



College voor Examen

NATUURKUNDE VWO

Syllabus centraal examen 2012

Verantwoording:

© 2010 College voor Examens vwo, havo, vmbo, Utrecht.

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

Inhoud

Voorwoord	4
1. Het centraal examen vwo	5
1.1 Zittingen centraal examen.....	5
1.2 Hulpmiddelen	5
1.3 Verdeling examinering CE/SE.....	5
2. Specificatie van de globale eindtermen voor het CE	6
Domein A vwo: Vaardigheden.....	6
Domein B vwo: Elektriciteit en magnetisme.....	9
Domein C vwo: Mechanica	10
Domein E vwo: Golven en straling.....	12
Bijlage: Examenprogramma Natuurkunde vwo	15

Voorwoord

De minister heeft de examenprogramma's op hoofdlijnen vastgesteld. In het examenprogramma zijn de exameneenheden aangewezen waarover het centraal examen (CE) zich uitstrekt: het CE-deel van het examenprogramma. Het examenprogramma geldt tot nader orde.

Het College voor Examens (CvE - voorheen CEVO¹) geeft in een syllabus, die in beginsel jaarlijks verschijnt, een toelichting op het CE-deel van het examenprogramma. Behalve een beschrijving van de exameneisen voor een centraal examen kan de syllabus verdere informatie over het centraal examen bevatten, bijvoorbeeld over een of meer van de volgende onderwerpen: specificaties van examenstof, begrippenlijsten, bekend veronderstelde onderdelen van domeinen of exameneenheden die verplicht zijn op het schoolexamen, bekend veronderstelde voorkennis uit de onderbouw, bijzondere vormen van examinering (zoals computerexamens), voorbeeldopgaven, toelichting op de vraagstelling, toegestane hulpmiddelen.

Ten aanzien van de syllabus is nog het volgende op te merken. De functie ervan is een leraar in staat te stellen zich een goed beeld te vormen van wat in het centraal examen wel en niet gevraagd kan worden. Naar zijn aard is een syllabus dus niet een volledig gesloten en afgebakende beschrijving van alles wat op een examen zou kunnen voorkomen. Het is mogelijk, al zal dat maar in beperkte mate voorkomen, dat op een CE ook iets aan de orde komt dat niet met zo veel woorden in deze syllabus staat, maar dat naar het algemeen gevoelen in het verlengde daarvan ligt.

Een syllabus is zodoende een hulpmiddel voor degenen die anderen of zichzelf op een centraal examen voorbereiden. Een syllabus kan ook behulpzaam zijn voor de producenten van leermiddelen en voor nascholingsinstanties. De syllabus is *niet* van belang voor het schoolexamen. Daarvoor zijn door de SLO handreikingen geproduceerd die niet in deze uitgave zijn opgenomen.

Deze syllabus geldt voor het examenjaar 2012. Syllabi van eerdere jaren zijn niet meer geldig en kunnen van deze versie afwijken. Voor het examenjaar 2013 wordt een nieuwe syllabus vastgesteld. Het CvE publiceert uitsluitend digitale versies van de syllabi. Dit gebeurt via Examenblad.nl (www.examenblad.nl), de officiële website voor de examens in het voortgezet onderwijs. In de syllabi 2012 zijn de wijzigingen ten opzichte van de vorige syllabus voor het examenjaar 2011 duidelijk zichtbaar. Deze veranderingen zijn geel gemarkeerd. Er zijn diverse vakken waarbij de syllabus 2012 geen inhoudelijke veranderingen heeft ondergaan.

Een syllabus kan zo nodig ook tussentijds worden aangepast, bijvoorbeeld als een in de syllabus beschreven situatie feitelijk veranderd is. De aan een centraal examen voorafgaande Septembermededeling is dan het moment waarop dergelijke veranderingen bekendgemaakt worden. Kijkt u voor alle zekerheid jaarlijks in september op Examenblad.nl.

Het CvE 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 het rooster voor de centrale examens en in de Septembermededeling.

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

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

¹ Op 1 oktober 2009 is de CEVO (Centrale Examencommissie Vaststelling Opgaven) opgegaan in het CvE. De CEVO bestaat niet meer, maar besluiten van de CEVO, onder meer over de syllabi, blijven van kracht zolang deze niet herzien zijn door het CvE.

