

# Leerstof voortentamen natuurkunde van de CCVX

In dit document worden de globale eindtermen gespecificeerd van het programma van het voortentamen natuurkunde van de Centrale Commissies Voortentamen te beginnen met het voortentamen van april 2017.



Deze specificatie is gebaseerd op de eindtermen van het programma voor het Centraal Examen en het Schoolexamen zoals dat in het middelbaar onderwijs wordt afgenomen voor het vak natuurkunde vanaf mei 2016 op het v.w.o. Het voortentamen tentamineert zowel de examenstof die behoort tot het Centraal Examen als de leerstof die hoort tot het Schoolexamen.

Indien de leerstof voor het voortentamen natuurkunde afwijkt van de leerstof van het op dat moment geldende programma van het Centraal Examen of Schoolexamen geldt altijd het programma van de CCVX.

datum: 19 oktober 2016

## 1. Het voortentamen natuurkunde van de CCVX

Het voortentamen bestaat uit een schriftelijk examen.  
Het voortentamen wordt afgenomen in een zitting van 3 uur.

De leerstof bestaat uit de volgende domeinen:

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

Het voortentamen natuurkunde heeft betrekking op de domeinen B tot en met I in combinatie met de vaardigheden uit domein A met uitzondering van die onderdelen die zich naar hun aard niet lenen voor schriftelijke examinering, waaronder vaardigheden die uitdrukkelijk een computer als werkstation vereisen.

Voor voorbeelden van examenvragen wordt verwezen naar de voorbeeldtentamens op de website van de CCVX ([www.ccvx.nl](http://www.ccvx.nl)) en naar de schriftelijke examens uit het verleden. Het type vragen kan enigszins afwijken van de vragen op basis van de huidige interpretatie van de eindtermen door de CEVO doordat er bij de voortentamens van de CCVX meer nadruk ligt op het verrichten van berekeningen.

In de hierna volgende specificatie van de leerstof voor het voortentamen natuurkunde van de CCVX zijn aangegeven:

- de domeinen en subdomeinen die getoetst worden;
- per subdomein één geglobaliseerde eindterm;
- een specificatie van de geglobaliseerde eindtermen waar nodig aangevuld met voorbeeldcontexten en deelconcepten.

De genoemde voorbeeldcontexten zijn “minimaal” bedoeld; het is uitdrukkelijk niet bedoeld als een uitsluiting van andere mogelijke voorbeeldcontexten.

*Het gedeelte van optica (van subdomein E1), dat over lenzen en het oog gaat, wordt tot nader order niet getentamineerd, en is daarom cursief weergegeven.*

## 2. De leerstof van het voortentamen

### Domein A - Vaardigheden

De vaardigheden zijn onderverdeeld in drie categoriën:

Subdomeinen A1 t/m A4: Algemene vaardigheden;

Subdomeinen A5 t/m A9: Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden

Subdomeinen A10 t/m A15: Natuurkunde specifieke vaardigheden.

#### Subdomein A1 - Informatievaardigheden gebruiken

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

#### Subdomein A2 - Communiceren

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

#### Subdomein A3 - Reflecteren op leren

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

#### Subdomein A4 - Studie en beroep

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

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

Specificatie:

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

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

#### Subdomein A6 - Ontwerpen

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**

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

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 bestaand rekenmodel omzetten naar een computermodel;
5. een beargumenteerde schatting maken voor waarden en foutmarges van modelparameters op basis van gegevens;
6. toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van een model;
7. een model met een geschikte tijdstap doorrekenen;
8. een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens, rekening houdend met eventuele foutmarges in modelparameters;
9. een modelstudie presenteren.

### **Subdomein A8 - Natuurwetenschappelijk instrumentarium**

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.

