

Natuurkunde HAVO

**Syllabus centraal examen
2010**



Oktober 2008

Verantwoording:

© 2008 Centrale Examencommissie Vaststelling Opgaven vwo, havo, vmbo, Utrecht

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

CEVO commissie examenprogramma 2008 natuurkunde havo:

Henk van den Berg (Fontys), voorzitter

Robert Bouwens (CEVO)

Lambert Heijnen (SLO), secretaris

Boy Kneepkens (Cito)

Saskia Plekkenpol (docent)

Albert Wildeman (docent)

Inhoud

Voorwoord	4
1. Inleiding	5
1.1 De plaats van natuurkunde in de Tweede Fase havo vanaf 2007	5
1.2 De omvang van het programma	5
1.3 Toelichting bij de herziening van het programma	5
1.4 Transfer van kennis	5
2. Verdeling examinering CE/SE	6
3. Specificatie van de globale eindtermen voor het CE	8
Domein A1: Vaardigheden	8
Domein B: Elektrische processen	11
Domein C: Licht en geluid	12
Domein D: Kracht en beweging	14
Domein E: Materie en energie	16
4. Het centraal examen	18
Zittingen centraal examen	18
Vakspecifieke regels correctievoorschrift	18
Hulpmiddelen	18
Computertoetsing	18
Handreiking schoolexamen	18
Bijlage 1. Examenprogramma Natuurkunde havo	19

Voorwoord

Examenprogramma's veranderen van opzet. De minister stelt een examenprogramma op hoofdlijnen vast en wijst in het examenprogramma Domeinen en subdomeinen aan, waarover het centraal examen zich uitstrekt. Vroeger werd in het programma ook bepaald het aantal en de duur van de toetsen. Met ingang van 1 augustus 2007 is dat veranderd. De CEVO stelt het aantal en de tijdsduur van de toetsen van het centraal examen vast, en de wijze waarop het centraal examen wordt afgenomen. Deze vaststelling wordt gepubliceerd in de septembermededeling.

Verder geeft de CEVO in een syllabus een beschrijving van en toelichting op de exameneisen voor een centraal examen, en informatie over een of meer van de volgende onderwerpen:

- toegestane hulpmiddelen,
- specificaties van examenstof,
- voorbeeldopgaven,
- bijzondere vormen van examinering (computerexamens),
- toelichting op de vraagstelling,
- begrippenlijsten,
- bekend veronderstelde voorkennis uit de onderbouw,
- bekend veronderstelde onderdelen van Domeinen die verplicht zijn op het schoolexamen.

Ten aanzien van de specificaties 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 hun aard zijn ze niet een volledige beschrijving van alles wat op een examen zou kunnen voorkomen. Het is mogelijk, al zal dat maar in beperkte mate voorkomen, dat op een c.e. ook iets aan de orde komt dat niet met zo veel woorden in deze syllabus staat, maar dat naar het algemeen gevoelen daarvan in het verlengde 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 nascholers.

De c.e. syllabus is niet van belang voor het schoolexamen. Daarvoor bestaat een handreiking van de SLO, te vinden op www.slo.nl.

Syllabi worden per examenjaar vastgesteld. Deze syllabus geldt voor het centraal examen havo van 2010. Voor het jaar 2011 wordt een nieuwe syllabus vastgesteld. De verwachting is dat die vrijwel niet zal afwijken van deze syllabus. In volgende syllabi zal telkens worden vermeld of en zo ja waar deze afwijken van eerdere syllabi.

In uitzonderingsgevallen kan een syllabus na publicatie nog 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 bekend worden gemaakt. Kijkt u voor alle zekerheid in september 2009 op Het Examenblad, www.eindexamen.nl.

Deze eerste syllabus is ontworpen door een commissie ad-hoc van de CEVO en in hoofdzaak geschreven door medewerkers van SLO en Cito.

Een eerder concept van de syllabus is in februari 2005 ter inzage gelegd op www.cevo.nl, en is voor advies toegezonden aan de vakinhoudelijke vereniging, de VSNU, de HBO-raad, het Cito en de CEVO-vaksectie. Op grond van de ontvangen reacties en adviezen is de tekst vastgesteld, die u hierbij aantreft.

Voor opmerkingen over deze tekst houdt de CEVO zich steeds aanbevolen. U kunt die zenden aan info@cevo.nl of aan CEVO, postbus 8128, 3503 RC Utrecht.

De voorzitter van de CEVO,
drs. H.W.Laan.

1. Inleiding

Dit herziene examenprogramma 2007 is gebaseerd op het programma dat geldt vanaf de invoering van de Tweede Fase in 1998. De Herstructurering van de Tweede Fase 2007 geeft aanleiding tot deze herziening.

Een commissie vernieuwing natuurkundeonderwijs werkt aan een geheel nieuw examenprogramma natuurkunde. De invoering van dat nieuwe programma is zeker niet voor 2012 te verwachten.

1.1 De plaats van natuurkunde in de Tweede Fase havo vanaf 2007

Het vak 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 A, biologie, informatica of natuur, leven en technologie. In het profiel Natuur en Gezondheid is natuurkunde een profielkeuzevak, dat ter verdieping of verbreding in het profiel gekozen kan worden. In de profielen Economie en Maatschappij en Cultuur en Maatschappij is natuurkunde een keuze-examenvak. Het is aan een school toegestaan om het vak natuurkunde (of gedeelten daarvan, bijvoorbeeld in de vorm van modules) ook in het vrije deel aan te bieden.

