

Overzicht practica Universiteiten in België en Nederland

In dit document treft u een (voorlopige) inventarisatie aan van hoe de natuurkundepractica op de verschillende universiteiten in België en Nederland zijn vorm gegeven en georganiseerd. Het is een verzameling van wat is aangeleverd voor de landelijke natuurkundepracticum dag op 24 januari 2020. Soms heb ik gebruik gemaakt van wat op de website van het instituut was te vinden. Uniform is het dus niet, omdat we geen format hebben aangeleverd. Aan het begin van elke bijdrage heb ik een overzicht gegeven van de practicummedewerkers. Dat is niet altijd volledig. Soms zijn dat alleen de deelnemers aan de landelijke natuurkundepracticum dag.

Het is dus een **werkdocument**. Op dit moment zijn het alleen de bacheloropleidingen aan de universiteiten die in dit overzicht staan. Dat is handig om te vergelijken.

Waarschijnlijk is het ook nuttig om ook de hogescholen in dit overzicht op te nemen, maar dat is dan de volgende stap.

Het document is bedoeld om van elkaar te leren. Doornemen van dit overzicht zal vast vragen oproepen. Bijvoorbeeld:

- Wat houden die conceptuele practica in Nijmegen in het eerste jaar precies in? En zijn die vergelijkbaar hoe ze in Groningen de colleges in het eerste jaar ondersteunen?
- In Twente zijn de practica helemaal ingebed in een module en hebben ze een paar keer een project. Hoe pakt dat in de praktijk uit?
- In hoeverre is de practicumstaf betrokken bij de projecten in het derde jaar?
- Hoeveel medewerkers zijn er betrokken bij het practicum en is de practicumstaf ook vrijgesteld voor het onderwijs?
- Enz...

Hopelijk helpt dit document om de uitwisseling tussen alle practica te verbeteren. De laatste tijd merkten we dat er behoefte is aan dergelijke uitwisseling en dat is ook de reden dat de landelijke natuurkundepracticum dag weer gehouden wordt na ongeveer 10 jaar.

Het is een document in ontwikkeling. Moeten de informatie aangepast of uitgebreid worden, geef dat dan aan mij door, dan zal ik dat verwerken.

Jaap Buning, j.b.buning@vu.nl

Inhoud:	blz
Schematisch overzicht	1a
Universiteit Antwerpen	2
Universiteit Gent	7
Universiteit Hasselt	9
Universiteit Leiden	14
Technische Universiteit Twente	21
Technische Universiteit Eindhoven	25
Radboud Universiteit Nijmegen	32
Technische Universiteit Delft	35
Vrije Universiteit / Universiteit van Amsterdam	37
Medewerkers Universiteit Utrecht en RUG	42
Rijksuniversiteit Groningen	43
Universiteit Utrecht	45

Practicum medewerker:

Prof. Nick Schryvers, nick.schryvers@uantwerpen.be

Bachelor in de Fysica		Academiejaar : 2019-2020	
Modeltraject deel 1			
Verplichte opleidingsonderdelen			
Algemene fysica I: kinematica, dynamica, gastheorie	6sp	1e sem.	Bals, Sara Hadermann, Joke
Algemene fysica II: thermodynamica, golven, optica	9sp	2e sem.	Bals, Sara
Computerpracticum	3sp	1e sem.	Partoens, Bart Symens, Stijn In't Hout, Karel
Experimentele fysica I	6sp	1e+2e sem	Schryvers, Nick
Inleiding analytische mechanica	6sp	2e sem.	Wouters, Michiel
Inleiding tot de scheikunde	6sp	2e sem.	Blockhuys, Frank
Wiskundige methoden voor de fysica I	9sp	1e sem.	Eelbode, David
Wiskundige methoden voor de fysica II	6sp	1e sem.	Scheunders, Paul
Wiskundige methoden voor de fysica III	6sp	2e sem.	Eelbode, David
Keuzeopleidingsonderdelen			
<i>1 opleidingsonderdeel te kiezen uit onderstaande lijst met keuzeopleidingsonderdelen</i>			
Fysica van het dagelijks leven	3sp	1e sem.	Cambré, Sofie
Wetenschappelijk rapporteren	3sp	1e sem.	Hadermann, Joke

Omschrijving Experimentele Fysica I (6 sp)

- De student kan een eenvoudig experiment correct opzetten en uitvoeren.
- De student is in staat om de nodige informatie te verzamelen bij een bepaald onderwerp
- De student hanteert een onderzoekshouding tegenover de vraagstelling en geeft blijk van eigen initiatief
- De student noteert correct de onderzoekshandelingen en verkregen meetresultaten in zijn/haar labjournaal
- De student beheerst een correcte verwerking van de meetresultaten en hun nauwkeurigheid
- De student kan vlot, volledig en correct rapporteren a.d.h. van een geschreven verslag over het uitgevoerde experiment en de resultaten
- De student is in staat om in groep te functioneren en resultaten af te leveren

In de inleiding worden numerieke technieken aangebracht en afspraken gemaakt waarmee de student de eigen meetresultaten kan verwerken en rapporteren.

Hieronder vinden we o.a. verdelingen, lineaire regressie, propagatie en fittingsprocedures. Deze technieken worden tijdens het laboratoriumwerk en de rapportering uitgevoerd via Excel op de computer.

De experimenten beslaan onderwerpen uit de mechanica, thermodynamica, golfenomenen (diffractie, interferentie), optica en geluid. De student krijgt een algemene opdracht (bv. bestudeer

een mechanisch gedempte harmonische beweging) en moet dan zelf een opstelling ontwerpen of aanpassen aan zijn/haar eigen concept van aanpak voor het gestelde probleem. Studenten voeren in Experimentele Fysica I 12 experimenten uit.

Modeltraject deel 2			
Verplichte opleidingsonderdelen			
Algemene fysica III : elektromagnetisme	6sp	1e sem.	Verbeeck, Johan
Experimentele Fysica II	6sp	1e+2e sem	Schryvers, Nick
Inleiding klassieke veldentheorie	3sp	1e sem.	Scheunders, Paul
Inleiding kwantummechanica	6sp	1e sem.	Peeters, Francois
Inleiding programmeren	5sp	2e sem.	Van Remortel, Nick
Inleiding Relativiteitstheorie & Elementaire Deeltjes	4sp	1e sem.	Van Mechelen, Pierre
Kansrekening en statistiek	6sp	1e sem.	Van Aert, Sandra
Numeric Methods	3sp	1e sem.	Milosevic, Milorad
Sterrenkunde en astrofysica I	3sp	1e+2e sem	Kolenberg, Katrien
Structuur van de vaste stof	6sp	2e sem.	Hadermann, Joke

Omschrijving Experimentele Fysica II (6 sp)

- De student raakt vertrouwd met experimenten en toestellen uit de elektriciteit, het magnetisme en de vaste stof fysica
- De student krijgt inzicht in de programmeeromgeving Labview en kan deze toepassen op een eenvoudig experimenteel probleem (inclusief aansturing en meting)
- De student verzamelt kennis over de ontwikkeling van de moderne natuurkunde op het vlak van de belangrijkste experimentele evoluties in de 20e eeuw
- De student kan complexe experimenten opzetten op basis van een aantal onderzoeksvragen
- De student is in staat zijn/haar eigen experimenten en resultaten voor te stellen a.d.h. van mondelinge presentaties (ppt, poster, ...)
- De student kan de resultaten van verschillende experimenten met elkaar combineren in een overkoepelend verslag
- De student kan de resultaten van een experiment verwoorden in een beknopt verslag, een zgn. abstract
- De student leert de bijdragen van verschillende collegastudenten mee te evalueren

De eerste reeks experimenten bestaat uit onderwerpen uit het elektromagnetisme (brugschakeling, thermokoppel, diode, wisselstroomkringen, ...) en belangrijke experimenten van de natuurkunde van de 20ste eeuw (lading van het elektron, e/m verhouding, elektronendiffractie, radioactiviteit, interferentie, ...). Ze worden uitgevoerd in sessies van 3 uur en gegroepeerd in 2 blokken waarbij de student één onderwerp per blok kiest (bv. "het elektron", "energieniveaus", "golven en straling", etc.) en hierbinnen een reeks experimenten kiest. De uitvoering van de experimenten laat een grote keuzemogelijkheid aan benaderingen voor de student.

Studenten voeren 10 experimenten uit en in het derde blok zal de student een eigen experiment gestuurd m.b.v. Labview opzetten. Hiervoor is keuze uit een aantal toepassingen zoals harmonische beweging, diode, stroomkring, De nadruk ligt hier op de aansturing en uitlezing van het experiment, minder op de inhoud van het onderwerp.

In alle gevallen stellen de studenten een experimenteerplan op voor het begin van de reeks.

Hieronder enkele voorbeelden van experimenten uit Exp.Fysica I en Exp. Fysica II

proef	doel	duur	apparatuur
Capsule (EF I)	dimensies meten, volume bepaling	4 uur	schuifmaat
Veerconstante (EF I)	statische en dynamische vaststelling van de veerconstante van een spiraalveer	4 uur	krachtsensor, bewegingssensor, meetlat
viscositeit van vloeistoffen (EF I)	toestel ijken, viscositeitscoëfficiënten bepalen ifv stof en temperatuur	4 uur	viscosimeter van Ostwald, luchtpeer, chronometer
oppervlaktespanning van water (EF I)	toestel ijken, oppervlaktespanning bepalen ifv van stof en temperatuur	4 uur	krachtsensor, schuifmaat
Resistiviteit (EF II)	meter van stromen, spanningen, lengtes en diameters en bepalen van resistiviteit	2 uur	stroombron, spanningsmeter, stroommeter, schuifmaat
thermische uitzetting (EF I)	uitzettingscoëfficiënten van verschillende materialen vergelijken	2 uur	uitwijkingmeter, stroombron
Polarimetrie (EF I)	suikerconcentraties bepalen	4 uur	polarimeter, cuvetten, suikerconcentraties
Radioactiviteit (EF II)	halfwaardetijd en levensduur van kort en langlevende bron bepalen	4 uur	60-Co en 234m-Pa bronnen; GM-tellers
Oscilloscoop en RC-keten (EF II)	Triggering, amplitudes, frequenties, RC-tijd	4 uur	Scoop, frequentiegenerator, RC-keten
Myografie (EF II)	geleidingssnelheid van zenuwpulsen	4 uur	Elektoden ; Bio-voorversterker
Spectrometrie (EF I)	emissiespectra, transmissie en absorptie, kleurenpalet	4 uur	Analoge Spectroscopie, Digitale spectrofotometer, Gasdrukklampen
DiffRACTIE en reconstructie (EF I)	dimensies van kleine objecten bepalen	4 uur	HeNe-laser, diode laser, preparaten
Frequentie-Analyse (EF II)	fourier analyse, toon componenten	4 uur	PC, microfoon, frequentiegenerator

Modeltraject deel 3

Verplichte opleidingsonderdelen

Experimentele technieken: optica en laserspectroscopie	3sp	2e sem.	Wenseleers, Wim
Experimentele technieken: signaalverwerking, vacuüm, lage temperaturen	3sp	1e sem.	Goovaerts, Etienne
Inleiding tot de vaste stof 1	3sp	1e sem.	Lamoën, Dirk
Kwantummechanica	3sp	2e sem.	Tempere, Jacques
Projectwerk	9sp	1e+2e sem	Wenseleers, Wim
Statistische fysica	3sp	1e sem.	Tempere, Jacques

Experimentele technieken: optica en laserspectroscopie (3 sp)

- U verwerft een inzicht in de principes, doelstellingen en methoden van experimenteel onderzoek gebruik makend van optische technieken en lasers.
- U kan inschatten welke technieken voor welke doelstellingen in aanmerking komen.

- Voor de Masterstudenten Chemie draagt deze cursus specifiek bij tot het realiseren van de volgende algemene doelstellingen van hun opleiding: M1, M2, M3, M5, M7, M8, MO3.

Optische technieken en lasers zijn niet meer weg te denken uit het wetenschappelijk onderzoek en de huidige technologie. De werkingsprincipes, technische aspecten en mogelijkheden van de meest gebruikte technieken voor de generatie, manipulatie, selectie (polarisatie, golflengte), en detectie van licht worden eerst uitgelegd. Vervolgens wordt in meer detail ingegaan op de werking van lasers: Hoe wordt de golflengte bepaald, hoe worden korte of heel energetische pulsen gegenereerd, kortom, welke lasers zijn geschikt voor welke doeleinden? De meest frequent gebruikte optische spectroscopische methoden worden, opnieuw vanuit een technische/praktische invalshoek, besproken.

Experimentele technieken: signaalverwerking, vacuüm, lage temperaturen (3 sp)

- Inzicht in de principes, doelstellingen en methoden van experimenteel onderzoek in de Fysica.
- Kennis van veelgebruikte basistechnieken die daarbij aangewend worden, o.m. meettechnieken, signaalanalyse, mechanische, optische en elektronische componenten, vacuüm- en lage-temperatuurtechnieken.
- Het gebruik en de kritisch lezing van wetenschappelijke literatuur in deze context.

Na basismotivatie en doelstellingen van experimenteel onderzoek in de Fysica, worden eerst een aantal algemene aspecten ervan behandeld zoals de opbouw van een experiment, bronnen van fouten, behandeling van signalen en verbetering van signaal-ruis-verhouding, verzamelen, overdracht en opslag van gegevens en hun verwerking. Daarna worden enkele technieken besproken die zeer frequent worden toegepast, i.h.b. het gebruik van vacuüm en lage temperaturen. De werkingsprincipes worden uitgewerkt. Waarom zijn deze experimentele technieken verder nuttig en nodig? Welke toestellen kunnen hiertoe gebruikt worden en welk zijn de specificaties waaraan deze voor een gegeven toepassing moeten voldoen?

Projectwerk (9 sp)

Eindcompetenties:

- opbouwen van experimentele vaardigheid
- experimentele procedure opstellen, uitvoeren en analyseren
- correct kunnen omgaan met complexe meetapparatuur
- theoretische kennis in de praktijk brengen
- een experiment of theoretisch onderzoeksproject correct beschrijven - het volledig resultaat verwerken tot een wetenschappelijk verslag
- een fysisch probleem kunnen analyseren, omzetten in een wiskundig model, en dit uitwerken

Dit practicum omvat zowel experimentele als theoretische projecten, en beoogt een verbinding te leggen tussen de experimentele methoden, laboratorium vaardigheden en het experimentele wetenschappelijk onderzoek, enerzijds, en tussen de theoretische cursussen en de praktijk van het theoretische onderzoek en analytisch, probleemoplossend denken i.h.a., anderzijds. In een team samen met 1 of twee andere studenten werkt u daartoe wat grotere projecten uit. Hierbij kan u in hoge mate gebruik maken van de apparatuur en expertise van de onderzoeksgroepen van het departement Fysica.

Een 30-tal projecten worden aangeboden, waaronder kleinere (1.5stp) en grotere (3stp), en waaruit

de student er voor een totaal van 9stp, waarvan minstens 3stp theoretisch en minstens 3stp experimenteel, afwerkt gedurende het academiejaar (in te plannen in overleg met de betrokken docenten).