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;
  - als de logaritme van een meetwaarde wordt genomen, krijgt het antwoord evenveel decimalen als de meetwaarde significante cijfers heeft;
  - gehele getallen die verkregen zijn door discrete objecten te tellen, vallen niet onder de regels van significante cijfers (dit geldt ook voor mathematische 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**

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

### **Subdomein A10 - Kennisontwikkeling en -toepassing**

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

### **Subdomein A11 - Technisch-instrumentele vaardigheden**

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

1. gebruik maken van kennis over materialen, meetinstrumenten en apparaten voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technisch ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
  - in elk geval de volgende materialen, meetinstrumenten en apparaten:
    - meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;
    - stemvork, toongenerator, oscilloscoop, GM-teller;
    - krachtmeter, luchtkussenbaan, stroboscoop;
    - (vloeistof)thermometer, veer;
    - filters, spectroscop;
    - elektroscop, voedingsapparaat, regelbare weerstand.

2. gebruik maken van kennis over ICT-toepassingen voor het uitvoeren van experimenten en modelstudies met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
- in elk geval de volgende toepassingen:
    - computer met sensoren, lichtpoortje;
    - videometen, meetprogrammatuur;
    - modelleerprogrammatuur;
    - programmatuur voor het verwerken en analyseren van meetgegevens.

### **Subdomein A12 - Rekenkundige en wiskundige vaardigheden**

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren,
  - rekenen met verhoudingen, procenten, breuken, machten en wortels;
  - de omtrek en de oppervlakte berekenen van een cirkel, een driehoek en een rechthoek;
  - de oppervlakte berekenen van een bol;
  - het volume berekenen van een balk, een cilinder en een bol;
  - absolute waarde toepassen;
2. wiskundige technieken toepassen,
  - herleiden van formules;
  - redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
  - oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen;
  - oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden;
  - toepassen van  $\log x$ ,  $\ln x$ ,  $e^{-ax}$ ,  $e^{ax}$ ,  $a^x$ ,  $x^a$ ,  $\sin x$  en  $\cos x$ ;
  - in een rechthoekige driehoek met twee zijdes of met één zijde en één hoek gegeven, de overige zijdes en hoeken uitrekenen, gebruik makend van sinus, cosinus, tangens en de stelling van Pythagoras;
  - grafisch optellen en ontbinden van vectoren;
  - grafieken tekenen bij een meetserie;
  - functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden, evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en wortelverbanden;
  - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
  - aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen, dubbel-logaritmische diagrammen en diagrammen met asonderbrekingen;
  - interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;
  - differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties;
  - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
  - de oppervlakte onder een grafiek bepalen;
  - relaties van de vorm  $y = ax^2$ ,  $y = ax^{-1}$ ,  $y = ax^{-2}$ ,  $y = ax^{1/2}$  door coördinatentransformatie weergeven als een rechte lijn door de oorsprong;
3. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren,
  - formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen;
  - substitueren van formules;
  - in natuurkundige formules eenheden afleiden en controleren.

### **Subdomein A13 - Vaktaal**

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

### **Subdomein A14 - Vakspecifiek gebruik van de computer**

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**

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

## **Domein B - Golven**

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- een numeriek model ontwerpen en gebruiken.

De kandidaat kent:

- een modeltaal voor een computermodel in modelregels of in grafische weergave;
- 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**

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

6. informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger beschrijven,

- vakbegrippen: radiogolf, draaggolf, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, digitale codering, bemonsteringsfrequentie, bandbreedte, kanaalscheiding, bit, datatransfer rate;
- minimaal in de context: telecommunicatie (tv, radio, telefoon).

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$f = \frac{1}{T} \quad v = f \lambda \quad \vec{F}_{\text{res}} = -C \vec{u} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}} \quad \Delta\phi = \frac{\Delta t}{T} \quad \Delta\phi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

$$v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T} \quad u(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \quad \text{niet: uitrekenen } t \text{ als } u$$

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

### Subdomein B2 - Medische beeldvorming

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

1. uitzending, voortplanting en opname van elektromagnetische straling beschrijven,
  - vakbegrippen: absorptie, emissie, elektromagnetische golf, foton;
2. de verschillende soorten ioniserende straling, hun ontstaan en hun eigenschappen benoemen, evenals de risico's van deze soorten straling voor mens en milieu, en berekeningen maken met (equivalente) dosis,
  - de activiteit op een bepaald moment berekenen en bepalen uit een (N,t)-diagram;
  - de vergelijking opstellen van een kernreactie;
  - vakbegrippen: stralingsbron, radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, atomaire massa-eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling,  $\alpha$ -,  $\beta$ - 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,
  - 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,
  - beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, PET-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;
  - natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, annihilatie, creatie van een elektron-positronpaar, ultrasonische geluidsgolf, geluidssnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$E_f = hf \quad c = \lambda f \quad A = -\frac{dN}{dt} \quad A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