1.2 De omvang van het programma

Bij de Herstructurering Tweede Fase 2007 hebben we te maken met een nieuwe vakkenstructuur en een nieuwe verdeling van de studielast.

Voor natuurkunde betekent dit dat er geen deelvak N1 meer zal bestaan. Voor het gehele vak natuurkunde havo wordt de omvang gereduceerd van 440 SLU naar 400 SLU.

1.3 Toelichting bij de herziening van het programma

De herziene examenprogramma's 2007 zijn aangepast aan de nieuwe vakkenstructuur en het aantal studielasturen zoals die gelden vanaf 2007. Tengevolge van de reductie van de studielast zijn sommige subdomeinen en eindtermen vervallen. In enkele gevallen was het nodig om eindtermen in een ander subdomein onder te brengen of om de eindtermen opnieuw te formuleren, voor een betere consistentie van het programma.

De subdomeinen zijn toegewezen aan het CE en/of het SE. Het schoolexamen moet in elk geval Domein A1: "Vaardigheden" en dit SE deel omvatten, maar mag daarnaast door het bevoegd gezag vast te stellen onderdelen omvatten, zoals in hoofdstuk 2 omschreven.

Het ANW-domein "Analyse en reflectie met betrekking tot natuurwetenschap, techniek en de rol van mensen" is opgenomen als Domein A2 in het examenprogramma havo natuurkunde. Waar van toepassing zal dit domein in het CE aan de orde kunnen komen als context. Het zwaartepunt van dit domein ligt echter in het SE. Het wordt derhalve in deze syllabus niet nader gespecificeerd.

De subdomeinen voor het SE en adviezen voor de invulling van het schoolexamen komen in een handreiking van de SLO aan de orde.

In hoofdstuk 3 van deze syllabus worden de subdomeinen voor het CE nader gespecificeerd. Aan het begin van een domein is een subdomein "0" toegevoegd, waar basiskennis vanuit de onderbouw, alsmede kennis uit het SE wordt aangegeven. Boven elk subdomein staat de globale eindterm. Per subdomein is vervolgens een specificatie van de leerstof gemaakt aan de hand van de eindtermen uit 1998. In de toelichting aan het einde van elk subdomein wordt steeds aangegeven welke veranderingen er zijn ten opzichte van het oude programma.

Domein A1: "Vaardigheden" is in zijn geheel in deze syllabus opgenomen, omdat de vakinhoudelijke domeinen gekend moeten zijn in combinatie met de daarbij behorende vaardigheden uit Domein A1. Indien een vaardigheid niet bedoeld is voor het CE wordt dat in de toelichting vermeld.

1.4 Transfer van kennis

Bij enkele eindtermen uit het examenprogramma wordt de kennis gekoppeld aan een context of situatie. Van de kandidaat mag verwacht worden dat hij de betreffende kennis ook in andere contexten en situaties kan toepassen, mits de bij een vraag aangeboden informatie voldoende houvast biedt voor een correcte beantwoording van die vraag.

2. Verdeling examinering CE/SE

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen/subdomeinen.

De nummers tussen haakjes in onderstaande tabel verwijzen naar de eindtermen uit de publicatie van mei '98. In de laatste kolommen is aangegeven of een domein/subdomein thuis hoort in het CE, SE of in beide.

Domein		Subdomein	CE	moet in SE	mag in SE
A1	Vaardigheden	1. Taalvaardigheden (1-8) 2. Reken-/wiskundige vaardigheden (9-14) 3. Informatievaardigheden (15-22, alsmede uit het vakinhoudelijk deel eindterm 8) 4. Technisch-instrumentele vaardigheden 23-27) 5. Ontwerpvaardigheden (28-34, alsmede uit het vakinhoudelijk deel eindterm 11) 6. Onderzoeksvaardigheden (35-43, alsmede uit het vakinhoudelijk deel de eindtermen 4, 6, 17, 45 en 58) 7. Maatschappij, studie en beroep (44-47)	x x x x x x x	x x x x x x x	
A2 **	Analyse van en reflectie op natuurwetenschap en techniek	1. Kennisvorming 2. Toepassing van kennis 3. De invloed van natuurwetenschap en techniek		x x x	
B	Elektrische processen	1. Elektriciteit (1-3 en 5) 2. Regelsystemen en signaalverwerking (7, 9 en 10) 3. Elektromagnetisme (13-16) 4. Opwekking en transport van elektrische energie (18-21)	x x	x x	x x
C	Licht en geluid	1. Licht (22-27) 2. Trillingen en golven (28-33)	x x		x x
D	Kracht en beweging	1. Beweging (39, 40, 41, 42, 50, delen van 47 en 48) 2. Kracht, arbeid en energie (34, 35, 38, 39, 44, 46, delen van 47 en 48)	x x		x x
E	Materie en energie	1. Energie (54-57) 2. Straling, gezondheid en kernenergie (60-65, 67 en 69)	x	x	x

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, D1, D2 en E2 in combinatie met de vaardigheden uit domein A1.

De CEVO stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

De CEVO maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Voor toegestane hulpmiddelen en ICT-toetsing: zie hoofdstuk 4 van deze syllabus.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A1 en:
ten minste de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft;
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.

Algemeen

De examenstof dient geheel te worden onderwezen. Het is dus niet zo dat het bevoegd gezag in de school vrij is een gedeelte van de schoolexamenstof te laten vervallen, omdat dat niet centraal geëxamineerd wordt.

