

IPHO syllabus

1 Introductie

1.1 Waarom deze syllabus

Deze syllabus geeft een overzicht van onderwerpen en begrippen die tijdens de IPhO aan bod kunnen komen. Met de opgaven uit vorige IPhO's krijg je een idee van het niveau waarmee de begrippen aan bod kunnen komen.

1.2 Karakter van de opgaven

Opgaven behoren creativiteit en begrip van natuurkunde te testen en niet zozeer uitmuntende kennis van wiskunde of snelheid van werken.

Het deel van te behalen punten voor wiskundige bewerkingen behoort klein te zijn.

Als onderdelen ingewikkelde wiskunde vergen behoren alternatieve oplossingen waarin benaderingen gebruikt zijn, zeker een deel van de punten te krijgen. De tekst van de opgaven dient zo kort en bondig mogelijk te zijn. Zowel de tekst van de theorieopgaven als die van het practicum behoren elk minder dan 12000 karakters te tellen, met inbegrip van spaties, maar met uitzondering van het voorblad en de antwoordbladen.

1.3 Uitzonderingen

In opgaven mogen begrippen en verschijnselen behandeld worden die niet in de syllabus voor komen, op voorwaarde dat deze van voldoende informatie in de tekst worden voorzien, zodat deelnemers die geen kennis hebben van deze onderwerpen daar geen merkbaar nadeel van ondervinden. Zulke nieuwe begrippen moeten in nauwe relatie staan tot de onderwerpen in de syllabus. Ze moeten uitgelegd worden met behulp van begrippen uit de syllabus.

1.4 Eenheden

Numerieke waarden worden gegeven in SI-eenheden of in eenheden die officieel geaccepteerd zijn voor gebruik met het S.I.

De deelnemers worden verondersteld op de hoogte te zijn van de verschijnselen, begrippen en methoden die in de volgende hoofdstukken vermeld staan. Tevens wordt verondersteld dat zij hun kennis op een creatieve manier kunnen toepassen.

2. Theoretische kennis en vaardigheden

2.1 *Mechanica*

2.1.1 Kinematica

- Snelheid en versnelling van een puntmassa als de eerste en tweede afgeleide van de verplaatsingsvector.
- Eenparige beweging, centripetale (normale of middelpuntzoekende) en tangentiële versnelling.
- Beweging van een puntmassa met constante versnelling.
- Optellen van snelheden en hoeksnelheden; optellen van versnellingen zonder corioliscomponent; herkennen van situaties waarin de coriolisversnelling nul is.
- Beweging van een star lichaam als een rotatie om een momentaan draaipunt; snelheden en versnellingen van de onderdelen van een draaiend, star lichaam.

2.1.2 Statica

- Het massamiddelpunt bepalen van een systeem via sommatie of integratie
- Evenwichtsvoorwaarden: krachterevenwicht (vectorieel of via projecties); evenwicht van krachtmomenten (alleen in een- of tweedimensionale gevallen)
- Normaalkracht, spankracht, statische en kinetische wrijvingskrachten, wet van Hooke,

2.1.3 Dynamica

- Tweede wet van Newton (met vectoren en via projecties of componenten)
- Kinetische energie voor translaties en rotaties
- Potentiële energie voor eenvoudige krachtvelden (ook als lijnintegraal van het krachtveld)
- Impuls, impulsmoment en energie en de drie behoudswetten.
- Mechanische arbeid en vermogen, verlies van energie door wrijving
- Inertiaalstelsels en niet-inertiaalstelsels: inertiaalkracht, centrifugaalkracht, potentiële energie in een roterend stelsel.
- Traagheidsmoment voor eenvoudige lichamen (ring, schijf, bol, holle bol, staaf), Regel van Steiner, bepaling van het traagheidsmoment door middel van integratie.

2.1.4 Hemelmechanica

- Gravitatiewet, potentiaal van het zwaartekrachtsveld, wetten van Kepler (er wordt geen afleiding gevraagd van eerste en derde wet)
- Energie van een puntmassa in een ellipsbaan.