1. Het centraal examen vwo

1.1 Zittingen centraal examen

Raadpleeg hiervoor het Examenblad, www.examenblad.nl.

1.2 Hulpmiddelen

Raadpleeg hiervoor het Examenblad, www.examenblad.nl.

1.3 Verdeling examinering CE/SE

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B3, C1, C2, C3, C4, E1, E2 en E4, in combinatie met de daarbij behorende vaardigheden uit domein A.

In de onderstaande tabel is weergegeven hoe de subdomeinen over het CE en SE verdeeld worden:

Domeinen	Subdomeinen	CE	Moet in SE	Mag in SE
A Vaardigheden	1. Taalvaardigheden 2. Reken-/wiskundige vaardigheden 3. Informatievaardigheden 4. Technisch-instrumentele vaardigheden 5. Ontwerpvaardigheden 6. Onderzoeksvaardigheden 7. Maatschappij, studie en beroep	X X X X X X X	X X X X X X X	
B Elektriciteit en magnetisme	1. Elektrische stroom 2. Signaalverwerking 3. Elektromagnetisme 4. Inductie en wisselstromen	X X	 X X	X X
C Mechanica	1. Rechthoekige beweging 2. Kracht en moment 3. Arbeid en energie 4. Kromlijnige beweging	X X X X		X X X X
D Warmteleer	1. Gas en vloeistof 2. Thermische processen		X X	
E Golven en straling	1. Trilling en golf 2. Licht 3. Elektromagnetisch spectrum 4. Radioactiviteit	X X X	 X	X X X

2. Specificatie van de globale eindtermen voor het CE

In dit hoofdstuk worden de globale eindtermen uit het examenprogramma voor 2007 voor het Centraal Examen (CE) gespecificeerd. Een globale formulering van eindtermen van alle subdomeinen (het examenprogramma) staat in de bijlage.

Domein A vwo: Vaardigheden

Subdomein A1: Taalvaardigheden

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 A2: Reken-/wiskundige vaardigheden

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;
 - de oppervlakte berekenen van een driehoek, cirkel en een bol;
 - het volume berekenen van een cilinder en een bol;
 - 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 of benaderen;
 - relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als grafieken met een rechte lijn;
 - radiaal als hoekmaat;
 - benadering van sinus en tangens voor kleine hoeken;
 - $\log x$, $\ln x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x en x^a .
- 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 A3: Informatievaardigheden

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 gebruik maken van computermodellen om bewegingen te beschrijven.

Subdomein A4: Technisch-instrumentele vaardigheden

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 B t/ m E genoemde vakinhoud, voorzover veiligheid, milieu-eisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dit toelaten.specificatie apparatuur:
 - krachtmeter, hefboom, katrol en tandwiel;
 - videocamera (videometen);
 - sensor en computer, lichtpoortje, reedcontact, stroboscopische foto;
 - stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop;
 - prisma, filters, optische bank, optische schijf, brekingslichamen, positieve lens, glasvezels, foto toestel, diaprojector, overheadprojector;
 - vloeistofthermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;
 - elektroscop, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand, stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, LED, permanente magneten, stroomspoel, dynamo, 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-elektronica systemen voor het sturen, meten en regelen van grootheden.²
- 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 mens, dier en milieu.

² Eindterm 3 geldt alleen voor het SE.

Subdomein A5: Ontwerpvaardigheden

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.

Subdomein A6: Onderzoekvaardigheden

De kandidaat kan een natuurwetenschappelijk onderzoek voorbereiden, uitvoeren, de verzamelde onderzoeksresultaten verwerken en hieruit conclusies 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 oplossing, onderzoeksgegevens, resultaat en conclusies evalueren.

Subdomein A7: Maatschappij, studie en beroep

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 vwo: Elektriciteit en magnetisme

Basiskennis B0:

De kandidaat heeft kennis van:

- eenvoudig atoommodel;
- stroomgeleiding door vrije elektronen;
- geleiders en isolatoren;
- geleiding in vloeistoffen;
- het omrekenen van kWh in joule en omgekeerd.