3. Specificatie van de globale eindtermen voor het CE

Domein A1: Vaardigheden

Subdomein A1-1: Taalvaardigheden

1. De kandidaat kan adequaat schriftelijk en mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen.

Specificatie

De kandidaat kan zowel mondeling als schriftelijk:

- 1.1 correct formuleren.
- 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

2. De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante reken-/wiskundige vaardigheden toepassen om natuurwetenschappelijke problemen op te lossen.

Specificatie

De kandidaat kan

- 2.1 basisrekenvaardigheden uitvoeren:
 - een (grafische) rekenmachine gebruiken;
 - rekenen met verhoudingen, procenten, machten, wortels;
 - omtrek van een cirkel berekenen;
 - de oppervlakte berekenen van een driehoek en een cirkel;
 - absolute waarde toepassen.
- 2.2 berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren:
 - formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen.
- 2.3 wiskundige technieken toepassen:
 - omwerken van eenvoudige wiskundige betrekkingen;
 - rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd);
 - oplossen van lineaire en tweedegraadsvergelijkingen;
 - twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden oplossen;
 - stelling van Pythagoras toepassen;
 - sinus-, cosinus- en tangensfunctie toepassen;
 - vectoren optellen, aftrekken, ontbinden en vermenigvuldigen met een scalar;
 - berekeningen bij ontbinden alleen bij twee onderling loodrechte richtingen;
 - berekeningen van grootte en richting bij samenstellen van vectoren alleen bij twee onderling loodrechte assen;
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
 - interpoleren en extrapoleren in grafieken, tabellen en diagrammen;
 - de grafiek tekenen en het functievoorschrift opstellen bij rechtevenredige verbanden;
 - raaklijn tekenen aan een kromme en de richtingscoëfficiënt bepalen;
 - de oppervlakte onder een grafiek schatten, benaderen.
- 2.4 afgeleide eenheden herleiden tot eenheden van het SI.
- 2.5 uitkomsten schatten en beoordelen.
- 2.6 uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers:
 - een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is.

Subdomein A1-3: Informatievaardigheden

3. De kandidaat kan, mede met behulp van ICT, informatie selecteren, verwerken, beoordelen en presenteren.

Specificatie

De kandidaat kan

- 3.1 informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT.
- 3.2 informanten kiezen en informanten bevragen.
- 3.3 benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT:
 - onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules.
- 3.4 gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT.
- 3.5 hoofd- en bijzaken onderscheiden.
- 3.6 feiten met bronnen verantwoorden.
- 3.7 informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.
- 3.8 de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor het op te lossen probleem of te maken ontwerp.
- 3.9 natuurkundige grootheden via de computer meten met een sensor.

Subdomein A1-4: Technisch-instrumentele vaardigheden

4. De kandidaat kan op een verantwoorde manier omgaan met voor het vak relevante organismen en stoffen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Specificatie

De kandidaat kan

- 4.1 gebruik maken van stoffen, instrumenten en apparaten:
 - voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technische ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud, voorzover veiligheid, milieueisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dit toelaten.specificatie apparatuur:
 - krachtmeter;
 - stenvork, toengenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop;
 - prisma, filters, optische bank, optische schijf, brekingslichamen, positieve lens, glasvezels, fototoestel, diaprojector, overheadprojector;
 - vloeistofthermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;
 - elektroscop, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand, stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, LED;
 - permanente magneten, stroomspoel, transformator;
 - GM-teller.
- 4.2 bij het raadplegen, verwerken en presenteren van informatie en bij het inzichtelijk maken van processen gebruik maken van toepassingen van ICT.
- 4.3 gebruik maken van micro-elektronicasystemen voor meten, sturen en regelen.
- 4.4 aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten.
- 4.5 verantwoord omgaan met stoffen, instrumenten en organismen, zonder daarbij schade te berokkenen aan mensen, dieren en milieu.

Toelichting A1-4

Vervallen:

- *Bij A4.1 zijn "Hefboom, katrol, tandwiel, en decibelmeter" en "dynamo" weggelaten. "permanente magneten, stroomspoel, transformator" behoren niet tot het CE.*

Toegevoegd:

- *Aan A4.1 zijn "Meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal" toegevoegd.*
- *Bij A4.3 is "Sturen" toegevoegd tussen "meten en regelen".*

Subdomein A1-5: Ontwerpvaardigheden

5. De kandidaat kan een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

Specificatie

De kandidaat kan

- 5.1 een technisch probleem herkennen en specificeren.
- 5.2 een technisch probleem herleiden tot een ontwerpopdracht.
- 5.3 prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden vaststellen voor het uitvoeren van een ontwerp.
- 5.4 een werkplan maken voor het uitvoeren van een ontwerp.
- 5.5 een ontwerp bouwen.
- 5.6 ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdende met ontwerpeisen en randvoorwaarden.
- 5.7 voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.

Toelichting A1-5

Onderstaande oude eindterm B-11, die uit het vakinhoudelijk deel is weggehaald, behoort aandacht te krijgen als context voor ontwerpvaardigheden:

“een deel van een geautomatiseerd meet-, stuur- of regelsysteem ontwerpen en bouwen:

- signalen verwerken met elektronische verwerkers;
- aansturen van actuatoren;
- blokschema van regelapparatuur.”

Subdomein A1-6: Onderzoeksvaardigheden

6. De kandidaat kan een natuurwetenschappelijk onderzoek voorbereiden, uitvoeren, de verzamelde onderzoeksresultaten verwerken en hieruit conclusie trekken.

