



College voor Examens

# NATUURKUNDE HAVO

Syllabus centraal examen 2015  
(bij het nieuwe examenprogramma)

Augustus 2012

Centrale examens VO

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

© 2012 College voor Examens, 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

<b>Voorwoord</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Inleiding</b> .....	<b>5</b>
1.1 Natuurkunde in de tweede fase .....	5
1.2 Het centraal examen natuurkunde .....	5
1.3 Totstandkoming syllabus .....	5
1.4 Domeinindeling en CE-toekenning .....	6
<b>2. Specificaties</b> .....	<b>7</b>
2.1 Toelichting op de specificaties .....	7
2.1.1 Bekend verondersteld .....	7
2.1.2 Contexten .....	7
2.1.3 Vakbegrippen en instrumenten .....	8
2.1.4 Formules .....	9
2.1.5 Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo .....	9
2.1.6 Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen .....	10
2.2 Specificaties .....	11
Domein A. Vaardigheden .....	11
Domein B. Beeld- en geluidstechniek .....	16
Domein C. Beweging en energie .....	18
Domein D. Materialen .....	19
Domein E. Aarde en heelal .....	21
Domein G. Meten en regelen .....	22
Domein H. Natuurkunde en technologie .....	23
<b>3. Voorbeeldopgaven</b> .....	<b>24</b>
<b>Bijlage 1. Examenprogramma</b> .....	<b>46</b>
<b>Bijlage 2. Grootheden- en eenhedenoverzicht</b> .....	<b>50</b>
<b>Bijlage 3. Examenwerkwoorden bij natuurkunde</b> .....	<b>52</b>
<b>Bijlage 4. Vergelijking met vorig natuurkundeprogramma</b> .....	<b>54</b>
<b>Bijlage 5. Nieuwe Natuurkunde in het centraal examen</b> .....	<b>65</b>

# 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 Examens (CvE) 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 de 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 2015. Syllabi van eerdere jaren zijn niet meer geldig en wijken van deze versie af. Voor het examenjaar 2016 wordt een nieuwe syllabus vastgesteld. Het CvE publiceert uitsluitend digitale versies van de syllabi. Dit gebeurt via Examenblad.nl ([www.examenblad.nl](http://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.

Voor opmerkingen over syllabi houdt het CvE zich steeds aanbevolen. U kunt die zenden aan [info@cve.nl](mailto:info@cve.nl) of aan CvE, Postbus 315, 3500 AH Utrecht.

De voorzitter van het College voor Examens,  
Drs. H.W. Laan

# 1. Inleiding

Deze syllabus specificeert de eindtermen van het CE-deel van het nieuwe examenprogramma natuurkunde havo. 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 modules) ook in het vrije deel aan te bieden.

De omvang van het vak natuurkunde is voor de havo 400 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 in juni 2013 gepubliceerd op [www.examenblad.nl](http://www.examenblad.nl). Ook wordt daar dan een lijst gepubliceerd met hulpmiddelen die bij het examen zijn toegestaan. In februari 2013 wordt een vooruitblik op de regeling toegestane hulpmiddelen gegeven. Ook deze is te vinden op Examenblad.

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.

## 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 werkversie-syllabus 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 het eerste landelijke examen zal plaatsvinden in 2015. 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	Beeld- en geluidstechniek	B1	Informatieoverdracht	X		X
		B2	Medische beeldvorming	X		X
		B3*	Optica		bk*	
C	Beweging en energie	C1	Kracht en beweging	X		X
		C2	Energieomzettingen	X		X
D	Materialen	D1	Eigenschappen van stoffen en materialen	X		X
		D2	Functionele materialen		X	
E	Aarde en heelal	E1**	Zonnestelsel en heelal	X		X
		E2*	Aarde en klimaat		bk*	
F*	Menselijk lichaam				bk*	
G	Meten en regelen	G1	Gebruik van elektriciteit	X		X
		G2*	Technische automatisering		bk*	
H	Natuurkunde en technologie			X		X
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		X	
		I2	Modelstudie		X	
		I3	Ontwerp		X	

\* bk = beperkte keuze: uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen.  
Let op: D2 en I zijn verplicht voor het SE.

#### **\*\* Tijdelijke afwijking voor 2015 en 2016**

**In het centraal examen van 2015 en 2016 zullen GEEN vragen worden gesteld over subdomein E1. Het onderwerp mag 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 2017 wel vragen gesteld kunnen worden over subdomein E1.

## 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. Daarbij gaat het 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 subdomeinen vermeld worden.

#### Voorbeeld:

Bij domein B is als voorkennis opgenomen:

*het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreerde 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)activiteiten<sup>1</sup>.*

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.

#### 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.

<sup>1</sup> Bron: Boersma et al., 2003. De relatie tussen context en concept.

Te downloaden via: [www.betanova.nl](http://www.betanova.nl)

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 *niet* nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën of de werking van het instrument of apparaat kent.



Voorbeeld:

Bij specificatie G1.5 staat het apparaat 'transformator'.

De kandidaat moet bekend zijn met het natuurkundig gebruik van de transformator. *Bijvoorbeeld:* "Om twee stroomkringen (met wisselstroom) aan elkaar te koppelen, waarbij de spanning in de tweede stroomkring verhoogd / verlaagd kan worden ten opzichte van die in de eerste stroomkring gebruiken we een transformator."

De kandidaat moet deze kennis ook kunnen toepassen, bijvoorbeeld bij het beschrijven van het transport van elektriciteit door hoogspanningskabels.

De kandidaat hoeft de werking van het apparaat en de achterliggende theorie rond elektromagnetisme en inductie 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 gelijkkluidend 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 bij vwo zijn formeler dan bij havo,

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

## 2.1.6 Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen

Iedere domeinspecificatie is op dezelfde wijze opgezet:

### **Domein**

***Bekend verondersteld:*** (Zie paragraaf 2.1.1)

De kandidaat kan:

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

- ...

De kandidaat kent:

*Beschrijvende kennis*

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

Subdomein + naam

### ***Eindterm***

*Eindterm uit het examenprogramma*

### ***Specificaties***

De kandidaat kan:

x. *Specificatie*

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

y. *Specificatie*

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

z. *Specificatie ...*

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

## 2.2 Specificaties

### Domein A. Vaardigheden

De vaardigheden zijn onderverdeeld in drie categorieën:

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

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

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

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

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

Subdomein A1. Informatievaardigheden gebruiken

#### **Eindterm**

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

Subdomein A2. Communiceren

#### **Eindterm**

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

Subdomein A3. Reflecteren op leren

#### **Eindterm**

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

Subdomein A4. Studie en beroep

#### **Eindterm**

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

Subdomein A5. Onderzoeken

#### **Eindterm**

De kandidaat kan in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. 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;*
- 2. een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meer) onderzoeksvraag(en);*

3. verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;
4. waar nodig 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 meer) onderzoeksvra(a)g(en);
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 probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. 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. 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 beargumenteerde schatting maken voor parameterwaarden van een model op basis van gegevens;*

5. toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van een model;
6. een model met een geschikte tijdstap doorrekenen;
7. een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens;
8. 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 bewerkingen<sup>2</sup>.

##### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen *mede met behulp van ICT*:
  - gegevens halen uit grafieken, tabellen, tekeningen, simulaties, schema's en diagrammen;
  - grootheden, eenheden, symbolen, formules en gegevens opzoeken in geschikte tabellen;
2. informatie, gegevens en meetresultaten analyseren, weergeven en structureren in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen *mede met behulp van ICT*;
3. uitleggen wat bedoeld wordt met de significantie van meetwaarden en uitkomsten van berekeningen weergeven in het juiste aantal significante cijfers,
  - 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;
  - gehele getallen die verkregen zijn door discrete objecten te tellen, vallen niet onder de regels van significante cijfers (dit geldt ook voor wettelijke 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.

---

<sup>2</sup> Zie voor de specificaties van de rekenkundige bewerkingen subdomein A12.

## 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 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, luidspreker, microfoon, oscilloscoop, GM-teller;
    - krachtmeter, hefboom, luchtkussenbaan, stroboscoop;
    - (vloeistof)thermometer, joulemeter, veer;
    - voedingsapparaat, regelbare weerstand;
2. gebruik maken van kennis over ICT-toepassingen voor het uitvoeren van experimenten met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
  - in elk geval de volgende toepassingen:
    - computer met sensoren, lichtpoortje;
    - videometen, meetprogrammatuur;
    - 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;
  - het volume berekenen van een balk en een cilinder;
2. wiskundige technieken toepassen,
  - herleiden van formules;
  - redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
  - oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen;
  - toepassen van  $x^n$ ;
  - 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;
  - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
  - aflezen van diagrammen, waaronder diagrammen met asonderbrekingen;
  - interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;
  - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
  - de oppervlakte onder een grafiek bepalen;
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. Beeld- en geluidstechniek

### **Bekend verondersteld:**

De kandidaat kent:

- de volgende verschijnselen:
  - geluid;
  - echo;
- de volgende verbanden:
  - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidssterkte van de geregistreerde toon;
  - het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreerde toon.

### Subdomein B1. Informatieoverdracht

#### **Eindterm**

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

#### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. trillingsverschijnselen analyseren,
  - vakbegrippen: uitwijking, amplitude, periode, harmonische trilling;
2. berekeningen maken aan de eigentrilling van een massa-veersysteem,
  - vakbegrippen: eigenfrequentie, resonantie;
3. golfverschijnselen analyseren,
  - vakbegrippen: lopende golf, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal;
4. bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium met behulp van een tekening toelichten,
  - 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 beschrijven<sup>3</sup>,
  - vakbegrippen: radiogolf, draaggolf, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, bandbreedte, kanaalscheiding;
  - minimaal in de context: telecommunicatie (tv, radio, telefoon).

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$f = \frac{1}{T} \quad v = f\lambda$$
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$$

### 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

---

<sup>3</sup> Kandidaten hoeven kennis en vaardigheden uit deze specificatie *niet wendbaar* te kunnen toepassen.



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 bepalen uit een  $(N,t)$ -diagram en de gemiddelde activiteit berekenen;
  - de vergelijking opstellen van een vervalreactie;
  - vakbegrippen: stralingsbron, radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, atomaire massa-eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling,  $\alpha$ -,  $\beta$ - en  $\gamma$ -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,
  - berekeningen maken alleen bij een geheel aantal halveringstijden of halveringsdiktes;
  - 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 beargumenteren<sup>4</sup>,
  - beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;
  - natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, ultrasone geluidsgolf, geluidssnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

$$A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} \quad A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$$

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

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{d}{d_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

---

<sup>4</sup> Kandidaten hoeven kennis en vaardigheden uit deze specificatie *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

## Domein C. Beweging en energie

### **Bekend verondersteld:**

De kandidaat kent:

- het volgende vakbegrip:
  - energieopslag.

Subdomein C1. Kracht en beweging

### **Eindterm**

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

### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. berekeningen maken aan eenparige rechtlijnige bewegingen;
2. eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen:
  - de volgende bewegingen herkennen: eenparige rechtlijnige beweging, eenparig versnelde of 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, zo nodig met behulp van een raaklijn;
  - uit een  $(v,t)$ -diagram de (val)versnelling op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn;
  - uit een  $(v,t)$ -diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen met behulp van de oppervlakte onder de kromme;
3. krachten op een systeem aan de hand van een vectortekening analyseren, waaronder het samenstellen van en ontbinden in componenten met behulp van een parallellogram en het bepalen van de grootte en/of richting van krachten uit een vectortekening,
  - krachten: zwaartekracht, schuifwrijvingskracht, rolweerstandsskracht, luchtweerstandskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
4. de eerste wet van Newton uitleggen en toepassen;
5. de tweede wet van Newton uitleggen en toepassen;
6. de hefboomwet toepassen op stilstaande voorwerpen waarop twee krachten werken, waarvan de werklijnen niet door het draagpunt gaan,
  - vakbegrippen: zwaartepunt, aangrijpingspunt;
  - minimaal in de context: menselijk lichaam.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

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

$$v = \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}} \quad a = \left( \frac{\Delta v}{\Delta t} \right)_{\text{raaklijn}}$$

$$F_z = mg \quad F_v = Cv$$

$$F_{\text{res}} = ma$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

## Subdomein C2. Energieomzettingen

### **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,
  - berekenen van arbeid uit kracht en verplaatsing alleen in situaties waarbij de richting van de kracht evenwijdig is aan de verplaatsing;
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 en verticale worp;
  - energieën: kinetische energie, zwaarte-energie, chemische energie, warmte;
  - vakbegrip: wrijvingsarbeid;
  - minimaal in de contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$W = Fs$$

$$P = \frac{E}{t} \quad P = \frac{W}{t} \quad P = Fv$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_z = mgh$$

$$E_{\text{ch}} = r_v V \quad E_{\text{ch}} = r_m m$$

$$W_{\text{tot}} = \Delta E_k \quad E_{\text{tot,in}} = E_{\text{tot,uit}}$$

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

## **Domein D. Materialen**

### **Bekend verondersteld:**

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen<sup>5</sup> maken met de volgende formule:

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

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
  - molecuul, atoom.

