



College voor Toetsen en Examens

NATUURKUNDE VWO

SYLLABUS CENTRAAL EXAMEN 2020

versie 2, juni 2018

8. voorstellen doen voor verbetering van een ontwerp;
9. *een ontwerpproces en -product presenteren.*

Subdomein A7. Modelvorming

Eindterm

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

Specificatie²

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

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

Subdomein A8. Natuurwetenschappelijk instrumentarium

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen³.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen *mede met behulp van ICT*,
 - gegevens halen uit grafieken, tabellen, tekeningen, simulaties, schema's en diagrammen;
 - grootheden, eenheden, symbolen, formules en gegevens opzoeken in geschikte tabellen;

² Bij vragen op het centraal examen over modelleren, zal de kandidaat de keuze hebben tussen het gebruik van een grafisch of een tekstueel model

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

2. informatie, gegevens en meetresultaten analyseren, weergeven en structureren in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen *mede met behulp van ICT*;
3. uitleggen wat bedoeld wordt met de significantie van meetwaarden en uitkomsten van berekeningen weergeven in het juiste aantal significante cijfers,
 - bij het optellen en aftrekken van meetwaarden wordt de uitkomst gegeven met evenveel decimalen als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal decimalen;
 - bij het delen en vermenigvuldigen wordt de uitkomst gegeven in evenveel significante cijfers als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal significante cijfers;
 - als de logaritme van een meetwaarde wordt genomen, krijgt het antwoord evenveel decimalen als de meetwaarde significante cijfers heeft;
 - gehele getallen die verkregen zijn door discrete objecten te tellen, vallen niet onder de regels van significante cijfers (dit geldt ook voor wiskundige constanten en geldbedragen);
4. aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten;
5. *verantwoord omgaan met materialen, instrumenten, organismen en milieu.*

Subdomein A9. Waarderen en oordelen

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

Subdomein A10. Kennisontwikkeling en -toepassing

Eindterm

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

Geen nadere specificatie

Subdomein A11. Technisch-instrumentele vaardigheden

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

Subdomein A12. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

- grafieken tekenen bij een meetserie;
 - functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden, evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en wortelverbanden;
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
 - aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen, dubbel-logaritmische diagrammen en diagrammen met asonderbrekingen;
 - interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;
 - differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties;
 - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
 - de oppervlakte onder een grafiek bepalen;
 - relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als een rechte lijn door de oorsprong;
3. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren,
- formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen **of gegeven in het examen**;
 - substitueren van formules;
 - eenheden **omrekenen**, afleiden en controleren.

Subdomein A13. Vaktaal

Eindterm

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

Geen nadere specificatie (Zie A8)

Subdomein A14. Vakspecifiek gebruik van de computer

Eindterm

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

Geen nadere specificatie (Zie A8)

Subdomein A15. Kwantificeren en interpreteren

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

Domein B. Golven

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- een numeriek model ontwerpen en gebruiken⁴.

De kandidaat kent:

- een modeltaal voor een computermodel in modelregels of in grafische weergave⁵;
- de volgende verschijnselen:
 - geluid;
 - echo;
- de volgende verbanden:
 - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidsterkte van de geregistreeerde toon;
 - het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreeerde toon.

Subdomein B1. Informatieoverdracht

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. trillingsverschijnselen analyseren en grafisch weergeven,
 - aan de hand van een numeriek model het verband laten zien tussen de natuurkundige voorwaarde van een harmonische trilling (kracht evenredig met en tegengesteld gericht aan de uitwijking) en de wiskundige beschrijving ervan (sinusfunctie);
 - vakbegrippen: periode, gereduceerde fase, faseverschil;
2. berekeningen maken aan de eigentrilling van een massa-veersysteem,
 - vakbegrippen: eigenfrequentie, resonantie;
3. golfverschijnselen analyseren en grafisch weergeven,
 - vakbegrippen: gereduceerde fase, faseverschil, lopende golf, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal;
 - **Minimaal in de context: Informatieoverdracht**
4. bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium analyseren,
 - vakbegrippen: knoop, buik, grondtoon, boventoon;
 - minimaal in de context: muziekinstrumenten;
5. uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen (zie specificaties 1 en 3) van de trillingen en golven bepalen,
 - minimaal in de context: cardiogram;
- ~~6. informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger beschrijven⁶;~~

⁴ Bekend verondersteld vanuit het schoolexamen (subdomein I2).

⁵ Zie voetnoot 4.