Specificatie

De kandidaat kan

- 6.1 een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren.
- 6.2 verbanden leggen tussen probleemstellingen, hypothesen, gegevens en aanwezige natuurwetenschappelijke voorkennis.
- 6.3 een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een onderzoeksvraag.
- 6.4 hypothesen opstellen en verwachtingen formuleren.
- 6.5 prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden vaststellen om een natuurwetenschappelijk onderzoek uit te voeren.
- 6.6 een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een onderzoeksvraag.
- 6.7 relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen.
- 6.8 conclusies trekken op grond van verzamelde gegevens van uitgevoerd onderzoek.
- 6.9 oplossingen, onderzoeksgegevens, resultaten en conclusies evalueren.

Toelichting A1-6

Verplaatst:

Onderstaande oude eindtermen, die uit het vakinhoudelijk deel zijn weggelaten, behoren aandacht te krijgen als contexten voor onderzoeksvaardigheden:

B-4 “Schakelingen bouwen met behulp van elektrische schema's”.

B-6 “Proeven doen met eenvoudige schakelingen en componenten (kwalitatief onderzoek naar de invloed van licht, druk en van temperatuur op componenten; meting van stroom, spanning en weerstand; toepassing van eenvoudige schakelingen bij alarmsystemen en bij bewaking van het milieu).”

B-17 “Het rendement onderzoeken van de energieomzetting van elektromotoren.”

D-45 “Onderzoek doen aan energieomzettingen en krachten bij werktuigen, fietsen, modellen van auto's of in situaties van sport of conditietraining.”

E-58 “Onderzoeken op welke wijze het rendement van energieomzettingen kan worden verhoogd.”

Subdomein A1-7: Maatschappij, studie en beroep

7. De kandidaat kan toepassingen en effecten van natuurwetenschappen en techniek in verschillende maatschappelijke situaties herkennen en benoemen. Tevens kan hij een verband leggen tussen de praktijk van verschillende beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en attitude.

Specificatie

De kandidaat kan

- 7.1 toepassingen van de natuurwetenschappen herkennen in verschillende maatschappelijke situaties.
- 7.2 maatschappelijke effecten benoemen van natuurwetenschappelijke en technologische toepassingen in verschillende maatschappelijke situaties.
- 7.3 een relatie leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden en de praktijk van verschillende beroepen.
- 7.4 een relatie leggen tussen eigen vaardigheden, kennis en attitudes en de eisen van opleidingen en beroepsuitoefening.

Domein B: Elektrische processen

Basiskennis B0

De kandidaat heeft kennis van:

- positieve en negatieve lading;
- kracht tussen ladingen;
- geleiders en isolatoren;
- stroomgeleiding door vrije elektronen.

Subdomein B1: Elektriciteit

11. De kandidaat kan toepassingen van het gebruik van elektriciteit beschrijven, de bijbehorende schakelingen en de onderdelen daarvan analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan

- 11.1 toepassingen van het gebruik van elektriciteit beschrijven in de gezondheidszorg en techniek:
 - opwekking van warmte;
 - magnetische werking.
- 11.2 eigenschappen, functie en wijze van aansluiting beschrijven van onderdelen van een elektrische schakeling:
 - spanningsbron;
 - weerstand, LDR, NTC;
 - gloeilamp, verwarmingselement, LED;
 - stroommeter en spanningsmeter;
 - zekering en aardlekschakelaar;
 - kWh-meter.
- 11.3 schema's tekenen van elektrische schakelingen die opgebouwd of beschreven zijn.
- 11.4 problemen oplossen met behulp van formules:
 - spanning, stroom, weerstand, energie en/of vermogen;
 - serie- en parallelschakeling;
 - soortelijke weerstand en draadvormige geleiders;
 - omrekenen kWh naar J en omgekeerd.
- 11.5 de volgende formules toepassen:

$$I = \frac{Q}{t}, \quad U = IR, \quad U = U_1 + U_2 + \dots, \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots, \quad I = I_1 + I_2 + \dots, \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots, \quad R = \rho \frac{\ell}{A},$$

$$P = \frac{E}{t}, \quad P = UI, \quad P = I^2 R.$$

Toelichting B1

Toegevoegd:

- Bij B11.2 "LED".
- Bij B11.4 "kWh omrekenen in joule en omgekeerd".
- Aan de formules $I = \frac{Q}{t}$ als definitie van stroomsterkte en $U = U_1 + U_2 + \dots$.

Verplaatst:

- De oude eindtermen B-4 en B-6 zijn weggelaten en worden geacht te behoren tot subdomein A1-6: "Onderzoeksvaardigheden".

Subdomein B2: Regelsystemen en signaalverwerking

12. De kandidaat kan een geautomatiseerd systeem ontwerpen en de werking van de componenten beschrijven.

Specificatie

De kandidaat kan

- 12.1 het gebruik uitleggen van geautomatiseerde meet-, stuur- en regelsystemen in en om het huis, in de milieutechniek en in de gezondheidszorg:
 - de functie van sensor, verwerker en actuator;
 - bij een gegeven doel een keuze maken uit sensoren.
- 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:
 - omzetting van analoge in digitale signalen;
 - EN/OF-poort, invertor, comparator;
 - geheugenelement, teller;
 - gehele, decimale, getallen omzetten in binaire code en omgekeerd.

Toelichting B2

Toegevoegd:

- Aan B12.1 "stuursystemen".
- Aan B12.3 "gehele, decimale, getallen omzetten in binaire code en omgekeerd".