---

<sup>5</sup> Een eenvoudige berekening is een berekening met *maximaal twee* denkstappen.

## Subdomein D1. Eigenschappen van stoffen en materialen

### **Eindterm**

De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. het moleculaire model van materie gebruiken bij het verklaren van fasen en faseovergangen,
  - vakbegrippen: gas, vloeistof, vaste stof, smelten, stollen, verdampen, condenseren, sublimeren;
2. warmtetransport verklaren met behulp van materiemodellen,
  - het verband tussen de warmtestroom en de thermische geleidbaarheid van een stof uitleggen en eenvoudige berekeningen<sup>6</sup> aan de warmtestroom<sup>7</sup> maken;
  - vakbegrippen: geleiding, stroming, straling;
  - minimaal in de context: energiebesparing door isolatie;
3. temperatuurveranderingen van een stof beschrijven als gevolg van het toe- of afvoeren van warmte,
  - temperatuur beschrijven in termen van beweging van deeltjes en uitleggen dat er een absoluut nulpunt bestaat;
  - soortelijke warmte als stoffeigenschap;
  - omrekenen van graden celcius naar kelvin en omgekeerd;
4. het verband tussen de dichtheid en de soortelijke warmte bij metalen beschrijven en verklaren,
  - vakbegrip: atomaire massa;
5. het verband tussen de warmtegeleiding en elektrische geleiding bij metalen beschrijven en verklaren,
  - vakbegrip: geleidingselectron;
6. spanning-rekdiagrammen interpreteren in termen van elastische en plastische vervorming en berekeningen maken aan elastische vervormingen,
  - vakbegrip: treksterkte<sup>8</sup>.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$Q = cm\Delta T$$

$$P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

---

<sup>6</sup> Een eenvoudige berekening is een berekening met *maximaal twee* denkstappen.

<sup>7</sup> Onder warmtestroom wordt verstaan: de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid door een wand gaat. Hierbij mag de invloed van de luchtlagen aan weerszijden van de wand verwaarloosd worden.

<sup>8</sup> De treksterkte is de spanning waarbij een draad of staaf gaat vloeien.

## Domein E. Aarde en heelal

### Subdomein E1. Zonnestelsel en heelal

#### **Eindterm**

De kandidaat kan het ontstaan en de ontwikkeling van structuren in het heelal beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren aan de hand van fysische principes.

#### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. de structuur van het zonnestelsel beschrijven,
  - waarnemingen van maanfasen en de hemelbaan van zon, maan en sterren interpreteren;
  - vakbegrippen: planeet, komeet, meteoriet;
2. 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;
3. de baan van planeten om de zon en van maan en satellieten om de aarde analyseren met behulp van de gravitatiekracht,
  - uitleggen hoe de valversnelling aan het planeetoppervlak afhangt van de massa en de straal van de planeet;
  - vakbegrippen: ellipsbaan, geostationaire baan;
4. de verschillen tussen het heliocentrisch en het geocentrisch wereldbeeld benoemen en daarbij aangeven wat de invloed van deze verandering van het wereldbeeld op het menselijk denken is geweest;
5. het ontstaan, de structuur en de ontwikkeling van het heelal beschrijven,
  - uitleggen hoe de afstand van een ster tot de waarnemer en de tijd tussen uitzenden en waarnemen van het licht van de ster met elkaar samenhangen;
  - structuren: cluster, sterrenstelsel, planetenstelsel;
  - vakbegrippen: oerknal, uitdijend heelal, lichtsnelheid, lichtjaar, Melkweg, zonnestelsel;
6. beschrijven hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht vanaf de aarde en vanuit de ruimte en dat een deel van die elektromagnetische straling afkomstig is van de warmtestraling van de zon en andere sterren,
  - de verschillende onderdelen van het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van deze stralingssoorten beschrijven: gammastraling, röntgenstraling, ultraviolet, (zichtbaar) licht, infrarood, radiogolven, microgolven;
  - de wet van Wien gebruiken;
  - instrumenten: optische telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}$$

$$F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} \quad v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$\lambda_{\text{max}} T = k_W$$

## Domein G. Meten en regelen

### **Bekend verondersteld:**

De kandidaat kan:

- schakelschema's tekenen en interpreteren.

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
  - geleider, isolator.

Subdomein G1. Gebruik van elektriciteit

### **Eindterm**

De kandidaat kan opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren aan de hand van fysische begrippen.

### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning,
  - de definities van stroomsterkte en soortelijke weerstand gebruiken;
  - vakbegrippen: vrij elektron, ion, afstotende en aantrekkende elektrische kracht, spanningsbron;
2. stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid,
  - bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen<sup>9</sup> 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;
3. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren,
  - berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur;
  - minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing;
4. de energie-omzetting bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid<sup>10</sup>,
  - opwekkingsvormen: kerncentrale, conventionele (fossiele brandstof) centrale, waterkrachtcentrale, zonnecel, waterstofcel, windturbine;
  - apparaat: generator;
5. verschillende vormen van transport en opslag van elektriciteit beschrijven<sup>11</sup>,
  - opslagvormen: batterij, accu, waterstofcel;
  - apparaat: transformator.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

$$I = \frac{Q}{t} \quad \rho = \frac{RA}{\ell}$$

---

<sup>9</sup> Een eenvoudige berekening is een berekening met *maximaal twee* denkstappen.

<sup>10</sup> Kandidaten hoeven de kennis uit deze specificatie *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

<sup>11</sup> Zie voetnoot 10.

$$I = GU \quad U = IR$$

Voor een serieschakeling:

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

Voor een parallelschakeling:

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

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

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

## Domein H. Natuurkunde en technologie

### **Eindterm**

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

### **Specificatie**

De kandidaat kan:

1. voorbeelden die passen bij de specificaties van de havodomeinen uit deze syllabus gebruiken om de wederzijdse beïnvloeding van technologie en natuurkundige kennis toe te lichten;
2. fysische principes en wetmatigheden toepassen op technologische ontwikkelingen en daarbij in deze syllabus gespecificeerde natuurkundige kennis hanteren,
  - principes: model als vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, analogie, denken in ordes van grootte;
  - wetmatigheden: wet van behoud van energie, wetten van Newton (eerste en tweede).

### 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 zal er bij de definitieve syllabus een voorbeeldexamen gepubliceerd worden. Daarnaast kunnen de pilotexamens een goed beeld geven van de te verwachten centrale examens vanaf 2015. Pilotexamens zijn de examens die op de pilotscholen van het nieuwe natuurkundeprogramma in de jaren 2009-2014 zijn/worden afgenomen. Deze examens zijn geconstrueerd aan de hand van de werkversies van de syllabus bij het experimentele examenprogramma natuurkunde.

- De pilotexamens van de laatste drie jaar zijn te vinden op [www.cito.nl](http://www.cito.nl) via Examenkandidaten – Centrale Examens – Schriftelijke examens havo/vwo (oudere pilotexamens zijn bijvoorbeeld te vinden op de website van de NVON);
- De werkversies van de syllabus (die ten grondslag liggen aan de pilotexamens) zijn te vinden op [www.cve.nl](http://www.cve.nl) via Onderwerpen – Centrale examens VO – Vakvernieuwingen – Natuurkunde havo/vwo.



## Redeneren met verbanden

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

Opgave 1 en 2 bevatten voorbeelden van opgaven waarin het redeneren met verbanden centraal staat.

Opgave 1 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein G1 Gebruik van elektriciteit.

Opgave 2 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein D1 Eigenschappen van stoffen en materialen.

### Opgave 1 Elektrische deken

In een elektrische deken zitten twee even lange verwarmingsdraden. Door de draden op verschillende manieren op de netspanning aan te sluiten, heeft de deken drie verwarmingsstanden: I, II en III.

In figuur 1 is getekend hoe de draden op de netspanning zijn aangesloten in stand I.

De weerstand van de draad tussen de punten A en C is gelijk aan de weerstand van de draad tussen de punten B en C:  $R_{AC} = R_{BC} = 529 \Omega$ .

De weerstand tussen de punten A en B, die op de netspanning zijn aangesloten, is in stand I gelijk aan  $1058 \Omega$ .

- 1 Leg dit uit met behulp van figuur 1.

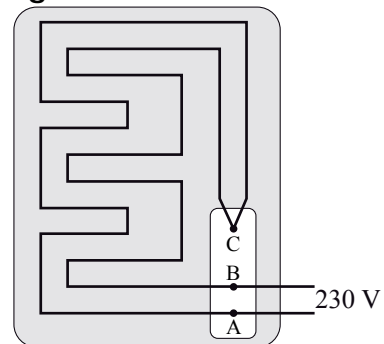
In stand II zijn de punten A en C op de netspanning aangesloten. Zie figuur 2.

- 2 Leg uit dat de weerstand in stand II tweemaal zo klein is als de weerstand in stand I.

In stand III blijven de punten A en C aangesloten op de netspanning, maar zijn de punten A en B met elkaar verbonden. Zie figuur 3.

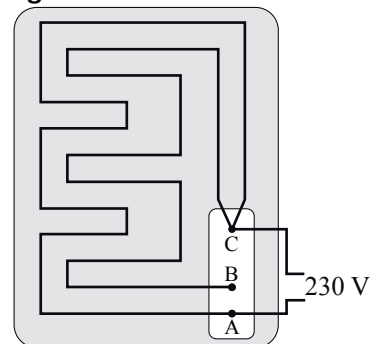
- 3 Leg uit dat het vermogen in stand III tweemaal zo groot is als het vermogen in stand II.

figuur 1

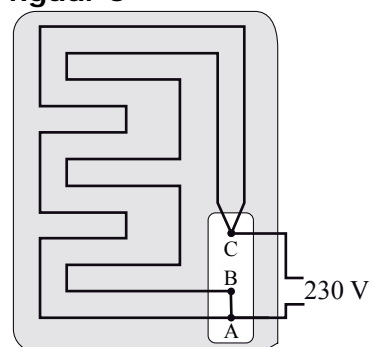


stand I

figuur 2



figuur 3 stand II



stand III

## antwoorden

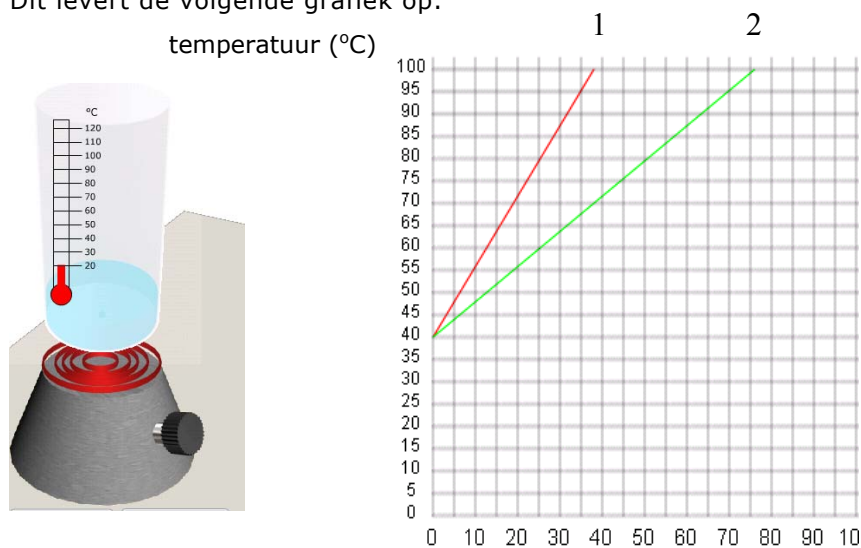
- 1 In deze stand zijn de draden in serie geschakeld, dus
$$R_{AB} = R_{AC} + R_{BC} = 529 + 529 = 1058 \Omega$$
- 2 In stand II loopt er alleen een elektrische stroom door de draad AC.
$$R_{AC} = 529 \Omega$$
 en dat is inderdaad tweemaal zo klein als de weerstand in stand I.
- 3 In stand III zijn de twee draden parallel geschakeld.  
Dus de stroomsterkte in stand III is tweemaal zo groot als die in stand II.  
Daaruit volgt dat het vermogen in stand III inderdaad tweemaal zo groot is als het vermogen in stand II (want  $P = UI$ ).

## Opgave 2 Vloeistoffen verwarmen

In een experiment worden gelijke hoeveelheden water en een andere vloeistof op twee gelijke verwarmingselementen verwarmd.

De temperatuur wordt gemeten als functie van de tijd.

Dit levert de volgende grafiek op.



- 4 | Leg uit welke stof, 1 of 2, de grootste soortelijke warmte heeft.

## antwoord

- 4 Er geldt:  $Q = cm\Delta t$ . De massa is in beide gevallen gelijk. In gelijke tijden levert het verwarmingselement een gelijke hoeveelheid warmte.  
In gelijke tijden is de temperatuurstijging van vloeistof 2 het kleinst.  
Dus is de soortelijke warmte van stof 2 het grootst.

## Afleiden van eenheden

In specificatie A 12.3 staat dat een leerling eenheden moet kunnen afleiden. Opgave 3 bevat daarvan een voorbeeld.