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

$$A(t) = A(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad N(t) = N(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad I(x) = I(0) \cdot \frac{1}{2}^{\frac{x}{d_{1/2}}}$$

## Domein C - Beweging en wisselwerking

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formule:  $\rho = \frac{m}{V}$

De kandidaat kent:

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

### Subdomein C1 - Kracht en beweging

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:



$$s(t) = vt \quad \text{met } v \text{ constant}$$

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad v = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$\vec{F}_Z = -m\vec{g} \quad F_v = Cu \quad F_{w,\ell} = \frac{1}{2}\rho c_w A v^2 \quad F_{w,s,\text{max}} = f F_N$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = \Sigma \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

### Subdomein C2 - Energie en wisselwerking

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$W = F s \cos\alpha$$

$$P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{W}{t} = F v$$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad E_z = mgh \quad E_{\text{veer}} = \frac{1}{2} C u^2 \quad E_{\text{ch}} = r_v V \quad E_{\text{ch}} = r_m m$$

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

### Subdomein C3 - Gravitatie

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

1. cirkelbewegingen met constante baansnelheid analyseren,
  - berekeningen maken aan de middelpuntzoekende kracht alleen in situaties waarin slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft;
  - vakbegrippen: omlooptijd, baanstraal, baansnelheid;

2. bewegingen van voorwerpen in een gravitatieveld analyseren met behulp van de gravitatiekracht en de gravitatie-energie,
- aan de hand van een numeriek model de bewegingen van planeten, kometen en andere hemellichamen analyseren;
  - het verband toepassen tussen ontsnappingsnelheid en de massa en straal van een hemellichaam;
  - uitleggen hoe de valversnelling aan het planeetoppervlak afhangt van de massa en de straal van de planeet;
  - vakbegrippen: gravitatiewisselwerking, ellipsbaan, geostationaire baan;
  - minimaal in de contexten: maan, planeet, satelliet.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

## Domein D - Lading en veld

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- schakelschema's tekenen en interpreteren.

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:  
- geleider, isolator.

### Subdomein D1 - Elektrische systemen

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$G = \frac{1}{R} \quad I = \frac{Q}{t} \quad U = \frac{\Delta E}{Q} \quad \rho = \frac{RA}{\ell} \quad I = GU \quad U = IR$$

voor een punt in een schakeling:  $\Sigma I_i = 0$

voor een stroomkring:  $\Sigma U_i = 0$

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

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

$$P = UI \quad E = Pt \quad \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}$$

### Subdomein D2 - Elektrische en magnetische velden

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

$$F_L = B I \ell \quad F_L = B q v \quad \Phi = B_{\perp} A$$

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

## Domein E - Straling en materie

### Subdomein E1 - Eigenschappen van stoffen en materialen

De kandidaat kan fysische eigenschappen van gassen, vloeistoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.

vakbegrippen:

deeltjesmodellen, reële en ideale gassen, gaswetten, Van der Waalskracht, verdamping, dampdruk, uitzetten van een stof, warmtecapaciteit, soortelijke warmte, warmtetransport.

