\frac{13 \cdot 10^{-9}}{2,9 \cdot 10^{-8}} = 0,45 = 45\%$.

- 30** Voor het totale stralingsvermogen van Wega geldt: $P = 4\pi r^2 I$.

Opzoeken in Binas levert voor de afstand van Wega tot

de aarde: $r = 250 \cdot 10^{15} \text{ m}$.

Dit levert: $P = 4\pi r^2 I = 4\pi \cdot (250 \cdot 10^{15})^2 \cdot 2,9 \cdot 10^{-8} = 2,28 \cdot 10^{28} \text{ W}$.

Het totale stralingsvermogen van de zon bedraagt: $0,390 \cdot 10^{27} \text{ W}$.

Dus het totale stralingsvermogen van Wega is $\frac{2,28 \cdot 10^{28}}{0,390 \cdot 10^{27}} = 58$ maal zo groot.

Opgave 15 Maanrobotjes

Sinds astronaut Jack Schmidt in 1972 de maan verliet, zijn er geen mensen meer op de maan geweest. De Nederlandse Nobelprijswinnaar Gerard 't Hooft denkt dat dit op korte termijn ook niet meer zal gebeuren. In zijn boek '*Playing with planets*' beschrijft hij een plan om de maan te koloniseren met behulp van minirobotjes. Zie figuur 1. Zo'n maanrobotje is voorzien van een camera en kan via internet bestuurd worden. Iedereen kan zo zelf via internet de maan verkennen.

figuur 1



De maanrobotjes maken voor hun energievoorziening gebruik van zonnepanelen. Bij de keuze van het materiaal van deze zonnepanelen moet rekening worden gehouden met de golflengtes van het opvallende zonlicht.

De opbrengst van de zonnepanelen zal het hoogst zijn wanneer deze geoptimaliseerd worden voor de golflengte waarbij de zon de meeste energie uitzendt.

31 Bereken die golflengte.

In de straling van de zon komen niet alle golflengten voor. In tabel 20 van Binas zijn donkere lijnen in het zonnenspectrum te zien. Een aantal van deze lijnen wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van waterstof in de buitenste laag van de zon.

32 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de golflengte van één van de donkere lijnen in het zonnenspectrum die worden veroorzaakt door de aanwezigheid van waterstof.
- Leg uit waarom je deze lijn gekozen hebt.
- Bereken de fotonenergie die hoort bij de gekozen lijn. Geef je antwoord in joule.

antwoorden

31 Er geldt $\lambda_{\max} = \frac{k_w}{T}$. De effectieve temperatuur van de zon is 5800 K.

$$\text{Invullen levert: } \lambda_{\max} = \frac{2,8978 \cdot 10^{-3}}{5800} = 4,996 \cdot 10^{-7} \text{ m.}$$

32 methode 1

De lijnen die een gevolg zijn van absorptie door waterstof moeten ook in het emissiespectrum van waterstof zitten.

Voor een lijn in het zichtbare gebied geldt: $\lambda = 656 \text{ nm}$.

Er geldt $E_f = \frac{hc}{\lambda}$. Invullen levert: $E_f = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 2,998 \cdot 10^8}{6,56 \cdot 10^{-7}} = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

methode 2

De lijnen die een gevolg zijn van absorptie door waterstof moeten ook in het emissiespectrum van waterstof zitten.

Voor een lijn in het zichtbare gebied geldt: $\lambda = 656 \text{ nm}$.

Aflezend in tabel 21 levert

$$E_f = 12,0888 - 10,2002 = 1,8886 \text{ eV} = 3,03 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

F1 Quantumwereld

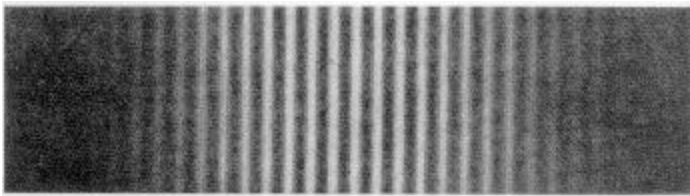
In subdomein F1 staat aangegeven wat een leerling moet kennen op het gebied van Quantumwereld

Hieronder volgen twee opgaven als voorbeeld.

Opgave 16 Proef van Young

Figuur 1 laat het interferentiepatroon zien dat ontstaat bij de buiging van licht aan twee dunne evenwijdige spleten. Young voerde deze proef voor het eerst uit.

figuur 1



- 33** Maak een schematische schets van de opstelling die tot figuur 1 heeft geleid
- 34** Leg uit waarom dit patroon een argument is voor het idee dat licht golfeigenschappen heeft.
- Het dubbelspleet-experiment kan ook gedaan worden met elektronen.
- 35** Leg het verband uit tussen dat experiment en de de Broglie-golflengte.

antwoorden

33



- 34 Het patroon van figuur 1 is een interferentiepatroon. Interferentie treedt op bij golfverschijnselen.
- 35 Uit het dubbelspleetexperiment met elektronen volgt dat ook elektronen een golfkarakter hebben. De golflengte hiervan wordt gegeven door de de Broglie-golflengte.

Opgave 17 Quantumwereld

Quantumverschijnselen kunnen voorkomen als deeltjes opgesloten zijn in een beperkte ruimte. In deze opgave bekijken we naar verschillende manieren waarop deeltjes opgesloten kunnen zijn. In een atoom geldt voor zowel de kerndeeltjes (neutronen en protonen) als voor de elektronen dat ze zich bevinden in een ruimte die een 'karakteristieke' grootte heeft. Met het model van het deeltje in een energie-put zijn er schattingen te maken over deze 'karakteristieke' groottes.

De grootte van een atoom wordt bepaald door de baan van het (buitenste) elektron om de kern. Om iets over de grootte van het atoom te weten te komen, kijken we naar het licht dat een atoom uitzendt. De energie van het licht dat hoort bij de overgang van de eerste aangeslagen toestand naar de grondtoestand ligt voor een waterstofatoom in de orde van grootte van 10 eV.

- 36 Bereken met behulp van het model van een deeltje in een energie-put de grootte van een waterstofatoom.

Om de grootte van de kern te kunnen schatten, moeten we kijken naar straling die afkomstig is uit de kern van een atoom. We gebruiken als voorbeeld de γ -straling die het aangeslagen kern van technetium-99 uitzendt.