Opgave 3 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein B1 Informatieoverdracht.

### Opgave 3 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);
- $\ell$  de lengte van de snaar (in m);
- $m$  de massa van de snaar (in kg).

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

### antwoord

- 5 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  $\ell$  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 4 bevat een voorbeeld van het afleiden van een formule, waarbij substitutie moet worden toegepast.

Opgave 4 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein D1 Eigenschappen van stoffen en materialen.

## Opgave 4 Kruiken

Babybedjes worden vaak nog verwarmd met kruiken.  
Meestal is dat een roestvrij stalen fles die gevuld is met heet water. Zie figuur 1.

Om de warmteafgifte van een kruik te bepalen, wordt tijdens het afkoelen van beide kruiken een (temperatuur,tijd)-diagram opgemeten.

In het eerste uur van de meting geldt voor de afgegeven warmte  $Q$  het volgende verband:

$$Q = c\rho V\Delta T$$

Hierin is:

$c$  de soortelijke warmte in  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ;

$\rho$  de dichtheid in  $\text{kgm}^{-3}$ ;

$V$  het volume in  $\text{m}^3$ ;

$\Delta T$  het temperatuurverschil in  $^{\circ}\text{C}$ .

- 6 Leid dit verband af met behulp van formules uit Binas.

### antwoord

- 6 Voor de warmte die wordt afgegeven geldt:  $Q = cm\Delta T$ .  
Voor de massa  $m$  geldt:  $m = \rho V$ . Invullen levert:  $Q = c\rho V\Delta T$ .

figuur 1



## Schatten

*In eindterm A15.1 staat dat een leerling een beredeneerde schatting moet kunnen maken. Opgave 5 en 6 bevatten voorbeelden van schattingen. Duidelijk wordt dat een schatting op verschillende manieren bevroegd 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.*

*In Opgave 5 is dit gedaan door meerdere alternatieven te geven waaruit de leerling een beredeneerde keuze moet maken.*

*In Opgave 6 wordt ook extra aangegeven wat de leerling moet doen.*

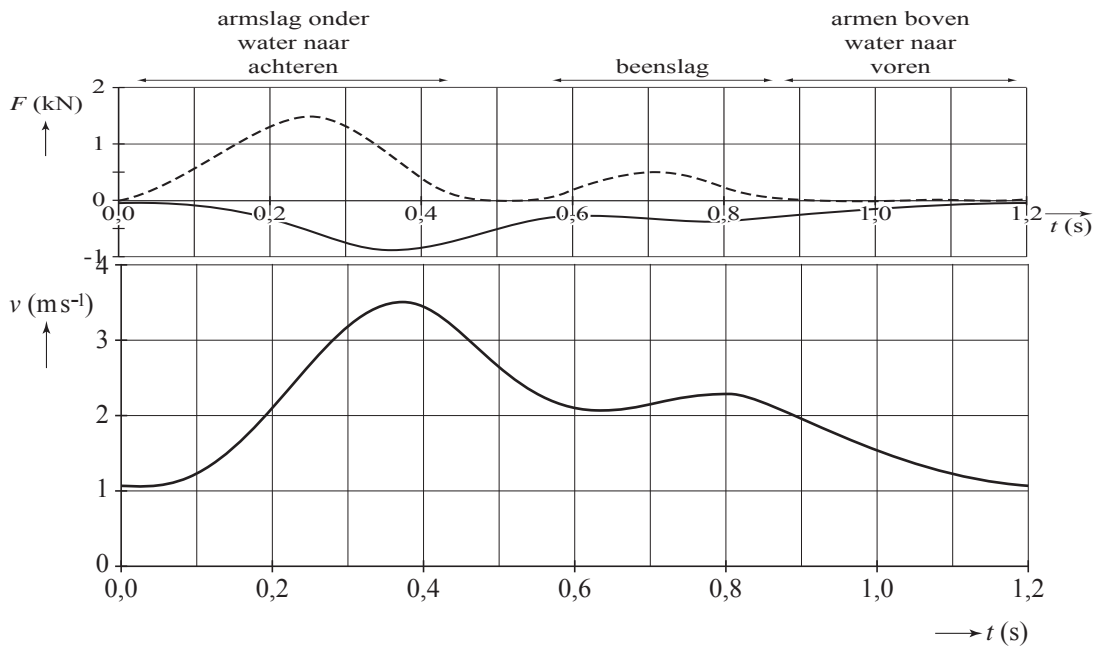
*Opgave 5 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein C2 Energieomzettingen.*

*Opgave 6 is een voorbeeld van een opgave uit het subdomein C1 Kracht en beweging.*

## Opgave 5 Vijftig meter vlinderslag

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

figuur 1



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:

- 0,09 kJ
- 0,3 kJ
- 0,9 kJ
- 3,0 kJ

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

**antwoord**

7 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:  $W = 0,7 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 0,5 = 0,9$  kJ.

Dus antwoord c is juist.

**Opgave 6 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 1/30 seconde.

De wielen van de gefotografeerde auto hebben in werkelijkheid een diameter van 65 cm.

figuur 1



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

**antwoord**

- 8 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.

Voor de snelheid geldt dan:  $v = \frac{s}{t} = \frac{1,5 \cdot 0,65}{\frac{1}{30}} = 29 \text{ m s}^{-1}$ .

## Nieuwe onderwerpen

In de volgende voorbeeldopgaven worden delen van de specificaties B t/m H toegelicht.

## B1 Informatieoverdracht

### **(u,t)-en (u,x)-diagrammen interpreteren**

*In specificatie B1.5 staat dat een leerling uit een (u,t)-en (u,x)-diagram de fysische eigenschappen moet kunnen bepalen.*

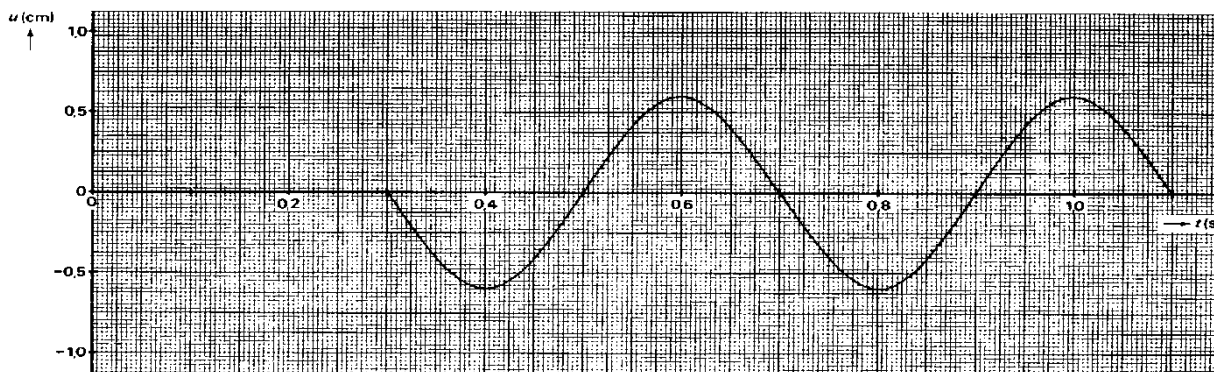
*Vraag 9 is een voorbeeld van de manier waarop deze leerstof gekend moet worden.*

*Vraag 10 is een voorbeeld van wendbaarheid van kennis. Het is een vraag in de context van B1 Informatieoverdracht, maar die leerstof bevat uit het domein C1 Kracht en beweging. Omdat in de inleiding van de vraag daar op gewezen wordt, mag de vraag zo gesteld worden.*

## Opgave 7 Golf

RS is een lang horizontaal koord. Punt R begint op  $t = 0$  harmonisch te trillen. R voert slechts twee volledige trillingen uit. Hierdoor ontstaat een lopende transversale golf in het koord. Deze golf bereikt een punt Q dat 1,8 m van R ligt, op het tijdstip  $t = 0,30$  s. In figuur 1 is het  $(u, t)$ -diagram weergegeven van punt Q. Een positieve uitwijking  $u$  is een naar boven gerichte uitwijking.

figuur 1



- 9 Bepaal de golflengte van de lopende golf.

Figuur 1 kan opgevat worden als het  $(x, t)$ -diagram van de beweging van punt Q

Figuur 1 is vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage

- 10 Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de snelheid van punt Q op het tijdstip  $t = 0,65$  s.

### antwoorden

- 9 Er geldt:  $\lambda = vT$ .

De trillingstijd  $T$  is af te lezen uit de grafiek. Deze bedraagt 0,4 s.

Uit de grafiek blijkt dat de golf een afstand van 1,8 m aflegt in 0,3 s.

$$\text{Dus geldt: } v = \frac{s}{t} = \frac{1,8}{0,3} = 6,0 \text{ m s}^{-1}.$$

$$\text{Dus geldt } \lambda = vT = 6,0 \cdot 0,4 = 2,4 \text{ m.}$$

- 10 Er geldt:  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

De snelheid op het tijdstip  $t = 0,65$  s komt overeen met de helling van de raaklijn aan de grafiek in dat punt.

$$v = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$$

# B1 Informatieoverdracht

*Subdomein B1 gaat over informatieoverdracht.*

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

*Opgave 8 bevat voorbeelden van informatieoverdracht in het heelal.*

## Opgave 8 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 1,88 GHz uit (uplink), waarvan de frequentie na ontvangst in Pioneer-10 met een factor 1,10 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 1,10 zorgt ervoor dat de uplink- en downlink-signalen in gescheiden kanalen zitten.

- 11 Toon dat met een berekening aan.
- 12 Leg uit of hier sprake is van amplitudemodulatie of van frequentiemodulatie
- 13 Waarom is kanaalscheiding noodzakelijk?

### antwoorden

- 11 De downlink draaggolf heeft een frequentie van  $1,10 \cdot 1,88 \text{ GHz} = 2,07 \text{ GHz}$ .  
Voor de grootste frequentie van de uplink geldt:  $f = 1,88 \cdot 10^9 + 20 \cdot 10^6 = 1,90 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ .  
Voor de kleinste frequentie van de downlink geldt:  
 $f = 2,07 \cdot 10^9 - 20 \cdot 10^6 = 2,05 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ .  
(De grootste frequentie in de uplink is dus kleiner dan de kleinste frequentie in de downlink.)
- 12 Bij frequentiemodulatie wordt de informatie aan de draaggolf toegevoegd door de frequentie te variëren. (Bij amplitudemodulatie wordt de hoogte van de draaggolf gevarieerd) Dus is hier sprake van frequentiemodulatie.
- 13 Het antwoord moet het inzicht bevatten dat de twee signalen elkaar anders kunnen storen.



Specificaties B1.1 t/m B1.5 bevat kennis over trillingen en golven.

Opgave 9 bevat voorbeelden hoe de golftheorie getoetst kan worden. Er kan gevraagd worden om een staande golf te tekenen en daaruit de golflengte te bepalen en eventueel daarmee de toonhoogte te berekenen.

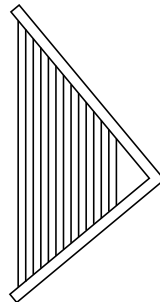
### Opgave 9 Harp

Al in het oude Egypte speelde men harp. Op de foto in figuur 1 zie je een Egyptenaar een hoekharp bespelen. In figuur 2 is de hoekharp schematisch getekend. De snaren van deze hoekharp zijn allemaal even dik, van hetzelfde materiaal en met dezelfde spankracht gespannen.

figuur 1



figuur 2



Als een snaar wordt aangetokkeld, gaat hij trillen. De golfsnelheid in elke snaar is  $4,0 \cdot 10^2$  m s<sup>-1</sup>. Eén van de snaren heeft een lengte van 45 cm.

- 14 Bereken de frequentie van de grondtoon van deze snaar.
- 15 Leg uit of een langere snaar een hogere of een lagere grondtoon geeft.

Als een snaar trilt, kan de harpist de eerste boventoon laten horen door op de juiste plek de snaar met een vinger licht te dempen.

Op de uitwerkbijlage is de snaar twee keer getekend.

- 16 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef op de uitwerkbijlage de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de grondtoon.
  - Geef op de uitwerkbijlage de plaats van de knoop/knopen (K) en buik/buiken (B) aan bij een snaar die trilt in de eerste boventoon.
  - Geef in de tekening van de grondtoon met een pijltje aan waar de harpist de snaar licht gedempt heeft.

Een andere snaar heeft een lengte van 95 cm. Van deze snaar kan de harpist de tweede boventoon laten klinken.

- 17 Maak een tekening van de staande golf in deze snaar (met knopen en buiken) en bepaal daarmee frequentie van de toon van die snaar.