2.1.5 Hydrodynamica

- Druk, opwaartse kracht, continuïteitsvergelijking,

2.2 Elektromagnetische velden

2.2.1 Basisprincipes

- De begrippen lading en stroom, ladingbehoud en de stroomwet van Kirchhoff.
- Coulombkrachten, elektrostatisch veld als een potentiaalveld, de spanningswet van Kirchhoff.
- Magnetisch B-veld, lorentzkracht, ampère-kracht (kracht van 2 stroomdraden op elkaar),
- Het B-veld op de as van een cirkelvormige stroomdraad en in eenvoudige symmetrische gevallen zoals bij een rechte draad, een cirkelvormige draad en een lange spoel.

2.2.2 De Maxwellvergelijkingen in integraalvorm

- De wet van Gauss (voor E en B-velden), wet van Ampère en de wet van Faraday.

2.2.3 Wisselwerking van materie met elektrische en magnetische velden

- Weerstand en geleidbaarheid, differentiële vorm van de wet van Ohm.
- Dielektrische en magnetische permeabiliteit, energiedichtheid van elektrische en magnetische velden, ferromagnetische materialen, hysteresis en energieverlies, wervelstromen, wet van Lenz.
- Energie van een magnetische dipool in een magnetisch veld, dipoolmoment van een stroomkring.

2.2.4 Schakelingen of circuits

- Lineaire weerstanden ($R=\text{constant}$) en de wet van Ohm, de wet van Joule, arbeid verricht door een elektromagnetische kracht.
- Ideale en niet ideale batterijen, constante stroombron, ampèremeter, voltmeter en ohmmeter.
- Niet lineaire elementen met gegeven U,I -karakteristiek.
- Condensatoren en capaciteit Zelfinductie en inductantie, energie van condensatoren en inductoren (spoelen ed), (coëfficiënt van) wederzijdse inductie.
- Tijdconstante van RL en RC circuits. AC-circuits, complexe amplitude en impedantie van weerstanden, inductoren, condensatoren en combinaties in schakelingen
- Phasordiagrammen, resonantie van stroom en spanning, nuttig vermogen

2.3 Golven en trillingen

2.3.1 Enkelvoudige trillingen

- Harmonische trilling: bewegingsvergelijking, frequentie, hoekfrequentie, trillingstijd.
- Fysische slinger en gereduceerde slingerlengte. Gedrag rondom een instabiel evenwicht

2.4.2 Gekoppelde trillingen

2.3.2 Golven

- Voortplanting van sinusvormige golven, fase als een lineaire functie van ruimte en tijd; golflengte, golfvector, fase- en groepssnelheden.
- Transversale en longitudinale golven
- Het klassieke dopplereffect
- Golven in niet-homogene media; principe van Fermat, wet van Snellius.
- Geluidsgolven
- Energietransport van golven; evenredigheid met het kwadraat van de amplitude, continuïteit van de energieflex.

2.3.3 Interferentie en diffractie

- Optellen van golven; coherentie; zwevingen; staande golven, principe van Huygens
- Interferentie bij dunne lagen (alleen voorwaarden voor minima en maxima van de intensiteit)
- Diffractie bij een of twee spleten; tralie
- Braggreflectie

2.3.4 Interactie van elektromagnetische golven met materie

- Kwalitatieve afhankelijkheid van de elektrische permittiviteit van de frequentie.
- Brekingsindex, dispersie en demping van elektromagnetische golven in transparante en ondoorzichtige materialen
- Lineaire polarisatie, brewsterhoek, polarisatoren ~~wet van Malus~~

2.3.5 Optische apparaten

- Telescopen en microscopen: vergroting en oplossend vermogen
- Tralies en oplossend vermogen
- Interferometers

2.4 Relativiteit

- Principe van relativiteit en lorentztransformaties voor tijd- en ruimte coördinaten, voor energie en impuls.

- Equivalentie van massa en energie
- Invariantie van ruimte-tijd intervallen en rustmassa.
- Optellen van snelheden in dezelfde richting, tijdrek en lengtekrimp
- Relativiteit van gelijktijdigheid
- Energie en impuls van fotonen en relativistisch dopplereffect.
- Relativistische bewegingsvergelijking, behoud van energie en impuls bij elastische en niet-elastische interacties tussen deeltjes.