Subdomein B1: Elektrische stroom

De kandidaat kan elektrische schakelingen ontwerpen en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 8.1 schakelingen ontwerpen om lampen, elektromotoren, verwarmingselementen en sensoren op de juiste spanning te laten werken:
- schakelschema's tekenen;
 - spanningsbron;
 - weerstanden in serie;
 - weerstanden parallel;
 - kortsluiting, smeltveiligheid;
 - aarding, aardlekschakelaar;
 - spanningsdeling.
- 8.2 spanning, stroom en weerstand bepalen aan de hand van gegeven grafieken, tabellen en formules:
- ohmse weerstanden;
 - halfgeleiderdiode, LDR, NTC;
 - gloeilamp, LED, verwarmingselement,
 - soortelijke weerstand.
- 8.3 het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische kring berekenen:
- elektrische energie;
 - warmteontwikkeling;
 - kWh-meter.
- 8.4 de volgende formules toepassen:

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

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, P = UI$$

Subdomein B3: Elektromagnetisme

De kandidaat kan elektrische en magnetische velden beschrijven, elektromagnetische verschijnselen verklaren en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 10.1 de effecten beschrijven van de aanwezigheid van elektrische lading:
- positieve en negatieve lading;
 - homogeen elektrisch veld;
 - veldlijnen, veldsterkte;
 - ontladingen, onweer.
- 10.2 energieverandering van een geladen deeltje in een elektrisch veld berekenen:
- verband tussen spanning en kinetische energie;
 - omrekenen eV naar joule en omgekeerd;
 - elektronenkanon van beeldbuis en oscilloscoop;
 - röntgenbuis;
 - lineaire versneller.

- 10.3 magnetische verschijnselen verklaren in termen van magnetisch veld:
- veldlijnen;
 - sterkte van het magnetische veld;
 - permanente magneet, rechte stroomdraad, spoel;
 - relais, reedcontact.
- 10.4 de richting en de grootte van de lorentzkracht bepalen op stroomdraden en op geladen deeltjes:
- elektromotor en draaispoelmeter;
 - afbuiging elektronenbundel;
 - hallsensor.
- 10.5 de volgende formules toepassen
- $$F_{el} = qE, \Delta E_k = qU, F_L = BI\ell, F_L = Bqv, B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$$

Domein C vwo: Mechanica

Basiskennis C0:

De kandidaat heeft kennis van remweg, veilige snelheid, stopafstand.

Subdomein C1: Rechthoekige beweging

De kandidaat kan rechthoekige bewegingen beschrijven en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 12.1 rechthoekige eenparige bewegingen en rechthoekige eenparig versnelde bewegingen vanuit rust wiskundig beschrijven:
- plaats, verplaatsing, afgelegde weg;
 - snelheid, gemiddelde snelheid, relatieve snelheid;
 - versnelling.
- 12.12 plaats-tijd-diagrammen interpreteren:
- snelheid bepalen met behulp van een raaklijn;
 - schetsen van het verloop van het snelheid-tijd-diagram;
 - vergelijking van twee verplaatsingen in één diagram.
- 12.13 snelheid-tijd-diagrammen interpreteren:
- verplaatsing bepalen met behulp van oppervlakte;
 - versnelling bepalen met behulp van een raaklijn;
 - schetsen van het verloop van het versnelling-tijd-diagram;
 - eindsnelheid en luchtweerstand.
- 12.14 berekeningen maken bij een vrije val vanuit rust:
- valversnelling, valtijd, hoogte, snelheid bij het bereiken van de grond.
- 12.15 de volgende formules toepassen:
- $$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}, s(t) = vt, a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, s(t) = \frac{1}{2}at^2$$

Subdomein C2: Kracht en moment

De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en de eerste, tweede en derde wet van Newton toepassen.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 13.1 krachten op een systeem weergeven als vectoren:
- aangrijpingspunt, drager/ werklijn;
 - samenstellen in parallellogram;
 - ontbinding langs twee onderling loodrechte assen;
 - berekenen van de grootte van de componenten.
- 13.2 de eerste wet van Newton uitleggen aan de hand van voorbeelden:
- traagheid bij snelheidsverandering;
 - evenwicht van krachten bij constante snelheid.