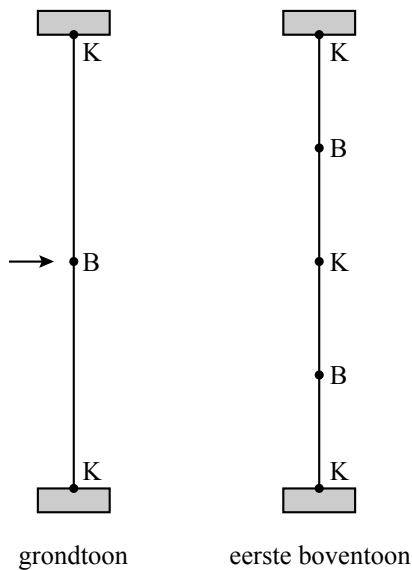
### antwoorden

- 14 De lengte van de snaar is gelijk aan een halve golflengte:  $0,5\lambda = 45$  cm.  
Hieruit volgt dat de golflengte  $\lambda = 90$  cm.

Er geldt:  $v = f\lambda$ , dus  $f = \frac{4,0 \cdot 10^2}{0,90} = 4,4 \cdot 10^2$  Hz.

- 15 Als de snaar langer is, is de golflengte groter. Omdat de golflengte en de frequentie omgekeerd evenredig zijn (volgens  $\lambda = \frac{v}{f}$ ) is de frequentie dus kleiner (de grondtoon is dus lager).

16



- 17 De lengte van de snaar is gelijk aan anderhalve golflengte:

Dus geldt  $\lambda = \frac{1,10}{1,5} = 0,733 \text{ m}$ .

Er geldt:  $v = f\lambda$ , dus  $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{4,0 \cdot 10^2}{0,733} = 5,5 \cdot 10^2 \text{ Hz}$ .

## B2 Medische beeldvorming

*In specificatie B2.2 staat aangegeven dat de leerling uit een (N,t)-diagram de activiteit op een bepaald moment moet kunnen bepalen. Opgave 10 bevat daar een voorbeeld van.*

*In specificatie B2.4 staat dat een leerling verschillende beeldvormingstechnieken moet kunnen beschrijven aan de hand van hun natuurkundige achtergrond. Opgave 11 bevat daar een voorbeeld van.*

### Opgave 10 Radon

Radon is een radioactief edelgas. Het komt vrij uit bouw materiaal en is daarom in vrijwel alle gebouwen aanwezig.

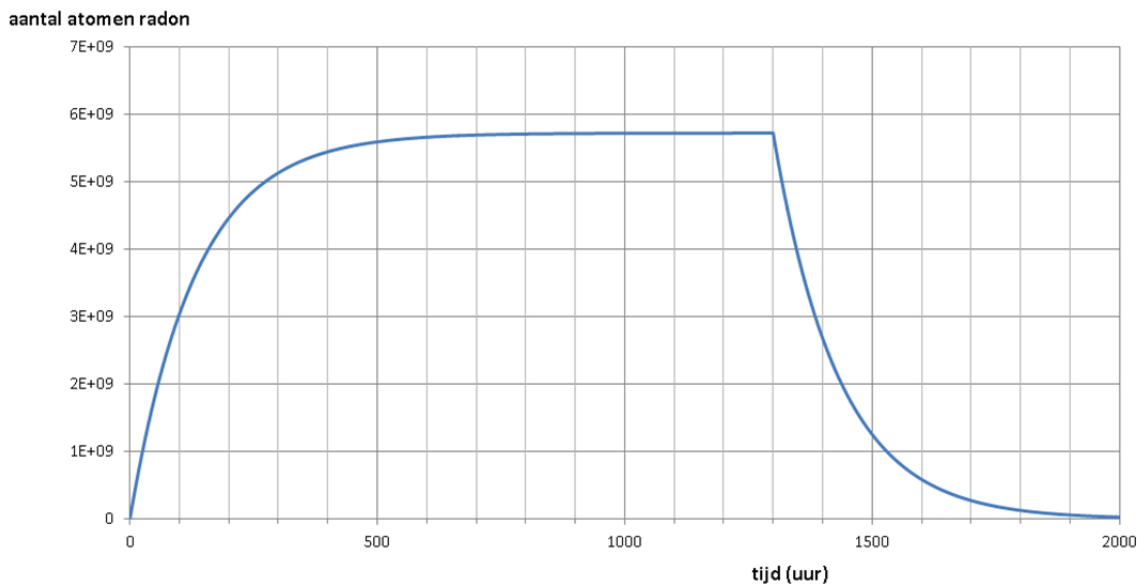
Men voert een experiment uit om de hoeveelheid van radongas te onderzoeken. Een afgesloten kamertje heeft muren die aan de binnenkant afgedekt zijn met metalen platen. De platen zorgen ervoor dat er geen radon vanuit de muur de kamer binnenkomt. De kamer is op dat moment gevuld met radonvrije lucht.

Dan haalt men de platen weg, zodat er radon in de kamer komt. De toevoer van radon gebeurt in een constant tempo.

Elke dag wordt van een kleine hoeveelheid lucht bepaald hoeveel radonatomen er in zitten; en daarmee wordt het totaal aantal atomen radon in het kamertje

berekend. De meetresultaten zijn verwerkt in figuur 1.

**figuur 1**



De hoeveelheid lucht die elke dag onderzocht wordt bedraagt  $5,0 \text{ cm}^3$ . Op dag 40 vond men daarin  $3,6 \cdot 10^3$  atomen radon.

- 18** Bereken het volume van de kamer in  $\text{m}^3$ .

Op  $t = 1300$  uur werden de metaalplaten teruggeplaatst. Er vindt dan geen toevoer van radon meer plaats; er is alleen sprake van verval.

- 19** Onderzoek op welk isotoop van radon de grafiek betrekking heeft. Bepaal daartoe eerst de halveringstijd van het radon.
- 20** Bepaal de activiteit (in Becquerel) van het radon op het tijdstip dat de metaalplaten werden teruggeplaatst.

Het experiment stelt de onderzoekers in staat om het tempo van het vrijkomen van radon te berekenen.

- 21** Leg uit hoe.

### antwoorden

- 18** Dag 40 komt overeen met  $t = 960$  uur. Op dat moment zijn in de kamer  $5,7 \cdot 10^7$  radonatomen. In een volume van  $5,0 \text{ cm}^3$  bevinden zich  $3,6 \cdot 10^3$  radonatomen.

Dus het volume van de kamer bedraagt  $\frac{5,7 \cdot 10^9}{3,6 \cdot 10^3} \cdot 5,0 \text{ cm}^3 = 7,9 \cdot 10^6 \text{ cm}^3 = 7,9 \text{ m}^3$ .

- 19** Aflezen uit de figuur levert dat de halveringstijd van het gas ongeveer 100 uur bedraagt. Opzoeken in Binas levert op dat het alleen Rn-222 kan zijn.

- 20** Op  $t = 1300$  uur worden de platen teruggeplaatst.

Voor de activiteit geldt:  $A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}} = \frac{5,7 \cdot 10^9}{150 \cdot 3600} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ Bq}$

- 21 Vanaf  $t = 0$  s ontstaat radon. Omdat dit ook vervalst is na verloop van tijd ( na  $t = 800$  uur) het aantal radonatomen constant.  
De helling van de raaklijn op  $t = 0$  s geeft dus het tempo van de radonproductie aan.

### Opgave 11 Echoscopie

Naast ultrasone geluidsgolven wordt bij medisch onderzoek ook röntgenstraling toegepast. Röntgenstraling verschilt onder andere in voortplantingsnelheid, frequentie en ioniserend vermogen van ultrasone geluidsgolven.

- 22 Geef aan hoe röntgenstraling met betrekking tot deze drie aspecten verschilt van ultrasone geluidsgolven.

### beoordelingsmodel

- 22 1 Röntgenstraling plant zich voort met de lichtsnelheid en ultrasone geluidsgolven met de geluidssnelheid.  
2 Röntgenstraling heeft een (veel) hogere frequentie dan ultrasone geluidsgolven.  
3 Röntgenstraling heeft een ioniserend vermogen en ultrasone geluidsgolven niet.

## D1 Eigenschappen van stoffen en materialen

*Subdomein D1 gaat over eigenschappen van stoffen en materialen.*

*Opgave 12 is een voorbeeld van een opgave hierover.*

*Vraag 23 en 24 bevatten een meer gesloten manier van vragen.*

*Vraag 26 bevat een voorbeelden van een vraag over soortelijke warmte.*

*Vraag 27 en 28 zijn voorbeelden van redeneren en rekenen met warmtestroom.*

*In specificatie D1.6 staat dat een leerling spanning-rekdiagrammen moet kunnen interpreteren. Opgave 13 is een voorbeeld van een opgave hierover.*

### Opgave 12 Vleermuis in winterslaap

In koude streken houden vleermuizen een winterslaap. Bij een omgevingstemperatuur van  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  laten ze hun lichaamstemperatuur van  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalen tot enkele tienden graden Celsius boven de buitentemperatuur. De hoeveelheid vet die ze dan per dag verbranden is daardoor veel kleiner dan de hoeveelheid vet die ze bij een lichaamstemperatuur van  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  zouden verbranden.

Op de uitwerkbijlage staat een zin waarin op drie plekken woorden ontbreken. Voor iedere lege plek is een aantal alternatieven gegeven waaruit je een keuze moet maken.

- 23 Maak de zin op de uitwerkbijlage kloppend door voor iedere lege plek het juiste alternatief te omcirkelen.

Tijdens de winterslaap is 1 het lichaam van de vleermuis en de omgeving kleiner dan tijdens het waken. Daardoor is 2 per seconde wordt afgestaan aan de omgeving 3 en hoeft de vleermuis minder vet te verbranden.

figuur 1



Alternatieven voor plek 1:

- a de temperatuur tussen
- b het temperatuurverschil tussen
- c de temperatuurtoename van
- d de temperatuurafname van

Alternatieven voor plek 2:

- a de warmte die
- b het warmteverschil dat
- c temperatuur die

Alternatieven voor plek 3:

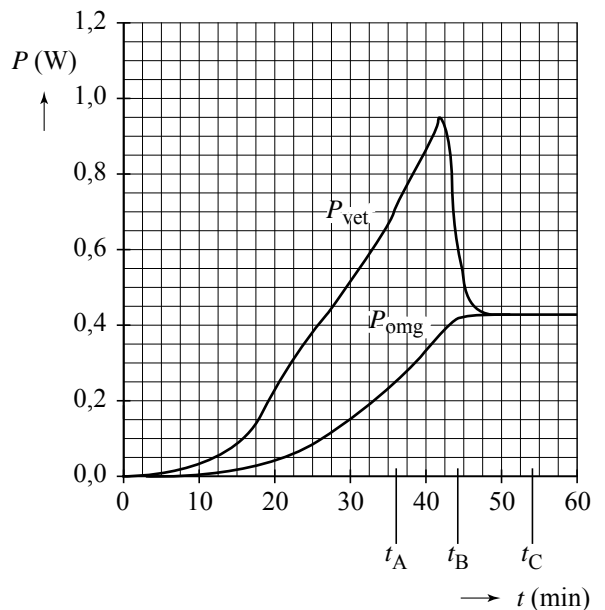
- a kleiner
- b groter
- c gelijk

Een vleermuis onderbreekt tien tot vijftien maal per winterseizoen zijn winterslaap.

Hij warmt daarbij in minder dan een uur op. In figuur 2 is de warmte die hierbij per seconde vrijkomt door vetverbranding ( $P_{\text{vet}}$ ) en de warmte die per seconde aan de omgeving wordt afgestaan ( $P_{\text{omg}}$ ) gegeven als functie van de tijd.

- 24 Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met een kruisje aan of de lichaamstemperatuur van de vleermuis stijgt, daalt, of gelijk blijft op de tijdstippen  $t_A$ ,  $t_B$  en  $t_C$ .

figuur 2



tabel 1

tijdstip	lichaamstemperatuur stijgt	lichaamstemperatuur daalt	lichaamstemperatuur blijft gelijk
$t_A$			
$t_B$			
$t_C$			

Bij het verbranden van  $1,0 \text{ kg}$  lichaamsvet komt  $4,0 \cdot 10^7 \text{ J}$  warmte vrij. (voedingswaarde)  
De vleermuis gebruikt voor het opwarmen  $1,1 \cdot 10^3 \text{ J}$ .