Verplaatst:

- De oude eindterm B-8 "natuurkundige grootheden via de computer meten met een sensor" is weggelaten en is bij A1-3: *informatievaardigheden teruggeplaatst als A3.9.*
- De oude eindterm B-11 "een deel van een geautomatiseerd meet- of regelsysteem ontwerpen en bouwen" is weggelaten en wordt geacht te behoren tot A1-5: *ontwerpvaardigheden.*

Vervallen:

- De oude eindterm B-12 "de invloed aangeven van automatisering op mens en samenleving".

Domein C: Licht en geluid

Basiskennis C0

De kandidaat heeft kennis van:

- divergente, convergente en evenwijdige lichtbundels, schaduwvorming;
- spiegelende en diffuse terugkaatsing;
- convergerende werking van een positieve lens;
- geluidssnelheid, echo;
- regelen toonhoogte snaarinstrument: invloed lengte en spanning.

Subdomein C1: Licht

15. De kandidaat kan de eigenschappen van licht analyseren en toepassen op technieken om beelden vast te leggen.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 15.1 berekeningen maken met de brekingswetten:
- tekenen van de lichtweg;
 - hoek van inval, hoek van breking, brekingsindex;
 - grenshoek.
- 15.2 met de brekingswetten het doorgeven van licht door een glasvezelkabel en de kleurschifting in een prisma beschrijven.
- 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:
- sterkte van een lens;
 - lenzenformule en lineaire vergroting;
 - menselijk oog, nabijheidspunt, accommodatie;
 - foto toestel, overheadprojector, diap projector.
- 15.4 uitleggen op welke wijze een vergroot beeld wordt waargenomen bij het gebruik van een loep in de situatie van een geaccommodeerd oog:
- in een tekening de vorming van het virtuele beeld schematisch weergeven.
- 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.
- 15.6 voorbeelden noemen van toepassingen van ultrasoon geluid en laserlicht in de gezondheidszorg:
- echografie;
 - glasvezeltechniek.
- 15.7 de volgende formules toepassen:

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

Toelichting C1

Toegevoegd:

- *Aan C15.3 "sterkte van een lens". Hiermee wordt niet bedoeld dat de sterkte van brillenglazen berekend moet worden op basis van oogafwijking.*
- *Aan de formules: $S=1/f$ en $N= \text{beeldgrootte}/\text{voorwerp grootte}$.*

Vervallen:

- *Uit de oude eindterm C-25 "in een proef de plaats van het virtuele beeld bepalen".*

Subdomein C2: Trillingen en golven (CE)

16. De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van trillingen en golven beschrijven en toepassen op resonantie- en interferentieverschijnselen.

Specificatie

De kandidaat kan

- 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:
- sinusvorm;
 - cardiogram;
 - oscillogram van stemvork, trillende snaar, menselijke stem, zuivere toon.
- 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:
- slinger en massaveersysteem;
 - veerconstante.
- 16.3 de uitbreiding van geluid en licht in de vorm van lopende golven beschrijven:
- golflengte, frequentie en golfsnelheid;
 - faseverschil, afstand en golflengte.
- 16.4 versterking en verzwakking van geluid door interferentie in verband brengen met faseverschillen.

- 16.5 het verschijnsel resonantie verklaren:
- staande golfpatronen in snaar- en blaasinstrumenten;
 - knopen en buiken (niet het ontstaan ervan);
 - te nemen maatregelen tegen ongewenste resonanties.
- 16.6 een overzicht geven van het elektromagnetisch spectrum met voorbeelden en toepassingen:
- golfsnelheid elektromagnetische golven in vacuüm als natuurconstante;
 - verband stralingssoort en frequentie;
 - kleuren, infrarood en ultraviolet;
 - betekenis van frequentieafspraken bij radio, TV, telecommunicatie.
- 16.7 de volgende formules toepassen:

$$f = \frac{1}{T}, \quad \lambda = vT, \quad v = f\lambda, \quad F_{\text{veer}} = Cu, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}, \quad \ell = n \cdot \frac{1}{2}\lambda \quad (n = 1, 2, \dots),$$

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

Toelichting C2

Toegevoegd:

- Aan C16.2 “veerconstante”.
- Aan de formules $F_{\text{veer}} = Cu$.

Gewijzigd:

- De oude eindterm C-32 in C16.5.

Domein D: Kracht en beweging

Subdomein D1: Beweging

De kandidaat kan bewegingen beschrijven en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 17.1 plaats-tijd-diagrammen interpreteren:
- snelheid bepalen met behulp van raaklijn;
 - gemiddelde snelheid;
 - in een diagram van een valbeweging met wrijving de eindsnelheid bepalen.
- 17.2 snelheid-tijd-diagrammen interpreteren:
- verplaatsing bepalen met behulp van oppervlakte;
 - in een diagram van de vrije val de versnelling bepalen;
 - in een diagram van een valbeweging met wrijving de eindsnelheid bepalen.
- 17.3 berekeningen maken bij een vrije val vanuit rust:
- valversnelling, valtijd, snelheid, hoogte.
- 17.4 de begrippen baansnelheid, omlooptijd en toerental toepassen bij een eenparig ronddraaiend voorwerp.
- 17.5 de grootheden noemen die een rol spelen bij het eenparig versnellen van voertuigen en hiermee gegeven problemen oplossen:
- afgelegde weg, gemiddelde snelheid, snelheid en versnelling;
 - versnellen vanuit rust.
- 17.6 problemen over de veiligheid in het verkeer oplossen, gebruikmakend van natuurkundige begrippen en relaties:
- remweg, reactietijd, veilige snelheid en veilige afstand;
- 17.7 de volgende formules toepassen:

$$s(t) = vt, \quad v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad s(t) = \frac{1}{2}at^2, \quad v = \frac{2\pi r}{T}.$$