- 13.3 met de tweede wet van Newton de resulterende kracht of de versnelling berekenen:
- definitie eenheid van kracht;
 - massa, dichtheid en zwaartekracht.
- 13.4 krachtwetten toepassen:
- actiekracht en reactiekracht op verschillende lichamen aanwijzen, derde wet van Newton;
 - normaalkracht;
 - krachten op lichamen op een hellend vlak;
 - spankracht, wrijvingskracht en veerkracht.
- 13.5 de werking van hefboomen uitleggen:
- toepassing van momenten;
 - vergelijking van de arbeid van de uitgeoefende krachten.
- 13.6 met de hefboomwet krachten berekenen:
- zwaartepunt als aangrijpingspunt van de zwaartekracht;
 - hef- en hijswerktuigen, tandwielen, katrol, V-snaren.
- 13.7 de volgende formules toepassen:
- $$\sum \vec{F} = m\vec{a}, F_z = mg, M = Fr, \sum M = 0, m = \rho V, F_{\text{veer}} = Cu$$

Subdomein C3: Arbeid en energie

De kandidaat kan het begrip arbeid bij energieomzettingen en de wet van behoud van energie toepassen en het rendement van energieomzettingen bepalen.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 14.1 het begrip arbeid toepassen bij energieomzettingen:
- arbeid door de zwaartekracht;
 - negatieve arbeid van wrijvingskracht en warmteontwikkeling;
 - de arbeid van een kracht bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram.
- 14.2 de wet van behoud van energie toepassen:
- de energiebalans van een systeem;
 - aangeven van energievormen;
 - bewegingsenergie, zwaarte-energie, veerenergie;
 - snelheid, kracht en verplaatsing berekenen;
 - periodieke bewegingen verklaren: slinger, trilling tussen veren, stuiten zonder wrijving.
- 14.3 berekenen hoeveel energie wordt omgezet in warmte bij verplaatsingen:
- energie per tijd en energie per afstand;
 - optrekken en afremmen in stadsverkeer;
 - verband tussen snelheid en brandstofverbruik;
 - rendement van motor;
 - vorm van het voertuig;
 - totale warmteafgifte aan het milieu.
- 14.4 de volgende formules toepassen:

$$W = F_s \cos \alpha, W_{\text{tot}} = \Delta E_k, P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{W}{t} = Fv, E_k = \frac{1}{2}mv^2, E_z = mgh, E_{\text{veer}} = \frac{1}{2}Cu^2,$$

$$\eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \cdot 100\%$$

Subdomein C4: Kromlijnige beweging

De kandidaat kan de kenmerken van een eenparige cirkelbaan beschrijven en de daarbij optredende krachten analyseren en de beweging van voorwerpen in een gravitatieveld beschrijven en modelleren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 15.1 een beschrijving geven van de baan van een voorwerp in het zwaartekrachtveld:
- horizontale worp, snelheid als vector.
- 15.2 berekeningen uitvoeren met de formules over de eenparige cirkelbeweging:
- baansnelheid, hoeksnelheid, straal, omlooptijd, frequentie;
 - middelpuntzoekende versnelling en kracht.

- 15.3 de voorwaarden bepalen om een satelliet in een baan om de aarde te kunnen brengen:
- gravitatiewet van Newton;
 - bepaling van de straal van de baan;
 - omlooptijd bij polaire en geostationaire banen.

- 15.4 de volgende formules toepassen:

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

$$a_{\text{mpz}} = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r, \quad F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r, \quad F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Domein E vwo: Golven en straling

Basiskennis E0:

De kandidaat heeft kennis van:

- divergente, convergente en evenwijdige bundels;
- schaduwvorming;
- spiegelende en diffuse terugkaatsing;
- convergerende werking van een positieve lens.