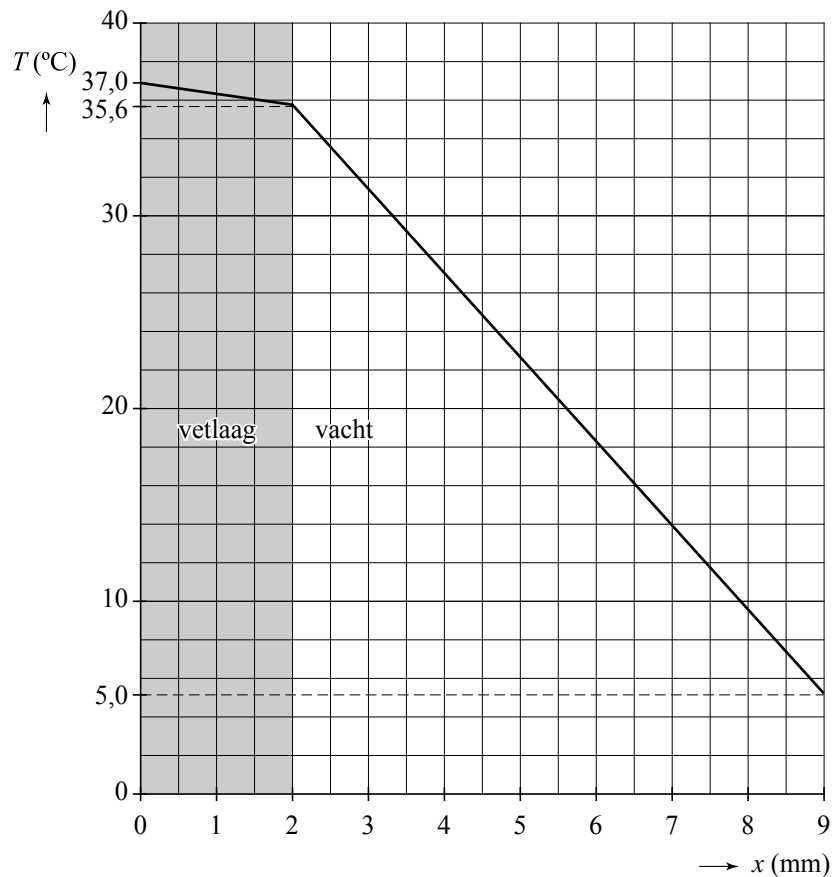
- 25 Bereken hoeveel milligram vet de vleermuis daarbij verbrandt.

De massa van de vleermuis is  $6,6 \text{ g}$ . De gemiddelde soortelijke warmte van de vleermuis is  $3,0 \cdot 10^3 \text{ J/kg K}$ . Tijdens het opwarmen van  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  naar  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  wordt een deel van de warmte aan de omgeving afgestaan.

- 26 Bereken hoeveel warmte aan de omgeving wordt afgestaan.

De dikte van de vacht van de vleermuis ( $d_{\text{vacht}}$ ) is 7,0 mm.  
 De dikte van de onderhuidse vetlaag ( $d_{\text{vet}}$ ) is 2,0 mm.  
 De vetlaag en de vacht zorgen samen voor de isolatie van het lichaam.  
 In figuur 3 staat het temperatuurverloop in de vetlaag en de vacht.

figuur 3



Voor het warmtegeleidingsvermogen  $P$  door een laag materiaal geldt:

$$P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$$

Hierin is:

- $P$  de warmtegeleidingsvermogen in W;
- $\lambda$  de warmtegeleidingscoëfficiënt in  $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ;
- $A$  de oppervlakte van de laag in  $\text{m}^2$
- $\Delta T$  het temperatuurverschil over de laag in K;
- $d$  de dikte van de laag in m.

- 27 Toon met behulp van figuur 3 aan dat.  $\frac{\lambda_{\text{vetlaag}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = 6,2$

Veronderstel dat de vacht vervangen werd door een extra vetlaag die even goed isoleert als de vacht.

- 28 Bereken hoe dik deze extra vetlaag dan zou moeten zijn.

### antwoorden

- 23 uitkomst: 1b, 2a, 3a

24

tijdstip	lichaamstemperatuur stijgt	lichaamstemperatuur daalt	lichaamstemperatuur blijft gelijk
$t_A$	x		
$t_B$	x		
$t_C$			x

25 Er geldt:  $m_{\text{vet}} = \frac{\text{benodigde warmte}}{\text{voedingswaarde vet}} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{4,0 \cdot 10^7} = 2,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg} = 28 \text{ mg.}$

26 De warmte die nodig is om de vleermuis op te warmen is gelijk aan:

$$Q_{\text{vleermuis}} = m_{\text{vleermuis}} c \Delta T = 6,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3,0 \cdot 10^3 \cdot (37 - 5) = 6,3 \cdot 10^2 \text{ J.}$$

Er verdwijnt naar de omgeving  $1,1 \cdot 10^3 - 6,3 \cdot 10^2 = 4,7 \cdot 10^2 = 5 \cdot 10^2 \text{ J.}$

27 Er geldt:  $\lambda_{\text{vetlaag}} \frac{\Delta T_{\text{vetlaag}}}{d_{\text{vetlaag}}} = \lambda_{\text{vacht}} \frac{\Delta T_{\text{vacht}}}{d_{\text{vacht}}}$  zodat

$$\frac{\lambda_{\text{vetlaag}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = \frac{d_{\text{vetlaag}} \Delta T_{\text{vetlaag}}}{d_{\text{vacht}} \Delta T_{\text{vacht}}} = \frac{2,0 \cdot 10^{-3} (35,6 - 5,0)}{7,0 \cdot 10^{-3} (37,0 - 35,6)} = 6,2$$

28 Omdat  $\frac{\lambda_{\text{vetlaag}}}{\lambda_{\text{vacht}}} = 6,2$  moet de extra vetlaag 6,2 maal zo dik zijn als de vacht.

De extra vetlaag moet dus  $6,2 \cdot 7,0 = 43 \text{ mm}$  dik zijn.

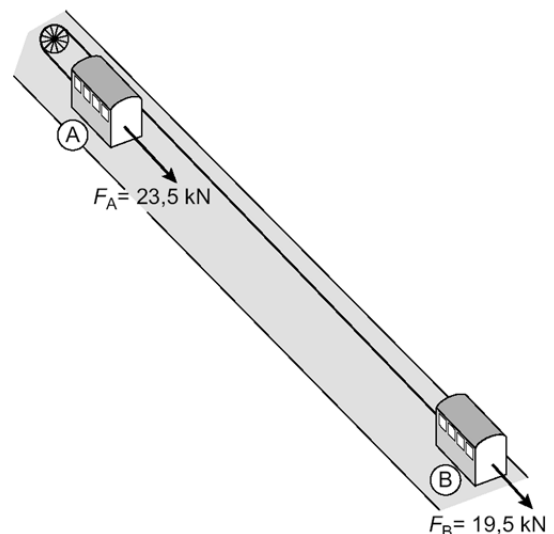
### Opgave 13 Nerobergbahn

De Duitse stad Wiesbaden heeft sinds 1888 een bijzondere attractie: de Nerobergbahn. Deze bergbahn bestaat uit twee wagons, die verbonden zijn door één kabel. Deze kabel loopt boven in het 'Bergbahnhof' over een grote katrol. Zie figuur 1 en 2

figuur 1

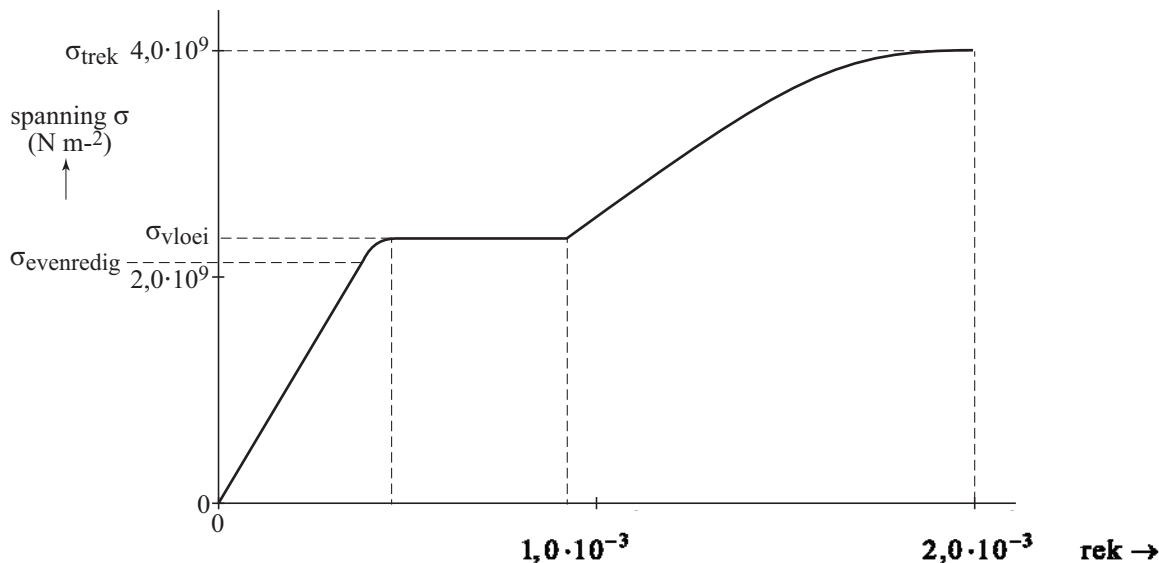


figuur 2



De kabel is 450 m lang. De oppervlakte van de doorsnede van de kabel is  $6,2 \text{ cm}^2$ . In figuur 3 staat het rek-trekdiagram van een kabel van hetzelfde materiaal en met dezelfde doorsnede.

**figuur 3**



De maximale lengteverandering in het elastische gebied is 20 cm.

- 29 Laat dit zien aan de hand van figuur 1.
- 30 Bepaal de maximale spankracht in het elastische gebied.
- 31 Bepaal de elasticiteitsmodulus in het elastische gebied.

**antwoorden**

- 29 De maximale rek in het elastische gebied is af te lezen in figuur 1. Deze bedraagt  $0,45 \cdot 10^{-3}$ . Bij een kabellengte van 450 m komt dit overeen met een lengteverandering van  $0,45 \cdot 10^{-3} \cdot 450 = 0,20 \text{ m}$ .

- 30 Voor spanning geldt:  $\sigma = \frac{F}{A}$ .

De maximale spanning in het elastische gebied is af te lezen in figuur 1.

Hiervoor geldt:  $\sigma = 1,8 \cdot 10^9 \text{ N m}^{-2}$ .

Voor de doorsnede geldt:  $A = \pi r^2 = \pi(0,031)^2 = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .

Dit levert:  $F = 5,4 \cdot 10^6 \text{ N}$ .

- 31 Voor de elasticiteitsmodulus geldt:  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ .

De maximale spanning in het elastische gebied is af te lezen in figuur 1.

Hiervoor geldt:  $\sigma = 1,8 \cdot 10^9 \text{ N m}^{-2}$ . De rek bedraagt dan  $0,45 \cdot 10^{-3}$ .

Invullen levert:  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1,8 \cdot 10^9}{0,45 \cdot 10^{-3}} = 4,0 \cdot 10^{12} \text{ N m}^{-2}$ .



## E1 Zonnestelsel en heelal

Subdomein E1 gaat over het zonnestelsel en heelal.

Opgave 14 is een voorbeeld van een context uit dit domein.

Vragen 32 en 33 zijn voorbeelden van wendbaarheid van kennis. Die vragen gaan over onderwerpen uit andere subdomeinen, maar in de context van het zonnestelsel en heelal.

Vraag 34 t/m 38 zijn voorbeelden van vragen uit domein E1.

### Opgave 14 Blauw oog voor Jupiter

Op 20 juli 2009 werd de planeet Jupiter getroffen door een onbekend object.

Alex en Inge lazen de volgende dag een artikel in de krant over deze inslag.

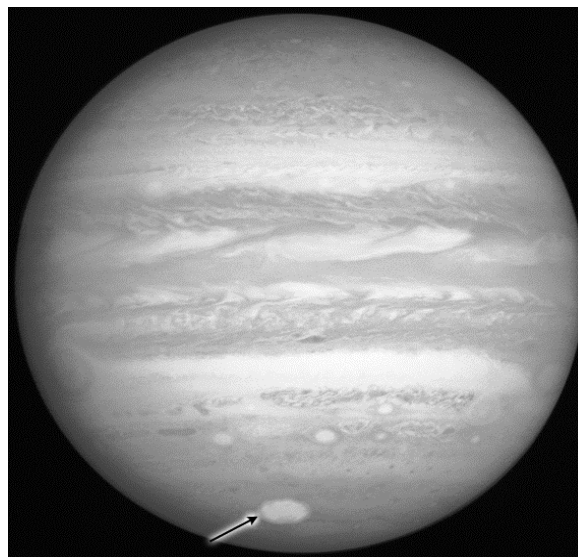
Lees dit artikel en bekijk de foto.

#### 'Blauw oog' voor Jupiter

De planeet Jupiter heeft sinds enkele dagen een litteken, nadat een onbekend object met grote snelheid vlakbij de zuidpool is ingeslagen.

De diameter van het litteken is groter dan de diameter van de aarde.

Astronomen denken dat het object een komeet met een diameter van 40 km en een massa van  $2 \cdot 10^{12}$  kg geweest zou kunnen zijn. Men schat dat hij met een snelheid van ongeveer 30 kilometer per seconde tegen Jupiter is gebotst.



In het artikel wordt beweerd dat de diameter van het litteken van de inslag groter is dan de diameter van de aarde. Alex en Inge willen aan de hand van de foto nagaan of deze bewering klopt. Op de uitwerkbijlage is deze foto vergroot weergegeven. Het litteken van de inslag is hierop met een pijltje aangegeven.

- 32 Ga met behulp van de uitwerkbijlage na of de diameter van het litteken groter is dan de diameter van de aarde.

Veronderstel dat alle kinetische energie van de komeet die bij de inslag vrijkomt, gebruikt zou kunnen worden als elektrische energie.