De energie van de uitgezonden fotonen is 140 keV. We nemen aan dat het uitzenden van het foton wordt veroorzaakt doordat er een kerndeeltje van de eerste aangeslagen toestand terugvalt naar de grondtoestand.

- 37 Schat de orde van grootte van de atoomkern van Tc-99. Maak daartoe een vergelijking met de orde van grootte van de grootheden uit de vorige vraag.

In moleculen wordt een elektron "gedeeld" door verschillende atomen. Dit betekent dat de ruimte waarin het elektron zit opgesloten effectief groter wordt. Als voorbeeld kijken we naar een molecuul CO_2 .

- 38** Doe op grond van die constatering een uitspraak over de orde van grootte van de golflengtes die je verwacht als een aangeslagen koolstofdioxide-molecuul licht uitzendt.

Metalen hebben vrije (geleidings-)elektronen. Die elektronen zijn dan niet meer aan één atoom gebonden, maar bewegen vrij door het hele metaal. De snelheid van deze elektronen is in de orde van grootte van 10^3 m s^{-1} .

- 39** Maak met berekening duidelijk dat er bij een spijker geen quantumverschijnselen optreden.
- 40** Hoe is dit aan het uitgezonden spectrum van een gloeiende spijker te zien?

antwoorden

- 36** Voor de energieën in een energieput geldt: $E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$.

De overgang tussen $n = 2$ en $n = 1$ komt overeen met een energie van $10 \text{ eV} = 16 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

$$\text{Invullen levert: } 16 \cdot 10^{-19} = (4-1) \frac{(6,63 \cdot 10^{-34})^2}{8 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} L^2}.$$

Dit geeft: $L = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. (Dat is dezelfde orde van grootte als de bohrstraal.)

- 37** De energie is een factor 10^4 groter en de massa van een kerndeeltje is ook een factor 10^4 groter dan van het elektron. Dus L^2 wordt 10^{-8} keer zo groot en L dus 10^{-4} keer zo groot. De orde van grootte van het Tc-99 atoom is dus 10^{-14} m .

- 38** Het CO_2 -molecuul is ongeveer 3 keer zo groot als het waterstofatoom want het heeft drie atomen. Dat betekent dat de grootte van de opsluiting L drie keer zo groot is, en L^2 dus ongeveer een factor 10 keer zo groot. Dan zijn de energieën die daarbij horen 10 keer zo klein en de golflengtes 10 keer zo groot.

Bij waterstof hoort bij de beschreven overgang een golflengte van ongeveer 100 nm (BINAS tabel 21), dus bij CO_2 zijn golflengtes van 1000 nm te verwachten.

- 39** Voor de de Broglie-golflengte van de vrije elektronen in de spijker geldt:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1 \cdot 10^3} = 7,3 \cdot 10^{-7} \text{ m}.$$

Omdat de de Broglie-golflengte veel kleiner is dan de afmeting van de opsluiting, zijn hier geen quantumverschijnselen te verwachten.

40 Als er quantumverschijnselen zouden zijn, zou het spectrum niet continu zijn

H Natuurwetten en modelleren

Als voorbeeld van een opgave bij domein H verwijzen we naar opgave 2 uit het pilotexamen vwo 2012 1e tijdvak (Ringen van Saturnus).

Hieronder staat aangegeven waarvan de voorbeeldopgaven afkomstig zijn

Opgave 1 Spoel van koperdraad	Nina Vwo 2011-1
Opgave 2 Massaspectrometer	Vwo 2010-1
Opgave 3 Maanrobotjes	Nina Vwo 2010-2
Opgave 4 Harp	Nina Havo 2011-2
Opgave 5 Formule van Einstein	Nina Vwo 2011-1
Opgave 6 Vijftig meter vlinderslag	Vwo 2011-2
Opgave 7 Auto	Havo 2003-1
Opgave 8 Parachutespringen	nieuw
Opgave 9 Lopen	Vwo 2010
Opgave 10 Pionier-10	Nina Vwo 2011-1
Opgave 11 MRI en PET-scanner in één	nieuw
Opgave 12 WaarschuwingsLED	Vwo 2010-2
Opgave 13 Schudlamp	Vwo 2008-1
Opgave 14 Wega	Nina Vwo 2011-2
Opgave 15 Maanrobotjes	Nina Vwo 2010-2
Opgave 16 Proef van Young	nieuw
Opgave 17 Quantumwereld	nieuw

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 gravitatiewisselwerking

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 tijdrek 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	symbool
aantal kernen	N	-	-
aantal neutronen in kern	N	-	-
aantal windingen in spoel	N	-	-
activiteit	A	(deeltjes) per seconde, becquerel	s^{-1} , Bq
afstand	x	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
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 celcius	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	s	meter	m
versnelling	a	meter per secondekwadraat	m s^{-2}
volume	V	kubieke meter	m^3
weerstand	R	ohm	Ω

natuurconstanten	symbool	waarde	eenheid
constante wet van Coulomb	$f (=1/4\pi\epsilon_0)$	$8,98755 \cdot 10^9$	$\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$
gravitatieconstante	G	$6,6726 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
lichtsnelheid	c	$2,99792458 \cdot 10^8$	m s^{-1}
constante van Planck	h	$6,62607 \cdot 10^{-34}$	J s
constante van Stefan-Boltzmann	σ	$5,67051 \cdot 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
constante van Wien	k_w	$2,8978 \cdot 10^{-3}$	m K

Bijlage 3. Examenwerkwoorden bij natuurkunde

Hieronder staat voor een aantal werkwoorden die regelmatig voorkomen in de centrale examens natuurkunde uitgelegd, wat er van de kandidaat verwacht wordt wanneer het betreffende werkwoord in een vraag gebruikt wordt.

Deze lijst van zogenaamde 'examenwerkwoorden' is niet uitputtend: in vragen kan ook gebruik gemaakt worden van andere werkwoorden.