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 materiële modellen,
  - het verband tussen de warmtestroom en de thermische geleidbaarheid van een stof uitleggen en eenvoudige berekeningen aan de warmtestroom maken. (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.);
  - 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.
7. macroscopische verschijnselen in stoffen verklaren aan de hand van de eigenschappen van moleculen en hun wisselwerking:
  - ideale en reële gassen;
  - vloeistoffen, vaste stoffen;
  - fase en faseovergangen;
  - kinetische opvatting van druk, inwendige energie en temperatuur.
8. beschrijven hoe druk wordt gemeten en hoe drukverschillen stroming kunnen veroorzaken:
  - manometer, barometer, bloeddrukmeter;

- overdruk, onderdruk.
9. de algemene gaswet voor een ideaal gas toepassen:
- absolute temperatuurschaal;
  - berekenen van druk, volume of temperatuur;
  - diagram van druk en volume;
  - diagram van druk en temperatuur.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$T_{\text{Kelvin}} = T_{\text{Celsius}} + 273 \quad \rho = \frac{m}{V}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad P = \lambda \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{d}$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T \quad \frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \cdot \Delta T$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad \sigma = \frac{F}{A} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$P = \frac{F}{A} \quad \frac{P \cdot V}{T} = n \cdot R$$

De kandidaat kan aan de hand van toepassingen van geometrische optica en golfoptica eigenschappen van licht beschrijven en analyseren. De kandidaat kan de eigenschappen van licht analyseren en toepassen op technieken om beelden vast te leggen.

vakbegrippen:

geometrische optica: breking, spiegelen, brekingsindex, grenshoek, dispersie, beeldvorming, *vergroting*, *lenssterkte*;

golfoptica: frequentie, golflengte, golfsnelheid, interferentie, buiging, tralie, staande golven.

De kandidaat heeft kennis van:

- divergente, convergente en evenwijdige lichtbundels, schaduwvorming;
- spiegelende en diffuse terugkaatsing;
- *convergerende werking van een positieve lens*;
- *de werking van het oog: bouw van het oog, accommoderen, vertepunt, nabijheidspunt, oogafwijkingen (verziend, bijziend, oudziend)*;

Specificatie

De kandidaat kan:

10 berekeningen maken met de brekingswetten:

- tekenen van de lichtweg;
- hoek van inval, hoek van breking, brekingsindex;
- grenshoek.

11 met de brekingswetten het doorgeven van licht door een glasvezelkabel en de kleurschifting in een prisma beschrijven.

12 *de plaats en de grootte van het reële en virtuele beeld bepalen bij het gebruik van een positieve of negatieve lens door een tekening en een berekening:*

- *sterkte van een lens*;
- *lenzenformule en lineaire vergroting*;
- *menselijk oog, nabijheidspunt, accommodatie*;
- *fototoestel, overheadprojector, diaprojector*.

13 *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.*

- 14 aangeven welke technieken en principes gebruikt worden om beeld en geluid vast te leggen en over te brengen: digitale techniek; magneetband en compactdisc.
- 15 voorbeelden noemen van toepassingen van ultrasoon geluid en laserlicht in de gezondheidszorg:
- echografie;
  - glasvezeltechniek.

contexten:

fototoestel, telescoop, projector (beamer), microscoop, glasvezelkabel, menselijk oog, technieken om beeld en geluid over te brengen of vast te leggen, laser.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$i = t \quad \frac{\sin i}{\sin r} = n \quad \text{sing} = \frac{1}{n}$$

$$S = \frac{1}{f} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v} \quad N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerp-grootte}}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad \sin \alpha = \frac{n \lambda}{d} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

## Subdomein E2 - Elektromagnetische straling en materie

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

- röntgenstraling, ultraviolet, (zichtbaar) licht, infrarood, radiogolven, microgolven;
- instrumenten: optische telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

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

## Domein F - Quantumwereld en relativiteit

### Subdomein F1 - Quantumwereld

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

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$p = mv \quad \lambda = \frac{h}{p} \quad \Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$E_n = \frac{13,6}{n^2} \quad E_n = n^2 \frac{h^2}{8 m L^2} \quad (E_n \text{ in eV})$$

## Domein H - Natuurwetten en modellen

De kandidaat kan in voorbeelden die vallen binnen de subdomeinen van het voortentamen fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen. Ook kan de kandidaat een model hanteren en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen.

Specificatie:

De kandidaat kan:

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

## Domein I - Onderzoek en ontwerp

### Subdomein I1 - Experiment

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

### Subdomein I2 - Modelstudie

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

### Subdomein I3 - Ontwerp

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