Een Nederlands huishouden gebruikt per jaar gemiddeld 4500 kWh elektrische energie. Er zijn 6 miljoen huishoudens in Nederland.

- 33 Hoe lang zouden alle Nederlandse huishoudens samen met de energie die vrijkomt bij de inslag kunnen doen?

Alex en Inge willen naar aanleiding van deze gebeurtenis meer te weten komen over Jupiter. Inge berekent de snelheid waarmee een punt op de evenaar van de aarde ronddraait. Zij vindt daarvoor  $1,7 \cdot 10^3$  km h<sup>-1</sup>.

Een punt op de evenaar van Jupiter draait rond in 0,413 d. Inge beweert dat de snelheid van een punt op de evenaar van Jupiter groter is dan  $1,7 \cdot 10^3$  km h<sup>-1</sup>.

- 34 Beredeneer (of bereken) of Inge gelijk heeft.

Zowel de aarde als Jupiter draaien om de zon. Alex neemt aan dat de banen cirkelvormig zijn. Hij berekent dat de aarde met een snelheid van  $30 \text{ km s}^{-1}$  om de zon draait. Alex beweert dat Jupiter met een grotere snelheid om de zon draait dan de aarde.

- 35 Beredeneer (of bereken) of Alex gelijk heeft.

Jupiter heeft een veel grotere massa dan de aarde en staat veel verder weg van de zon dan de aarde.

- 36 Beredeneer (of bereken) of de gravitatiekracht van de zon op Jupiter groter of kleiner is dan de gravitatiekracht van de zon op de aarde.

Inge heeft thuis een weegschaal die 62 kg aanwijst als zij er op staat. In de weegschaal zit een veer die wordt ingedrukt bij belasting. Inge vraagt zich af wat de weegschaal zou aanwijzen als zij op het oppervlak van Jupiter op deze weegschaal zou kunnen staan.

- 37 Beantwoord de volgende vragen:

Hoe groot is de massa van Inge op Jupiter?

Bereken hoeveel de weegschaal op Jupiter zou aanwijzen als Inge er daar op zou kunnen staan.

Alex leest op het internet dat de Italiaanse wetenschapper Galileo Galilei in 1610 de vier grootste manen van Jupiter ontdekte. Galilei beseftte dat deze ontdekking belangrijk was voor de vraag of ons zonnestelsel voldoet aan het geocentrisch wereldbeeld of aan het heliocentrisch wereldbeeld.

- 38 Welk van deze twee wereldbeelden werd met deze ontdekking onderuitgehaald? Licht je antwoord toe.

### beoordelingsmodel

---

- 32 De diameter van Jupiter op de bijlage is 13,7 cm; de diameter van het litteken is 1,2 cm. Volgens Binas tabel 31 is de straal van Jupiter gelijk aan  $71,40 \cdot 10^6 \text{ m}$ , de diameter is dan  $14,28 \cdot 10^7 \text{ m}$ .

$$\text{Er geldt: } \frac{13,7}{1,2} = \frac{14,28 \cdot 10^7}{d_{\text{litteken}}} \text{ zodat } d_{\text{litteken}} = 1,25 \cdot 10^7 \text{ m.}$$

De straal van de aarde is  $6,378 \cdot 10^6 \text{ m}$ ; de diameter is dan  $1,276 \cdot 10^7 \text{ m}$ .  
Het litteken van de inslag is dus niet groter dan de diameter van de aarde.

- 33 Voor de kinetische energie geldt:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{12} \cdot (30 \cdot 10^3)^2 = 9,0 \cdot 10^{20} \text{ J.}$$

$$\text{Dit is } \frac{9,0 \cdot 10^{20}}{3,6 \cdot 10^6} = 2,5 \cdot 10^{14} \text{ kWh.}$$

Een gezin gebruikt per jaar gemiddeld 4500 kWh aan elektrische energie.

Er zijn  $6 \cdot 10^6$  huishoudens die totaal  $2,7 \cdot 10^{10} \text{ kWh}$  elektrische energie verbruiken. Met de energie van het object zouden de Nederlandse

$$\text{huishoudens } \frac{2,5 \cdot 10^{14}}{2,7 \cdot 10^{10}} = 9 \cdot 10^3 \text{ jaar toe kunnen.}$$

- 34 Voor de snelheid van een punt op de evenaar geldt:  $v = \frac{2\pi r}{T}$ .

De straal van Jupiter is  $\left(\frac{71,40 \cdot 10^6}{6,378 \cdot 10^6} = 11,2 \text{ maal}\right)$  groter dan de straal van de aarde.

De (siderische) rotatieperiode van Jupiter is  $\left(\frac{0,413}{1} = 0,413 \text{ maal}\right)$  kleiner dan die van de aarde.

De snelheid van een punt op de evenaar van Jupiter is daarom  $\left(\frac{11,2}{0,413} = 27,1 \text{ maal}\right)$  groter dan de snelheid van een punt op de evenaar van de aarde. Inge heeft dus gelijk.

- 35 Voor de snelheid van een planeet die om de zon draait, geldt:  $v = \frac{2\pi r}{T}$ .

De (gemiddelde) afstand van Jupiter tot de zon is  $0,7779 \cdot 10^{12}$  m;  
de (gemiddelde) afstand van de aarde tot de zon is  $0,1496 \cdot 10^{12}$  m.  
Jupiter staat dus 5,2 maal verder weg.

De omlooptijd van Jupiter om de zon is 11,86 jaar. De omlooptijd van de aarde is 1 jaar. De snelheid van Jupiter om de zon is dus  $\left(\frac{5,2}{11,86} \text{ maal}\right)$  kleiner dan de snelheid van de aarde. Alex heeft dus geen gelijk.

- 36 Voor de gravitatiekracht geldt:  $F_g = G \frac{mM}{r^2}$ .

De verhouding  $\frac{m_{\text{jupiter}}}{m_{\text{aarde}}} = \frac{1900 \cdot 10^{24}}{5,976 \cdot 10^{24}} = 317,9$ .

De verhouding  $\frac{(r_{\text{jupiter-zon}})^2}{(r_{\text{aarde-zon}})^2} = \frac{(0,7779 \cdot 10^{12})^2}{(0,1496 \cdot 10^{12})^2} = 27,04$ .

De gravitatiekracht van de zon op Jupiter is dus  $\left(\frac{317,9}{27,04} = 11,8 \text{ maal}\right)$  groter dan de gravitatiekracht van de zon op de aarde.

- 37 De massa op Jupiter is 62 kg.

– De valversnelling op Jupiter is  $24,9 \text{ m s}^{-2}$ . De aanwijzing op de weegschaal is  $\frac{24,9}{9,81} = 2,54$  maal groter dan 62 kg. De weegschaal geeft dan 157 kg aan.

- 38 Omdat deze manen om Jupiter draaien en niet om de aarde, wordt het geocentrisch wereld beeld onderuitgehaald. In het geocentrisch wereldbeeld draaien alle planeten en manen om de aarde en dat is hier niet zo.

# G1 Gebruik van elektriciteit

In specificatie G1.2 staat dat bij gemengde schakelingen redeneringen gevraagd kunnen worden met daarbij eenvoudige berekeningen.

Opgave 15 bevat een voorbeeld hiervan. De berekening van de situatie uit vraag 41 is te ingewikkeld om te vallen onder 'een eenvoudige berekening' en kan dus niet gevraagd worden.

## Opgave 15 Kabelhaspel

Er zijn verlengsnoeren te koop die op een haspel gewikkeld zijn. Zie figuur 1. Op een bepaalde kabelhaspel staan de volgende gegevens:

Lengte kabel	40 m
Spanning	230 V
Maximaal aan te sluiten vermogen:	
opgerold	1000 W
afgerold	3500 W

figuur 1



- 39 Leg uit waarom op de opgerolde kabel veel minder vermogen mag worden aangesloten dan op de afgerolde kabel.

In de kabel zitten twee koperen aders. Elke ader heeft een cirkelvormige doorsnede met een diameter van 1,0 mm.

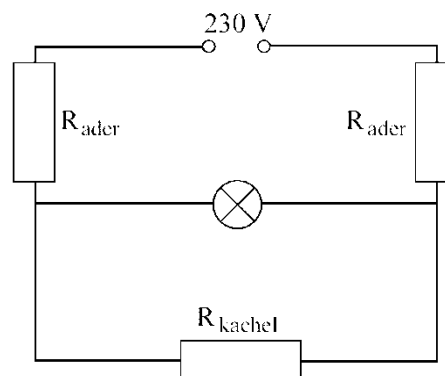
- 40 Bereken de weerstand van één ader.

Een lamp is aangesloten op de haspel. Nu wordt, parallel aan de lamp, ook een straalkachel aangesloten op de haspel. In figuur 2 is deze situatie schematisch weergegeven.

Na het aansluiten van de kachel blijkt de lamp minder fel te branden.

- 41 Leg uit waarom. Bespreek daartoe achtereenvolgens hoe door het aansluiten van de straalkachel de volgende grootheden veranderen:
- de totale geleidbaarheid,
  - de stroomsterkte door de aders van de kabel,
  - de spanning over de aders van de kabel,
  - de spanning over de lamp.

figuur 2



## antwoorden

- 39 (Bij een groot vermogen wordt in de kabel veel warmte ontwikkeld.)  
Een opgerolde kabel kan (veel) minder warmte aan de omgeving afstaan dan een afgerolde kabel.  
Daardoor kan de temperatuur zo hoog worden dat een gevaarlijke situatie kan ontstaan.
- 40 Voor de soortelijke weerstand geldt:  $\rho = \frac{RA}{\ell}$ , waarin  
 $\rho = 17 \cdot 10^{-9} \text{ } \Omega\text{m}$ ,  $\ell = 40 \text{ m}$  en  $A = \pi r^2 = \pi(0,50 \cdot 10^{-3})^2 = 7,85 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$ .  
Hieruit volgt:  $R_{\text{ader}} = 17 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{40}{7,85 \cdot 10^{-7}} = 0,87 \text{ } \Omega$ .
- 41 Als de straalkachel wordt aangesloten, wordt de geleidbaarheid (van lamp en kachel of van het geheel ) groter.  
Daardoor wordt de stroomsterkte door de aders van de kabel groter.  
Daardoor neemt de spanning over de aders van de kabel toe.  
De spanning over de lamp neemt dan af (omdat de kabel in serie staat met de lamp en de straalkachel).

## H Natuurkunde en technologie

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

Hieronder staat aangegeven waarvan de voorbeeldopgaven afkomstig zijn.

Opgave 1 Elektrische deken	Nina Havo 2009-1
Opgave 2 Vloeistoffen verwarmen	nieuw
Opgave 3 Harp	Nina Havo 2011-2
Opgave 4 Kruiken	Nina Havo 2011-2
Opgave 5 Vijftig meter vlinderslag	Vwo 2012-2
Opgave 6 Auto	Havo 2003-1
Opgave 7 Golf	Havo 1986-2
Opgave 8 Pionier-10	Nina Vwo 2011-2
Opgave 9 Harp	Nina Havo 2011-2
Opgave 10 Radon	nieuw
Opgave 11 Echoscopie	Havo 2000-2
Opgave 12 Vleermuis in winterslaap	Nina Havo 2011-1
Opgave 13 Nerobergbahn	Havo 2007-1
Opgave 14 Blauw oog voor Jupiter	Nina Havo 2010-2
Opgave 15 Kabelhaspel	Havo 2005-2

# Bijlage 1. Examenprogramma

## Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A	Vaardigheden
Domein B	Beeld- en geluidstechniek
Domein C	Beweging en energie
Domein D	Materialen
Domein E	Aarde en heelal
Domein F	Menselijk lichaam
Domein G	Meten en regelen
Domein H	Natuurkunde en technologie
Domein I	Onderzoek en ontwerp

### ***Het centraal examen***

Het centraal examen heeft betrekking op de (sub)domeinen B1, B2, C1, C2, D1, E1, G1 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 D2, I1, I2 en I3;
- een keuze van twee uit de (sub)domeinen B3, E2, F 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 instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. 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 probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. 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 Beeld- en geluidstechniek

**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.

**Subdomein B3: Optica\***

18. De kandidaat kan aan de hand van toepassingen van geometrische optica en golfoptica eigenschappen van licht beschrijven en analyseren.

Domein C Beweging en energie

**Subdomein C1: Kracht en beweging**

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

**Subdomein C2: Energieomzettingen**

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

Domein D Materialen

**Subdomein D1: Eigenschappen van stoffen en materialen**

21. De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

**Subdomein D2: Functionele materialen**

22. De kandidaat kan in de context van de ontwikkeling van functionele materialen fysische begrippen gebruiken en de mogelijke toepassingen van deze materialen toelichten en verklaren.

Domein E Aarde en heelal

**Subdomein E1: Zonnestelsel en heelal**

23. De kandidaat kan het ontstaan en de ontwikkeling van structuren in het heelal beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren aan de hand van fysische principes.