Experimenteel:

- Scanning Elektronenmicroscopie en Scanning Probe Microscopie
- Holografie en interferometrische technieken
- Biofysische karakterisatie van globine-eiwitten: Bepaling van CO-bindingskinetiek d.m.v. flitsfotolyse
- Meten van moleculaire bewegingen met elektronen paramagnetische resonantie
- Ramanspectroscopie aan koolstofnanobuizen
- Picoseconde tijdsafhankelijke fluorescentiespectroscopie
- Digitale Elektronica

Theoretisch:

- Numerieke oplossing van de twee-dimensionale Schrödingervergelijking
- De Kapitza-slinger
- De waterraket: optimaal ontwerp?
- Vortices in mesoscopische supergeleiders
- De Klein tunneling paradox
- Patroonherkenning
- Berekenen van de Madelung-constante d.m.v. de Ewald sommatiemethode

Bij deze projecten wordt de keuze van de technieken en de inhoud van de opdracht veelal ingekaderd in het lopende wetenschappelijk onderzoek. In het begin van het academiejaar zal dit uitvoerig toegelicht worden.

Practica Universiteit van Gent, Fysica en Sterrenkunde

Practicum medewerkers:

Natalie Jachowicz, natalie.jachowicz@ugent.be

Matthieu N. Boone, matthieu.boone@ugent.be

Studieprogramma Eerste Bachelor

LEERLIJN	OPLEIDINGSONDERDEEL	SEM	SP
Algemene fysica	Mechanica	1	6
Wiskunde	Lineaire algebra	1	4
Wiskunde	Wiskundige structuren en functies	1	5
Computervaardigheden	Programmeren	1	6
Interdisciplinariteit en verbreding	Chemie	1	5
Algemene fysica	Elektriciteit en magnetisme	2	5
Algemene fysica	Golven en optica	2	5
Theoretische fysica	Theoretische mechanica	2	6
Sterrenkunde	Sterren en planeten	2	6
Wiskunde	Vectoranalyse	2	6
Experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking	Experimenteren in de fysica en de sterrenkunde 1	J*	6

* Jaarvak

Experimenteren in de fysica en de sterrenkunde 1

Dit is het eerste opleidingsonderdeel in de leerlijn *experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking*. Na een beknopte inleiding waarin de basis van het fysisch experimenteren in zijn diverse aspecten wordt uiteengezet (experimentele versus theoretische fysica; doelstellingen van het practicum; bronnen van onzekerheden en foutenberekeningen; statistische fouten; analyse van de resultaten; opstellen van een rapport), voer je zelfstandig een reeks praktische proeven uit. Hierbij maak je kennis met de werking van eenvoudige toestellen, het nauwkeurig meten van grootheden en het analyseren en extraheren van fysisch zinvolle resultaten met hun fouten. Er wordt verwacht dat je een rapport opstelt waarin je de meetresultaten weergeeft en bespreekt, ondersteund door tabellen en grafieken. Al deze aspecten vormen de inleiding tot de methodologie in het fysisch experimenteren en zullen van pas komen bij het experimenteel werk voor de bachelorproef, de masterproef of in het wetenschappelijk onderzoek.

Studieprogramma Tweede Bachelor

LEERLIJN	OPLEIDINGSONDERDEEL	SEM	SP
Algemene fysica	Kwantummechanica 1	1	6
Experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking	Statistiek en gegevensverwerking	1	6
Wiskunde	Vector- en functieruimten	1	5
Computervaardigheden	Python voor wetenschappers (EN)	1	5
Interdisciplinariteit en verbreding	Keuzevak	1	5
Algemene fysica	Thermische fysica	2	6
Theoretische fysica	Relativiteit en elektromagnetisme	2	6
Structuur van de materie	Materiaalfysica	2	5
Sterrenkunde	Sterrenstelsels	2	6
Wiskunde	Groepen en representaties	2	4
Experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking	Experimenteren in de fysica en de sterrenkunde 2	J*	6

* Jaarvak

Studieprogramma Derde Bachelor

LEERLIJN	OPLEIDINGSONDERDEEL	SEM	SP
Theoretische fysica	Kwantummechanica 2	1	6
Theoretische fysica	Statistische fysica	1	6
Sterrenkunde	Structuur van het heelal	1	6
Experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking	Onderzoeksvaardigheden	1	3
Wiskunde	Complexe analyse	1	4
Interdisciplinariteit en verbreding	Keuzevak	1	5
Structuur van de materie	Atoom- en molecuulfysica	2	5
Structuur van de materie	Deeltjesfysica (EN)	2	4
Structuur van de materie	Kernfysica (EN)	2	4
Structuur van de materie	Vastestoffysica	2	6
Experimentele fysica en sterrenkunde; dataverwerking	Bachelorproject	2	6
Interdisciplinariteit en verbreding	Keuzevak	2	5

Practica UHASSELT, opleiding Fysica



Practicum medewerkers:

Michel De Roeve, michel.deroeve@uhasselt.be

Ilse Engelen, ilse.engelen@uhasselt.be

Mieke Gorissen, mieke.gorissen@uhasselt.be

Rik Lempens, rik.lempens@uhasselt.be

1^{ste} bachelorjaar

Mechanica (6 ec)

4 practica:

- herhaling rekenblad-vaardigheden
- de wet van Archimedes
- de bungee-sprong
- rocket science

Leerdoelen:

- bijkomend inzicht verwerven in de materie
- aanscherpen van probleemoplossend vermogen
- correct omgaan met (schakelen, instellen, aflezen) en apparatuur (componenten, sensoren, ...)
 - rekenbladsoftware
 - specifieke LabVIEW-software
 - diverse mechanische componenten
 - balans (tarrering)
 - liniaal
 - krachtsensor
 - bewegingssensor
 - versnellingsensor
 - druksensor
- correct samenstellen/opbouwen van een opstelling
- correct uitvoeren van metingen
- volledig documenteren van het proces
- kritisch omgaan (verwerven en verwerken) met resultaten
- correct rekenen met de propagatie van fouten
- opstellen van een verslag
- samenwerken in groep

Optica (6 ec)

3 practica:

- Fourier-analyse (incl. kennismaking met functiegenerator, oscilloscoop, sampling)
- optical processing
- traliespectrometrie

Leerdoelen:

- bijkomend inzicht verwerven in de materie
- aanscherpen van probleemoplossend vermogen
- correct omgaan met (schakelen, instellen, aflezen) en apparatuur (componenten, sensoren, ...)
 - specifieke LabVIEW-software
 - functiegenerator

- oscilloscoop
- coax-kabels
- microfoon + versterker
- optische bank
- optische tafel
- lasers
- lenzen en spiegels
- goniometer
- micrometer
- correct uitvoeren van metingen
- volledig documenteren van het proces
- kritisch omgaan (verwerven en verwerken) met resultaten
- correct rekenen met de propagatie van fouten
- opstellen van een verslag
- samenwerken in groep
- veilig werken met lasers

Elektromagnetisme (6 ec)

3 practica:

- DC-metingen
- werken met de oscilloscoop en functiegenerator
- AC-metingen

Leerdoelen:

- bijkomend inzicht verwerven in de materie
- aanscherpen van probleemoplossend vermogen
- correct omgaan met (schakelen, instellen, aflezen, ...) apparatuur (componenten, sensoren, ...)
 - rekenbladsoftware
 - specifieke LabVIEW-software
 - schakelbord
 - diverse elektrische componenten
 - functiegenerator
 - oscilloscoop
 - multimeter
- correct samenstellen/opbouwen van een opstelling
- correct uitvoeren van metingen
- volledig documenteren van het proces
- kritisch omgaan (verwerven en verwerken) met resultaten
- fitten van modelverbanden
- correct rekenen met de propagatie van fouten
- opstellen van een verslag
- samenwerken in groep

Fysica en Leven (5 ec)

1 practicum:

- stroming in een buis (laminair vs. turbulent)

Leerdoelen:

- bijkomend inzicht verwerven in de materie
- aanscherpen van probleemoplossend vermogen
- correct omgaan met (schakelen, instellen, aflezen) apparatuur (componenten, sensoren, ...)
 - specifieke LabVIEW-software
 - MatLab

- manometer
- debietmeter
- drukmeter
- positie sensor (calibratie procedure doorlopen, slope en intercept berekenen)
- snelheidssensor
- correct uitvoeren van metingen
- volledig documenteren van het proces
- kritisch omgaan (verwerven en verwerken) met resultaten
- correct rekenen met de propagatie van fouten
- opstellen van een verslag
- samenwerken in groep

2^{de} bachelorjaar

Geavanceerde Meetmethoden (8 ec)

6 practica (waarvan er 2 georganiseerd worden door/aan de TUEindhoven):

- Laser Doppler Anemometrie
- Atomic Force Microscopy (versie 1: UHasselt, versie 2: TUEindhoven)
- Laser Optical Tweezers (TUEindhoven)
- Fluorescence
- Spontaneous Parametric Downconversion
- Photocurrent Spectroscopy

Lessenreeks LabVIEW:

- Basiscursus LabVIEW programmeeromgeving
- LabVIEW programmeer structuren (Rolling Dice Game maken)
- String functies (Spectrum Analyser, gesimuleerd, maken)
- Interfacing mbv VISA (USB en GPIB)
- Opdracht: automatisch meten en tekenen van resonantiekromme RLC-circuit en bepalen van Q-factor

Leerdoelen:

- bijkomend inzicht verwerven in de materie
- verder aanscherpen van probleemoplossend vermogen
- ontwikkelen van zelfredzaamheid
- correct omgaan met (schakelen, instellen, aflezen, ...) professionele/kostelijke apparatuur (componenten, sensoren, ...)
 - rekenbladsoftware
 - specifieke LabVIEW-software
 - specifieke software (AvaSoft, Oriel, NanoSurf, ThorLabs)
 - laser
 - camera
 - vermogensmeter
 - filter (high pass, low pass)
 - monochromator
 - spectrometer
 - kalibratiebron
 - lock-in amplifier
 - optische vezels
 - single photon counters
 - schakelbord

- diverse elektrische componenten
- optisch bord
- diverse optische componenten
- functiegenerator
- oscilloscoop
- multimeter
- correct samenstellen/opbouwen/uitlijnen van een opstelling
- correct uitvoeren van metingen
- volledig documenteren van het proces (labjournaal)
- kritisch omgaan (verwerven en verwerken) met resultaten
- geavanceerd verwerken van beelden en signalen
- fitten van modelverbanden
- correct rekenen met de propagatie van fouten
- opstellen van een verslag
- samenwerken in groep
- veilig werken

Elektronica (5 ec)

6 practica:

- solderen (individueel)
- AC/DC metingen, Zenerdiode (per twee)
- Multisim, allerlei oefeningen (per twee)
- OpAmps (per twee)
- mini project (individueel)

Leerdoelen:

- meten van stroom en spanning met multimeter
- genereren en meten van signalen met Functiegenerator en Oscilloscoop
- basis elektronica in de praktijk
- doorgronden van eigenschappen van OpAmps (simulaties en lab. metingen)
- ontwerpen, berekenen, bouwen en testen van schakelingen met OpAmps

Experimentele Technieken (8 ec)

Experimenteel project waar twee studenten gedurende 15 weken aan werken, eventueel ingebed in een onderzoeksgroep.

Leerdoelen:

- verslaglegging
- verwerving en verwerking van meetdata: image analysis, signaalverwerking, ...
- zelfstandig probleemoplossend vermogen van de studenten
- zelfstandig aanpakken van een onderzoeksopdracht.
- leren omgaan met dure ingewikkelde meettoestellen
- ontwerpen van een poster
- presentatievaardigheden voor een klein publiek (per twee)

3^{de} bachelorjaar

Photonics and Quantum Technology (5 ec)

5 practica:

- Opto-elektronische halfgeleider toepassingen
- Muziekoverdracht via licht
- Michelson interferometer

- Fabry-Perot
- Laser karakterisatie

Leerdoelen:

- Inzicht verwerven in de Fotonica materie aan de hand van practica
- Veiligheid
- Verslaglegging
- Verwerking van meetdata : beeldanalyse, signaalverwerking
- Verder uitwerken van probleemoplossend vermogen van de studenten
- Leren omgaan met dure ingewikkelde meettoestellen
- Uitleggen van optische componenten

Quantum Physics in Biology (5 ec)

Quantum Physics in Biology is een vak dat voor het eerst ingericht wordt in academiejaar 2019-2020 en waar de inhoud nog in samenspraak met de professoren en assistenten afgestemd zal worden.

Project+ (3 ec)

Een projectmatig experimenteel cross-over project samen met andere opleidingen.

Leerdoelen Project+:

- Verslaglegging
- Projectmatige aanpak
- Leren samenwerken met studenten van een andere opleiding
- Zelfstandig probleemoplossend vermogen van de studenten
- Zelfstandig aanpakken van een onderzoeksopdracht.

Bachelorproject (9 ec)

Mogelijk een experimenteel project waar een student gedurende een semester aan werkt en dit in een onderzoeksgroep. Op het einde maken de studenten hier een uitgebreid verslag van en presenteren dit voor een jury met bijbehorende vragen.

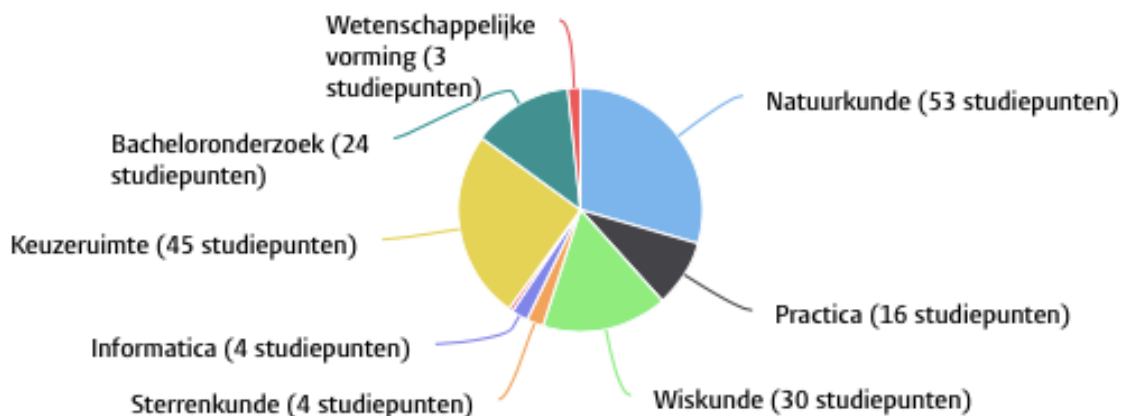
Leerdoelen:

- verslaglegging
- verwerving en verwerking van meetdata: image analysis, signaalverwerking, ...
- zelfstandig probleemoplossend vermogen van de studenten
- zelfstandig aanpakken van een onderzoeksopdracht
- leren omgaan met dure ingewikkelde toestellen (waaronder ook computers)
- presentatievaardigheden voor een klein publiek (individueel)



Practicum medewerkers:

Paul Logman, logman@physics.leidenuniv.nl



Jaar		#EC TS	#dagdelen	open/ gesloten	onderwerp	toetsing
Jaar 1	EN1	1	4	gesloten	geleiding	labjournaal
	EN2	1	4	open	biological and soft matter	labjournaal & presentatie
	EN3	1	3	gesloten	trillingen & golven	labjournaal
	EN4	1	4	open	trillingen & golven	verslag
	EN5	1	3	gesloten	optica	labjournaal
	EN6	1	4	open	optica & elektromagnetisme	verslag & presentatie
Jaar 2	PE1	1,5	4	gesloten	fourier transformatie; filters & oscillatoren	labjournaal
	PE2	1,5	4	gesloten	loading, 2D FT, noise, feedback, OpAmp	labjournaal
	PE3	2	8	open	feedback & noise	labjournaal & presentatie
Jaar 3	EP (keuze)	6	22	open	open	verslag & presentatie
	BSc-project	20	semester	open	open in vakgroep	thesis & presentatie

Jaar 1

Experimentele Natuurkunde 1-6 (6 ec)

Beschrijving

In deze cursus zet je de eerste stappen in het zelfstandig doen van onderzoek (van eerste idee voor een onderzoek tot presentatie en verslag). De nadruk ligt op het opdoen van experimentele

vaardigheden en het ontwikkelen van probleem-oplossings-strategieën. De cursus bestaat uit twee keer 3 blokken.

