

*Plenaire lezing vrijdagmiddag 16 december van 14.20 - 15.10 uur*

### **Meten in de quantummechanica**

D.G.B.J. Dieks

Universiteit Utrecht

Hoe lastig en ingewikkeld metingen in de klassieke natuurkunde ook kunnen zijn, in principe weet je precies waar je mee bezig bent: je stelt een eigenschap van een fysisch systeem vast – een eigenschap die er ook al was voordat je mat. Een ideale meting geeft precies weer wat vlak voor de meting het geval was en verstoort het object waaraan je meet niet. Zo'n ideale meting is natuurlijk niet werkelijk haalbaar, want om te meten moet er een interactie zijn tussen het meetapparaat en het gemeten object. Daardoor is er altijd wat meetstoring in de klassieke natuurkunde. Meestal, maar niet altijd, kun je voor die meetstoring corrigeren.

In de quantummechanica is het veel minder duidelijk wat in een meting gebeurt. Vaak wordt gezegd dat het kenmerkend is voor quantummechanische metingen dat ze onvermijdelijke verstoringen teweeg brengen, waarvoor niet kan worden gecorrigeerd. Er zijn inderdaad veel voorbeelden waarvoor dit opgaat. Maar er blijken ook gevallen te zijn waarin de quantummechanica het juist toelaat iets uit te vinden *zonder* enige verstoring: de quantummechanica lijkt het mogelijk te maken informatie te verkrijgen over een object zonder fysieke interactie met dat object. Dit opent de weg voor spectaculaire detectiemethoden die vanuit klassiek perspectief ondenkbaar zijn.

*Parallellezingen vrijdagmiddag 16 december van 16.00 - 16.50 uur*

### **Onder de huid van schilderijen**

J. Dik

Technische Universiteit Delft

Vlak onder het zichtbare oppervlak van een schilderij, letterlijk enkele micrometers, ligt soms een schat aan informatie over de kunstenaar. Te denken valt aan de onderschildering, de eerste opzet van het schilderij, maar ook veranderingen van de compositie tijdens het schilderproces. In sommige gevallen gaat onder het oppervlak zelfs een tweede, geheel andere compositie schuil. Veel schilders hadden immers de gewoonte om doeken of panelen te hergebruiken. Een kijkje onder het verfoppervlak van een schilderij biedt daarom een blik over de schouder van de kunstenaar. Dit is niet alleen van belang voor het begrip en de presentatie van ons erfgoed, maar vooral ook voor het behoud ervan. In nauwe samenwerking met het museale veld ontwikkelt de TU Delft nieuwe, beeldvormende diagnostiek om de opbouw en samenstelling van schilderijen beter in kaart te brengen. In deze lezing zullen verschillende technieken aan bod komen, variërend van infrarood onderzoek tot röntgenfluorescentiespectrometrie. Deze technieken zijn gebruikt in het onderzoek naar schilderijen van Rembrandt en Vincent van Gogh, hetgeen nieuwe, soms onverwachte inzichten opleverde.

### **De wondere wereld van audiovisuele integratie**

A.J. van Opstal

Radboud Universiteit Nijmegen

In deze lezing ga ik in op hoe het auditieve en visuele systeem samenwerken om te komen tot een optimale integratie van sensorische informatie over doelen in de omgeving, en hoe het brein een snelle oriënteringsrespons met de ogen programmeert om een doel te lokaliseren en te identificeren.

Ik zal laten zien dat beide systemen hun imperfecties compenseren door van elkaar gebruik te maken op een dynamische manier, die goed kan worden voorspeld door een statistisch model (Bayesiaanse inferentie). Daarnaast wordt ook de oriënteringsrespons zélf op een zeer nauwkeurige en snelle manier uitgevoerd. Ik toon aan hoe onze neurofysiologische experimenten tot een model hebben geleid dat verklaart hoe een populatie van actieve zenuwcellen in de middenhersenen dergelijke optimaal snelle en precieze oogbewegingen kan genereren.