**Subdomein E2: Aarde en klimaat\***

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

Domein F Menselijk lichaam\*

25. De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.

Domein G Meten en regelen

**Subdomein G1: Gebruik van elektriciteit**

26. De kandidaat kan opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren aan de hand van fysische begrippen.

**Subdomein G2: Technische automatisering\***

27. De kandidaat kan meet-, stuur- en regelsystemen construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven.

Domein H Natuurkunde en technologie

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

Domein I Onderzoek en ontwerp

**Subdomein I1: Experiment**

29. 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**

30. 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**

31. 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 (sub)domeinen worden er twee gekozen.

## Bijlage 2. Grootheden- en eenhedenoverzicht

grootheid	symbool	eenheid	symbool
aantal kernen	$N$	-	-
aantal neutronen in kern	$N$	-	-
activiteit	$A$	(deeltjes) per seconde, becquerel	$s^{-1}$ , Bq
afstand	$x$	meter	m
arbeid	$W$	joule	J
arm	$r$	meter	m
atoomnummer	$Z$	-	-
brekingsindex	$n$	-	-
dichtheid	$\rho$	kilogram per kubieke meter	$kg\ m^{-3}$
dikte	$d$	meter	m
elasticiteitsmodulus	$E$	newton per vierkante meter	$N\ m^{-2}$
energie	$E$	joule, kilowattuur	J, kWh
equivalente dosis	$H$	sievert	Sv
frequentie	$f$	hertz	Hz
geleidbaarheid	$G$	siemens	S
golflengte	$\lambda$	meter	m
halveringsdikte	$d_{1/2}$	meter	m
halveringstijd	$t_{1/2}$	seconde	s
hoogte	$h$	meter	m
intensiteit	$I$	(deeltjes) per vierkante meter	$m^{-2}$
kracht	$F$	newton	N
lading	$Q$	coulomb	C
lengte	$l$	meter	m
massa	$m, M$	kilogram	kg
massagetal	$A$	-	-
oppervlakte	$A$	vierkante meter	$m^2$
rek	$\varepsilon$	-	-
rendement	$\eta$	-	-
snelheid	$v$	meter per seconde	$m\ s^{-1}$
soortelijke warmte	$c$	joule per kilogram per kelvin	$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
soortelijke weerstand	$\rho$	ohm meter	$\Omega\ m$
spanning	$U$	volt	V
spanning	$\sigma$	newton per vierkante meter	$N\ m^{-2}$
stookwaarde	$r_v$	joule per kubieke meter,	$J\ m^{-3}$
	$r_m$	joule per kilogram	$J\ kg^{-1}$
straal	$r$	meter	m
stralingsdosis	$D$	gray	Gy
stralingsweegfactor	$w_R$	-	-
stroomsterkte	$I$	ampère	A
temperatuur	$T$	kelvin, graad celcius	K, °C
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	$m^3$

warmte	$Q$	joule	J
warmtegeleidingscoëfficiënt	$\lambda$	watt per meter per kelvin	$W m^{-1} K^{-1}$
warmtestroom	$P$	watt	W
weerstand	$R$	ohm	$\Omega$

**natuurconstanten**

	<b>symbool</b>	<b>waarde</b>	<b>eenheid</b>
constante van Planck	$h$	$6,62607 \cdot 10^{-34}$	J s
gravitatieconstante	$G$	$6,6726 \cdot 10^{-11}$	$N m^2 kg^{-2}$
lichtsnelheid	$c$	$2,99792458 \cdot 10^8$	$m s^{-1}$
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 grootte 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 grootte 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 examenwoord '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.<sup>12</sup>

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 A1-1:Taalvaardigheden

#### Specificaties

Herzien Tweede-faseprogramma	NiNa
1.1 correct formuleren.	<b>zie:</b> 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 A1-2: Reken-/wiskundige vaardigheden

#### Specificaties

Herzien Tweede-fase-programma	NiNa
2.1 basisrekenvaardigheden uitvoeren: <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>een (grafische) rekenmachine gebruiken</i><sup>13</sup>;</li><li>• rekenen met verhoudingen, procenten, machten, wortels;</li><li>• omtrek van een cirkel berekenen;</li><li>• de oppervlakte berekenen van een driehoek en een cirkel;</li><li>• <i>absolute waarde toepassen</i>.</li></ul>	<b>zie:</b> 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"><li>• formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen.</li></ul>	<b>zie:</b> A12.3
2.3 wiskundige technieken toepassen:	<b>zie:</b> A12.2

<sup>12</sup> 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.

<sup>13</sup> 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"> <li>• omwerken van eenvoudige wiskundige betrekkingen;</li> <li>• rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd);</li> <li>• oplossen van lineaire en tweedegraadsvergelijkingen;</li> <li>• <i>twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden oplossen</i>;</li> <li>• stelling van Pythagoras toepassen;</li> <li>• sinus-, cosinus- en tangens<i>functie</i> toepassen;</li> <li>• vectoren optellen, <i>afrekken</i>, ontbinden en <i>vermenigvuldigen met een scalar</i> [N.B.: <u>alleen grafisch</u>]; <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</i>;</li> <li>• grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;</li> <li>• interpoleren en extrapoleren in grafieken, tabellen en diagrammen;</li> <li>• de grafiek tekenen en het functievoorschrift opstellen bij rechtevenredige verbanden;</li> <li>• raaklijn tekenen aan een kromme en de richtingscoëfficiënt bepalen;</li> <li>• de oppervlakte onder een grafiek schatten of benaderen.</li> </ul>	
2.4 afgeleide eenheden herleiden tot eenheden van het SI.	<b>zie:</b> A12.3
2.5 uitkomsten schatten en beoordelen.	<b>zie:</b> A15.2
2.6 uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers: <ul style="list-style-type: none"> <li>• een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is.</li> </ul>	<b>zie:</b> A8.3

### Subdomein A1-3: Informatievaardigheden

#### Specificaties

Herzien TF	NiNa
3.1 informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT.	<b>zie:</b> A8.1
3.2 informanten kiezen en informanten bevragen.	<b>zie:</b> 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"> <li>• onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules.</li> </ul>	<b>zie:</b> A8.1
3.4 gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT.	<b>zie:</b> A8.2
3.5 hoofd- en bijzaken onderscheiden.	<b>zie:</b> A1
3.6 feiten met bronnen verantwoorden.	<b>zie:</b> A9.3
3.7 informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.	<b>zie:</b> A8.2
3.8 de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor het op te lossen probleem of te maken ontwerp.	<b>zie:</b> A9.4
3.9 natuurkundige grootheden via de computer meten met een sensor.	<b>zie:</b> A11.2

### Subdomein A1-4: Technisch-instrumentele vaardigheden

#### Specificaties

Herzien TF	NiNa
4.1 gebruik maken van stoffen, instrumenten en apparaten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technische ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud, voorzover veiligheid, milieu-eisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dit toelaten.</li> </ul>	<b>zie:</b> A11.1; A11.2 en

specificatie apparatuur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• krachtmeter;</li> <li>• stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop;</li> <li>• <i>prisma, filters, optische bank, optische schijf, brekingslichamen, positieve lens, glasvezels, fototoestel, diaprojector, overheadprojector</i>;</li> <li>• vloeistofthermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;</li> <li>• <i>elektroscoop</i>, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand [<b>NB: regelbare weerstand</b>], stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, LED;</li> <li>• <i>permanente magneten, stroomspoel</i>, transformator.</li> <li>• GM-teller.</li> </ul>	G1.2; G1.3; G1.5
4.2 bij het raadplegen, verwerken en presenteren van informatie en bij het inzichtelijk maken van processen gebruik maken van toepassingen van ICT.	<b>zie:</b> A8.1; A8.2; A11.2; A2; A14 <sup>14</sup>
4.3 gebruik maken van micro-elektronicasystemen voor het meten, sturen en regelen.	<b>zie:</b> G2 (SE-keuze)
4.4 aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten.	<b>zie:</b> A8.4
4.5 verantwoord omgaan met stoffen, instrumenten en organismen, zonder daarbij schade te berokkenen aan mensen, dieren en milieu.	<b>zie:</b> A8.5

## Subdomein A1-5: Ontwerpvaardigheden

### Specificaties

<b>Herzien TF</b>	<b>NiNa</b>
5.1 een technisch probleem herkennen en specificeren.	<b>zie:</b> A6.1; I3 (SE)
5.2 een technisch probleem herleiden tot een ontwerpopdracht.	<b>zie:</b> A6.1; I3 (SE)
5.3 prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden vaststellen voor het uitvoeren van een ontwerp.	<b>zie:</b> A6.2; I3 (SE)
5.4 een werkplan maken voor het uitvoeren van een ontwerp.	<b>zie:</b> A6.4; A6.5; I3 (SE)
5.5 een ontwerp bouwen.	<b>zie:</b> A6.6; I3 (SE)
5.6 ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdende met ontwerpeisen en randvoorwaarden.	<b>zie:</b> A6.7; I3 (SE)
5.7 voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.	<b>zie:</b> A6.8; I3 (SE)

<sup>14</sup> 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 A1-6: Onderzoeksvaardigheden

### Specificaties

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

## Subdomein A1-7: Maatschappij, studie en beroep

### Specificaties

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

## Subdomein A2-1: Kennisvorming

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
8 De kandidaat kan weergeven hoe natuurwetenschappelijke kennis ontstaat, welke vragen natuurwetenschappelijke onderzoekers kunnen stellen en hoe ze aan betrouwbare antwoorden komen.	<b>zie:</b> A10

## Subdomein A2-2: Toepassing van kennis

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
9 De kandidaat kan analyseren hoe natuurwetenschappelijke en technische kennis wordt toegepast en kan reflecteren op de wisselwerking tussen natuurwetenschap, techniek en samenleving.	zie: A10; A9.1

## Subdomein A2-3: Kennisvorming

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
10 De kandidaat kan oordelen over de betrouwbaarheid van toegepaste natuurwetenschappelijke kennis en een eigen mening over maatschappelijk-natuurwetenschappelijke vraagstukken vormen.	zie: A9

## Subdomein B1: Elektriciteit

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
11.1 toepassingen van het gebruik van elektriciteit beschrijven in de gezondheidszorg en techniek: <ul style="list-style-type: none"><li>• opwekking van warmte;</li><li>• magnetische werking.</li></ul>	zie: G1.2
11.2 eigenschappen, functie en wijze van aansluiting beschrijven van onderdelen van een elektrische schakeling: <ul style="list-style-type: none"><li>• spanningsbron;</li><li>• weerstand, LDR, NTC;</li><li>• gloeilamp, verwarmingselement, LED;</li><li>• stroommeter en spanningsmeter;</li><li>• zekering en aardlekschakelaar;</li><li>• kWh-meter.</li></ul>	zie: G1.2
11.3 schema's tekenen van elektrische schakelingen die opgebouwd of beschreven zijn.	zie: G1.2
11.4 problemen oplossen met behulp van formules: <ul style="list-style-type: none"><li>• spanning, stroom, weerstand, energie en/of vermogen;</li><li>• serie- en parallelschakeling;</li><li>• soortelijke weerstand en draadvormige geleiders;</li><li>• omrekenen kWh naar J en omgekeerd.</li></ul>	zie: G1.2; G1.3

### Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$U = IR, \quad P = UI, \quad I = \frac{Q}{t}.$$

Gewijzigd (zie G1):

$$U = U_1 + U_2 + \dots, \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots, \quad I = I_1 + I_2 = \dots,$$

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

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

Vervallen:

$$P = I^2 R$$

## Subdomein B2: Regelsystemen en signaalverwerking

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
12.1 het gebruik uitleggen van geautomatiseerde meet-, stuur- en regelsystemen in en om het huis, in de milieutechniek en in de gezondheidszorg: <ul style="list-style-type: none"> <li>• de functie van sensor, verwerker en actuator;</li> <li>• bij een gegeven doel een keuze maken uit sensoren.</li> </ul>	<b>zie:</b> G2 (SE-keuze)
12.2 het bereik, de gevoeligheid en de nauwkeurigheid van een sensor experimenteel of op grond van gegevens bepalen.	
12.3 bij het doen van proeven de elektronische verwerkers bepalen die bij gegeven signalen de gewenste actie uitvoeren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• omzetting van analoge in digitale signalen;</li> <li>• EN/OF-poort, invertor, comparator;</li> <li>• geheugenelement, teller;</li> <li>• gehele, decimale, getallen omzetten in binaire code en omgekeerd.</li> </ul>	

## Subdomein B3: Elektromagnetisme (SE)

Het gehele subdomein is vervallen

## Subdomein B4: Opwekking en transport van elektrische energie (SE)

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
14. De kandidaat kan de opwekking en het transport van elektrische <i>energie en de werking van de benodigde onderdelen uitleggen</i> ...	<b>zie:</b> G1.4; G1.5

### Formules

Vervallen:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}, \quad P_p = P_s.$$