Bij drie zogenaamde ‘**gesloten**’ blokken (EN1, EN3 en EN5) volg je nauwgezet de handleiding. Hier leer je belangrijke basistechnieken. Door beschreven opstellingen zelf te bouwen leer je met apparatuur omgaan en veel van de mogelijke instellingen van die apparatuur. Aan de hand van gegeven meet- en analyseplannen leer je om experimenten correct uit te voeren en de data correct te analyseren (inclusief foutenanalyse). Daarnaast leer je om je experimenten vast te leggen in een zogeheten labjournaal.

In drie zogenaamde ‘**open**’ blokken (EN2, EN4 en EN6) mag je, binnen een bepaald vakgebied, je eigen experiment opzetten. Hier leer je naast de leerdoelen van de gesloten proeven nu ook om zelf meet- en analyseplannen te schrijven. Verder leer je om je labjournaal om te zetten naar een wetenschappelijke presentatie of een wetenschappelijk verslag.

Daarnaast leer je een aantal persoonlijke vaardigheden zoals plannen, samenwerken en doorzetten. De natuurkundige onderwerpen bij de blokken zijn als volgt:

EN1: Elektrische geleiding & basiskennis experimenteren

EN2: Materiaaleigenschappen (open proef)

EN3: Trillingen & golven

EN4: Trillingen & golven (open proef)

EN5: Interferentie en/of Spectroscopie

EN6: Optica (verplicht voor sterrenkundestudenten) of Elektromagnetisme (open proef)

Leerdoelen

Na afloop van deze cursus kun je zelfstandig een onderzoek van 15 uur uitvoeren van eerste idee tot presentatie en verslag, dat wil zeggen:

- Je kunt naar aanleiding van een probleem een meetplan schrijven waaruit valt te verwachten dat dat bruikbare resultaten oplevert.
- Je kunt aan de hand van een meetplan een analyseplan schrijven waaruit valt te verwachten dat dat een antwoord op de onderzoeksvraag oplevert.
- Je kunt zelfstandig betrouwbare resultaten uit de experimenten verkrijgen.
- Je kunt zelfstandig een kritische analyse van jouw experiment correct uitvoeren.
- Je kunt op een pakkende en gestructureerde manier communiceren over jouw onderzoek en dat van anderen, zowel op papier als verbaal.

Algemene vaardigheden (soft skills)

Aanvullende persoonlijke leerdoelen:

Je haalt een deadline door een realistische planning te maken en jezelf daaraan te houden.

Je kunt reflecteren op jouw eigen krachten en ontwikkelpunten en een manier bedenken om daarin te groeien.

Je kunt goed samenwerken in een willekeurig tweetal.

Je kunt een goede balans laten zien tussen zelfstandig werken en om hulp vragen.

Jaar 2

Physics Experiments 1 (1,5 ec)

Beschrijving

Het mooie van deze cursus is dat je een relatief eenvoudige methode leert om veel natuurkundige verschijnselen te kunnen beschrijven, oplossen en voorspellen.

Deze natuurkundige verschijnselen vertonen de eigenschap, dat de uitgang van het systeem lineair verandert in reactie op een kleine verandering van de ingang van het systeem (lineaire systemen).

Dit soort verschijnselen worden in het tijddomein beschreven door een set gekoppelde lineaire differentiaalvergelijkingen. Bekijken we dit soort verschijnselen met behulp van de

Fouriertransformatie in het frequentiedomein dan worden de differentiaalvergelijkingen gewone algebraïsche vergelijkingen die eenvoudig oplosbaar zijn.

Om te laten zien hoe belangrijk deze theorie is bij het doen van onderzoek worden in deze cursus naast de hoor- en werkcolleges practica gedaan, waarin de theorie in de praktijk zichtbaar gemaakt en toegepast wordt. Zowel in de werkcolleges als in de practica wordt gebruik gemaakt van Python. In de werkcolleges leer je de discrete Fouriertransformatie te implementeren en daarmee natuurkundige verschijnselen te modelleren.

In de practica wordt je Python kennis verder verdiept op het gebied van het ontwerpen van een graphical user interface (GUI) en object georiënteerd programmeren (OOP). Verder leer je hoe je in Python experimenten kunt aansturen, data kunt uitlezen en daarmee overdrachtsfuncties kunt meten met behulp van de MyDAQ.

Op deze manier leer je zowel in theorie als in praktijk een krachtige theorie kennen die je bij veel natuurkundige verschijnselen kunt toepassen.

Deze cursus behandelt de volgende onderwerpen in een fysisch relevante context:

- Fourierreeks & Fouriertransformatie
- Discrete Fouriertransformatie
- Omzetten van tijddomeinsignalen naar frequentiedomeinsignalen en omgekeerd
- Signaalanalyse van tijdafhankelijke signalen in het frequentiedomein
- Opstellen en oplossen van lineaire differentiaalvergelijkingen voor fysische verschijnselen
- Complexe impedantie van elektronische en mechanische componenten (weerstand, spoel, condensator, demping van een veer, massa, veerconstante)
- Overdrachtsfuncties & Bodeplots voor mechanische systemen (filters & harmonische oscillatoren)
- Overdrachtsfuncties & Bodeplots voor elektronische systemen (filters & harmonische oscillatoren)
- Overdrachtsfuncties voor optische systemen (enkelspleet, dubbele spleet & gratings)
- Fourierrelaties

Leerdoelen

Na afloop van deze cursus kun je

- Periodieke verschijnselen beschrijven door middel van een Fourierreeks
- De coëfficiënten van een Fourierreeks uitrekenen en toepassen in een fysisch relevante context
- Eenvoudige differentiaalvergelijkingen opstellen bij elektronische, mechanische en optische natuurkundige verschijnselen
- De Fouriertransformaties van een aantal fysisch relevante functies zelfstandig uitvoeren
- Tijdafhankelijke signalen analyseren in het frequentiedomein door een Fourier transformatie toe te passen
- Eenvoudige fysische systemen modelleren in het tijddomein door de overdrachtsfunctie in het frequentiedomein te bepalen
- De analogie in de beschrijving van elektronische, mechanische en optische systemen benoemen en uitleggen
- Numeriek Fouriertransformaties uitvoeren m.b.v. Python en interpreteren
- De overdrachtsfuncties van eenvoudige elektronische filters kunnen berekenen en beschrijven door gebruik te maken van complexe impedantie en Bodeplots
- De overdrachtsfunctie van een aangedreven gedempte harmonische oscillator beschrijven en uitrekenen
- Het gedrag van lineaire systemen numeriek modelleren en voorspellen door gebruik te maken van Fouriertransformaties en overdrachtsfuncties

- Een eenvoudige graphical user interface (GUI) opzetten in Python
- Eenvoudige data acquisitie uitvoeren door hardware aan te sturen met behulp van Python
- Zelfstandig experimenten opzetten om de overdrachtsfunctie van een systeem te bepalen
- Verschillende bronnen van ruis identificeren en benoemen door gebruik te maken van het frequentiedomein
- Diffractie van enkelspleet, dubbelspleet en gratings uitleggen met behulp van Fouriertransformaties
- Fourierrelaties tussen k en x en ω en t benoemen

Algemene vaardigheden (soft skills)

De volgende algemene vaardigheden worden getraind in deze cursus:

- Je leert na te denken in een ander domein dan het tijddomein.
- Je leert nieuwe Pythonvaardigheden die je bij alle andere cursussen opnieuw in kunt zetten.

Physics Experiments 2 (1,5 ec)

Description

This course builds on the knowledge about signal processing that you gained from Physics Experiments 1 and extends it towards more complex systems that involve positive and negative feedback and various sources of noise. The ultimate goal is to prepare you to independently set up a complex experiment. This will be tested during Physics Experiments 3.

During the course we will analyze various sources of noise and interference and show you how to handle them. Furthermore we will discuss (positive and negative) feedback, Fourier and Laplace transforms and simple control theory.

To gain both the necessary theoretical background and direct practical experience this course consists of a combination of lectures, exercise classes, and practical work. Python is used in both the exercise classes and the practical work. Because of this structure, you will not only get to know a powerful theory that is applicable to many physical phenomena, but also be able to use that theory in practice.

This course treats the following subjects in a physically relevant context:

- 2D Fourier transform and Fourier optics
- Step and impulse response
- Laplace transform
- Feedback
- Noise
- OpAmp

Course objectives

After successful completion of this course you will be able to apply the following concepts in experiments involving various physical phenomena and to set up your own complex experiment.

More precisely you will be able to:

- Predict and measure transfer functions, complex impedances, Bode plots, and response functions for electronic and mechanical systems.
- Perform simple image processing using 2D Fourier transforms.
- Apply mathematical tools to signals. Those tools include convolution, modulation, the Wiener-Khinchin theorem.
- Name the basic time-domain / frequency-domain Fourier pairs.
- Describe the relation between operations in the time domain and in the frequency domain.
- Analyze linear time-invariant systems using the Laplace transform and the various Fourier transforms.
- Describe the cause, spectrum, and consequences of various sources of noise and propose solutions to reduce noise.

- Analyze the transfer function and stability of negative and positive feedback systems.
- Analyze simple electronic circuits containing an OpAmp.

Generic skills (soft skills)

The following skills will be trained during this course:

- Thinking in a different domain from the time domain.
- Applying theoretical knowledge while performing experiments.
- Attaining new Python skills that you can use again in all other courses.

Physics Experiments 3 (2 ec)

Description

During the course Physics Experiments 3 you will learn how to independently conduct scientific research (from generating the first idea until presenting and reporting the final results) for a period of 56 hours in which you will incorporate the theory from Physics Experiments 1 and 2 into your experimental design.

The research will be conducted as a duo that you choose yourselves. You will be given a lot of freedom, for example, you can have parts of your setup made at the precision mechanical service (FMD) or electronic service (ELD). One of the goals of this course is that it will help you to know what to do in the event of setbacks and deal with them. This, in turn, will help you to make a more realistic planning for future projects such as your Bachelor Project.

At certain intervals you will present or report your intermediary results to the lecturer and your colleague teams. The course will be finalized by a presentation and a written report. The team's grade will be assessed using similar rubrics as will be used in the Bachelor Project.

You can choose any topic that you like but it is limited in that you need to measure and control your experimental setup using the MyDAQ and your setup needs to contain a feedback loop. Any noise in your setup should be explicitly dealt with.

Course objectives

After completion of the project you will be able to conduct scientific research in physics from the first conception of a research subject up to reporting and presenting the conclusions drawn from the research.

This means you will be able to

- Formulate relevant scientific questions, based on prior research results or literature study
- Write a measurement plan, which describes the measurement technique, the data analysis, the expected results, and their relation to the research question(s); - **Apply the theory from Physics Experiments 1 and 2 into your experimental design;**
- Independently obtain reliable results from the experiments;
- Critically and correctly analyze the results of the experiment;
- Produce as many results as could be expected from the original plans or more;
- Prioritize your actions, by focusing on the relevant scientific questions.

Generic skills (soft skills)

More generally you will be able to

- Professionally respond to feedback: incorporate the feedback into the research by adapting your practices;
- Collaborate as a proactive team player;
- Plan your research activities realistically and deliver expected products before the deadlines;
- Communicate the conclusions of your research in an engaging and structured way, both verbally and orally.

Jaar 3

Experimental Projects (keuzevak)

Description

During the optional course Experimental Projects you will learn how to independently plan and conduct a scientific research project, from generating the first idea until presenting and reporting the final results. The required time is $6 \text{ EC} * 28 \text{ h/EC} = 168$ hours, about 140 hours for the project itself and some time writing a report. This means that the course is not about just a small experiment but gives you the opportunity to realise a real project of an appropriate size that requires planning and management. Note, however, that we will carefully help you choosing or propose a project that has a very high success probability, if you bring the necessary motivation (and time!). A skilled teaching assistant (PhD) will help you in the project phase. Next to learning essential skills in physics, team work and project management, enrolling in this course will prepare you extra for an experimental Bachelor Project.

The research will be conducted as a team that you can construct yourselves. It will not be conducted in one of the LION research groups but you will be given a lot of freedom to, for example, have parts of your setup made at the fine-mechanical department (FMD) or electronics department (ELD). A small budget is available for purchasing small items. One of the goals of this course is to develop problem mitigation strategies, what to do if things don't work out, and how to realistically plan projects.

At certain intervals you will present or report your intermediary results to the lecturer and your colleague teams. The course will be finalized by a presentation and a written report. The team grade will be assessed using similar rubrics as will be used in the Bachelor Project.

Course objectives

After completion of the project you will be able to conduct scientific research in physics from the first conception of a research subject up to reporting and presenting the conclusions drawn from the research.

This means you will be able to

- Formulate relevant scientific questions, based on prior research results or literature study
- Write a proposal, which describes the measurement technique, the data analysis, the expected results, and their relation to the research question(s)
- Independently obtain reliable results from the experiments
- Critically and correctly analyze the results of the experiment
- Project and team management: plan and design a project realistically and write a short project proposal, realize the project, distribute and manage the work within the team, continuously assess progress, and re-evaluate decisions

Soft skills

This means that you will also learn how to

- professionally respond to feedback: incorporate feedback into the research by adapting your practices
- collaborate as a proactive team player
- plan your research activities realistically and deliver expected products before the deadlines
- communicate the conclusions of your research in an engaging and structured way, both verbally and orally
- work in a larger team of up to 10 students
- hold and contribute to effective meetings
- interact with people from electronics and machine shop

Bachelor Project

Description

In the Bachelor Research Project (BRP), you independently perform scientific research in one of the

research groups of LION during a period of 17 weeks. You will be actively involved in a on going research program where you will investigate experimentally and quantitatively a related partial question. Your contribution will involve running experiments, collecting, analyzing and interpreting data and presenting your results in a research thesis and a technical presentation and may involve co-defining the research question and determining the appropriate method. Astronomy projects with a primary focus on data analysis should address data collection, calibration and reduction. Students should demonstrate a technical understanding of the involved instrumentation.

All Astronomy projects must have a second supervisor from Physics who is ultimately responsible for approving the project (or a modified version thereof).

All Physics projects must have a second supervisor from the Astronomy department who is ultimately responsible for approving the project (or a modified version thereof).