⁶ ~~Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie B1.6 niet wendbaar te kunnen toepassen.~~

- 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:

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

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

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

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

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

Subdomein B2. Medische beeldvorming

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

4. medische beeldvormingstechnieken aan de hand van hun natuurkundige achtergrond beschrijven, voor- en nadelen van deze technieken noemen en op grond daarvan in gegeven situaties een keuze voor een techniek beargumenteren⁷,
- beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, PET-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;
 - natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, annihilatie, creatie van een elektron-positronpaar, ultrasone geluidsgolf, geluidsnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$E_f = hf$$

$$c = f \lambda$$

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

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

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

$$H = w_R D$$

$$A = N + Z$$

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

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

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

Domein C. Beweging en wisselwerking

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formule:

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

De kandidaat kent:

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

Subdomein C1. Kracht en beweging

Eindterm

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

⁷ Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie B2.4 *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

Subdomein C2. Energie en wisselwerking

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$W = Fs \cos \alpha$$

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

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

$$P = Fv$$

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

$$E_z = mgh$$

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

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

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

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

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

Subdomein C3. Gravitatie

Eindterm

De kandidaat kan ten minste in de context van het heelal bewegingen analyseren en verklaren aan de hand van de 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 heeft⁸;
 - vakbegrippen: omlooptijd, baanstraal, baansnelheid;

⁸ In constructies, tekeningen en redeneringen kan het wel voorkomen dat er meerdere krachten de rol van middelpuntzoekende kracht vervullen. Zie ook specificatie C1.3.

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: gravitatie-wisselwerking, ellipsbaan, geostationaire baan;
 - minimaal in de contexten: maan, planeet, satelliet.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

Domein D. Lading en veld

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- schakelschema's tekenen en interpreteren.

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
 - geleider, isolator.

Subdomein D1. Elektrische systemen

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning,
 - de definities van stroomsterkte, spanning en soortelijke weerstand gebruiken;
 - vakbegrippen: vrij elektron, ion, elementaire lading, spanningsbron, batterij, accu;
2. de wetten van Kirchhoff toepassen als wetten voor behoud van stroomsterkte in een punt en van spanning in een kring;
3. stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid,
 - bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen maken;
 - de juiste aansluitwijze van stroommeter en spanningsmeter toepassen;
 - de volgende componenten toepassen binnen een schakeling: diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, lamp, motor, verwarmingselement, zekering, aardlekschakelaar;

- vakbegrippen: stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting;
- 4. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren,
 - berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur;
 - minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

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

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

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

$$I = GU$$

$$U = IR$$

Voor een punt in een schakeling:

$$\sum_i I_i = 0$$

Voor een stroomkring:

$$\sum_i U_i = 0$$

Voor een serieschakeling:

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

Voor een parallelschakeling:

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

$$P = UI$$

$$E = Pt$$

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

Subdomein D2. Elektrische en magnetische velden

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. een elektrisch veld beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van elektrische lading,
 - richting van het elektrisch veld bepalen;
 - vakbegrippen: afstotende en aantrekkende elektrische kracht, homogeen en radiaal elektrisch veld, veldlijn;

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$F_{\text{el}} = f \frac{qQ}{r^2} \quad \vec{F}_{\text{el}} = q\vec{E}$$
$$\Delta E_{\text{k}} = -\Delta E_{\text{el}} \quad \Delta E_{\text{el}} = qU$$
$$F_{\text{L}} = BI\ell \quad F_{\text{L}} = Bqv$$
$$\Phi = B_{\perp} A$$
$$U_{\text{ind}} \propto N \quad U_{\text{ind}} \propto \frac{d\Phi}{dt}$$

Domein E. Straling en materie

Subdomein E2. Elektromagnetische straling en materie

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. het atoommodel van Bohr beschrijven en toepassen,

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

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

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

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

Domein F. Quantumwereld en relativiteit

Subdomein F1. Quantumwereld

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. licht als golfverschijnsel benoemen en dit toelichten,

- uitleggen in welke situaties buiging van lichtgolven optreedt;
 - een intensiteitspatroon verklaren in termen van constructieve en destructieve interferentie;
2. de golf-deeltjedualiteit toepassen bij het verklaren van interferentieverschijnselen bij elektromagnetische straling en bij materiedeeltjes,
- berekeningen maken met de de Broglie-golflengte;
 - het dubbelspleet-experiment beschrijven en de betekenis ervan uitleggen;
 - vakbegrippen: waarschijnlijkheid, waarschijnlijkheidsverdeling;
 - minimaal in de context: elektronenmicroscopie;
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:

$$p = mv$$

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

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

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

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

Domein H. Natuurwetten en modellen

Eindterm

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

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. in voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen⁹,
 - 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 vwo-domeinen uit deze syllabus gebruiken om toe te lichten hoe het begrip model in de natuurkunde wordt gehanteerd en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen,
 - het inzicht toepassen dat een model een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid is en dit relateren aan de beperkte toepasbaarheid van het model;
 - onderscheid maken tussen een denkmodel, schaalmodel, numeriek model en computermodel;
 - vakbegrip: iteratief proces;
3. modelstructuren herkennen in computermodellen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken en aan de hand van voorbeelden uitleggen waar grenzen aan de voorspelbaarheid uit voortkomen,
 - modelstructuren: verval en groei (1e orde), oscillaties en bewegingen (2e orde);
 - vakbegrippen: rekencapaciteit, stapgrootte, beginvoorwaarde.

⁹ Hier wordt bedoeld dat de kandidaat overzicht heeft over de gehele CE-stof en onderwerpen uit de verschillende domeinen met elkaar kan combineren. Deze specificatie is nadrukkelijk niet bedoeld als een uitbreiding van de stof met nieuwe kennis.