Subdomein D2: Kracht, arbeid en energie

18. De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en bij systemen in rust of eenparige beweging de eerste wet van Newton toepassen. Tevens kan hij de tweede en derde wet van Newton, de relaties tussen de begrippen kracht, arbeid en vermogen en de wet van behoud van energie toepassen.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 18.1 de eerste wet van Newton uitleggen aan de hand van voorbeelden:
- evenwicht van krachten;
 - systemen in rust of eenparige beweging;
 - traagheid, massa en dichtheid.
- 18.2 met de tweede wet van Newton de resulterende kracht of de versnelling berekenen:
- zwaartekracht en valversnelling.
- 18.3 de derde wet van Newton toepassen in eenvoudige situaties.
- 18.4 krachten op een systeem weergeven als vectoren en hiermee krachten berekenen in situaties van rust en constante snelheid:
- krachten op een voorwerp benoemen;
 - schematische vectortekening van krachten;
 - in een tekening krachten samenstellen en ontbinden;
 - de grootte berekenen; alleen bij twee onderling loodrechte componenten;
 - hellend vlak.
- 18.5 de grootheden noemen die een rol spelen bij het eenparig versnellen en vertragen van voertuigen en hiermee gegeven problemen oplossen:
- arbeid en kinetische energie;
 - aandrijfkraft;
 - wrijvingskracht: lucht-, schuif- en rolweerstand;
 - normaalkraft;
 - veiligheidsgordel, veiligheidshelm, hoofdsteun, kreukelzone, kooiconstructie, airbag en remsysteem.
- 18.6 de wet van behoud van energie toepassen onder andere bij een vrije val, verticale worp omhoog:
- arbeid door de zwaartekracht, zwaarte-energie;
 - energieomzetting, bewegingsenergie;
 - veerenergie, warmteontwikkeling bij het bereiken van de ondergrond;
 - hoogte, grootte van de beginsnelheid, grootte van de eindsnelheid.
- 18.7 berekeningen maken over kracht, arbeid en vermogen in situaties van voertuigen bij verschillende constante snelheden op een vlakke weg:
- snelheid, vermogen en energiegebruik in het verkeer;
 - verbrandingswarmte/stookwaarde van brandstoffen;
 - rendement van motoren;
 - milieu-effecten van motoren.
- 18.8 de volgende formules toepassen:

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

$$P = Fv, \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Toelichting D

Omdat het oude domein D: "Kracht en beweging" geheel herverkaveld is, geven we de toelichting van D1 en D2 hier onder één noemer. Domein D is teruggebracht tot slechts 2 subdomeinen: "Beweging" en "Kracht, arbeid en energie".

Toegevoegd:

- Aan D18.1 "dichtheid" om massa te kunnen berekenen.
- In D18.3 is aan het toepassen van de derde wet van Newton "in eenvoudige situaties" toegevoegd. Het gaat om het inzicht dat krachten altijd in paren optreden, dat de twee krachten even groot en tegengesteld zijn en op verschillende voorwerpen aangrijpen (bijvoorbeeld een auto met caravan).
- Aan D18.4 "hellend vlak" uit oude eindterm D-37.
- De formules $W_{\text{tot}} = \Delta E_k$ en $m = \rho V$.

Verplaatst:

- *D-45 “onderzoek doen aan energieomzettingen en krachten bij werktuigen, fietsen, modellen van auto's of in situaties van sport of conditietraining” wordt geacht te behoren tot subdomein A1-6: onderzoeksvaardigheden.*
- *D-47 en D-48 zijn herverkaveld en ondergebracht in de daarvoor in aanmerking komende eindtermen.*
- *D-50 is ondergebracht als D17,4.*

Vervallen:

- *Uit D-46 “onderscheid tussen systeem en deelsysteem” en “onderscheid tussen inwendige en uitwendige krachten”.*
- *D-36 “de begrippen arbeid en vermogen gebruiken om de krachtoverbrenging bij werktuigen en bij het menselijk lichaam uit te leggen (hellend vlak, hef- en hijswerktuigen; tandwielen, de fiets)”.*
- *D-37 “met de hefboomwet krachten berekenen in toepassingen van hefboomen in evenwicht, bij het menselijk lichaam, werktuigen en technische constructies (zwaartepunt als aangrijpingspunt van de zwaartekracht; als er twee krachtmomenten werken, het moment van een kracht berekenen; hellend vlak, hef- en hijswerktuigen; tandwielen, de fiets)”.*
- *D-43 “de horizontale verplaatsing berekenen bij een horizontale worp”.*
- *D-51, D-52 en D-53 uit subdomein Cirkelbeweging.*
- *De formules $M = Fr$, $M_1 + M_2 = 0$, $F\Delta t = m\Delta v$ en $F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r}$.*

Domein E: Materie en energie

Subdomein E2: Straling en gezondheid

22. De kandidaat kan eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen daarvan verklaren en de effecten beschrijven van ioniserende straling op mens en milieu. Daarnaast kan hij de energieproductie in een kerncentrale beschrijven.