2.5 *Kwantumfysica*

2.5.1 *Waarschijnlijkheidsgolven*

- Deeltjes als golven
- Relatie tussen frequentie en energie en tussen de golfvector en impuls
- Energieniveaus van waterstofachtige atomen (alleen cirkelbanen) en van paraboolvormige potentialen
- Kwantisatie van impulsmoment
- Onbepaaldheidsprincipe voor tijd en energie en voor plaats en impuls

2.5.2 *Structuur van materie*

- Emissie- en absorptiespectra van waterstofachtige atomen (andere atomen alleen kwalitatief) en van moleculen door moleculaire trillingen;
- Breedte van spectraallijnen en levensduur van aangeslagen toestanden.
- Atoomkernen, energieniveaus van kernen (kwalitatief); alfa-, bèta- en gammaverval
- Splitsing, fusie en neutronvangst.
- Massatekort
- Halveringstijd en exponentieel verval.
- Foto-elektrisch effect

2.6 *Thermodynamica en statistische fysica*

2.6.1 *Klassieke thermodynamica*

- Principes van thermisch evenwicht en reversibele processen.
- Inwendige energie, arbeid en warmte.
- Entropie;
- Gesloten, open en geïsoleerde systemen
- Eerste en tweede wet van de thermodynamica
- Kinetische theorie van ideale gassen, getal van Avogadro, de Boltzmann factor en de gasconstante,
- Beweging van moleculen langs een rechte lijn en druk; ideale gaswet
- Vrijheidsgraden door rechtlijnige beweging, rotaties en vibraties
- Equipartitieprincipe; inwendige energie van ideale gassen
- Kwadratisch gemiddelde snelheid van moleculen

- Isotherme en adiabatiese processen.
- Soortelijke warmte voor isobare en isochore processen
- Carnot proces en het omgekeerde Carnotproces voor ideale gassen en hun rendement
- Rendement van niet ideale warmtemotoren.

2.6.2 Warmtetransport en faseovergangen.

2.6.3 Statistische fysica

- Wet van Planck (kwalitatief besproken, hoeft niet onthouden te worden)
- Wet van Stefan-Boltzmann

3. Experimentele vaardigheden

3.1 Inleiding

De theoretische kennis die voor het uitvoeren van de experimenten nodig is, moet in deel 2 van deze syllabus opgenomen zijn.

Van de deelnemers wordt beheersing van de volgende vaardigheden verwacht.

3.2 Veiligheid

De standaardveiligheidsregels voor laboratoriumwerk moeten bekend zijn. Desondanks: als de opstelling veiligheidsrisico's geeft, moeten adequate waarschuwingen in de tekst van de opdracht zijn opgenomen. Experimenten met grote veiligheidsrisico's moeten vermeden worden.

3.3 Meettechnieken en apparaten

- Bekend zijn met de meest algemene experimentele technieken voor het meten van de natuurkundige grootheden die in het theoretische deel genoemd worden.
- De normaal gebruikelijke laboratoriuminstrumenten kunnen gebruiken en zowel analoge als digitale versies van eenvoudige meetinstrumenten als schuifmaat, de noniusschaal, stopwatch, thermometer, multimeter (waaronder ohmmeters, ac/dc volt- en ampèremeters), potentiometer, diode, transistor, lenzen, prisma's, optische bank, calorimeter en dergelijke.
- Meer geavanceerd practicummateriaal dat naar alle waarschijnlijkheid onbekend is voor de deelnemers mag een experimentele opdracht niet domineren. Bij enigszins geavanceerd materiaal (denk aan oscilloscopen, tellers, signaal- en functiegeneratoren, fotodiodes) moet er een handleiding aan de deelnemers gegeven worden.

3.4 Nauwkeurigheid

- Er op bedacht zijn dat instrumenten de uitkomst van een experiment

kunnen beïnvloeden.

- Bekend zijn met de basistechnieken om de meetnauwkeurigheid te verbeteren (bijvoorbeeld over meer trillingstijden meten dan over slechts één, de invloed van ruis verminderen, ...)
- Als de functionele afhankelijkheid tussen twee grootheden moet worden bepaald, dan moet de dichtheid van de gekozen meetpunten passen bij de lokale, karakteristieke schaal van die afhankelijkheid.
- De uiteindelijke resultaten en meetonzekerheid moeten met een juiste aantal significante cijfers gegeven worden en op de juiste manier afgerond.