In November-December, the available projects will be presented in a poster session named the 'Bachelor Project Fair'. This allows students to select a project and a supervisor and discuss the details in a follow-up meeting (if needed).

You will start your BRP with a number of sessions that address specific research skills, including time management and the use of scientific databases . In parallel, you will join your research group. You will start your research as part of ongoing work in the host group and participate in regular group meetings and other activities. Every two weeks there will be a BRP meeting event, where you meet with your fellow BRP students and the BRP coordinators to shortly discuss the progress of your research. This starts with a short talk on 'Introducing my project' in the first month, continues with a 'Midterm talk' halfway and is concluded with your 'BRP presentation' at the end of your BRP. On the last Friday in June you need to hand in your BRP thesis.

Course objectives

After completion of the Bachelor Research Project you will be able to contribute originally to the design and execution of research projects, analyse and interpret experimental (or other) results and report on the findings to a technically versed audience.

This means that after this project you will be able to:

- Propose a (novel) measurement or analysis procedure that can lead to relevant results
- Implement plans and carry out reproduceable measurements (or calculations)
- Interpret results in an objective way, linking your research question to a scientific conclusion
- Present your research question, research approach, research findings and conclusions, both orally and in a bachelor research thesis

Soft Skills

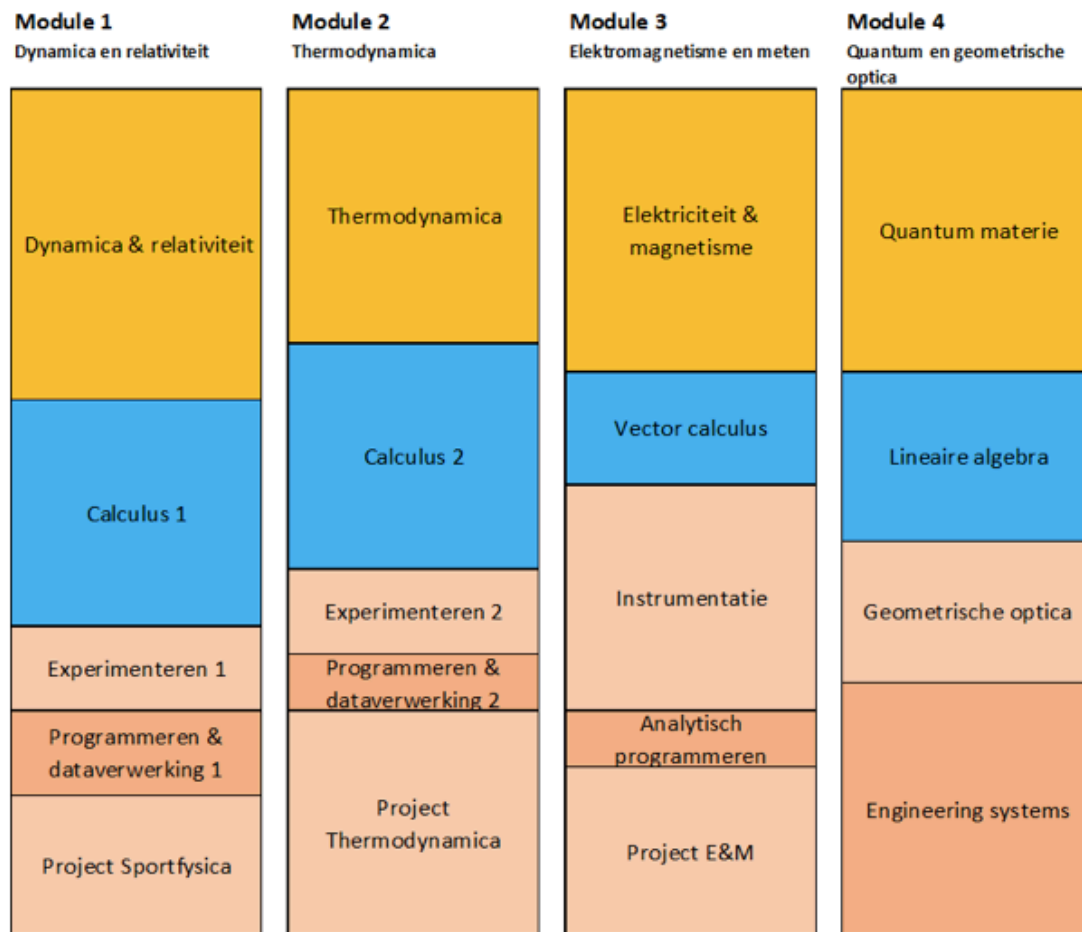
After the project, you will be able to:

- Collaborate within a research group, contributing to its scientific work
- Plan your research activities realistically and deliver expected products by agreed deadlines
- Professionally respond to feedback and adapt practices accordingly
- Hone your ability to seek original and creative solutions
- Develop further life-long learning skills

Practicum Technische Natuurkunde UNIVERSITY OF TWENTE.

Dr.	Marc	Dhalle	m.m.j.dhalle@utwente.nl	docent
ing.	Henk	Dijk van	h.vandijk@utwente.nl	technicus
Dr.	Herman	Hemmes	h.k.hemmes@utwente.nl	docent
Dr ir.	Hans	Kanger	j.s.kanger@utwente.nl	docent
Dr.	Stefan	Kooij	e.s.kooij@utwente.nl	opleidingsdirecteur TN, docent
ing.	Ben	Oude Alink	b.j.a.h.oudealink@utwente.nl	technicus
	Paul	Rupert	p.j.h.rupert@utwente.nl	technicus
Ir.	Imre	Veldhoven van	i.c.w.t.a.vanveldhoven@utwente.nl	docent
Dr.	Jeroen	Verschuur	j.w.j.verschuur@utwente.nl	hoofd practicumgroep en docent

Jaar 1 (totaal 19,5 ec praktisch werk)



Module 1, met oa. de doelen

-
- systematisch een experiment op te zetten, uit te voeren en de bevindingen vast te leggen in een journaal.
- meetresultaten te verwerken en te analyseren in relatie tot meetfouten.
-

- een complexe sportbeweging vast te leggen, te analyseren en te beschrijven middels een wiskundig model.
- schriftelijk en mondeling te rapporteren.
- te reflecteren op de eigen rol binnen een groep waarmee samengewerkt wordt aan een project van enige omvang.

.....

Experimenteren 1 (1,5 ec) vormt het startpunt voor de ontwikkeling van systematische experimentele vaardigheden. Naast veiligheid wordt veel aandacht besteed aan het opzetten van experimenten, het werken met beschikbare apparatuur en het systematisch vastleggen van waarnemingen in een labjournaal.

Tegelijkertijd wordt bij Programmeren en Dataverwerking gewerkt aan het analyseren van de meetgegevens en de meetfouten in de data. Daarbij maken we veelvuldig gebruik van computers, en wordt een inleiding in het programmeren met Matlab gegeven.

In het **onderzoeksproject Sportfysica (2,5 ec)** komen veel van de in deze module ontwikkelde kennis en vaardigheden samen. Deze worden toegepast om een complexe beweging in een (zelf te kiezen) sport te meten, analyseren en modelleren. In groepen van 5-6 studenten wordt een onderzoeksvraag uitgewerkt tot een onderzoeksplan, dat uiteindelijk gezamenlijk wordt uitgevoerd. Daarbij komen aspecten van samenwerken, zoals taakverdeling, planning, vergaderen, aan bod alsmede mondeling en schriftelijk presenteren.

Module 2

Practicum (2 ec)

- Een eenvoudig natuurwetenschappelijk probleem kunnen analyseren en vertalen naar onderzoeksvragen en een foutenanalyse kunnen opstellen
- Een natuurwetenschappelijk onderzoek systematisch kunnen opzetten en uitvoeren en vastleggen in een (voor)gestructureerd journaal.
- Experimentele vaardigheden hebben zoals het gebruik van meetapparatuur, het omgaan met apparatuur documentatie.
- De meetresultaten bij een natuurwetenschappelijk experiment kunnen verwerken en interpreteren, en daar conclusies uit kunnen trekken.
- Bij een natuurwetenschappelijk experiment een foutenanalyse en foutenverwerking kunnen maken.
- Meetresultaten kunnen verwerken m.b.v. Python.

Project (4 ec)

- Systematisch kunnen ontwerpen: probleemanalyse (eisen en wensen, weegfactoren), deelfuncties en werkwijzen, alternatieve concepten en keuze daaruit,
- Gekozen concept constructief kunnen uitwerken. Uitvoering van experimenten waarmee ontwerp en uitvoering worden geoptimaliseerd.
- Kennis verworven in Thermodynamica toe kunnen passen in de praktijk.
- Kunnen werken in een team: taakverdeling, samenwerking, planning en bijhouden van werk en afspraken in logboek
- Kunnen presenteren en rapporteren: met name schriftelijk

Module 3

Instrumentatie (4 ec)

- Ontwerpen en realiseren van elektronische schakelingen met meerdere componenten.
- Testen en analyseren van elektronische schakelingen met meerdere componenten.
- Systematisch een onderzoek opzetten en uitvoeren, in samenhang met experimentele vaardigheden zoals gebruik van apparatuur, documentatie en veiligheidsaspecten.

Project (3 ec)

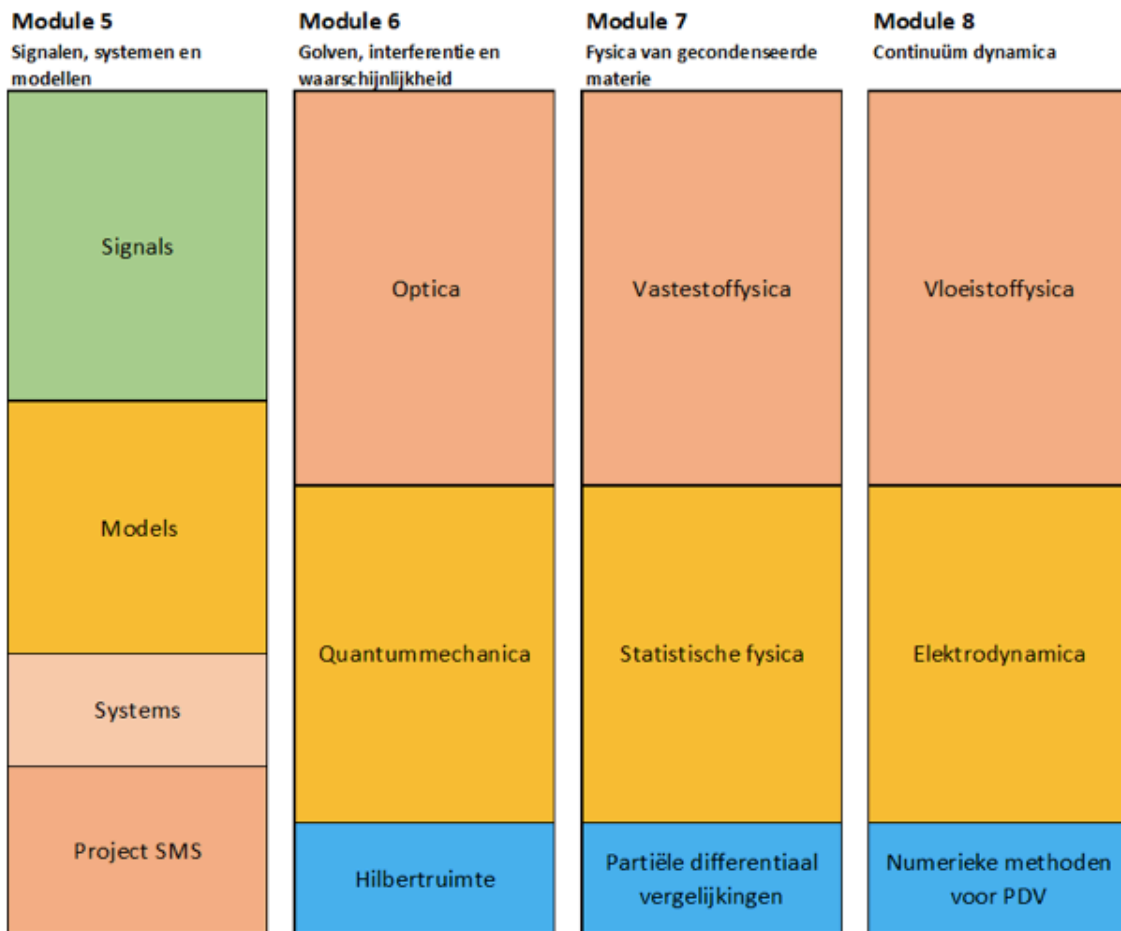
- Is in staat samen met teamgenoten van verschillende disciplinaire achtergrond een coherent projectdoel te formuleren, te plannen en uit te voeren.
- Is (in teamverband) in staat om door zelfstudie efficiënt nieuwe materie te assimileren en te vertalen naar een concrete toepassing.
- Kan nieuw opgedane kennis praktisch implementeren in een zelfgebouwd experiment dat voldoet aan de opgelegde eisen i.v.m. relevantie, materiaalkeuzes en constructie, helderheid.
- Kan de gekozen implementatie theoretisch onderbouwen met expliciete verwijzing naar de andere vakken in de module en bekomen tussenresultaten analyseren t.b.v. het bijsturen van het projectverloop.
- Is in staat de gedemonstreerde elektromagnetische verschijnselen op coherente en duidelijke wijze te identificeren, toe te lichten en in historische context te plaatsen.
- Kan de realisaties van andere projectgroepen op basis van objectieve criteria waarderen en een beargumenteerde ranking opstellen.
- Is in staat om zelfstandig te reflecteren op het eigen functioneren en dat van anderen binnen de projectgroep.

Module 4

Geometrical optics (2,5 ec)

In this course the student carries out a number of experiments on geometrical optics. To support the experiments, the theoretical basis of paraxial optics will be studied. Topics that will be covered in both theory and experiment are: refraction, imaging by lenses (including lens systems), matrix methods in paraxial optics, wavelength dispersion, and optical aberrations. The nature of the experiments are research and/or design oriented. In addition, data analysis skills will be further developed. Here the focus is on non-linear relations and data extrapolation.

Jaar 2



Module 1

Project (3 ec)

In the project students have to demonstrate the ability to model a system of their choice and use signal analysis to characterize the performance or to control this system. The report includes a video of the project.

Module 2

In de fysische **Optica** (experiment omvat ec) wordt licht beschreven als een elektromagnetische golf. Golven kunnen interfereren en de superpositie van lichtgolven kan tot een herverdeling van de licht intensiteit leiden. Veel optische verschijnselen kunnen hieruit verklaard worden. Een aantal optische verschijnselen wordt experimenteel onderzocht in een aantal kleine en grotere experimenten. Over het afsluitende experiment moet een artikel geschreven worden.

Practicum medewerkers:

Martine Duif- van Vlokhoven, m.v.vlokhoven@tue.nl

Willem Rovers, w.j.c.rovers@tue.nl

Het onderwijs

Het reguliere practicum bestaat uit 3 vakken experimentele fysica en een vak Desing based learning. Op de volgende pagina in figuur 1 staat schematisch het eerste en tweede jaar bachelor programma afgebeeld waarbij het in dit geval gaat om de gele blokken die het practicum voorstellen.

Alle practica worden ingeroosterd en studenten werken in duo's (max 2 studenten per opstelling).