Specificatie

De kandidaat kan

- 22.1 de verschillende soorten ioniserende straling en hun eigenschappen beschrijven:
- achtergrondstraling, röntgenstraling, α -, β - en γ -straling;
 - ioniserend en doordringend vermogen;
 - detectie: GM-buis, badge.
- 22.2 eenvoudige berekeningen maken waarbij de halveringstijd een rol speelt:
- alleen bij veelvoud van de halveringstijd;
 - vervalkromme, activiteit.
- 22.3 een vervalvergelijking van een radioactieve kern opstellen als gegeven is welke straling wordt uitgezonden:
- atoomnummer, massagetal, isotoop.
- 22.4 de effecten bespreken van ioniserende straling op de mens en het milieu:
- schema: bron, straling, ontvanger;
 - bestraling en besmetting;
 - absorptie, stralingsdosis en dosisequivalent, omrekenen van eV in joule en omgekeerd;
 - stralingsnormen;
 - afwegen van risico's.
- 22.5 toepassing van ioniserende straling verklaren in industrie en techniek:
- doorstraling van voedsel;
 - materiaalonderzoek;
 - meettechniek, halveringsdikte;
 - gebruik van tracers.
- 22.6 toepassingen noemen van beschermingsmaatregelen bij het gebruik van ioniserende straling in de gezondheidszorg en techniek:
- röntgenfoto, in- en uitwendige bestraling;
 - afscherming, dracht.

- 22.7 de werking van een kerncentrale verklaren:
- reactievergelijkingen;
 - massadefect, atomaire massa-eenheid;
 - kettingreactie, kritiek zijn, verrijkt uranium;
 - veiligheidsvoorzieningen bij winning, transport, gebruik, opwerking en afval.
- 22.8 voor- en nadelen noemen van het gebruik van kernenergie op grote schaal en in de hele wereld:
- splijtstofcyclus, afvalprobleem;
 - beargumenteerde mening vormen;
 - risico's beoordelen en afwegen.
- 22.9 de volgende formules toepassen:

$$A = N + Z, \quad H = QD, \quad D = \frac{E_{\text{str}}}{m}, \quad E = mc^2.$$

Toelichting E2

Toegevoegd:

- Aan E22.4 uit de oude eindterm E-66 "omrekenen van eV in joule" *alleen als omrekeningsfactor*.
- Aan eindterm E22.7 "massadefect, atomaire massa-eenheid", *zodat uit kernreactievergelijkingen de vrijkomende of benodigde energie berekend kan worden*.
- De formules $H = QD$ en $D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$.

Vervallen:

- Uit E-60 "isotoop en röntgenbuis".
- E-66 "de werking van de röntgenbuis verklaren (thermische emissie van elektronen; versnelspanning en kinetische energie; omzetting van kinetische energie in straling bij de anode)".
- E-68 "aangeven hoe de energieproductie in de zon tot stand komt (kernfusie; ontstaan van elementen, reactievergelijking)".
- de formule $\Delta E_k = q\Delta U$.

4. Het centraal examen

Zittingen centraal examen

Het centraal examen wordt afgenomen in één zitting van drie uur.

Vakspecifieke regels correctievoorschrift

Voor natuurkunde zijn de volgende vakspecifieke regels vastgesteld:

1. Een afwijking in de uitkomst van een berekening door acceptabel tussentijds afronden wordt de kandidaat niet aangerekend.
2. De uitkomst van een berekening mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is, tenzij in de vraag is vermeld hoeveel significante cijfers de uitkomst dient te bevatten.
3. Het laatste scorepunt, aangeduid met 'completeren van de berekening', wordt niet toegekend in de volgende gevallen:
 - . een fout in de nauwkeurigheid van de uitkomst
 - . een of meer rekenfouten
 - . het niet of verkeerd vermelden van de eenheid van een uitkomst, tenzij gezien de vraagstelling het weergeven van de eenheid overbodig is. In zo'n geval staat in het antwoordmodel de eenheid tussen haakjes.
4. Het laatste scorepunt wordt evenmin toegekend als juiste antwoordelementen foutief met elkaar worden gecombineerd of als een onjuist antwoordelement een substantiële vereenvoudiging van de berekening tot gevolg heeft.
5. In het geval van een foutieve oplossingsmethode, waarbij geen of slechts een beperkt aantal deelscorepunten kunnen worden toegekend, mag het laatste scorepunt niet worden toegekend.

Hulpmiddelen

In de natuurkunde-examens is naast het standaardpakket hulpmiddelen een grafische rekenmachine toegestaan. De lijst van toegestane machines wordt jaarlijks door de CEVO gepubliceerd. Het gebruik van BINAS 5^e druk is in 2010 toegestaan.

Computertoetsing

Vanaf 2003 is van het natuurkunde-examen ook een versie geproduceerd waarbij het examen voor een deel met behulp van een computer wordt afgenomen. Met ingang van 2006 kunnen alle scholen aan deze examinering meedoen.

Handreiking schoolexamen

De SLO heeft een handreiking voor het schoolexamen tot stand gebracht.

Deze is te vinden op:

http://www.slo.nl/themas/00158/00002/Handreiking_natuurkun_DEFINITIEF.pdf/

Bijlage 1. Examenprogramma Natuurkunde havo

Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

- Domein A1 Vaardigheden
- Domein A2 Analyse van en reflectie op natuurwetenschap en techniek
- Domein B Elektrische processen
- Domein C Licht en geluid
- Domein D Kracht en beweging
- Domein E Materie en energie.

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, D1, D2 en E2, in combinatie met de vaardigheden uit domein A1.

De CEVO 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.