Bereken

De kandidaat moet de waarde van een grootheid uitrekenen, uitgaande van gegevens in de vraag en/of uit andere informatiebronnen.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Bepaal

De kandidaat moet de waarde van een grootheid vaststellen en/of uitrekenen, uitgaande van gegevens in grafieken of figuren of door het maken van een constructie.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules en/of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Beredeneer, leg uit

De kandidaat moet gegevens uit de opgave combineren met natuurkundige kennis en een of meer denkstappen zetten om te komen tot hetgeen beredeneerd of uitgelegd moet worden.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke gegevens de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Noem, geef (aan), wat, welke, wanneer, hoeveel

De kandidaat kan volstaan met een (eind)antwoord, tenzij vermeld staat: 'licht toe'. In dat geval moet de kandidaat aangeven hoe hij aan het antwoord is gekomen.

Toon aan / laat zien dat

De kandidaat moet laten zien **dat** een gegeven waarde en/of bewering correct is. Hij kan daarbij gebruik maken van berekeningen en/of redeneringen.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Toon aan / laat zien of

De kandidaat moet laten zien **of** een gegeven waarde en/of bewering correct is. Hij mag daarbij gebruik maken van berekeningen en/of redeneringen. Het antwoord wordt afgesloten met een conclusie.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Leid af

De kandidaat moet van een formule (of eenheid) laten zien, dat deze volgt uit gegeven en/of bekende formules gebruik makend van wiskundige bewerkingen, zoals combineren, herschrijven en substitueren.

Een getallenvoorbeeld volstaat niet bij het afleiden van een formule of een eenheid. Bij het afleiden van een formule volstaat bovendien een eenhedenbeschouwing niet.

Schets

De kandidaat moet door middel van een grafische voorstelling kenmerkende eigenschappen aangeven, zonder dat de waarden precies hoeven te kloppen.

Teken

De kandidaat moet door middel van een grafische voorstelling kenmerkende eigenschappen aangeven, waarbij de waarden precies moeten kloppen. In het correctievoorschrift wordt een marge voor deze waarden gegeven.

Construeer

De kandidaat moet door middel van een grafische voorstelling kenmerkende eigenschappen aangeven, waarbij de waarden precies moeten kloppen. In het correctievoorschrift wordt een marge voor deze waarden gegeven.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

Schat

De kandidaat moet de waarde van een grootte ongeveer aangeven, zonder de exacte waarde te bepalen.

Uit de uitwerking moet duidelijk blijken welke formules of principes zijn toegepast, welke waarden de kandidaat heeft gebruikt en welke stappen zijn gezet.

NB. Bovenstaande examenwerkwoorden hebben betrekking op het vak natuurkunde. Bij andere vakken hoeven dezelfde werkwoorden niet dezelfde betekenis te hebben. Zo is de betekenis van het examenwerkwoord 'bepaal' bij wiskunde anders dan bij natuurkunde.

Bijlage 4. Vergelijking met vorig natuurkundeprogramma

In deze bijlage wordt het nieuwe natuurkundeprogramma, zoals dat gespecificeerd staat in deze syllabus, vergeleken met het vorige programma: het herziene Tweede-Fase-programma, waarmee sinds 2007 is gewerkt.¹¹

Bij de vergelijking wordt uitgegaan van het oude programma. Per subdomein van het oude programma zijn eerst de specificaties of eindtermen van het oude programma vermeld en is aangegeven welke nieuwe specificaties of eindtermen daar (geheel of gedeeltelijk) mee overeenkomen. Onderdelen uit het oude programma die vervallen zijn, zijn cursief gemaakt. Vervolgens zijn de formules bij het subdomein van het oude programma vergeleken met de nieuwe formules. Er is aangegeven welke formules gehandhaafd zijn, welke vervallen zijn en welke in gewijzigde vorm terugkomen.

Aan het eind van de bijlage staat ten slotte een lijst met specificaties en formules uit het nieuwe programma die helemaal of grotendeels nieuw zijn.

Subdomein A1: Taalvaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa
1.1 correct formuleren.	zie: A1, A2 en A9.1
1.2 conventies hanteren bij tekst- en alineaopbouw, tekstsoort en uiterlijke presentatie.	
1.3 beknopt formuleren.	
1.4 taalgebruik afstemmen op het doel en het publiek.	
1.5 informatie inhoudelijk logisch presenteren.	
1.6 op adequate wijze informatie overbrengen.	
1.7 een standpunt beargumenteren en verdedigen.	
1.8 verslag doen	

Subdomein A2: Reken-/wiskundige vaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa
2.1 basisrekenvaardigheden uitvoeren: <ul style="list-style-type: none"> • een (grafische) rekenmachine gebruiken¹²; • rekenen met verhoudingen, procenten, machten, wortels; • de oppervlakte berekenen van een driehoek, cirkel en een bol; • het volume berekenen van een cilinder en een bol; • absolute waarde toepassen. 	zie: A12.1
2.2 berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren: <ul style="list-style-type: none"> • formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen. 	zie: A12.3
2.3 wiskundige technieken toepassen: <ul style="list-style-type: none"> • omwerken van eenvoudige wiskundige betrekkingen; • rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd); • oplossen van lineaire en tweedegraadsvergelijkingen; • twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden oplossen; 	zie: A12.2

¹¹ De vergelijking tussen het oude en het nieuwe programma is gemaakt als hulpmiddel voor de gebruikers van de syllabus om een overzicht te krijgen van de wijzigingen in het programma. Aan deze vergelijking kunnen geen rechten worden ontleend.

¹² Dit bolletje is in de syllabus niet meer opgenomen onder 'basisrekenvaardigheden', omdat je je kunt afvragen of het hier wel thuis hoort. Dit staat los van de vraag of een (grafische) rekenmachine toegestaan is bij het CE. Dat wordt jaarlijks vastgelegd in de Regeling toegestane hulpmiddelen. Zie hiervoor ook paragraaf 1.2 van deze syllabus.