**We gaan echt virtueel**

P.J. Werkhoven

Universiteit Utrecht / TNO

Al in de jaren negentig onderzocht ik hoe je mensen met een VR-bril en VR-handschoen virtuele werelden kan laten zien en manipuleren, en paste dat onder andere toe op het ergonomisch valideren van scheepsbruggen en commandocentrales. Met voortgaand onderzoek richt ik me op hoe je met tactiele pakken kunt voelen in VR, hoe we met onze verschillende zintuigen tot één percept komen, hoe je met hersensignalen kunt navigeren in VR, en hoe je mensen in VR-games gecontroleerd tot stress kunt brengen – met toepassingen die variëren van training en therapie tot telerobotica.

Ik voorzie dat computers uiteindelijk direct op onze hersenen zullen worden aangesloten (waardoor displays overbodig worden), en dat de echte en virtuele wereld zich vergaand zullen vermengen tot augmented reality, exosomatische geheugens en uiteindelijk the internet of brains.

Peter Werkhoven heeft een achtergrond in de fysica, psychologie en computer science, is hoogleraar Multimodale Interactie in Virtuele Omgevingen aan de Universiteit Utrecht en tevens algemeen directeur Technical Sciences bij TNO.

**LOFAR: Waarnemen met de grootste telescoop ter wereld**

A. Renting

ASTRON

LOFAR is een grote internationale radiotelescoop waarvan het centrale deel in Drenthe en Groningen staat. Deze telescoop is gebouwd en wordt beheerd door ASTRON. In de lezing wordt kort aandacht besteed aan het verleden van ASTRON en de (radio)astronomie. Daarna wordt in meer detail de wetenschap en techniek van LOFAR beschreven.

LOFAR is een grensverleggende telescoop met meer dan honderdduizend antennes verdeeld over acht landen. Deze is in 2010 door Koningin Beatrix geopend. Vanwege de nieuwe technieken die gebruikt worden, kunnen er met LOFAR vele soorten wetenschap bedreven worden. Een aantal van deze technieken en de basistheorie erachter wordt in de lezing verder uitgelicht, gevolgd door een beschrijving van onderzoek naar onder andere de atmosfeer, planeten, de zon, het zonnestelsel, het Melkwegstelsel, het universum en het ontstaan daarvan. Tot slot wordt kort stil gestaan bij een aantal toekomstige projecten en telescopen die vanaf 2017 in gebruik genomen zullen gaan worden.

**Geïntegreerde schakelingen voor het nauwkeurig meten van temperatuur en capaciteit: ontwikkeling, kalibratie en toepassingen**

A. Nackaerts

NXP Semiconductors, Heverlee (B)

In de lezing volgen we het ontwerp en kalibratie van geïntegreerde schakelingen voor het meten van temperatuur en capaciteit met een resolutie van respectievelijk 20 mK en 30 aF. In het eerste deel van de lezing wordt duidelijk dat kleine afwijkingen op een geïntegreerde schakeling tot onaanvaardbare meetfouten kunnen leiden, waardoor kalibratie noodzakelijk wordt. Het nauwkeurig kalibreren van sensoren vraagt een goed begrip van de verschillende omgevingsfactoren. In het tweede deel van de lezing worden enkele medische toepassingen getoond die mogelijk worden door de lage kosten en hoge nauwkeurigheid van deze sensoren.

*Plenaire lezing zaterdagmorgen 17 december van 09.00 - 09.50 uur*

### **Hoe vinden trekvogels de weg? Over waarneming van het aardmagnetisch veld**

F.R. Bradbury

Amsterdam University College

Trekvogels vliegen elk jaar duizenden kilometers tussen gebieden met een warm en gebieden met een koel klimaat. Ze hebben hersenen die kleiner zijn dan een knikker, maar weten waar ze heen moeten. Dit is omdat ze het magnetisch veld van de aarde in de noord-zuidrichting kunnen waarnemen. Dat is opmerkelijk, want het aardmagnetisch veld is heel zwak. Deze lezing presenteert een Bachelorscriptie van Kasper Nicholas van het Amsterdam University College, die uitzocht hoe vogels het licht-geïnduceerde radicaalpaarmechanisme inzetten voor het vinden van de weg.