Subdomein E1: Trilling en golf

De kandidaat kan golf- en trillingsverschijnselen beschrijven en analyseren en resonantie- en interferentieverschijnselen verklaren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 18.1 door eenvoudige proeven vaststellen dat harmonische trillingen plaatsvinden onder invloed van een teruggrijvende kracht die evenredig is met de uitwijking:
- veerconstante;
 - massaveersysteem;
 - slinger.
- 18.2 uit de uitwijking-tijd-grafiek van een mechanische of elektrische trilling de trillingstijd, frequentie, amplitude en het soort trilling (harmonisch of niet) bepalen:
- oscillogram van stemvork, trillende snaar, menselijke stem, zuivere toon;
 - cardiogram.
- 18.3 een wiskundige beschrijving geven van trillingsverschijnselen in de natuur, de techniek en bij natuurkundige proeven:
- periode, trillingstijd, frequentie, uitwijking, amplitude, fase, gereduceerde fase en faseverschil;
 - sinusfunctie als plaatsfunctie.
- 18.4 de energie van een harmonisch trillend voorwerp berekenen:
- kinetische en potentiële energie; energieverlies;
 - demping;
 - overdracht van energie; resonantie.
- 18.5 een beschrijving geven van golfverschijnselen in de natuur, de techniek en bij natuurkundige proeven:
- lopende transversale en longitudinale golven;
 - golflengte, golfsnelheid; faseverschillen en gereduceerde fase.
- 18.6 geluidsverschijnselen in de natuur, de techniek en bij eenvoudige proeven beschrijven:
- interferentiepatronen bij staande golven, knopen en buiken (niet de wiskundige beschrijving van het ontstaan ervan);
 - muziekinstrumenten; grondtoon en boventonen;
 - antigeluid.
- 18.7 onderzoeken hoe geluidshinder beperkt kan worden:
- absorptie, reflectie, breking en interferentie.

18.8 de volgende formules toepassen:

$$f = \frac{1}{T}, u(t) = A \sin(2\pi ft), v_{\max} = \frac{2\pi A}{T}, \Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}, \vec{F}(t) = -C\vec{u}(t), E_{\max} = \frac{1}{2}CA^2 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2,$$

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

Subdomein E2: Licht

De kandidaat kan de eigenschappen van licht en toepassingen daarvan beschrijven en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 19.1 berekeningen maken met de brekingswetten en de spiegelwetten:
- tekenen van de lichtweg; spiegelbeeld;
 - hoek van inval, hoek van breking, brekingsindex, kleuren;
 - grenshoek; totale terugkaatsing;
 - gebruik van glasvezels.
- 19.2 de plaats en de grootte van het beeld bepalen bij het gebruik van een positieve en negatieve lens door tekening (alleen bij een positieve lens) en berekening (geen lenzenstelsels³):
- reële en virtuele beelden;
 - lenzenformule, lineaire vergroting;
 - beeldvorming in het menselijk oog, fototoestel, overheadprojector en diaprojector;
 - loep.
- 19.3 de natuurkundige aspecten van het oog beschrijven:
- accommodatievermogen van de ooglens;
 - diafragmafunctie van de pupil;
 - nabijheidpunt, vertepunt;
 - normaal-, ver-, bij- en oudziend, bril, contactlens.
- 19.4 de interferentie van licht onderzoeken aan de hand van eenvoudige proeven:
- golfmodel van het licht;
 - dubbelspleet kwalitatief;
 - bepaling van de golflengte met een tralie;
 - tralieconstante.
- 19.5 de volgende formules toepassen:
- $$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \sin g = \frac{1}{n}, S = \frac{1}{f}, \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}, N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerp-grootte}}, f = \frac{c}{\lambda},$$
- $$\sin \alpha = \frac{n\lambda}{d} \quad (n = 1, 2, \dots)$$

Subdomein E4: Radioactiviteit

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 kernreacties beschrijven en de werking van een kerncentrale bespreken.

Specificatie

De kandidaat kan:

- 21.1 de verschillende soorten ioniserende straling en hun eigenschappen beschrijven:
- achtergrondstraling, röntgenstraling, α -, β - en γ -straling;
 - ioniserend en doordringend vermogen;
 - isotopen; röntgenbuis;
 - natuurlijke en kunstmatige bronnen van straling;
 - detectie: GM-buis, bellenvat, dradenkamer, badge;
 - fotonenergie.
- 21.2 berekeningen maken waarbij de halveringstijd een rol speelt:
- vervalcurve, activiteit.