<ul style="list-style-type: none"> • stelling van Pythagoras toepassen; • sinus-, cosinus- en tangensfunctie toepassen; • vectoren optellen, <i>afrekken</i>, ontbinden en <i>vermenigvuldigen met een scalar</i>; berekeningen bij ontbinden alleen bij twee onderling loodrechte richtingen; berekeningen van grootte en richting bij samenstellen van vectoren alleen bij twee onderling loodrechte assen; • grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift; • interpoleren en extrapoleren in grafieken, tabellen en diagrammen; • de grafiek tekenen en het functievoorschrift opstellen bij rechtevenredige verbanden; • raaklijn tekenen aan een kromme en de richtingscoëfficiënt bepalen; • de oppervlakte onder een grafiek schatten of benaderen; • relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als grafieken met een rechte lijn; • <i>radiaal als hoekmaat</i>; • <i>benadering van sinus en tangens voor kleine hoeken</i>; • $\log x$, $\ln x$, e^{-ax}, e^{ax}, a^x en x^a. 	
2.4 afgeleide eenheden herleiden tot eenheden van het SI.	zie: A12.3
2.5 uitkomsten schatten en beoordelen	zie: A15.2
2.6 uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers: <ul style="list-style-type: none"> • een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is. 	zie: A8.3

Subdomein A3: Informatievaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa
3.1 informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT.	zie: A8.1
3.2 informanten kiezen en informanten bevragen.	zie: A1
3.3 benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT: <ul style="list-style-type: none"> • onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules. 	zie: A8.1
3.4 gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT.	zie: A8.2
3.5 hoofd- en bijzaken onderscheiden.	zie: A1
3.6 feiten met bronnen verantwoorden.	zie: A9.3
3.7 informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.	zie: A8.2
3.8 de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor het op te lossen probleem of te maken ontwerp.	zie: A9.4
3.9 gebruik maken van computermodellen om bewegingen te beschrijven.	zie: A7.1 t/m A7.9; I2 (SE)

Subdomein A4: Technisch-instrumentele vaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa
<p>4.1 gebruik maken van stoffen, instrumenten en apparaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technische ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen B t/ m E genoemde vakinhoud, voorzover veiligheid, milieu-eisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dit toelaten. specificatie apparatuur: • krachtmeter, hefboom, katrol en tandwiel; • videocamera (videometen); • sensor en computer, lichtpoortje, reedcontact, stroboscopische foto; • stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop; • prisma, filters, optische bank, optische schijf, brekingslichamen, positieve lens, glasvezels, fototoestel, diaprojector, overheadprojector; • vloeistofthermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal; • elektroscop, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand [NB: regelbare weerstand], stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, LED, permanente magneten, stroomspoel, dynamo, transformator. • GM-teller. 	<p>zie: A11.1; A11.2 en</p> <p>D2.4; D2.5; D1.1; D1.3; D1.4; D2.3</p>
<p>4.2 bij het raadplegen, verwerken en presenteren van informatie en bij het inzichtelijk maken van processen gebruik maken van toepassingen van ICT.</p>	<p>zie: A8.1; A8.2; A11.2; A2; A14¹³</p>
<p>4.3 gebruik maken van micro-elektronica systemen voor het sturen, meten en regelen van grootheden (SE).</p>	<p>vervallen</p>
<p>4.4 aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten.</p>	<p>zie: A8.4</p>
<p>4.5 verantwoord omgaan met stoffen, instrumenten en organismen, zonder daarbij schade te berokkenen aan mens, dier en milieu.</p>	<p>zie: A8.5</p>

Subdomein A5: Ontwerpvaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa
<p>5.1 een technisch probleem herkennen en specificeren.</p>	<p>zie: A6.1; I3 (SE)</p>
<p>5.2 een technisch probleem herleiden tot een ontwerpdracht.</p>	<p>zie: A6.1; I3 (SE)</p>
<p>5.3 prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden vaststellen voor het uitvoeren van een ontwerp.</p>	<p>zie: A6.2; I3 (SE)</p>
<p>5.4 een werkplan maken voor het uitvoeren van een ontwerp.</p>	<p>zie: A6.4; A6.5; I3 (SE)</p>
<p>5.5 een ontwerp bouwen.</p>	<p>zie: A6.6; I3 (SE)</p>
<p>5.6 ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdende met ontwerpeisen en randvoorwaarden.</p>	<p>zie: A6.7; I3 (SE)</p>

¹³ 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.

5.7	voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.	zie: A6.8; I3 (SE)
-----	--	------------------------------

Subdomein A6: Onderzoeksvaardigheden

Specificaties

Herzien TF	NiNa	
6.1	een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren.	zie: A5.1; I1 (SE)
6.2	verbanden leggen tussen probleemstellingen, hypothesen, gegevens en aanwezige natuurwetenschappelijke voorkennis.	zie: A5.3; I1 (SE)
6.3	een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een onderzoeksvraag.	zie: A5.2; I1 (SE)
6.4	hypothesen opstellen en verwachtingen formuleren.	zie: A5.4; I1 (SE)
6.5	<i>prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden vaststellen om een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren.</i>	vervallen
6.6	een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een onderzoeksvraag.	zie: A5.5; I1 (SE)
6.7	relevante waarnemingen verrichten en (meet) gegevens verzamelen.	zie: A5.6; I1 (SE)
6.8	conclusies trekken op grond van verzamelde gegevens van uitgevoerd onderzoek.	zie: A5.8; I1 (SE)
6.9	oplossing, onderzoeksgegevens, resultaat en conclusies evalueren.	zie: A5.9; I1 (SE)

Subdomein A7: Maatschappij, studie en beroep

Specificaties

Herzien TF	NiNa	
7.1	toepassingen van de natuurwetenschappen herkennen in verschillende maatschappelijke situaties.	zie: A10
7.2	maatschappelijke effecten benoemen van natuurwetenschappelijke en technologische toepassingen in verschillende maatschappelijke situaties	zie: A9.1
7.3	een relatie leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden en de praktijk van verschillende beroepen.	zie: A4
7.4	een relatie leggen tussen eigen vaardigheden, kennis en attitudes en de eisen van opleidingen en beroepsuitoefening.	zie: A4

Subdomein B1: Elektrische stroom

Specificaties

Herzien TF	NiNa	
8.1	schakelingen ontwerpen om lampen, elektromotoren, verwarmingselementen en sensoren op de juiste spanning te laten werken: <ul style="list-style-type: none"> • schakelschema's tekenen; • spanningsbron; • weerstanden in serie; • weerstanden parallel; • kortsluiting, smeltveiligheid [NB: zekering]; • aarding, aardlekschakelaar; • spanningsdeling. 	zie: D1.3
8.2	spanning, stroom en weerstand bepalen aan de hand van gegeven grafieken, tabellen en formules: <ul style="list-style-type: none"> • ohmse weerstanden; • halfgeleiderdiode, LDR, NTC; • gloeilamp, LED, verwarmingselement, • soortelijke weerstand. 	zie: D1.1; D1.3