Experimentele fysica 1 draait in het eerste jaar, het eerste kwartiel en heeft als focus fouten berekening en resultaat analyse.

Experimentele fysica 2 draait in het eerste jaar, het tweede kwartiel en heeft de focus op meten met speciale apparatuur en verslaglegging.

Desing based learning, nu ook challenge based learning genoemd, vindt plaats in het tweede jaar, het derde kwartiel. Dit vak draait om samenwerking en het oplossen van problemen in groepen van 6 studenten die een 'open end' opdracht moeten uitwerken.

Experimentele fysica 3 draait in het tweede jaar, het vierde kwartiel. Hier moeten de studenten 4x drie dagdelen lang een kort onderzoek doen met apparatuur zoals deze ook in de vakgroepen gebruikt worden.

Daarnaast zijn er ook practica in vakken opgenomen.

Optica: 6 experimenten.

Energie (elective): 4 experimenten

Leerdoelen experimentele fysica

Experimentele vaardigheden en technieken

- veiligheid
- verwerken van meetdata: image analysis, signaalverwerking.
- kritisch beschouwen: EF1 t/m 3 en DBL en Optica.
- fitten van modelverbanden, linearisatie
- simulatie
- detectoren voor temperatuur, druk, weerstand, spanning, stroom, lichtvermogen, lichtintensiteit, spectrale verdeling, plaats verdeling, pulsen, gammastraling, ultrasound, afmetingen, afstanden, gewicht, volume
- bronnen van stroom, spanning, licht, magneetveld, ultrageluid, gammastraling, warmte/temperatuur, druk, gas
- elektronica: multimeter, generator, DC en AC stroom/spanningsbron, modulatietechniek/Lock-In, nul methode, weerstand, condensator, diode, oscilloscoop, rekstrook, decadebank, coaxkabel
- optica: ND filters, kleurfilters, polarisatoren, lenzen, wave plates, lasers, lampen, fotodetector, powermeter, camera, OMA, beam splitter, rooster, interferometer

Foutenrekening

- college en tentamen bij EF1

Verslaglegging

- logboek bij EF1,
- schrijven verslag bij EF2, EF3, DBL

Computervaardigheden

- Mathematica: komt aan de orde bij EF1, EF2, en andere vakken.
- Matlab: komt aan de orde bij EF2, EF3, DBL, en andere vakken.
- Origin: komt aan de orde bij EF1 t/m 3, DBL, Optica en Energy.

BACHELOR PROGRAM APPLIED PHYSICS					TU/e
YEAR 1	QUARTER 1	QUARTER 2	QUARTER 3	QUARTER 4	
COURSE 1	2WCBØ Calculus	3NBBØ Applied physical sciences	2IABØ Data analytics for engineers	ØSABØ Ethics and History of Technology	
COURSE 2	3A1XØ Experimental physics 1	3A2XØ Experimental physics 2	2DBNØØ Linear algebra	3AEXØ Electromagnetism	
COURSE 3	3AKXØ Variables, dimensions, and dynamics	Elective	3AMXØ Mechanics	Elective	

basic courses
 mathematics courses
 physics courses
 experimental courses/internship
 electives/USE (User, Society, Enterprise)

major Applied physics: 95 ECTS (incl. professional skills)
 course code: see OSIRIS
 Ø is number zero / O is letter

each course covers 5 ECTS

BACHELOR PROGRAM APPLIED PHYSICS					TU/e
YEAR 2	QUARTER 1	QUARTER 2	QUARTER 3	QUARTER 4	
COURSE 1	4WBBØ Engineering design	3BOXØ Optics	3BQXØ Introduction quantum physics	3BTXØ Thermal physics	
COURSE 2	2DBN1Ø Advanced calculus	3BMXØ Elements of mathematical physics	3BYXØ DBL signals and systems	3B3XØ Experimental physics 3	
COURSE 3	Elective/USE	Elective/USE	Elective/USE	Elective/USE	

basic courses
 mathematics courses
 physics courses
 experimental courses/internship

major Applied Physics: 95 ECTS (incl. professional skills)

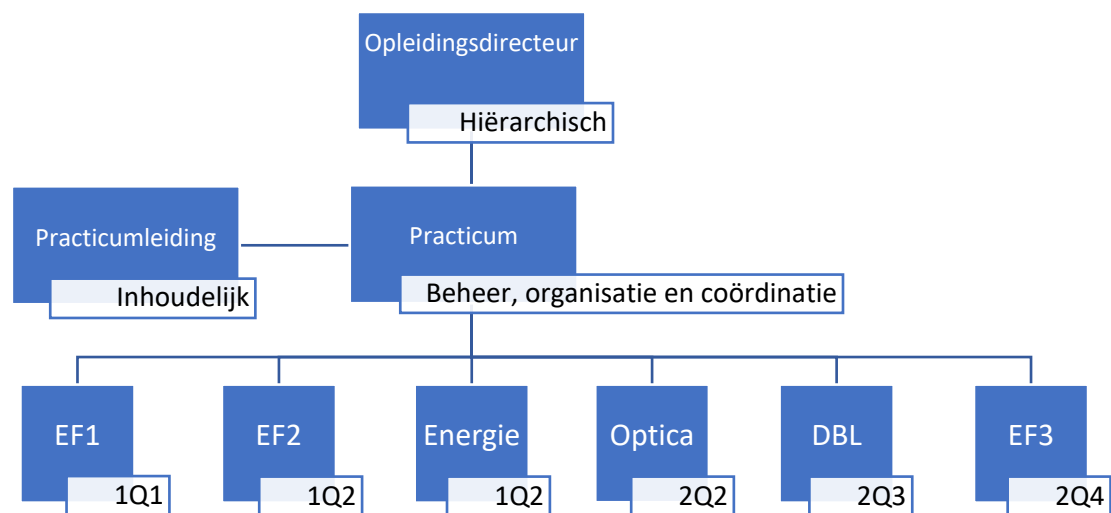
Figuur 1:
Eerste en tweede jaar bachelor programma waarin practicum verzorgd wordt.

Organisatie:

De opleidingsdirecteur is verantwoordelijk voor het onderwijs.

Voor elk vak is een docent verantwoordelijk. Daarmee zijn er meerdere docenten verantwoordelijk voor de inhoud van het practicum en worden zij samen de Practicumleiding genoemd.

In Figuur 2 is dit schematisch aangegeven. Het practicum verzorgt en beheert de apparatuur, de ruimtes en infrastructuur. Zij organiseren de roosters en verdeling van de studenten, houden aanwezigheid bij en coördineren de verslagen. Dit practicum bestaat uit 2 personen (full time). Naast het beheer en coördinatie helpen zij ook de studenten en begeleiders met de opstellingen tijdens het experimenteren. Zij worden hiërarchisch aangestuurd door de opleidingsdirecteur en inhoudelijk (functioneel) door de practicumleiding.



Figuur 2:
Organisatie van het practicum binnen het onderwijs.

De vakken

Jaar 1

Experimentele fysica 1 5 ec
Docent: P.H.A. (Peter) Mutzers
200 studenten (2019)

Praktische vaardigheden en foutenrekening
College over theorie
Instructie voor gebruik van Mathematica en Origin

De studenten worden ingedeeld in 6 groepen. Op het practicum heeft elk experiment één of meerdere practicumbegeleiders (meestal promovendi van de faculteit). De practica lopen parallel aan colleges. Elke week doen alle studenten een experiment dat past bij de materie.

Totaal worden 5 experimenten gedaan elk gedurende 1 dagdeel (4 uur). Het laatste experiment bestaat uit 2 delen. Er wordt daardoor 6x geëxperimenteerd. De experimenten moeten vooraf voorbereid worden, en dit wordt digitaal getoetst.

Over de theorie wordt een eindtoets afgenomen.

De experimenten:

- Dichtheidsmeting
- Elektrische grootheden
- Oscilloscoop
- Geiger Muller metingen
- Slinger

Experimentele fysica 2 **5 ec**

Docent: E.J.D. (Edgar) Vredenburg +

P. (Peter) Zijlstra

190 studenten (2019)

Praktische vaardigheden en verslagen schrijven

Instructie voor gebruik van Matlab.

De studenten worden ingedeeld in 6 groepen. Op het practicum heeft elk experiment één of meerdere practicumbegeleiders (meestal promovendi van de faculteit).

Er staan experimenten in de beschikbare practicumruimtes en elke keer verplaats de groep naar een andere opstelling.

Totaal worden 6 experimenten gedaan elk gedurende 1 dagdeel (4 uur). De experimenten moeten vooraf voorbereid worden, en dit wordt digitaal getoetst.

De experimenten:

- Cp/Cv, Methode van Clement en Desormes (plofproef)
- Cp/Cv, Methode van Ruchardt (dansende kogel)
- Nul meting, Brug van Wheatstone
- Modulatie, Lock-in versterker
- Radiometrie, transmissie karakteristiek
- Radiometrie, polarisatie

Experimentele fysica 3 **5 ec**

Docent: A.M. (Arthur) de Jong

160 studenten (2019)

Practica in de vorm van onderzoek en verslagen schrijven

De studenten worden ingedeeld in 3 groepen. Op het practicum heeft elk experiment één of meerdere practicumbegeleiders (meestal promovendi van de faculteit).

Tijdens het practicum worden 4 experimenten gedaan elk gedurende 3 dagdelen. Elk experiment is een stuk onderzoek zoals dat ook in vakgroepen plaatsvindt. De experimenten moeten vooraf voorbereid worden, en dit wordt digitaal getoetst.

Door de coördinator worden de studenten ingedeeld op 4 experimenten uit een keuze van 6.

De experimenten:

- Gamma ray spectroscopy

- Laser optical tweezers
- Atomic force microscopy
- Laser induced fluorescence
- Magnetic resonance imaging (MRI)
- Final element modeling

Jaar 2

DBL; Challenge based learning Signals and Systems 5 ec

Docent: R.P.J. (Rudie) Kunnen

160 studenten (2019)

Regeltechniek in de vorm van projectmatig werken aan een magnetisch levitatie systeem.

1x College over theorie

De studenten worden ingedeeld in veel groepjes van max 6 studenten. Er is voor elke groep een opstelling beschikbaar waarmee ze gedurende de periode mee kunnen experimenteren. Er is geen individuele begeleiding, er zijn 4 docenten die alle groepen in de gaten houden en de voortgang waarnemen.

Een toets zorgt dat iedere student de theorie bestudeerd. Eindproduct is een verslag.

Wat centraal staat:

- Moduleren en simuleren.
- Experimenteren
- Samenwerken
- Vergaderen
- Plannen
- Presenteren

Optica

5 ec

Docent: A.M. (Arthur) de Jong

160 studenten (2019)

Practicum als ondersteuning van de materie

College over theorie

Instructie voor opgaves.

De studenten worden ingedeeld in 5 groepen. Op het practicum heeft elk experiment één of meerdere practicumbegeleiders (meestal promovendi van de faculteit).

De practica lopen parallel aan colleges. Elke week doen alle studenten een experiment dat past bij de materie.

Totaal worden 6 experimenten gedaan elk gedurende 2 college-uren (2 uur).

Over de theorie wordt een eindtoets afgenomen.

De experimenten:

- Parallel displacement through a block
- Fresnel equations
- Concave mirror
- Microscope
- Diffraction en polarization
- Interferometer

Energie

5 ec

Docent: A. (Adriana) Creatore

240 studenten (2019)

Practicum als ondersteuning van de materie

College over theorie

Instructie voor opgaves.

De studenten worden ingedeeld in 8 groepen. Op het practicum heeft elk experiment één of meerdere practicumbegeleiders (meestal hogere studenten van de faculteit; assistenten plus 1 PhD). De practica lopen parallel aan colleges. Elke week doen alle studenten een experiment dat past bij de materie.

Totaal worden 4 experimenten gedaan elk gedurende 1 college-uur. Over de theorie wordt een eindoets afgenomen.

De experimenten:

- Heat Capacity of Gases
- Stirling Engine
- Characteristic curves of a solar cell
- The characteristic curve of a PEM Electrolyser

Samenvatting

Wij hebben in totaal best een flinke capaciteit van onze experimenten. Figuur 3 geeft in een tabel weer wat globaal de omvang is van het practicum bij/van een vak.

vak	periode	aantal experimenten	aantal studenten	aantal activiteiten	uren per activiteit	begeleiders	aantal begeleiders
EF1	J1Q1	5	200	36	4	PhD	12
EF2	J1Q2	6	190	36	4	PhD	15
EF3	J2Q4	4	160	36	4	PhD	15
DBL	J2Q3	1	160	28	4	Docenten	4
Optics	J2Q2	6	160	30	2	PhD	6
Energy	J1Q2	4	240	34	1	Assistenten	8

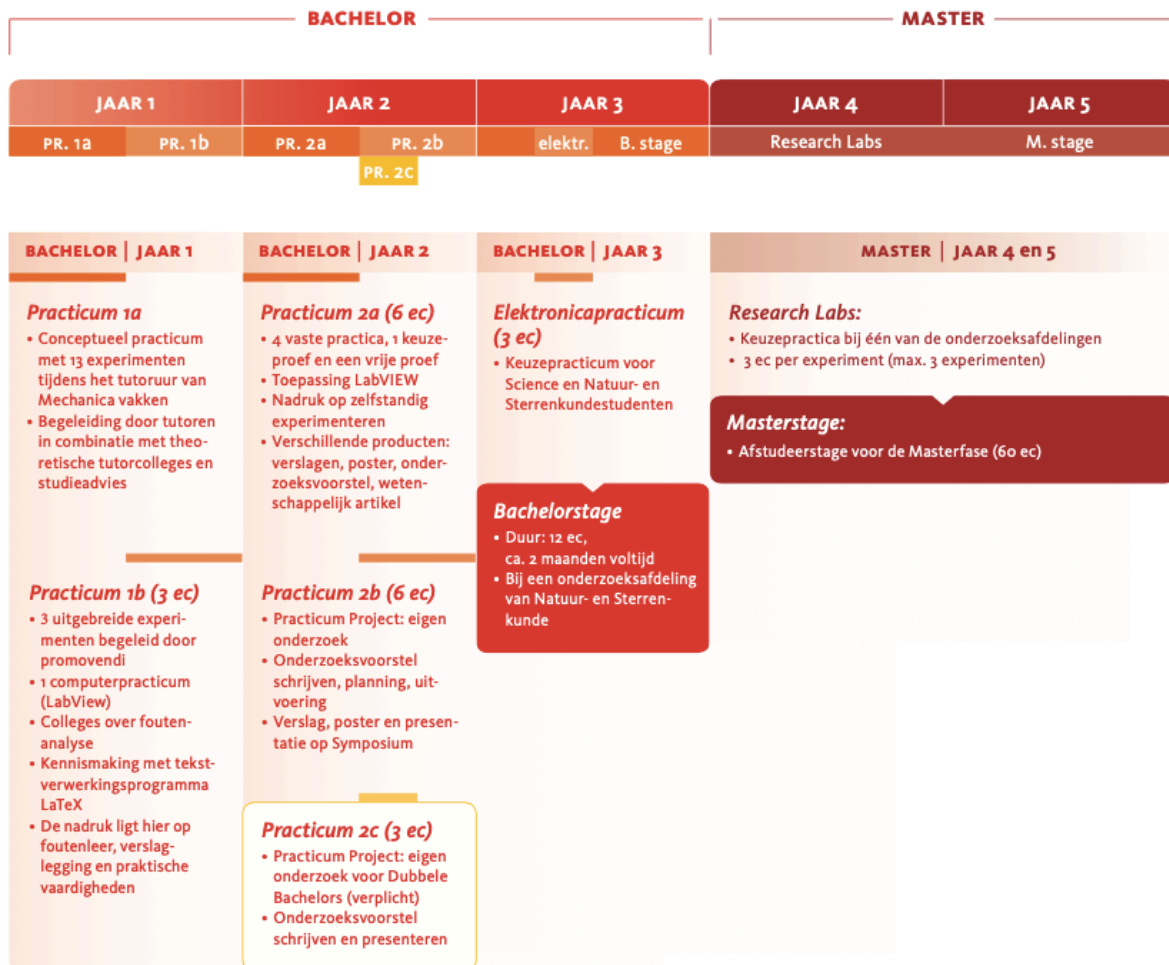
Figuur 3:
Schema van het practicum in omvang.