³ Hier wordt bedoeld dat lenzenstelsels in optische instrumenten zoals telescoop, microscoop en dergelijke niet tot de CE-stof behoren, maar het oog in combinatie met een bril of contactlenzen nadrukkelijk wel.

- 21.3 een vervalvergelijking van een radioactieve kern opstellen als gegeven is welke straling wordt uitgezonden en reactievergelijkingen aanvullen voor beschreven kern- en deeltjesreacties door gebruik te maken van behoudsprincipes:
- atoomnummer, massagetal, isotoop;
 - α -, β^- -, β^+ -, γ -, n-straling, K-vangst.
- 21.4 de effecten bespreken van ioniserende straling op de mens en het milieu:
- schema: bron, straling, ontvanger;
 - absorptie; halveringsdikte;
 - bestraling en besmetting;
 - stralingsdosis en dosisequivalent; stralingsnormen;
 - beschermingsmaatregelen;
 - afwegen van risico's.
- 21.5 de energie berekenen die vrijkomt bij kernsplijting en kernfusie:
- bindingsenergie per nucleon;
 - equivalentie van massa en energie;
 - massadefect.
- 21.6 kwalitatief de werking en regeling van een kernreactor beschrijven in samenhang met veiligheidsaspecten en de invloed op natuur en milieu:
- kernsplijting, kettingreactie;
 - moderator, regelstaven, kritische reactor;
 - kernafval.
- 21.7 de volgende formules toepassen⁴:

$$A = N + Z, \quad N(t) = N(0) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}, \quad A(t) = \frac{-\Delta N(t)}{\Delta t}, \quad A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} N(t), \quad I(x) = I(0) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{d_{\frac{1}{2}}}}, \quad E = mc^2,$$

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

⁴ De formules $A(t) = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} N(t)$, $H = QD$ en $D = \frac{E_{\text{str}}}{m}$ staan niet in het examenprogramma.

De begrippen dosis, dosisequivalent en activiteit moeten gekend en in hun onderlinge samenhang begrepen worden. Wanneer een van de genoemde formules bij de beantwoording van een vraag nodig is, zal deze expliciet in de examenopgave worden vermeld.

Bijlage: Examenprogramma Natuurkunde vwo

Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A	Vaardigheden
Domein B	Elektriciteit en magnetisme
Domein C	Mechanica
Domein D	Warmteleer
Domein E	Golven en straling

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B3, C1, C2, C3, C4, E1, E2 en E4, in combinatie met de daarbij behorende vaardigheden uit domein A.

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 A 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 A: Vaardigheden

Subdomein A1: Taalvaardigheden

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

Subdomein A2: Reken-/wiskundige vaardigheden

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

Subdomein A3: Informatievaardigheden

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

Subdomein A4: 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 A5: Ontwerpvaardigheden

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

Subdomein A6: Onderzoeksvaardigheden

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

Subdomein A7: 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 B: Elektriciteit en magnetisme

Subdomein B1: Elektrische stroom

8. De kandidaat kan elektrische schakelingen ontwerpen en analyseren en de volgende formules toepassen:

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

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}, P = UI$$

Subdomein B2: Signaalverwerking

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

Subdomein B3: Elektromagnetisme

10. De kandidaat kan elektrische en magnetische velden beschrijven, elektromagnetische verschijnselen verklaren en analyseren en de volgende formules toepassen:

$$F_{el} = qE, \Delta E_k = qU, F_L = BI\ell, F_L = Bqv, B = \mu_0 \frac{NI}{\ell}$$

Subdomein B4: Inductie en wisselstromen

11. De kandidaat kan het principe van elektromagnetische inductie toepassen, het gedrag van wisselspanningen en -stromen beschrijven en analyseren en tenminste de volgende formules toepassen:

$$\Phi = B_n A, U_{ind} = N \frac{|\Delta \Phi|}{\Delta t}, \frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s}, P_p = P_s, U(t) = U_{\max} \sin(2\pi ft) \quad I(t) = I_{\max} \sin(2\pi ft)$$

$$U_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{\max}, I_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{\max}, \eta = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

Domein C: Mechanica

Subdomein C1: Rechthoekige beweging

12. De kandidaat kan rechthoekige bewegingen beschrijven en analyseren en tenminste de volgende formules toepassen:

$$v_{gem} = \frac{\Delta x}{\Delta t}, s(t) = vt, a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, s(t) = \frac{1}{2} at^2.$$