8.3	het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische kring berekenen: <ul style="list-style-type: none"> • elektrische energie; • warmteontwikkeling; • kWh-meter. 	zie: D1.4
-----	--	------------------

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$U = IR, \quad P = UI.$$

Gewijzigd (zie D1):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, \quad U = U_1 + U_2 + \dots, \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots, \quad I = I_1 + I_2 = \dots,$$

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \text{ [vervangen door } G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots\text{]},$$

$$R = \rho \frac{\ell}{A}, \quad P = \frac{\Delta E}{\Delta t}.$$

Subdomein B2: Signaalverwerking (SE)

Het gehele subdomein is vervallen

Subdomein B3: Elektromagnetisme

Specificaties

Herzien TF	NiNa
10.1 de effecten beschrijven van de aanwezigheid van elektrische lading: <ul style="list-style-type: none"> • positieve en negatieve lading; • homogeen elektrisch veld; • veldlijnen, veldsterkte; • <i>ontladingen, onweer.</i> 	zie: D2.1
10.2 energieverandering van een geladen deeltje in een elektrisch veld berekenen: <ul style="list-style-type: none"> • verband tussen spanning en kinetische energie; • omrekenen eV naar joule en omgekeerd; • <i>elektronenkanon van beeldbuis en oscilloscoop;</i> • röntgenbuis; • lineaire versneller. 	zie: D2.2
10.3 magnetische verschijnselen verklaren in termen van magnetisch veld: <ul style="list-style-type: none"> • veldlijnen; • sterkte van het magnetische veld; • permanente magneet, rechte stroomdraad, spoel; • <i>relais, reedcontact.</i> 	zie: D2.3
10.4 de richting en de grootte van de lorentzkracht bepalen op stroomdraden en op geladen deeltjes: <ul style="list-style-type: none"> • elektromotor en <i>draaispoelmeter;</i> • <i>afbuiging elektronenbundel;</i> • <i>hallsensor.</i> 	zie: D2.4

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$F_L = BI\ell, \quad F_L = Bqv.$$

Gewijzigd (zie D2):

$$F_{\text{el}} = qE, \quad \Delta E_k = qU.$$

Vervallen:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$$

Subdomein B4: Inductie en wisselstromen (SE)

Specificaties

Herzien TF	NiNa
11. De kandidaat kan het principe van elektromagnetische inductie toepassen, <i>het gedrag van wisselspanningen en -stromen beschrijven en analyseren ...</i>	zie: D2.5

Formules

Gewijzigd (zie D1 en D2):

$$U_{\text{ind}} = N \frac{|\Delta\Phi|}{\Delta t}, \quad \Phi = B_n A, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Vervallen:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}, \quad P_p = P_s, \quad U(t) = U_{\text{max}} \sin(2\pi ft), \quad I(t) = I_{\text{max}} \sin(2\pi ft), \quad U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\text{max}},$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\text{max}}.$$

Subdomein C1: Rechthoekige beweging

Specificaties

Herzien TF	NiNa
12.1 rechthoekige eenparige bewegingen en rechthoekige eenparig versnelde bewegingen vanuit rust wiskundig beschrijven: <ul style="list-style-type: none"> • plaats, verplaatsing, afgelegde weg [NB: bij EVB niet wiskundig beschrijven]; • snelheid, gemiddelde snelheid, <i>relatieve snelheid</i>; • versnelling. 	zie: C1.1; C1.2
12.2 plaats-tijd-diagrammen interpreteren: <ul style="list-style-type: none"> • snelheid bepalen met behulp van een raaklijn; • schetsen van het verloop van het snelheid-tijd-diagram; • vergelijking van twee verplaatsingen in één diagram. 	zie: C1.2
12.3 snelheid-tijd-diagrammen interpreteren: <ul style="list-style-type: none"> • verplaatsing bepalen met behulp van oppervlakte; • versnelling bepalen met behulp van een raaklijn; • schetsen van het verloop van het versnelling-tijd-diagram; • eindsnelheid en luchtweerstand. 	zie: C1.2
12.4 <i>berekeningen maken bij een vrije val vanuit rust:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>valversnelling, valtijd, hoogte, snelheid bij het bereiken van de grond.</i> 	vervallen

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

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

Gewijzigd (zie C1)

$$s(t) = vt, \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

Vervallen:

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2$$

Subdomein C2: Kracht en moment

Specificaties

Herzien TF	NiNa
13.1 krachten op een systeem weergeven als vectoren: <ul style="list-style-type: none"> • <i>aangrijpingspunt, drager/ werklijn;</i> • <i>samenstellen in parallellogram;</i> • <i>ontbinding langs twee onderling loodrechte assen;</i> • <i>berekenen van de grootte van de componenten.</i> 	zie: C1.3
13.2 de eerste wet van Newton uitleggen aan de hand van voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"> • <i>traagheid bij snelheidsverandering;</i> • <i>evenwicht van krachten bij constante snelheid.</i> 	zie: C1.4
13.3 met de tweede wet van Newton de resulterende kracht of de versnelling berekenen: <ul style="list-style-type: none"> • <i>definitie eenheid van kracht;</i> • <i>massa, dichtheid en zwaartekracht.</i> 	zie: C1.5
13.4 krachtwetten toepassen: <ul style="list-style-type: none"> • <i>actiekracht en reactiekracht op verschillende lichamen aanwijzen, derde wet van Newton;</i> • <i>normaalkracht;</i> • <i>krachten op lichamen op een hellend vlak;</i> • <i>spankracht, wrijvingskracht en veerkracht.</i> 	zie: C1.3 t/m C1.6
13.5 <i>de werking van hefboomen uitleggen:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>toepassing van momenten;</i> • <i>vergelijking van de arbeid van de uitgeoefende krachten.</i> 	vervallen
13.6 <i>met de hefboomwet krachten berekenen:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>zwaartepunt als aangrijpingspunt van de zwaartekracht;</i> • <i>hef- en hijswerktuigen, tandwielen, katrol, V-snaren.</i> 	vervallen

Formules

Gewijzigd (zie C1 en bekend verondersteld bij C):

$$\sum \vec{F} = ma, \quad F_z = mg, \quad m = \rho V, \quad F_{\text{veer}} = Cu.$$