Practicum medewerkers:

André Eppink, a.eppink@science.ru.nl

LEERLIJN PRACTICA NATUURKUNDE



Practicum 1a

In kwartaal 1 en 2 worden er bij de vakken **Lineaire Mechanica** en **Rotaties en Periodieke Bewegingen** practica (gegeven door tutoeren) die aansluiten bij de concepten van de hoor- en werkcolleges. De tutoeren zijn natuurkundeleraars op middelbare scholen die extra uitleg geven van de stof en assisteren bij het studeren op de universiteit (studieadvies en mentoring).

Aantal studenten: 118 studenten in 2018/19, 141 studenten in 2019/20

Voor Practicum 1a zijn momenteel de volgende experimenten opgenomen:

Kwartaal 1:

- Krachtvectoren in de ruimte
- Eenparig versnelde beweging
- Lanceren kogel
- Luchtweerstand

- Bungeejumping
- Impuls stoot theorema
- (In)elastische botsingen

Kwartaal 2:

- Het krachtmoment
- Het traagheidsmoment
- Behoud van impulsmoment
- Precessie van een fietswiel
- Presentatie over eigen gekozen onderwerp
- Proef van Cavendish
- Glijdingsmodulus (torsieslinger)

Practicum 1b

In het tweede semester begint Practicum 1b met een serie voorcolleges, waarin aan bod komen:

- Foutenleer
- Verslaglegging
- LaTeX (wetenschappelijke tekstverwerker)
- Een oefenpracticum (de slinger) om bovenstaande onderdelen te oefenen

In de rest van het semester worden 3 uitgebreide experimenten en een LabVIEW practicum uitgevoerd. Begeleiding en beoordeling wordt gedaan door 4 studentassistenten.

- A3: de specifieke lading van het elektron
- E14: De soortelijke weerstand van NiChroom
- G1: Staande Geluidsgolven
- M3: Viscositeit
- Computerpracticum: LabVIEW

Aantal deelnemers: 90 studenten in 2018/19

Practicum 2a

Practicum 2a wordt gegeven in het derde semester en bestaat uit 4 verplichte proeven, een keuzeproef en een vrije proef. Doel van het practicum is het leren van experimentele vaardigheden en leren communiceren van wetenschappelijke resultaten. Deze practica worden begeleid door 6 promovendi / studentassistenten en 4 medewerkers van het practicum.

De **verplichte proeven** zijn:

- A11 Röntgenstraling (*verslag*)
- E15 RLC wisselstroomcircuits (*verslag*)
- L5 Programmeren in LabVIEW: temperatuur regelsysteem (*filmpje*)
- T4 De Lock-in versterker en Faraday rotatie (*verslag*)

Voor de **keuzeproef** maakt men een *wetenschappelijk artikel en een poster*. Men kan kiezen uit:

- KE16 Elektrische weerstand in dunne plaatjes, Supergeleiding en Hall effect in metaal
- KE17 Proef van Millikan
- KO8 Michelson interferometer
- KO9 Bepaling Rydbergconstante met een traliespectroscop
- KO10 Het Zeeman effect
- KT3 Scanning Probe Microscope (SPM)
- KA12 NMR proef met het aardmagnetisch veld

Bij de **vrije proef** verzinnen studenten een eigen experiment, waarvoor ze een *experimenteerplan* indienen ter goedkeuring. Op de uitvoerdatum van de proef wordt een (try out) experiment en/of

berekeningen en simulaties uitgevoerd. Het doel van dit experiment is om een *onderzoeksvoorstel* te schrijven (research proposal) en een *presentatie* te geven voor een klein publiek.

Aantal deelnemers: 76 studenten in 2018/19

Practicum 2b

Bij practicum 2b zetten studenten samen met een medestudent een onderzoek op dat gaat over een zelfgekozen onderwerp. Ze worden daarin op inhoudelijk vlak begeleid door 5 promovendi en op technisch vlak door 3 practicummedewerkers.

De nadruk ligt op onderzoeksvaardigheden. Het gaat hierbij o.a. om:

- het bedenken van een onderwerp voor het onderzoek
- het bedenken van een onderzoeksvraag
- het maken van een tijdsplanning
- het schrijven van een onderzoeksvoorstel (*research proposal*)
- presenteren van het onderzoeksvoorstel (*pitch*)
- het bouwen van een opstelling en het verrichten van metingen
- uitvoeren van berekeningen en /of computersimulaties
- het evalueren van het onderzoek
- het communiceren van de resultaten (*artikel, presentatie, poster*)

Het is in principe ook mogelijk een onderzoek te doen buiten het Practicum Natuurkunde, bijvoorbeeld op één van de experimentele onderzoekafdelingen, of buiten de eigen faculteit. Hierbij kan men ook een onderwerp van [ResearchLabs](#) als uitgangspunt kiezen.

Na afloop van het onderzoek communiceert men de resultaten aan eerstejaars medestudenten op het *P2b Symposium*.

Aantal deelnemers: 52 in 2018/19

Optica practica

Parallel met het college **Golven en Optica** krijgen studenten 4 optica practica in het 4^e kwartaal semester. Net als bij Practicum 1a worden deze begeleid door tutoren.

- O1: Lens en microscoop
- O2: Buiging en interferentie
- O3: Tralie en breking
- O4: Polarisatie

Aantal deelnemers: ca. 100 studenten in 2018/19

Cursus Elektronica

De cursus Elektronica is een keuzevak voor 3 ec, met wekelijks 3 uur practicum.

Aantal deelnemers: ca. 40 studenten.

1 docent en 1 assistent.

ResearchLabs

Keuzepractica voor masterstudenten. Dit zijn specialistische experimenten die zijn ondergebracht bij diverse onderzoeksafdelingen. Per experiment kunnen studenten 3 ec in de keuzeruimte inzetten.

Aantal deelnemers: ca. 5 studenten per jaar.

Practicum medewerkers:

Wim Bouman, w.g.bouwman@tudelft.nl

Laurent de Geus, l.m.t.degeus@student.tudelft.nl

Timo Gort, timogort01@gmail.com

Ron Haaksman, r.p.h.haaksman@tudelft.nl

Kees Hagen, c.w.hagen@tudelft.nl

Freek Pols, c.f.j.pols@tudelft.nl

Silvania Periera, s.f.pereira@tudelft.nl

Luka Vinck, L.j.vinck@student.tudelft.nl

Eerste jaar

Natuurkunde Practicum 6 ec

Ontwerp practicum (Design Engineering voor Fysici 1) 6 ec

Tweede jaar

Research Practicum 6 ec

Ontwerp practicum (Design Engineering voor fysici 2) 6 ec

Practicum Elektronische Instrumentatie 6 ec

Practicum Natuurkundig modelleren (Computational Science)

Derdejaar

Bachelor Eindproject 12 ec

Toelichting eerstejaars natuurkunde practicum TU Delft:

Per jaar starten we met ongeveer 250-300 studenten natuurkunde. Daarvan zijn er ongeveer 50 dubbele bachelor studenten die een aangepast programma volgen.

Het eerstejaarspracticum (6ECTS) wordt in het eerste semester gegeven. In de eerste periode van het semester doen de studenten Python (5 dagdelen), meten en onzekerheid (2 dagdelen) en twee introductie practica.

Het eerste practicum is het onderzoeken van de relatie tussen de afstotende kracht tussen magneten als functie van de afstand tussen de magneten.

Bij het tweede practicum zijn er vier mogelijkheden:

- 1 bepaling van g op 1% nauwkeurig;
- 2 bepaling van de soortelijke warmte van koper;
- 3 bepaling van de halfwaardetijd van K-40;
- 4 bepaling van eigenschappen van een waterdruppel.

Het tweede deel van het eerstejaarspracticum bestaat uit 8 (3 3 2) verschillende experimenten.

Van drie van deze proeven moeten studenten een verslag maken die getoetst wordt.

De dubbele bachelors doen deze pas later in het jaar.

We hebben grofweg drie grote groepen van 80 - 90 studenten, die vervolgens worden onderverdeeld in kleinere groepen van 10 studenten.

Per practicum doen 10 studenten tegelijk het experiment.

Er zijn op dit moment zes dagdelen per week beschikbaar voor practicum.

Wanneer studenten het practicum volgen, staat op een persoonlijk rooster. Het een en ander is kort weergegeven in de ppt.

Naast onze eigen studenten hebben we elk jaar circa 30 minor studenten die aan het begin van het jaar in versneld tempo de eerste onderdelen van het practicum uitvoeren (zonder python). Dit is een 2 ECTS vak.

De practica worden gecoördineerd door een docent.

Python wordt door twee andere docenten opgezet en begeleid.

Voor meten en onzekerheid is er ook een docent.

Elk onderdeel van het practicum wordt begeleid door studentassistenten, met een verhouding 1:10.

We hebben bijna 30 studentassistenten tot ons beschikking. Voor deze studenten is er een korte didactische training van 4 uur.

Het natuurkundig practicum in Delft wordt binnenkort volledig herzien. We willen naar meer open practica gaan, waarbij we voor een groter eigen onderzoek kleinere practica gedaan worden waar specifiek aandacht is voor de verschillende onderzoekskennis en vaardigheden.

Practica in Amsterdam

Practicum medewerkers:

Gerrit Kuik, g.j.kuik@vu.nl

Tabitha Dreef, T.Dreef@uva.nl

Rob van Duuren, R.F.vanDuuren@uva.nl

David Fokkema, d.b.r.a.fokkema@vu.nl

Tom Hijmans, t.w.hijmans@uva.nl

Jan Mulder, j.m.mulder@vu.nl

Michiel Rollier, m.j.h.rollier@uva.nl

Rasjied Sloot, M.r.sloot@uva.nl

Jonas Veenstra, j.c.veenstra@vu.nl

Eerstejaars programma (10 ec practicum)

Semester 1	Sem. 1	Sem. 2	EC
> Speciale relativiteitstheorie/klassieke mechanica 1	■ □ □	□ □ □	6
> Wiskunde 1A	■ □ □	□ □ □	3
> Inleiding programmeren voor Natuur- en sterrenkunde (periode 1 of 2)	■ ■ □	□ □ □	3
> Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1A (periode 1 of 2)	■ ■ □	□ □ □	3
> Sterrenkunde 1	□ ■ ■	□ □ □	6
> Wiskunde 1B	□ ■ □	□ □ □	3
> Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1B	□ □ ■	■ □ □	3
> Trillingen, golven en optica	□ □ ■	■ □ □	6 *)
> Wiskunde 1C	□ □ ■	□ □ □	3
> Academische vaardigheden en tutoraat Natuur- en Sterrenkunde	■ ■ ■	■ ■ □	2
Semester 2			
> Wiskunde 1D	□ □ □	■ □ □	6
> Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1B	□ □ ■	■ □ □	3
> Trillingen, golven en optica	□ □ ■	■ □ □	6
> Elektriciteit en magnetisme	□ □ □	□ ■ □	6
> Quantumfysica 1	□ □ □	□ ■ □	6
> Academische vaardigheden en tutoraat Natuur- en Sterrenkunde	■ ■ ■	■ ■ □	2
> Project natuurkunde/sterrenkunde 1	□ □ □	□ □ ■	4

*) w.o. Practicum Sterrenkunde

1

Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1A (3 ec)

Leerdoelen

Na afloop van dit vak kan de student:

- Een eenvoudig experiment opzetten en uitvoeren.
- Een aantal basistechnieken en data-analyse toepassen.
- De resultaten van een experiment interpreteren en analyseren.
- De resultaten van een experiment schriftelijk presenteren.

Inhoud

Het Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1A is een inleiding tot experimenteren. Door het uitvoeren van een aantal experimenten worden basisvaardigheden en -technieken geoefend. Deze vaardigheden en technieken zijn nodig om experimenteel onderzoek te kunnen uitvoeren.

Onderwerpen die aan bod komen zijn: kennismaken met meetmethodes en -apparatuur, mobiliseren van de nodige natuurkunde kennis om een verschijnsel te kunnen beschrijven, definiëren van een vraagstelling, opstellen van een werkplan, ontwerpen van een experiment, uitvoeren van een experiment, bijhouden van een logboek, dataverwerking en foutenanalyse, kritische beoordeling van de resultaten, mondelinge en schriftelijke verslaglegging.

Het practicum start cursorisch met een verkenning van algemene meetmethodes, -apparatuur, dataverwerking en foutenberekening. Daarna volgen drie uitgebreidere experimenten waarin de student steeds zelfstandiger aan de slag moet kunnen gaan. De schriftelijke verslaglegging wordt gedurende het practicum opgebouwd van het bijhouden van een logboek tot het schrijven van een verslag.

Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1B (3 ec)

Leerdoelen

De student

- moet een eenvoudig experiment kunnen opzetten en uitvoeren;
- dient de componenten in een eenvoudige opstelling te kunnen dimensioneren;
- moet bij de verwerking van meetresultaten foutenschattingen kunnen toepassen;
- moet de resultaten van het experimentele werk zowel schriftelijk als mondeling kunnen presenteren.

Inhoud

Het Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1B (NSP1B) is een inleiding tot experimenteren, het vervolg op het Natuurkunde en sterrenkunde practicum 1A.

Door het uitvoeren van een aantal experimenten in het practicum worden basisvaardigheden en – technieken geoefend. Deze vaardigheden en technieken zijn nodig om experimenteel onderzoek te kunnen uitvoeren. Onderwerpen die aan bod komen zijn:

- kennismaken met meetmethodes en meetapparatuur
- mobiliseren van de nodige natuurkundekennis om een verschijnsel te kunnen beschrijven
- definiëren van een vraagstelling
- opstellen van een werkplan
- ontwerpen van een experiment
- uitvoeren van een experiment
- bijhouden van een logboek
- dataverwerking en foutenanalyse
- kritische beoordeling van de resultaten
- mondelinge en schriftelijke verslaglegging

Project Natuurkunde/Sterrenkunde (4 ec)

Leerdoelen

- Het ontwikkelen van experimentele vaardigheden in de natuurkunde en sterrenkunde.
- Een experiment uitvoeren in projectvorm (samenwerking tussen meerdere personen en/of groepen)
- Het opzetten van en rapporteren over eenvoudige experimenten.