Natuurkundigen zijn erin geslaagd om de waarnemingsgrenzen, die van toepassing zijn op een warm en nat biomoleculair lijfje van een vogel, te benaderen. Dankzij Zeeman weten we dat de interactie-energie tussen het aardmagnetisch veld en de spin van een elektron maar zo'n 5 nano-elektronvolt bedraagt. Dit minuscule energieververschil controleert de biochemische processen die de vogel in staat stellen om het veld te detecteren. Deze 5 neV Zeeman-splitsing moet worden afgezet tegen een thermische energie van zo'n 25 milli-elektronvolt binnen het vogellijfje. Dus de detectie van de Zeeman interactie-energie van een elektronspin vereist een meetgevoeligheid vergelijkbaar met die van een vogel die over een bos vliegt en een plaatselijke hoogteverandering van 5 micrometer kan onderscheiden van de hoogte van de omringende bomen.

Er zijn twee manieren waarop vogels met behulp van het zeer zwakke aardmagnetisch veld navigeren. De eerste is via een verzameling kleine magnetietkristallen ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) in hun snabels, waarbij het effect van de veldinteractie wordt versterkt door een quantumeffect over meerdere deeltjes, vergelijkbaar met ferro- en ferri-magnetisme in naaldkompassen. Maar deze manier van veldwaarneming is niet nauwkeurig genoeg; de onderzochte vogels gebruiken haar alleen voor een zogeheten "vaste directionele respons" en niet als kompas. De andere bij trekvogels bekende (en superieure) methode werkt via het licht-geïnduceerde radicaalpaarmechanisme dat we kennen uit de quantumchemie.

*Parallellezingen zaterdagmorgen 17 december van 11.45 - 12.35 uur*

### **Hoe meet je dat nou... deeltjes in deeltjesversnellers**

S.C.M. Bentvelsen

Nikhef / Universiteit van Amsterdam

Bij de deeltjesversneller LHC worden in de botsing tussen protonen nieuwe deeltjes geproduceerd. Het meest bekende voorbeeld is het Higgs-deeltje, dat in 2012 is ontdekt. In de lezing zal ik aangeven hoe deeltjes worden gedetecteerd en ontdekt aan hand van het voorbeeld van het Higgs-deeltje dat uiteenvalt in vier muonen in de ATLAS-detector. Dit proces bestaat uit twee stappen. Ten eerste gaat het om het Higgs-deeltje met een bepaalde massa, dat vrijwel onmiddellijk uiteen valt. De detectieapparatuur meet de muon-'dochterdeeltjes' waarmee met de wetten van de speciale relativiteitstheorie de massa van het Higgs-deeltje kan worden achterhaald. Ten tweede gaat het om de techniek van de meting van geladen muondeeltjes zelf. Hiervoor zijn de 'tracking detectoren' en de 'muon spectrometer' van ATLAS gebouwd.

### **Het Bell spel: Spookachtige invloeden versus lokaal realisme**

T.H. Taminiau

Technische Universiteit Delft

Kwantumverstrengeling is een van de meest tegen-intuïtieve fenomenen in de natuurkunde. Twee verstrengelde deeltjes moeten als één ondeelbaar systeem beschreven worden, zelfs als ze ver van elkaar verwijderd zijn. Een waarneming van een van de twee deeltjes lijkt dan een onmiddellijke invloed te hebben op het andere deeltje. In de lezing bespreek ik ons experiment met verstrengelde elektronen in twee diamanten over een afstand van 1,3 km (Hensen, B. et al. (2015), *Nature* 526, 682). Dit experiment zet de "spookachtige" niet-lokaliteit van kwantummechanica direct tegenover het lokaal realisme – het wereldbeeld dat "de wereld bestaat uit goed gedefinieerde onderdelen die alleen veranderen via lokale interacties" (Wiseman, H. (2015), *Nature* 526, 649).