Vervallen:

$$M = Fr, \quad \sum \vec{M} = 0.$$

Subdomein C3: Arbeid en energie

Specificaties

Herzien TF	NiNa
14.1 het begrip arbeid toepassen bij energieomzettingen: <ul style="list-style-type: none"> • arbeid door de zwaartekracht; • negatieve arbeid van wrijvingskracht en warmteontwikkeling; • de arbeid van een kracht bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram. 	zie: C2.1; C2.2
14.2 de wet van behoud van energie toepassen: <ul style="list-style-type: none"> • <i>de energiebalans van een systeem</i>; • aangeven van energievormen; • bewegingsenergie [NB: kinetische energie], zwaarte-energie, veerenergie; • snelheid, kracht en verplaatsing berekenen; • periodieke bewegingen verklaren: slinger, trilling <i>tussen veren</i>, stuiten zonder wrijving. 	zie: C2.1; C2.2
14.3 berekenen hoeveel energie wordt omgezet in warmte bij verplaatsingen: <ul style="list-style-type: none"> • <i>energie per tijd en energie per afstand</i>; • <i>optrekken en afremmen in stadsverkeer</i>; • <i>verband tussen snelheid en brandstofverbruik</i>; • <i>rendement van motor</i>; • <i>vorm van het voertuig</i>; • <i>totale warmteafgifte aan het milieu</i>. 	zie: C2.2

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$W = Fs \cos \alpha, \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad E_z = mgh.$$

Gewijzigd (zie C2):

$$W_{\text{tot}} = \Delta E_k, \quad P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{t} = Fv, \quad E_{\text{veer}} = \frac{1}{2}Cu^2, \quad \eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Subdomein C4: Kromlijnige beweging

Specificaties

Herzien TF	NiNa
15.1 een beschrijving geven van de baan van een voorwerp in het zwaartekrachtveld: <ul style="list-style-type: none"> • <i>horizontale worp, snelheid als vector</i>. 	vervallen
15.2 berekeningen uitvoeren met de formules over de eenparige cirkelbeweging: <ul style="list-style-type: none"> • <i>baansnelheid, hoeksnelheid, straal, omlooptijd, frequentie</i>; • <i>middelpuntzoekende versnelling en kracht</i>. 	zie: C3.1
15.3 de voorwaarden bepalen om een satelliet in een baan om de aarde te kunnen brengen: <ul style="list-style-type: none"> • <i>gravitatiewet van Newton</i>; • <i>bepaling van de straal van de baan</i>; • <i>omlooptijd bij polaire en geostationaire banen</i>. 	zie: C3.2

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$$

Gewijzigd (zie C3):

$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad v = \omega r.$$

Vervallen:

$$x(t) = v_x t \quad \text{en} \quad y(t) = \frac{1}{2} g t^2, \quad s(t) = \varphi(t) r \quad \text{met} \quad \varphi(t) \quad \text{in} \quad \text{rad}, \quad \varphi(t) = \omega t,$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r, \quad F_{\text{mpz}} = m\omega^2 r.$$

Subdomein D1: Gas en vloeistof (SE)

Specificaties

Herzien TF	NiNa
16. De kandidaat kan macroscopische verschijnselen verklaren aan de hand van de eigenschappen en wisselwerking van moleculen en de algemene gaswet ..	zie: E1 (SE)

Formules

Mogelijk vervallen (bij de subdomeinen van het schoolexamen zijn geen formules voorgeschreven):

$$p = \frac{F}{A}, \quad T_{\text{kelvin}} = T_{\text{celcius}} + 273,16, \quad \frac{pV}{T} = nR = \text{constant}.$$

Subdomein D2: Thermische processen (SE)

Specificaties

Herzien TF	NiNa
17. De kandidaat kan de hoeveelheid warmte berekenen die bij verwarming en afkoeling tussen systemen wordt uitgewisseld, de vormen van energietransport bij warmte beschrijven ...	zie: E1 (SE)

Formules

Mogelijk vervallen (bij de subdomeinen van het schoolexamen zijn geen formules voorgeschreven):

$$Q = cm\Delta T, \quad Q = C\Delta T, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Subdomein E1: Trilling en golf

Specificaties

Herzien TF	NiNa
18.1 door eenvoudige proeven vaststellen dat harmonische trillingen plaatsvinden onder invloed van een teruggedrijvende kracht die evenredig is met de uitwijking: <ul style="list-style-type: none"> • veerconstante; • massaveersysteem; • <i>slinger</i>. 	zie: B1.1; B1.2
18.2 uit de uitwijking-tijd-grafiek van een mechanische of elektrische trilling de trillingstijd, frequentie, amplitude en het soort trilling (harmonisch of niet) bepalen: <ul style="list-style-type: none"> • oscillogram van <i>stembork</i>, <i>trillende snaar</i>, <i>menselijke stem</i>, <i>zuivere toon</i>; • cardiogram. 	zie: B1.5
18.3 een wiskundige beschrijving geven van trillingsverschijnselen in de natuur, de techniek en bij natuurkundige proeven:	zie: B1.1

<ul style="list-style-type: none"> periode, trillingstijd, frequentie, uitwijking, amplitude, fase, gereduceerde fase en faseverschil; sinusfunctie <i>als plaatsfunctie</i>. 	
18.4 de energie van een harmonisch trillend voorwerp berekenen: <ul style="list-style-type: none"> kinetische en potentiële energie; energieverlies; <i>damping</i>; <i>overdracht van energie</i>; resonantie. 	zie: B1.2; C2.2
18.5 een beschrijving geven van golfverschijnselen in de natuur, de techniek en bij natuurkundige proeven: <ul style="list-style-type: none"> lopende transversale en longitudinale golven; golflengte, golfsnelheid; faseverschillen en gereduceerde fase. 	zie: B1.3
18.6 geluidsverschijnselen in de natuur, de techniek en bij eenvoudige proeven beschrijven: <ul style="list-style-type: none"> interferentiepatronen bij staande golven, knopen en buiken (niet de wiskundige beschrijving van het ontstaan ervan); muziekinstrumenten; grondtoon en boventonen; <i>antigeluid</i>. 	zie: B1.4; F1.1
18.7 <i>onderzoeken hoe geluidshinder beperkt kan worden:</i> <ul style="list-style-type: none"> <i>absorptie, reflectie, breking en interferentie</i>. 	vervallen

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$f = \frac{1}{T}, \quad v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}, \quad l = n \cdot \frac{1}{2} \lambda \quad (n=1,2,\dots),$$

$$l = (2n-1) \cdot \frac{1}{4} \lambda \quad (n=1,2,\dots).$$

Gewijzigd (zie B1):

$$u(t) = A \sin(2\pi ft), \quad \lambda = vT, \quad \vec{F}(t) = -C\vec{u}(t).$$

Vervallen:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}, \quad E_{\max} = \frac{1}{2} CA^2 = \frac{1}{2} mv_{\max}^2.$$

Subdomein E2: Licht

Het gehele subdomein is vervallen.