De CEVO stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

De CEVO maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A1 en:

- de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft;
- 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 A1: Vaardigheden

Subdomein A1-1: Taalvaardigheden

1. De kandidaat kan adequaat schriftelijk en mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen.

Subdomein A1-2: Reken-/wiskundige vaardigheden

2. De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante reken-/wiskundige vaardigheden toepassen om natuurwetenschappelijke problemen op te lossen.

Subdomein A1-3: Informatievaardigheden

3. De kandidaat kan, mede met behulp van ICT, informatie selecteren, verwerken, beoordelen en presenteren.

Subdomein A1-4: Technisch-instrumentele vaardigheden

4. De kandidaat kan op een verantwoorde manier omgaan met voor het vak relevante organismen en stoffen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Subdomein A1-5: Ontwerpvaardigheden

5. De kandidaat kan een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

Subdomein A1-6: Onderzoeksvaardigheden

6. De kandidaat kan een natuurwetenschappelijk onderzoek voorbereiden, uitvoeren, de verzamelde onderzoeksresultaten verwerken en hieruit conclusie trekken.

Subdomein A1-7: Maatschappij, studie en beroep

7. De kandidaat kan toepassingen en effecten van natuurwetenschappen en techniek in verschillende maatschappelijke situaties herkennen en benoemen. Tevens kan hij een verband leggen tussen de praktijk van verschillende beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en attitude.

Domein A2: Analyse van en reflectie op natuurwetenschap en techniek

Subdomein A2-1: Kennisvorming

8. De kandidaat kan weergeven hoe natuurwetenschappelijke kennis ontstaat, welke vragen natuurwetenschappelijke onderzoekers kunnen stellen en hoe ze aan betrouwbare antwoorden komen.

Subdomein A2-2: Toepassing van kennis

9. De kandidaat kan analyseren hoe natuurwetenschappelijke en technische kennis wordt toegepast en kan reflecteren op de wisselwerking tussen natuurwetenschap, techniek en samenleving.

Subdomein A2-3: De invloed van natuurwetenschap en techniek

10. De kandidaat kan oordelen over de betrouwbaarheid van toegepaste natuurwetenschappelijke kennis en een eigen mening over maatschappelijk-natuurwetenschappelijke vraagstukken vormen.

Domein B: Elektrische processen

Subdomein B1: Elektriciteit

11. De kandidaat kan toepassingen van het gebruik van elektriciteit beschrijven, de bijbehorende schakelingen en de onderdelen daarvan analyseren en de volgende formules toepassen:

$$I = \frac{Q}{t}, \quad U = IR, \quad U = U_1 + U_2 + \dots, \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots, \quad I = I_1 + I_2 + \dots, \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots, \quad R = \rho \frac{\ell}{A},$$

$$P = \frac{E}{t}, \quad P = UI, \quad P = I^2 R.$$

Subdomein B2: Regelsystemen en signaalverwerking

12. De kandidaat kan een geautomatiseerd systeem ontwerpen en de werking van de componenten beschrijven.

Subdomein B3: Elektromagnetisme

13. De kandidaat kan elektromagnetische verschijnselen verklaren en ten minste de volgende formules toepassen:

$$F_L = BI\ell, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Subdomein B4: Opwekking en transport van elektrische energie

14. De kandidaat kan de opwekking en het transport van elektrische energie en de werking van de benodigde onderdelen uitleggen en ten minste de volgende formules toepassen:

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

Domein C: Licht en geluid

Subdomein C1: Licht

15. De kandidaat kan de eigenschappen van licht analyseren en toepassen op technieken om beelden vast te leggen en de volgende formules toepassen:

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

Subdomein C2: Trillingen en golven

16. De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van trillingen en golven beschrijven en toepassen op resonantie- en interferentieverschijnselen en de volgende formules toepassen:

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

Domein D: Kracht en beweging

Subdomein D1: Beweging

17. De kandidaat kan bewegingen beschrijven en analyseren en de volgende formules toepassen:

$$s(t) = vt, \quad v_{\text{gem}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad s(t) = \frac{1}{2}at^2, \quad v = \frac{2\pi r}{T}.$$

Subdomein D2: Kracht, arbeid en energie

18. De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en bij systemen in rust of eenparige beweging de eerste wet van Newton toepassen. Tevens kan hij de tweede en derde wet van Newton, de relaties tussen de begrippen kracht, arbeid en vermogen, de wet van behoud van energie en de volgende formules toepassen:

$$F_z = mg, \quad m = \rho V, \quad F_{\text{res}} = ma, \quad E_z = mgh, \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2, \quad W = Fs, \quad W_{\text{tot}} = \Delta E_k, \quad P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, \quad P = \frac{W}{t},$$
$$P = Fv, \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}} \cdot 100\%, \quad \eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%.$$

Subdomein D3: Versnellen en vertragen

19. *Verplaatst*

Subdomein D4: Cirkelbeweging

20. *Vervallen*

Domein E: Materie en energie

Subdomein E1: Materie en energie

21. De kandidaat kan eigenschappen van materie en energie beschrijven en met behulp van modellen verklaren en ten minste de volgende formules toepassen:

$$Q = cm\Delta T, \quad Q = C\Delta T.$$

Subdomein E2: Straling en gezondheid

22. De kandidaat kan eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen daarvan verklaren en de effecten beschrijven van ioniserende straling op mens en milieu. Daarnaast kan hij de energieproductie in een kerncentrale beschrijven en de volgende formule toepassen:

$$A = N + Z, \quad H = QD, \quad D = \frac{E_{\text{str}}}{m}, \quad E = mc^2.$$

Subdomein E3: Kernenergie en techniek

23. *Vervallen*