Inhoud

In samenspraak met de coördinator maakt de student keuze uit een aanbod van een aantal onderwerpen. Er wordt een plan opgesteld om experimenteel het onderwerp te benaderen en metingen te verrichten. Aan dit vak zijn tutoraatonderdelen gekoppeld (o.a. schrijfpdrachten en presentaties). In beperkte mate en alleen in overleg, kan een student zelf een onderwerp inbrengen.

Tweedejaars programma (6 ec practicum)

Semester 1	Sem. 1	Sem. 2	EC
Periode 1 en 2:			
> Klassieke mechanica/quantummechanica 2	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	6
> Oriëntatie natuur- en sterrenkunde	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	3
> Wiskunde N2	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	6
- Keuzevak (6 EC)			
Periode 2:			
> Thermische fysica	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	6
Periode 3:			
> Quantummechanica/structuur der materie	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	6
> Natuurkunde en sterrenkunde practicum 2	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	3

Semester 2				
Periode 4:				
› Quantummechanica/structuur der materie	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	6
- Keuzevak (6 EC)				
Periode 5:				
› Programmeren voor Natuur- en sterrenkunde	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	3
› Statistische fysica	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	6
Periode 4 en 5:				
› Oriëntatie natuur- en sterrenkunde	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	3
› Speciale relativiteitstheorie/elektrodynamica	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	6
Periode 6:				
› Reflectie op natuurkunde	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	3
› Research practicum	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	3

Natuurkunde en sterrenkunde practicum 2 (3 ec)

Leerdoelen

De student

- moet een (complex) experiment kunnen opzetten en uitvoeren, gebruikmakend van literatuur;
- dient de componenten in een opstelling te kunnen dimensioneren;
- moet bij de verwerking van meetresultaten statistische data-analyse kunnen toepassen;
- moet de resultaten van het experimentele werk schriftelijk kunnen presenteren.

Inhoud

Het natuurkunde en sterrenkunde practicum 2 is het vervolg van 1A en 1B, waarin de basisvaardigheden zijn geleerd voor het uitvoeren van experimenteel onderzoek. In deze practicumserie worden uitgebreidere complexere experimenten uitgevoerd. Onderdeel van het practicum is een cursus data-analyse en statistiek, waar begrippen als kansverdelingen, lineaire regressie en kleinste kwadratenmethode worden behandeld en toegepast.

Research practicum (3 ec)

Leerdoelen

De student

- moet in beperkte tijd voldoende informatie kunnen opnemen om een meting aan een researchopstelling te kunnen verrichten
- moet ervaring opdoen met een professionele manier van experimenteren in een research laboratorium
- moet verkregen meetgegevens kunnen vastleggen, bijvoorbeeld in een overzichtelijk labjournaal
- moet achtergrond, doelstelling, methodes, resultaten, interpretatie van resultaten, en conclusies van een experiment in een researchomgeving overzichtelijk en gestructureerd

kunnen vastleggen (inclusief grafieken en/of tabellen en literatuurverwijzingen), in een verslag en in een compacte mondelinge presentatie met gebruik van hulpmiddelen zoals powerpoint.

Inhoud

Het Research practicum heeft tot doel om studenten bekend te maken met en te laten oefenen met de manier van werken in onderzoekslaboratoria. Zodra de beschikbaarheid van de experimenten bekend is, kan op inschrijving een keuze gemaakt worden uit experimenten in het Van der Waals-Zeeman Instituut, Nikhef, AMOLF, ASTRON, SRON, LaserLaB (VU), of het Laboratorium voor Medische Fysica (AMC). Een experiment, inclusief verwerking, omvat een tijdsduur van een week, daarna is een week beschikbaar voor afronding van verslag danwel presentatie.

Onderdeel van het researchpracticum een verplicht werkcollege over verslaglegging.

Het researchpracticum (Rpra) wordt afgerond met zowel een verslag als een mondelinge presentatie.

Derdejaars programma

Keuzevak: Astronomical Observation Lab, 6 ec

Andere vakken verzorgd door het Natuurkunde Practicum

In het derde jaar is er een practicum **Electronica en Signaalverwerking**, een 6 ec keuzevak voor studenten die de experimentele richting op gaan.

Een keuzevak dat we de afgelopen Jaren hebben gegeven is: **Modelleren, programmeren en simuleren**.

Leerdoelen

- Het beheersen van de basisprincipes van modelleren, programmeren, simuleren, en experiment-automatisering.
- Het kunnen toepassen daarvan in een aantal natuurkundige case studies.

Inhoud

Het vak bestaat uit drie modulen: 1. modelleren (docent prof.dr. J. Hulshof), 2. programmeren en simuleren m.b.v. Mathematica en Matlab (docent dr. I.H.M. van Stokkum) en 3. Experiment-automatisering m.b.v. LabVIEW (docent drs. J.M. Mulder).

Onderwerpen die aan de orde komen zijn:

- Kwalitatieve analyse van niet-lineaire differentiaalvergelijkingen (M1)
- Het gebruik van niet-lineaire differentiaalvergelijkingen voor het modelleren en simuleren van cellulaire processen (M1)
- Structuur van belangrijke omgevingen (Problem Solving Environments) (M2)
- Datatypen, nauwkeurigheid en datastructuren (M2)
- Algoritmen en fysische toepassingen (M2)
- Klassieke architecturen (M2)
- Simulatie van een ideaal gas (M2)
- Elementaire onderdelen van een geautomatiseerd meetsysteem (M3)
- Het formuleren van specificaties voor een eenvoudig geautomatiseerd meetsysteem en het ontwikkelen van een programma uitgaande van deze specificaties (M3)

Data-analyse en Statistiek (3 ec) wordt vanaf dit jaar gegeven als apart vak in periode 3 van jaar 1 en is helemaal toegespitst op practicum experimenten. Studenten oefenen daar met echte data-sets uit het practicum.

Overzicht van practica voor niet-natuurkunde studenten:

- Physics lab 1 for MNW (3 ec, period 1, 79 students, location: VU)
- Introduction to MNW (3 ec, period 1, 79 students, location: VU)¹
- Physics lab for Science Business Innovation (3 ec, period 4, 82 students, location: VU)
- Physics lab and informatics for MNW (6 ec, period 4, 65 students, location: VU)²
- Electronics and signal processing for MNS (6 ec, period 4, 8 students, location: VU)
- Project system modelling (6 ec, period 6, 7 students, location: VU)³
- Physics Lab for AUC2 (6 ec, period 6, 12 students, location: SP)

¹ with Dr. Theo Faes (medical physics)

² Mathematica-part handled by Dr. Ivo van Stokkum

³ with Dr. Theo Faes and Dr. Ivo van Stokkum

Practica Universiteit Utrecht



Universiteit Utrecht

Practicumstaf

Peter van Capel, p.j.s.vancapel@uu.nl

Nadine van der Heijden, nadinejacoba@gmail.com

Rudi Borkus, r.borkus@uu.nl

Thierry Heude, t.d.heude@uu.nl

Pascal Koopman, p.koopman@uu.nl

Docent-onderzoekers betrokken vanuit onderzoeksgroepen bij specifieke cursussen

Inspanning 60-140 uur, afhankelijk van cursus

- Marijn van Huis (DATA)
m.a.vanhuis@uu.nl
- Rupert Holzinger (Golven en Optica)
r.holzinger@uu.nl
- Elena Popa (Golven en Optica)
m.e.popa@uu.nl
- Ingmar Swart (Statistische Fysica)
i.swart@uu.nl

Practica Rijksuniversiteit Groningen



university of
 groningen

Practicum medewerkers:

Robert Klein Douwel, r.j.h.klein-douwel@rug.nl

Aleksandra Biegun, a.k.biegun@rug.nl

Physics practicals at University of Groningen (2020)

Course	Year	Period	Lecturer/Coordinator	# students	students/ group	assistants /group	Content
Physics practicals courses (5 ECTS)							
Physics Laboratory 1	1	Ia	Robert Klein-Douwel (le+co)	224	14	1	lectures, tutorials, exam about error analysis; 3 simple (2h each) + 4 elaborate (6h each) practicals
Physics Laboratory 2	1	Iib	Aleksandra Biegun (le+co)	136	4	1	physics project practical: lecture; free choice of topic (incl. library instruction)
Physics Laboratory 3	2	Iib	Robert Klein-Douwel (le+co)	93	2	1	lecture; 2 out of approx 15 large experiments; report and scientific article
Physics Laboratory 4	3	Ib	Robert Klein-Douwel (le+co)	45	2	1	lecture; 3 more out of approx 15 large experiments; reports and presentation (partly optional course)
Physics practicals for physics courses							
<i>Mechanics and Relativity</i>	1	Ib	Robert Klein-Douwel (co)	216	24	2	3 practicals (3h each) (until 2017)
Electricity and Magnetism	1	Iia	Jelle Blijleven (co)	270	24	2	2 practicals (3h each)
Waves and Optics	2	Ib	Aleksandra Biegun (co)	188	24	2	3 practicals (3h each)
Electronics and Signal Processing	2	Iia	Jelle Blijleven (le+co)	133	24	2	lectures; 3 computer practicals (4h each, 3 electronics practicals (4h each)
Physics practicals for non-physics courses							
<i>Physical systems for Industr. Eng. Management</i>	1	Iia	Robert Klein-Douwel (co)	180	24	2	2 practicals (3h each) (until 2019)
Biological Physics	1	Iib	Robert Klein-Douwel (co)	59	24	2	3 practicals (3h each)
<i>Physics Lab for Biomedical Engineers</i>	1	Iia	Robert Klein-Douwel? (co)	72	24	2	3 simple (2h) and 1 optics (4h) practicals (from 2020)
<i>Optics and Cell biology for Life Sciences and Techn.</i>	1	Ia	Robert Klein-Douwel? (co)	72	24	2	2 optics practicals (from 2020)

le = lecturer (responsible for entire course)

co = coordinates practicals only

Physics practicals at University of Groningen (2020)

Explanation: practicals per course

Physics Laboratory 1: Simple: horizontal throw, uniformly accelerated motion, $1/r^2$ law for light intensity. Elaborate (fundamental physics constants): speed of light, e/m ratio of electron, Planck's constant, Boltzmann's constant

Physics Laboratory 2: Project practical: students define their own research project (research question, hypothesis, theory, experiment, analysis); includes 2 initial presentations about planned project, 5 weeks of experimenting (inside/outside lab), report, final oral presentation, poster presentation at student symposium. Special equipment provided/purchased/borrowed.

Physics Laboratory 3 and 4: Pool of approximately 15 large experiments: Quantum Entanglement Demonstrator ; Annihilation radiation (^{22}Na , ^{60}Co); Compton scattering (^{137}Cs , ^{241}Am); Cosmic muons; Hall effect ; Tunnel diode; Zeeman effect; Faraday effect; Fourier optics; Fresnel diffraction; Interferometer (Michelson and Fabry-Perot); Laser Doppler anemometrie (in liquid); Vacuum system (various measurements); Scanning Probe Microscopy. New experiments under development (new themes, capacity increase)

Mechanics and Relativity (until 2017): Oscillations, Gyroscope (previously also Rotations)

Electricity and Magnetism: Capacitor, Magnetic Fields (until 2016 also Resonances; 2017 and 2018 also Smartphone magnetometer)

Waves and Optics: Reflection and polarisation, Interference (simple Michelson), Diffraction

Electronics and Signal Processing: Opamp circuits, Analog system control, Digital electronics (update in progress)

Physical Systems for Industrial Engineering Management (until 2019): Mechanical oscillations, Electrical oscillations

Biological Physics: Viscosity, Mechanical oscillations, Electrical RC circuit

Physics Lab for Biomedical Engineers (from 2020): 3 simple experiments (cf. Physics Laboratory 1), Optical microscope (in development)

Optics and Cell biology for Life Sciences and Technology (from 2020): Optical microscope, Fluorescence measurements (in development)

Contact information

Robert Klein-Douwel r.j.h.klein-douwel@rug.nl

Aleksandra Biegun a.k.biegun@rug.nl

Jelle Blijleven j.s.blijleven@rug.nl

www.rug.nl

1 De leerlijn Experimentele Fysica en de rol van het practicum in de opleiding Natuur- en Sterrenkunde

1.1 Inleiding

Natuurkunde is een empirische wetenschap (empirie = op basis van waarneming), waarbij het begrip van de wereld om ons heen ontstaat uit de wisselwerking tussen theorievorming en proefondervindelijke, experimentele waarneming. Om je te ontwikkelen tot een volwaardig natuurkundige is het opdoen van experimentele onderzoekservaring daarom essentieel.

Binnen de bacheloropleiding Natuur- en Sterrenkunde zijn de kennis en vaardigheden die vereist zijn voor het doen van experimenteel onderzoek geordend in de leerlijn Experimentele Fysica (Figuur 1). In deze leerlijn zijn de vakken DATA (NS-109B), Golven en Optica (NS-108B) en Statistische Fysica (NS-204B) verplicht, de Experimentele Onderzoeksstage (NS-267B) is een keuzevak. Voor het bacheloronderzoek bestaat de mogelijkheid om je onderzoek in een experimentele onderzoeksgroep te doen. De totale leerlijn beslaat daarmee maximaal 31 ects, ongeveer 1/6 van het totale bachelorprogramma.

In deze handleiding vind je een algemene beschrijving van vaardigheden, eisen, veiligheidsrichtlijnen etc. die in alle onderdelen van de leerlijn relevant zijn. De specifieke invulling van de cursusonderdelen (roostering, toetsing, beoordeling) kun je vinden in materiaal dat bij deze cursussen via Blackboard beschikbaar wordt gesteld.

1.2 Doelen van de leerlijn Experimentele Fysica

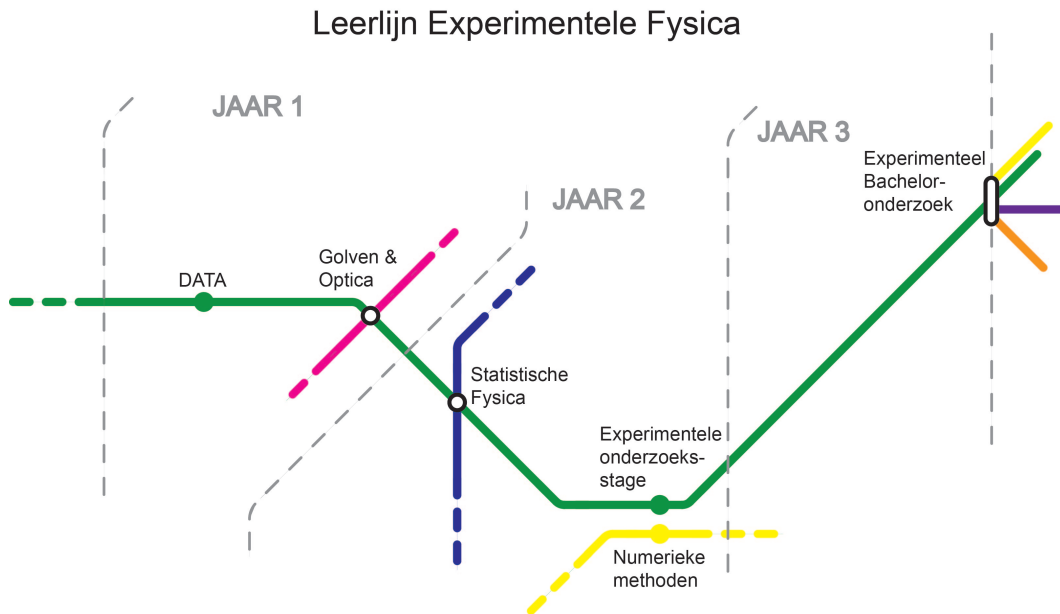
De hoofddoelen van deze leerlijn zijn:

- Het ontwikkelen van technische vaardigheden als: omgang met elektronische meetapparatuur, kennis van bronnen van onzekerheid (zowel instrumenteel als fundamenteel), kennis van meet- en acquisitiemethodes.
- Het ontwikkelen van praktische onderzoeksvaardigheden als: bijhouden van het labjournaal, opstellen van een werkplan, uitvoeren van metingen, kwantitatieve verwerking, resultatenrapportage (schriftelijk en mondeling).
- Het aanleren van een goede onderzoeksmentaliteit: verantwoord handelen, kritische beoordeling van meetresultaten, en niet alleen de geproduceerde resultaten maar ook de gekozen methodiek evalueren.
- Kennismaken met modern experimenteel onderzoek (en de bijbehorende technieken, gebieden, methoden en overlegvormen), zoals dat in onderzoekslaboratoria wordt beoefend.
- Een uitdagende omgeving bieden waarin (binnen grenzen) zelfstandig experimenteel onderzoek kan worden geformuleerd en uitgevoerd.