Subdomein E3: Elektromagnetisch spectrum (SE)

Specificaties

Herzien TF	NiNa
20. De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en toepassingen daarvan beschrijven, absorptie en emissie van licht in verband brengen met de spectraallijnen van atomen, het foto-elektrisch effect en de golf-deeltje dualiteit toelichten	Zie: E2.1; E2.5; F1.2; F1.3

Formules

Gewijzigd (zie E2):

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda}, \quad \Delta E = hf.$$

Subdomein E4: Radioactiviteit

Specificaties

Herzien TF	NiNa
21.1 de verschillende soorten ioniserende straling en hun eigenschappen beschrijven: <ul style="list-style-type: none"> • achtergrondstraling, röntgenstraling, α-, β- en γ- straling; • ioniserend en doordringend vermogen; • isotopen; röntgenbuis; • natuurlijke en kunstmatige bronnen van straling; • detectie: GM-buis, <i>bellenvat</i>, <i>dradenkamer</i>, <i>badge</i>; • fotonenergie. 	zie: A11.1; B2.1, B2.2; D2.2 (Röntgen- buis)
21.2 berekeningen maken waarbij de halveringstijd een rol speelt: <ul style="list-style-type: none"> • vervalcurve, activiteit. 	zie: B2.2; B2.3
21.3 een vervalvergelijking van een radioactieve kern opstellen als gegeven is welke straling wordt uitgezonden en reactievergelijkingen aanvullen voor beschreven kern- en deeltjesreacties door gebruik te maken van behoudsprincipes: <ul style="list-style-type: none"> • atoomnummer, massagetal, isotoop; • α -, β - -, β + -, γ -, <i>n-straling</i>, <i>K-vangst</i>. 	zie: B2.2; B2.4
21.4 de effecten bespreken van ioniserende straling op de mens en het milieu: <ul style="list-style-type: none"> • schema: bron, straling, ontvanger; • absorptie; halveringsdikte; • bestraling en besmetting; • stralingsdosis en dosisequivalent; stralingsnormen; • beschermingsmaatregelen; • afwegen van risico's. 	zie: B2.1 t/m B2.3
21.5 de energie berekenen die vrijkomt bij kernsplijting en kernfusie: <ul style="list-style-type: none"> • bindingsenergie per nucleon; • equivalentie van massa en energie; • massadefect. 	Zie: E3 (SE- keuze)
21.6 kwalitatief de werking en regeling van een kernreactor beschrijven in samenhang met veiligheidsaspecten en de invloed op natuur en milieu: <ul style="list-style-type: none"> • kernsplijting, kettingreactie; • moderator, regelstaven, kritische reactor; • kernafval. 	vervallen

Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$A = N + Z, \quad E_f = hf.$$

Gewijzigd (zie B2):

$$N(t) = N(0) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}, \quad A(t) = -\frac{\Delta N(t)}{\Delta t}, \quad A(t) = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N(t), \quad I(x) = I(0) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{d_{1/2}}}, \quad H = QD,$$

$$D = \frac{E_{\text{str}}}{m}.$$

Mogelijk vervallen (bij de subdomeinen van het schoolexamen zijn geen formules voorgeschreven):

$$E = mc^2$$

Nieuw in vergelijking met het oude programma

Specificaties

De volgende specificaties / eindtermen zijn geheel of grotendeels nieuw:

- A3; A5.7; A5.10; A6.3; A6.9; A9.2; A10; A13; A15.1; A15.3
- B1.1; B1.6; B2.4
- C1.7; C3.2
- D1.1; D1.2;
- E1 (SE-keuze), E2
- F1; F2 (SE-keuze)
- G1 (SE-keuze), G2 (SE-keuze)
- H

Formules

De volgende formules zijn nieuw (formules die anders genoteerd staan dan voorheen zijn niet hier opgenomen, maar bij de vergelijkingen tussen oud en nieuw hierboven):

bij B2:

$$c = f\lambda, \quad A = -\frac{dN}{dt}, \quad A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T_{1/2}}.$$

bij C1:

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}, \quad F_{w,\ell} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2, \quad F_{w,s,\max} = f F_N, \quad \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}.$$

bij C2:

$$E_{\text{ch}} = r_v V, \quad E_{\text{ch}} = r_m m, \quad \sum E_{\text{in}} = \sum E_{\text{uit}}.$$

bij C3:

$$E_g = -G \frac{mM}{r}$$

bij D1:

$$\sum_i I_i = 0, \quad \sum_i U_i = 0, \quad G = \frac{1}{R}, \quad U = \frac{\Delta E}{Q}, \quad I = GU, \quad I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = \dots,$$

$$U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = \dots, \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}.$$

bij D2:

$$F_{\text{el}} = f \frac{qQ}{r^2}, \quad \Delta E_{\text{el}} = qU.$$

bij E2:

$$E_f = |E_m - E_n|, \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c, \quad \lambda_{\text{max}} T = k_W, \quad I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi r^2}, \quad P_{\text{bron}} = \sigma AT^4.$$

bij F1:

$$p = mv, \quad \lambda = \frac{h}{p}, \quad \Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}, \quad E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (in eV)}, \quad E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}.$$

Bijlage 5. Nieuwe Natuurkunde¹⁴ in het centraal examen

Het nieuwe programma heeft een aantal gevolgen voor de centrale examinering. Omdat het tot stand komen van een nieuw examenprogramma een proces van jaren is, is een deel van de wijzigingen al geleidelijk zichtbaar geworden in de recente centrale examens. Kijk voor de reguliere examens en de pilotexamens die op het pilotexamen zijn afgenomen op www.cito.nl.