3.5 Foutenanalyse

- Herkennen van de belangrijkste foutenbronnen
- Redelijke afschatting van de grootte van de meetfout van meetwaarden (met gebruikmaking van regels uit documentatie, indien die is bijgeleverd)
- Onderscheid tussen toevallige en systematische fouten; in staat zijn om deze af te schatten en de toevallige fouten te verkleinen door herhaalde metingen.
- De absolute en relatieve fout op een aanvaardbare wijze kunnen bepalen als functie van gemeten grootheden (zoals lineaire benadering, absolute fout en waarschijnlijke fout).

3.6 Data analyse

- Een relatie kunnen omzetten naar een lineaire uitdrukking door een verstandige keuze van variabelen en dan de meetpunten fitten aan een rechte lijn.
- De lineaire regressie parameters kunnen bepalen (helling, nulpuntsbepaling, schatting van de fout) hetzij grafisch of via een statistische berekening met een rekenmachine (om het even welke aanvaardbare methode)
- optimale schaalgrootte kunnen kiezen voor grafieken en meetpunten met foutengrenzen kunnen weergeven.

4 Wiskunde

4.1 Algebra

- Formules vereenvoudigen door ontbinding in factoren en door een reeksontwikkeling
- Stelsel lineaire vergelijkingen oplossen
- Oplossen van vergelijkingen en stelsels van vergelijkingen herleiden tot kwadratische vergelijkingen en vierdemachtsvergelijkingen.
- Fysisch relevante oplossingen kunnen kiezen
- Sommeren van rekenkundige en meetkundige reeksen

4.2 Functies

- Basisprincipes van goniometrische, inverse goniometrische, exponentiële en logaritmische functies en polynomen.
- Eenvoudige vergelijkingen oplossen met goniometrische, inverse goniometrische, exponentiële en logaritmische functies

4.3 geometrie en stereometrie

- Graden en radialen als eenheden van hoeken
- Gelijkheid van Z- en F-hoeken, gelijkheid van overeenkomstige hoeken
- Gelijke en gelijkvormige driehoeken herkennen
- Oppervlak van driehoeken, trapeziums, cirkels en ellipsen
- Oppervlakte van bollen, cilinders en kegels
- Volume van bollen, cilinders, kegels en prisma's
- Sinus- en cosinusregels, eigenschappen van ingeschreven driehoeken (bij cirkels), omtreks- en middelpuntshoek, stelling van Thales

4.4 Vectoren

- Basisprincipes van vectoroptelling, in-en uitproduct.
- Dubbel uitproduct $\vec{a} \times \vec{b} \times \vec{c}$ en het inproduct van een vector met een uitproduct $\vec{a} \cdot (\vec{b} \times \vec{c})$
- Geometrische interpretatie van de tijdafgeleide van een vectorgrootheid

4.5 Complexe getallen

- Optellen, vermenigvuldigen en delen van complexe getallen
- Scheiding van reëel en imaginair deel
- Complex getal kunnen weergeven in een algebraïsche, goniometrische en exponentiële vorm
- Complexe oplossingen van kwadratische vergelijkingen en hun fysische betekenis.

4.6 Statistiek

- Berekening van waarschijnlijkheid als de verhouding van het

opgetreden en het mogelijke aantal gebeurtenissen.

- Berekening van gemiddelde, standaarddeviatie en standaarddeviatie van het gemiddelde

4.7 Analyse

- Bepalen van afgeleiden van eenvoudige functies, hun som, product, quotiënt en samengestelde functies (kettingregel)
- Integreeren als het omgekeerde van differentiëren
- Bepaalde en onbepaalde integralen bepalen in eenvoudige gevallen: eenvoudige functies, som van functies, en lineaire verandering van argument
- Integralen dimensieloos maken door substitutie
- Meetkundige betekenis van afgeleiden en integralen.
- integratieconstante bepalen met behulp van randvoorwaarden
- Het begrip gradiënt ~~vectoren~~ (het is niet nodig om partiële afgeleiden te bepalen)

4.8 numerieke en benaderingsmethoden

- Lineaire en polynome benaderingen, gebaseerd op Taylorreeksen
- Vergelijkingen en uitdrukkingen lineariseren
- Verstoringsmethode: Correcties berekenen op basis van onverstoorde oplossingen
- Numerieke integratie met behulp van de trapeziumregel of door het optellen van rechthoeken.