1.3 Leerdoelen per cursus

De practicumvakken zijn enerzijds methodologisch van aard: je leert de gangbare methodes aan voor efficiënt en doelgericht onderzoek. Veel van de praktische onderzoeksvaardigheden zijn daarom ook waardevol voor niet-experimenteel onderzoek. Anderzijds leer je ook de functies en beperkingen van meetinstrumenten en meettechnieken, die relevant zijn voor de opleiding tot experimenteel onderzoeker. Leren is bij het practicum vooral *doen*; alleen door zelf experimenten te doen ervaar je wat werkt / belangrijk is en wat niet.

Omdat je natuurlijk wel een onderwerp moet hebben om te onderzoeken, zijn de vakken zo ingericht dat ze koppelen aan (theoretische) onderwerpen. Bij de (optionele) Experimentele Onderzoeksstage doe je onderzoek bij twee experimentele onderzoeksgroepen naar keuze.



Figuur 1: De leerlijn Experimentele Fysica.

1.3.1 DATA - 7.5 ec - Jaar 1, Blok 2

Het studie-onderdeel “Data-acquisitie & Toegepaste analyse (DATA)”, is samengesteld uit de onderdelen DATA-Practicum (P), DATA-Pythongebruik (Py) en DATA-Verwerking (V). In dit vak leer je elementaire experimentele vaardigheden, programmeervaardigheden en oefen je het verwerven en verwerken van meetdata op een statistisch verantwoorde manier.

DATA-P - 40% (3 ec) Het verwerven van kwantitatieve meetgegevens (meten) in een experimenteel natuurkundig onderzoek is een vaardigheid op zich. Het onderdeel DATA-Practicum leert je de beginselen van het doen van fysisch experimenteel onderzoek. Het valt uiteen in drie onderwerpen: elektronische meetinstrumenten, golfverschijnselen en mechanica. De leerdoelen:

1. technische vaardigheden: de student
 - i) leert de functies van een multimeter en oscilloscoop en kan deze meetinstrumenten gebruiken.
 - ii) is in staat om eenvoudige elektrische schakelingen te bouwen en de werking ervan te begrijpen.
 - iii) begrijpt analoog-digitaalconversie, bemonstering en aliasing.
 - iv) kan het spectrum van een signaal op een oscilloscoop weergeven en interpreteren.
 - v) leert hoe typische golfverschijnselen zoals resonantie, reflectie, uitdoving en filtering kunnen worden gebruikt in experimenten.
 - vi) is in staat de rol van ruis en de beperkte meetnauwkeurigheid van instrumenten in te schatten.
2. onderzoeksvaardigheden: de student
 - i) leert gebruik te maken van een labjournaal.
 - ii) kan een werkplan voor een elementair natuurkundig experiment opstellen en op een verantwoorde manier uitvoeren.

- iii) is in staat om de betrouwbaarheid van zijn resultaten te beoordelen, toevallige en systematische onzekerheden te identificeren, en de bij DATA-V en DATA-Py geleerde verwerkingstechnieken toe te passen op zelf gemeten data om de onzekerheid in een eindantwoord te bepalen.
- iv) kan zijn resultaten op een overzichtelijke manier presenteren in tabellen en grafieken en er het antwoord op zijn onderzoeksvragen aan ontleen.

Zie voor een toelichting op het gebruik van het labjournaal en het werkplan respectievelijk Secties 2.1 en 3.2. Werkplan en resultatenrapportage worden opgesteld in het digitale labjournaal.

DATA-Py - 35% (2.625 ec) In het natuurkundig onderzoek worden veel (specialistische) numerieke softwarepakketten gebruikt, zoals Matlab, Fortran, C, IDL, en Python. In de eerste fase van het practicum is gekozen voor Python. Dit is een veelzijdige, gratis en open source programmeertaal.

In DATA-Py ligt de nadruk op het aanleren van programmeervaardigheden om (wiskundige) vraagstukken op te lossen en gegevens in grafieken weer te geven. Daarbij is het belangrijk dat je aanleert om gestructureerd te werken, zodat je je kennis goed kunt inzetten bij de data-analyse in DATA-P en DATA-V. De leerdoelen van dit onderdeel: de student

3. leert omgaan met basisconcepten van Python (datatypes, variabelen, arrays, syntax, functies, *loop*-structuren).
4. leert werken met Python-pakketten *numpy* (array-bewerkingen), *matplotlib* (visualisatie) en *scipy* (wiskundige bewerkingen).
5. leert bestanden te importeren, exporteren en bewerken.
6. leert zelf scripts te schrijven voor basale implementatie van wiskundige bewerkingen (integratie, oplossen differentiaalvergelijkingen) en geavanceerde modules voor deze bewerkingen te gebruiken.
7. leert gaandeweg foutloze, gestructureerde en goed commentarierende scripts te schrijven en deze scripts te gebruiken om bewerking van grotere hoeveelheden data te automatiseren.

DATA-V - 25% (1.875 ec) In dit cursusonderdeel is in het bijzonder aandacht voor (de gevolgen van) meetonzekerheden en de kritische beoordeling van resultaten die door middel van meting of berekening zijn verkregen. De leerdoelen: de student

8. onderkent het belang en de consequenties van het toekennen van onzekerheden aan data.
9. kan kwantitatieve gegevens op een statistisch verantwoorde manier verwerken en interpreteren. Belangrijke technieken hierbij zijn elementaire statistiek, propagatie van onzekerheid, het gebruik van kansverdelingsfuncties, en het maken van aanpassingen. Implementatie van deze technieken vindt plaats in Python.
10. kan aangeven wat de beginselen, aannames en beperkingen zijn van de hiervoor genoemde technieken.

1.3.2 Practicum Golven en Optica - 3 ec - Jaar 1, Blok 4

Het Practicum Golven en Optica is gekoppeld aan een theorievak met hetzelfde onderwerp. Bij dit vak kunnen met behulp van de experimenteervaardigheid en dataverwerking uit het vak DATA de theoretisch behandelde golfverschijnselen experimenteel worden bestudeerd. De onderzoeksoopdrachten worden groter, waardoor de structurering van het onderzoek belangrijker wordt. De leerdoelen van deze cursus:

1. de student is in staat om theoretische kennis uit het theoriedeel Golven & Optica te integreren in zijn experimenteel onderzoek, en deze te gebruiken in de analyse en interpretatie van zijn resultaten. Voorbeelden van bestudeerde golfverschijnselen zijn polarisatie, diffractie, interferentie en verstrooiing.
2. technische vaardigheden: de student:
 - i) kent de eigenschappen en toepassingen van een aantal bronnen van licht en geluid. Denk bij licht aan lasers, gloeidraden of spectraallampen, en bij geluid aan speakers of piëzo-elementen.
 - ii) kent van een aantal methoden voor detectie van licht en geluid de fysische werking, de nauwkeurigheid en de toepassing. Denk bij licht aan fotodetectoren, vermogensmeters, spectrometers, en bij geluid aan microfoons en piëzo-elementen.
 - iii) is in staat een eenvoudige optische of akoestische opstelling met een beperkt aantal elementen op te bouwen en uit te lijnen.
3. onderzoeksvaardigheden: de student
 - i) kan een werkplan opstellen voor een onderzoek dat enkele dagen beslaat.
 - ii) kan resultaten verzamelen en deze zelfstandig kwantitatief verwerken, alsmede kritisch evalueren.
 - iii) weet resultaten overzichtelijk (grafisch) te presenteren en in een mondelinge toelichting aan de assistent overtuigend te bediscussiëren.

Informatie over de organisatie van een onderzoeksopdracht vind je in Sectie 3. De eisen aan werkplan en resultatenrapportage zijn benoemd in Secties 3.2 en 3.4. Beide worden opgenomen in het labjournaal.

1.3.3 Practicum Statistische Fysica - 3 ec - Jaar 2, Blok 1

Het Practicum Statistische Fysica is gekoppeld aan een theorievak met hetzelfde onderwerp. De student opereert zelfstandiger dan bij Golven en Optica. Het programma bestaat uit een simulatieopdracht waarbij een artikel wordt geschreven, en een experiment waarbij een verslag geschreven wordt dat door middel van *peer review* door medestudenten wordt becommentarieerd. De leerdoelen van deze cursus:

1. de student is in staat om theoretische kennis uit het theorieonderdeel Statistische Fysica te integreren in experimenteel onderzoek, en deze kennis te gebruiken in de analyse en interpretatie van zijn / haar resultaten. Voorbeelden van behandelde onderwerpen zijn de relaties tussen thermodynamische grootheden (zoals druk, temperatuur en warmte), ideale gassen, faseovergangen.
2. technische vaardigheden: de student
 - i) kent van een aantal methoden om thermodynamische grootheden (als temperatuur, druk en warmte) te meten de fysische werking, de nauwkeurigheid en de toepassing.
3. onderzoeksvaardigheden: de student
 - i) is in staat om de experimentele vaardigheden uit voorgaande onderdelen van de leerlijn zelfstandig in de praktijk te brengen.
 - ii) kan een verslag en een artikel schrijven dat aan de gebruikelijke eisen aan vorm, inhoud en lay-out voldoet.
 - iii) is in staat om een verslag van medestudenten middels *peer review* op waarde te schatten en van gefundeerd commentaar te voorzien.

De eisen aan vorm, inhoud en lay-out van een verslag zijn in Sectie 4.2 benoemd. Het verslag wordt in een apart document geschreven. In de bèta-wetenschappen is het tekstmaakprogramma L^AT_EX een beproefd en veel gebruikt hulpmiddel voor het vormgeven van rapportages, (afstudeer)verslagen, proefschriften en publicaties. In deze cursus wordt materiaal aangeboden om met dit programma om te leren gaan. Een korte instructie over *peer review* is te vinden in Sectie 4.4.

1.3.4 Experimentele onderzoeksstage - 7.5 ec - Jaar 2, Blok 4

Dit vak bestaat uit een experimentele onderzoeksstage in experimentele onderzoeksgroepen binnen het departement. Een belangrijk doel van deze stage is dat de student inzicht krijgt in de verschillende technieken en methoden die in onderzoekslaboratoria worden gebruikt, en dat de studenten gevoel krijgen voor wat ‘echt’ experimenteel onderzoek inhoudt. Doordat de student in aanraking komt met verschillende experimentele onderzoeksomgevingen, vormt de cursus de ideale voorbereiding op een experimenteel bacheloronderzoek.

De leerdoelen: de student

1. maakt kennis met experimenteel onderzoek zoals dat in onderzoekslaboratoria wordt uitgevoerd, en met de daarbij gebruikte technieken, methoden en discussievormen.
2. gebruikt experimenteel-technische vaardigheden waar in het verplichte practicum beperkt ruimte voor is, zoals instrumentaansturing, simulatie en modelvorming, bouw van een opstelling.
3. is in staat om in projectvorm een onderzoeksvraag te formuleren, een werkplan op te stellen om deze vraag in een experimenteel onderzoek te beantwoorden, en dit onderzoek uit te voeren.
4. neemt hiertoe kennis van aangeleverde wetenschappelijke literatuur en interpreteert de inhoud.
5. kan zijn onderzoek schriftelijk (verslag) en mondeling (presentatie) rapporteren.

Bij dit verslag wordt gerapporteerd in verslagvorm en middels een presentatie. De eisen aan een presentatie, en een aantal tips om deze goed te geven, zijn te vinden in Sectie 4.6.

1.3.5 Experimenteel bacheloronderzoek - 15 ec - Jaar 3

In je bacheloronderzoek draai je mee in het onderzoek dat in een onderzoeksgroep van je keuze wordt gedaan. Afhankelijk van je eigen voorkeuren en de eisen van het lopende onderzoek wordt een onderzoeks-onderwerp gekozen, waar je vervolgens mee aan de slag gaat. Je bent grotendeels zelf verantwoordelijk voor de tijdsplanning. Het bacheloronderzoek wordt afgesloten met een verslag en een eindpresentatie.

De groepen en instituten waar experimenteel onderzoek wordt gedaan:

- **Soft Condensed Matter and Biophysics** (binnen het **Debye Institute for Nanomaterials Science**)
- **Nanophotonics** (binnen het **Debye Institute for Nanomaterials Science**)
- **Condensed Matter and Interfaces** (binnen het **Debye Institute for Nanomaterials Science**)
- **Institute for Marine and Atmospheric research Utrecht**
- **Institute for Subatomic Physics**

1.4 Rubrics

In veel van de vakken in de leerlijn wordt gebruik gemaakt van zogenaamde *rubrics* bij de beoordeling. Een rubric is niets meer dan een matrix waarin op de rij het onderdeel staat waarop getoetst wordt (bijvoorbeeld experimentele vaardigheid, kwaliteit van de inleiding van een verslag), en op de kolom het vereiste niveau voor een onvoldoende, matig, . . . , uitstekend.

Voor de algemene onderzoeksvaardigheden die in deze studenteninstructie zijn beschreven, vind je in de volgende hoofdstukken tips en eisen. De rubrics vertalen deze eisen in compacte vorm in een beheersingsniveau en koppelen er een cijfer aan. Zo helpen ze de student om de leerdoelen te vertalen in concrete prestaties, en de assistent om te beoordelen op de in de leerdoelen benoemde onderdelen op een eerlijke en transparante manier. Adviezen:

- Lees eerst de instructies om te leren hoe je iets zou moeten doen.
- Lees vervolgens de rubric om de specifieke eisen te weten te komen.
- Overleg van tevoren met de assistent wat er precies van je verwacht wordt, en/of kijk in de handleiding bij het experiment.
- Doe je werk naar beste kunnen.
- Kijk bijvoorbeeld een schrijfpdracht nadat je het werk hebt afgerond nogmaals na met de rubric in de hand om te controleren dat je aan de gestelde eisen hebt voldaan.