## Subdomein C1: Licht

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
15.1 berekeningen maken met de brekingswetten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• tekenen van de lichtweg;</li> <li>• hoek van inval, hoek van breking, brekingsindex;</li> <li>• grenshoek.</li> </ul>	<b>zie:</b> B3 (SE-keuze)
15.2 met de brekingswetten het doorgeven van licht door een glasvezelkabel en de kleurschifting in een prisma beschrijven.	<b>zie:</b> B3 (SE-keuze)
15.3 de plaats en de grootte van het reële beeld bepalen bij het gebruik van een positieve lens door een tekening en een berekening: <ul style="list-style-type: none"> <li>• sterkte van een lens;</li> <li>• lenzenformule en lineaire vergroting;</li> <li>• menselijk oog, nabijheidspunt, accommodatie;</li> <li>• fototoestel, overheadprojector, diapjector.</li> </ul>	<b>zie:</b> B3 (SE-keuze); F (SE-keuze)
15.4 uitleggen op welke wijze een vergroot beeld wordt waargenomen bij het gebruik van een loep in de situatie van een geaccommodeerd oog: <ul style="list-style-type: none"> <li>• in een tekening de vorming van het virtuele beeld schematisch weergeven.</li> </ul>	<b>zie:</b> B3 (SE-keuze); F (SE-keuze)

	keuze)
15.5 aangeven welke technieken en principes gebruikt worden om beeld en geluid vast te leggen en over te brengen: digitale techniek; magneetband en compactdisc.	<b>vervallen</b>
15.6 voorbeelden noemen van toepassingen van ultrasoon geluid en laserlicht in de gezondheidszorg: <ul style="list-style-type: none"> <li>• echografie;</li> <li>• glasvezeltechniek.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.4

### Formules

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

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \quad \sin g = \frac{1}{n}, \quad S = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}, \quad N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerpsgrootte}}.$$

## Subdomein C2: Trillingen en golven

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
16.1 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"> <li>• sinusvorm;</li> <li>• cardiogram;</li> <li>• oscillogram van stemvork, trillende snaar, menselijke stem, zuivere toon.</li> </ul>	<b>zie:</b> B1.1; B1.5
16.2 het ontstaan van een harmonische trilling met een vaste eigenfrequentie uitleggen als gevolg van een krachtwerking in de richting van de evenwichtsstand, evenredig met de uitwijking: <ul style="list-style-type: none"> <li>• slinger en massaveersysteem;</li> <li>• veerconstante.</li> </ul>	<b>zie:</b> B1.2
16.3 de uitbreiding van geluid en licht in de vorm van lopende golven beschrijven: <ul style="list-style-type: none"> <li>• golflengte, frequentie en golfsnelheid;</li> <li>• faseverschil, afstand en golflengte.</li> </ul>	<b>zie:</b> B1.3
16.4 versterking en verzwakking van geluid door interferentie in verband brengen met faseverschillen.	<b>vervallen</b>
16.5 het verschijnsel resonantie verklaren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• staande golfpatronen in snaar- en blaasinstrumenten;</li> <li>• knopen en buiken (niet het ontstaan ervan);</li> <li>• te nemen maatregelen tegen ongewenste resonanties.</li> </ul>	<b>zie:</b> B1.4
16.6 een overzicht geven van het elektromagnetisch spectrum met voorbeelden en toepassingen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• golfsnelheid elektromagnetische golven in vacuüm als natuurconstante;</li> <li>• verband stralingssoort en frequentie;</li> <li>• kleuren, infrarood en ultraviolet;</li> <li>• betekenis van frequentieafspraken bij radio, TV, telecommunicatie.</li> </ul>	<b>zie:</b> B1.6; E1.5; E1.6

### Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$f = \frac{1}{T}, \quad v = f\lambda, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}.$$

Gewijzigd (zie B1 en C1):

$$\lambda = vT, \quad F_{\text{veer}} = Cu.$$

Vervallen:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}, \quad \ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda \quad (n = 1, 2, \dots), \quad \ell = (2n - 1) \cdot \frac{1}{4}\lambda \quad (n = 1, 2, \dots).$$

## Subdomein D1: Beweging

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
17.1 plaats-tijd-diagrammen interpreteren: <ul style="list-style-type: none"><li>• snelheid bepalen met behulp van een raaklijn;</li><li>• gemiddelde snelheid;</li><li>• in een diagram van een valbeweging met wrijving de eindsnelheid bepalen.</li></ul>	zie: C1.2
17.2 snelheid-tijd-diagrammen interpreteren: <ul style="list-style-type: none"><li>• verplaatsing bepalen met behulp van oppervlakte;</li><li>• in een diagram van de vrije val de versnelling bepalen;</li><li>• in een diagram van een valbeweging met wrijving de eindsnelheid bepalen.</li></ul>	zie: C1.2
17.3 berekeningen maken bij een vrije val vanuit rust: <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>valversnelling, valtijd, snelheid, hoogte.</i></li></ul>	vervallen
17.4 de begrippen baansnelheid, omlooptijd en toerental toepassen bij een eenparig ronddraaiend voorwerp	zie: E1.2
17.5 de grootheden noemen die een rol spelen bij het eenparig versnellen van voertuigen en hiermee gegeven problemen oplossen: <ul style="list-style-type: none"><li>• afgelegde weg, gemiddelde snelheid, snelheid en versnelling;</li><li>• versnellen vanuit rust.</li></ul>	zie: C1.2
17.6 problemen over de veiligheid in het verkeer oplossen, gebruikmakend van natuurkundige begrippen en relaties: <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>remweg, reactietijd, veilige snelheid en veilige afstand;</i></li></ul>	vervallen

### Formules uit het oude programma

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Gewijzigd (zie C1)

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

Vervallen:

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

## Subdomein D2: Kracht, arbeid en energie

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
18.1 de eerste wet van Newton uitleggen aan de hand van voorbeelden: <ul style="list-style-type: none"><li>• evenwicht van krachten;</li><li>• systemen in rust of eenparige beweging;</li><li>• <i>traagheid</i>, massa en dichtheid.</li></ul>	zie: C1.4 en voorkennis D
18.2 met de tweede wet van Newton de resulterende kracht of de versnelling berekenen: <ul style="list-style-type: none"><li>• zwaartekracht en valversnelling.</li></ul>	zie: C1.5
18.3 de derde wet van Newton toepassen in eenvoudige situaties.	vervallen

18.4 krachten op een systeem weergeven als vectoren en hiermee krachten <i>berekenen</i> in situaties van rust en constante snelheid [NB: alleen grafisch]:	<b>zie:</b> C1.3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• krachten op een voorwerp benoemen;</li> <li>• schematische vectortekening van krachten;</li> <li>• in een tekening krachten samenstellen en ontbinden;</li> <li>• <i>de grootte berekenen; alleen bij twee onderling loodrechte componenten;</i></li> <li>• hellend vlak</li> </ul>	
18.5 de grootheden noemen die een rol spelen bij het eenparig versnellen en vertragen van voertuigen en hiermee gegeven problemen oplossen:	<b>zie:</b> C1.3; C2.1; C2.2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeid en kinetische energie;</li> <li>• aandrijfkracht;</li> <li>• wrijvingskracht: lucht-, schuif- en rolweerstand;</li> <li>• normaalkracht;</li> <li>• <i>veiligheidsgordel, veiligheidshelm, hoofdsteun, kreukelzone, kooiconstructie, airbag en remsysteem.</i></li> </ul>	
18.4 de wet van behoud van energie toepassen onder andere bij een vrije val, verticale worp omhoog:	<b>zie:</b> C2.2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• arbeid door de zwaartekracht, zwaarte-energie;</li> <li>• energieomzetting, bewegingsenergie;</li> <li>• <i>veerenergie</i>, warmteontwikkeling bij het bereiken van de ondergrond;</li> <li>• hoogte, grootte van de beginsnelheid, grootte van de eindsnelheid.</li> </ul>	
18.7 berekeningen maken over kracht, arbeid en vermogen in situaties van voertuigen bij verschillende constante snelheden op een vlakke weg:	<b>zie:</b> C2.1; C2.2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• snelheid, vermogen en energiegebruik in het verkeer;</li> <li>• verbrandingswarmte/stookwaarde van brandstoffen;</li> <li>• rendement van motoren;</li> <li>• <i>milieu-effecten van motoren.</i></li> </ul>	

### Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$F_z = mg, \quad F_{\text{res}} = ma, \quad E_z = mgh, \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad W = Fs, \quad W_{\text{tot}} = \Delta E_k,$$

$$P = \frac{W}{t}, \quad P = Fv.$$

Gewijzigd (zie C1 en bekend verondersteld bij C):

$$m = \rho V, \quad P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

## Subdomein E1: Materie en energie (SE)

### Specificaties

<b>Herzien TF</b>	<b>NiNa</b>
21. De kandidaat kan eigenschappen van materie en energie beschrijven en met behulp van modellen verklaren..	<b>zie:</b> D1

### Formules

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$Q = cm\Delta T$$

Vervallen:

$$p = \frac{F}{A}, \quad \frac{pV}{T} = nR = \text{constant.}$$

## Subdomein E2: Straling en gezondheid

### Specificaties

Herzien TF	NiNa
22.1 de verschillende soorten ioniserende straling en hun eigenschappen beschrijven: <ul style="list-style-type: none"> <li>• achtergrondstraling, röntgenstraling, <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>- en <math>\gamma</math>-straling;</li> <li>• ioniserend en doordringend vermogen;</li> <li>• detectie: GM-buis, <i>badge</i>;</li> </ul>	<b>zie:</b> A11.1; B2.2;
22.2 eenvoudige berekeningen maken waarbij de halveringstijd een rol speelt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• alleen bij veelvouden van de halveringstijd;</li> <li>• vervalcurve, activiteit.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.2; B2.3
22.3 een vervalvergelijking van een radioactieve kern opstellen als gegeven is welke straling wordt uitgezonden: <ul style="list-style-type: none"> <li>• atoomnummer, massagetal, isotoop.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.2
22.4 de effecten bespreken van ioniserende straling op de mens en het milieu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• schema: bron, straling, ontvanger;</li> <li>• bestraling en besmetting;</li> <li>• absorptie, stralingsdosis en dosisequivalent; omrekenen van eV in joule en omgekeerd;</li> <li>• stralingsnormen;</li> <li>• afwegen van risico's.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.1 t/m B2.3
22.5 toepassing van ioniserende straling <i>verklaren in industrie en techniek</i> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>doorstraling van voedsel</i>;</li> <li>• <i>materiaalonderzoek</i>;</li> <li>• <i>meettechniek</i>, halveringsdikte;</li> <li>• gebruik van tracers.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.3; B2.4
22.6 toepassingen noemen van beschermingsmaatregelen bij het gebruik van ioniserende straling in de gezondheidszorg en techniek: <ul style="list-style-type: none"> <li>• röntgenfoto, in- en uitwendige bestraling;</li> <li>• afscherming, dracht.</li> </ul>	<b>zie:</b> B2.2; B2.4
22.7 de werking van een kerncentrale verklaren: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>reactievergelijkingen</i>;</li> <li>• <i>massadefect, atomaire massa-eenheid</i>;</li> <li>• <i>kettingreactie, kritiek zijn, verrijkt uranium</i>;</li> <li>• <i>veiligheidsvoorzieningen bij winning, transport, gebruik, opwerking en afval</i>.</li> </ul>	<b>vervallen</b>
22.8 voor- en nadelen noemen van het gebruik van kernenergie op grote schaal en in de hele wereld: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>splijstofcyclus, afvalprobleem</i>;</li> <li>• <i>beargumenteerde mening vormen</i>;</li> <li>• <i>risico's beoordelen en afwegen</i>.</li> </ul>	<b>vervallen</b>

### Formules uit het oude programma

Gehandhaafd in het nieuwe programma:

$$A = N + Z$$

Gewijzigd (zie B2):

$$H = QD, \quad D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$$

Vervallen:

$$E = mc^2$$

## 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; A7; A13; A15.1; A15.3
- B1.6; B2.4
- C1.6
- D1.2; D1.4 t/m D1.6
- E1; E2 (SE-keuze)
- F (SE-keuze)
- G1.1; G1.4; G1.5
- H
- I2 (SE)

### 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:**

$$E_f = hf, \quad c = f\lambda, \quad A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}, \quad A_{\text{gem}} = -\frac{\Delta N}{\Delta t},$$

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is,}$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is,}$$

$$I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n \text{ met } n = \frac{d}{d_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is.}$$

**bij C1:**

$$v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}, \quad a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}, \quad F_1 r_1 = F_2 r_2.$$

**bij C2:**

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

**bij D1:**

$$P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}, \quad \sigma = \frac{F}{A}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}, \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}.$$

**bij E1:**

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}, \quad F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}, \quad \lambda_{\text{max}} T = k_W.$$

**bij G1:**

$$G = \frac{1}{R}, \quad I = GU, \quad I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = \dots, \quad U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = \dots, \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}.$$



## Bijlage 5. Nieuwe Natuurkunde<sup>15</sup> 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 examens die op de pilotscholen zijn afgenomen op [www.cito.nl](http://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 2009-2014 bekijken. Zie bijvoorbeeld havo-pilot 2009-II vraag 27 t/m 29.

Ad 3:

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

---

<sup>15</sup> In navolging van de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs wordt hier gesproken over Nieuwe Natuurkunde waar het nieuwe examenprogramma natuurkunde bedoeld wordt.