De meest opvallende gevolgen van het nieuwe-natuurkundeprogramma voor het centraal examen zijn:

- 1 Meer aandacht voor conceptueel begrip en redeneren bij examenvraagstukken.;
- 2 Nieuwe vraagvormen, waaronder meerkeuzevragen en korte kennisvragen;
- 3 Nieuwe onderwerpen, zowel conceptueel als contextueel.

Deze gevolgen worden hieronder kort toegelicht.

Ad 1:

Gaandeweg verschuift de nadruk bij de centrale examens natuurkunde van het maken van berekeningen richting meer conceptuele vragen en redeneervragen. Dit is een proces dat al enige tijd aan de gang is. Dit betekent niet dat wiskundige vaardigheden en rekenen niet langer van belang zijn voor natuurkunde-examens: het streven is dat in de centrale examens bij het nieuwe-natuurkundeprogramma 50% van de scorepunten te behalen is met vragen waarbij voor de beantwoording een expliciete berekening vereist is.

In de syllabus is deze tendens onder andere terug te vinden in:

- bovengenoemd streefcijfer (zie ook paragraaf 1.2);
- de specificaties bij subdomein A15;
- verschillende specificaties waar geen formule 'aan gekoppeld' is, zoals bijvoorbeeld B1.4, C1.2, D1.4, E1.1 en G1.4.

Voorbeelden van vragen, waarbij voor de beantwoording geen expliciete berekening nodig is, vindt u in hoofdstuk 3, opgaven 1 en 2.

Ad 2:

Het gaat hier niet zozeer om nieuwe inhoud, maar om andere vraagvormen. Voor voorbeelden hiervan kunt u de pilotexamens uit 2010-2015 bekijken. Zie bijvoorbeeld vwo-pilot 2010-I vraag 8 en 9.

Ad 3:

Zie bijlage 4 voor een gedetailleerde vergelijking van het nieuwe programma met het oude.

¹⁴ In navolging van de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs wordt hier gesproken over Nieuwe Natuurkunde waar het nieuwe examenprogramma natuurkunde bedoeld wordt.

Bijlage 6: 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. Ook staat er in dat een fout in één vraag niet tweemaal aangerekend mag worden, terwijl eenzelfde fout in twee verschillende vragen wel tweemaal aangerekend moet worden. Het is de bedoeling dat leerlingen 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 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 fout in de nauwkeurigheid van de uitkomst gemaakt is (zie punt 3),
 - 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. De uitkomst van een berekening mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is, tenzij in de vraag is vermeld hoeveel significante cijfers de uitkomst dient te bevatten.
4. 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 het eindantwoord vereist is. Als een leerling tussentijds bijvoorbeeld afrondt op het juiste aantal significante cijfers, kan dat een (kleine) afwijking in het eindantwoord geven. Dit wordt de leerling niet aangerekend.

Regel 2: het laatste scorepunt

Aan de hand van voorbeeld 1 wordt deze regel toegelicht.

Als een leerling 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 leerling het tweede scorepunt. Het punt voor het completeren van de berekening kan de leerling dan nog krijgen.

De volgende situatie is echter ook denkbaar:

Een leerling vult in de formule voor de weerstand de dichtheid in voor ρ en voor A de omtrek van de cirkel. Als eindantwoord noteert de leerling $l = 4,9 \cdot 10^{-11}$ m.

Redenering 1: de leerling heeft zoals gevraagd een lengte berekend en deze weergegeven in het juiste aantal significante cijfers en met de juiste eenheid. De leerling krijgt 1 punt voor het completeren.

Redenering 2: deze leerling heeft er niets van begrepen, doet eigenlijk niets goed en dus kan er van completeren ook geen sprake zijn. De leerling krijgt 0 punten.

De bedoeling is dat de leerling voor deze vraag 0 punten krijgt. In dit voorbeeld kan er namelijk geen sprake zijn van een juiste eenheid, omdat de dichtheid een andere eenheid heeft dan de soortelijke weerstand en de omtrek een andere dan de oppervlakte. De elementen van regel 2 moeten in soortgelijke gevallen voldoende zijn om vast te stellen dat 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 leerling 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 leerling 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

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 $A = \pi r^2$.

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

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

omdat krachten niet meer hoeven te worden ontbonden. Dan kan één fout naast het betreffende bolletje ook het laatste scorepunt kosten.

Regel 3: significantie

Hier ontstaat soms discussie, omdat niet duidelijk is welke vuistregels door leerlingen gehanteerd moeten worden. In subdomein A8 in deze syllabus zijn de vuistregels opgenomen.

Regel 4: gebruik van een formule

Alleen het opschrijven van de juiste formule is niet voldoende om dit scorepunt te verdienen. De leerling moet daarvoor meer doen. De leerling moet voor minstens een grootheid laten zien dat hij weet wat het betekent. Deze regel wordt toegelicht met een aantal voorbeelden.

Aan de hand van voorbeeld 2 volgt hier een vijftal opmerkingen om de bedoeling van regel 4 te verduidelijken:

- Als een leerling bij $E = Pt$, voor P 20 kW invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule wel. De leerling laat namelijk zien dat hij/zij weet dat het symbool P het vermogen is.
- Als een leerling 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 een kandidaat bij $E = Pt$, alleen voor t 60 °C invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule niet. De leerling laat namelijk zien dat hij niet weet dat het symbool t hier staat voor tijd.
- De formule hoeft niet helemaal genoteerd te zijn. Wel moet uit het antwoord het gebruik van de formule duidelijk blijken.
- De formulering 'inzicht in' is ruimer. Uit hetgeen de leerling opschrijft mag het inzicht impliciet blijken.

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 leerling dit scorepunt wel. Als voor l een lengte is ingevuld en voor ρ niets, verdient een leerling dit scorepunt niet.

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 moeten zij tot overeenstemming komen. Belangrijk hierbij is dat alleen het correctievoorschrift met eventuele aanvullingen, uitgegeven door het CvTE en gepubliceerd op Examenblad.nl, bindend is voor correctoren. Voor problemen met het correctievoorschrift kunt u altijd terecht bij de Examenlijn van het CvTE (via Examenloket@duo.nl). 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.