Subdomein C2: Kracht en moment

13. De kandidaat kan krachten weergeven als vectoren en de eerste, tweede en derde wet van Newton en de volgende formules toepassen:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}, F_z = mg, M = Fr, F_{veer} = Cu.$$

Subdomein C3: Arbeid en energie

14. De kandidaat kan het begrip arbeid bij energieomzettingen en de wet van behoud van energie toepassen, het rendement van energieomzettingen bepalen en de volgende formules toepassen:

$$W = Fs \cos \alpha, W_{tot} = \Delta E_k, P = \frac{\Delta E}{t} = \frac{W}{t} = Fv, E_k = \frac{1}{2} mv^2, E_z = mgh, E_{veer} = \frac{1}{2} Cu^2, \eta = \frac{W_{uit}}{E_{in}} \cdot 100\%.$$

Subdomein C4: Kromlijnige beweging

15. De kandidaat kan de kenmerken van een eenparige cirkelbaan beschrijven en de daarbij optredende krachten analyseren, de beweging van voorwerpen in een gravitatieveld beschrijven en modelleren en de volgende formules toepassen:

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

$$F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r, \quad F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Domein D: Warmteleer

Subdomein D1: Gas en vloeistof

16. De kandidaat kan macroscopische verschijnselen verklaren aan de hand van de eigenschappen en wisselwerking van moleculen en de algemene gaswet en tenminste de volgende formules toepassen:

$$p = \frac{F}{A}, \quad T_{\text{kelvin}} = T_{\text{celsius}} + 273,15, \quad \frac{pV}{T} = nR = \text{constant}.$$

Subdomein D2: Thermische processen

17. De kandidaat kan de hoeveelheid warmte berekenen die bij verwarming en afkoeling tussen systemen wordt uitgewisseld, de vormen van energietransport bij warmte beschrijven en tenminste de volgende formules toepassen:

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

Domein E: Golven en straling

Subdomein E1: Trilling en golf

18. De kandidaat kan golf- en trillingsverschijnselen beschrijven en analyseren, resonantie- en interferentieverschijnselen verklaren en de volgende formules toepassen:

$$f = \frac{1}{T}, \quad u(t) = A \sin(2\pi ft) \quad v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T}, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}, \quad F_v = -Cu, \quad E_{\text{max}} = \frac{1}{2} CA^2 = \frac{1}{2} mv_{\text{max}}^2, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}},$$

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

Subdomein E2: Licht

19. De kandidaat kan de eigenschappen van licht en toepassingen daarvan beschrijven en analyseren en de volgende formules toepassen:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n, \quad \sin g = \frac{1}{n}, \quad S = \frac{1}{f}, \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}, \quad N = \left| \frac{b}{v} \right| = \frac{\text{beeldgrootte}}{\text{voorwerp-grootte}}, \quad f = \frac{c}{\lambda}, \quad \sin \alpha = \frac{n\lambda}{d} \quad (n = 1, 2, \dots).$$

Subdomein E3: Elektromagnetisch spectrum

20. De kandidaat kan het elektromagnetisch spectrum en toepassingen daarvan beschrijven, absorptie en emissie van licht in verband brengen met de spectraallijnen van atomen, het foto-elektrisch effect en de golf-deeltje dualiteit toelichten en ten minste de volgende formule toepassen:

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

Subdomein E4: Radioactiviteit

21. 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 kernreacties beschrijven, de werking van een kerncentrale bespreken en tenminste de volgende formules toepassen:

$$A = N + Z, \quad N(t) = N(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}, \quad A(t) = \frac{-\Delta N(t)}{\Delta t}, \quad I(x) = I(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{d_{1/2}}}, \quad E = mc^2.$$

Domein F: Moderne fysica

Subdomein F1: Atoomfysica

22. *Vervallen. (Kwalitatief toegevoegd aan E3.)*

Subdomein F2: Kernfysica

23. *Vervallen. (Gedeeltelijk toegevoegd aan E4.)*

Subdomein F3: Astrofysica

24. *Vervallen.*