### Remote Sensing van de atmosfeer

M.C. Krol

Universiteit Wageningen

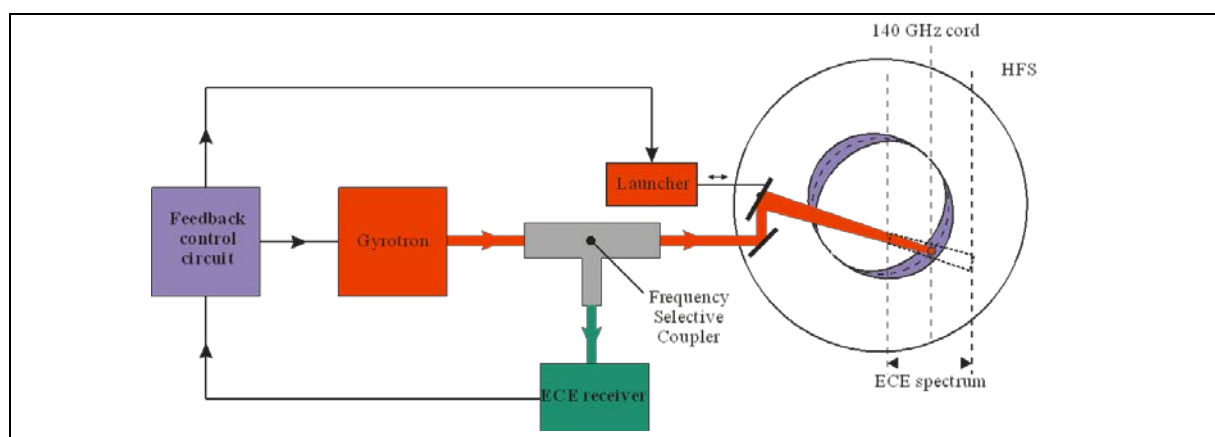
Remote Sensing wordt gedefinieerd als het meten aan een object zonder er fysisch mee in contact te komen. Bij het bestuderen van de atmosfeer wordt veelvuldig gebruik gemaakt van remote-sensingtechnieken. Denk maar aan de wolkenplaatjes die we elke dag bij het weerbericht voorbij zien komen. Satellietinstrumenten die rond de aarde cirkelen, kunnen op veel manieren informatie over onze atmosfeer verzamelen. In het geval van wolken wordt dan het teruggekaatste zonlicht waargenomen, of de infraroodstraling die de aarde zelf uitzendt. Infraroodstraling kan daarbij onderscheid maken tussen lage (warme) wolken en hoge (koude) wolken. Maar satellietinstrumenten kunnen nog veel meer. Zo wordt in 2017 een satelliet gelanceerd (TROPOMI) die de vervuiling in de wereld heel nauwkeurig in kaart gaat brengen. De lezing gaat in op de technieken die hierbij gebruikt worden, geïllustreerd met een aantal voorbeelden waarbij satellietdata gebruikt worden in wetenschappelijke toepassingen.

### 'Line of Sight' techniek voor het observeren en controleren van magnetische instabiliteiten in een kernfusiereactor

P. Nuij

NTS-Group, Eindhoven

Kernfusie is een veelbelovende techniek om energie op te wekken. Een deel van het actuele onderzoek richt zich op methodes om het plasma waarin de fusiereacties plaats vinden op te sluiten. In de magnetische opsluiting die gebruikt wordt in het Tokamak reactortype ontstaan instabiliteiten die leiden tot ongewenst warmtetransport van het plasma naar de reactorwand. Deze instabiliteiten kunnen beheerst worden door op het juiste moment en op de juiste positie in het roterende plasma energie in te brengen met behulp van elektromagnetische straling. Het systeem dat hiervoor is ontworpen door Differ in samenwerking met de TU/e bestaat uit een 140 GHz gyrotron, een mechanisch richtsysteem, een frequentieselectieve koppeling en een radiometer. Samen met een regelaar vormen deze delen een regelsysteem (zie de figuur hieronder). Het bijzondere aan dit systeem is de sensing-techniek. In een gecombineerde optische pad wordt het 1 nW sensorsignaal van de electrocyclotron-emissie uit het plasma effectief gescheiden van het 800 KW actuatorsignaal uit het gyrotron.



Systeem voor de depositie van microgolfstraling om magnetische instabiliteiten in een fusieplasma te corrigeren.

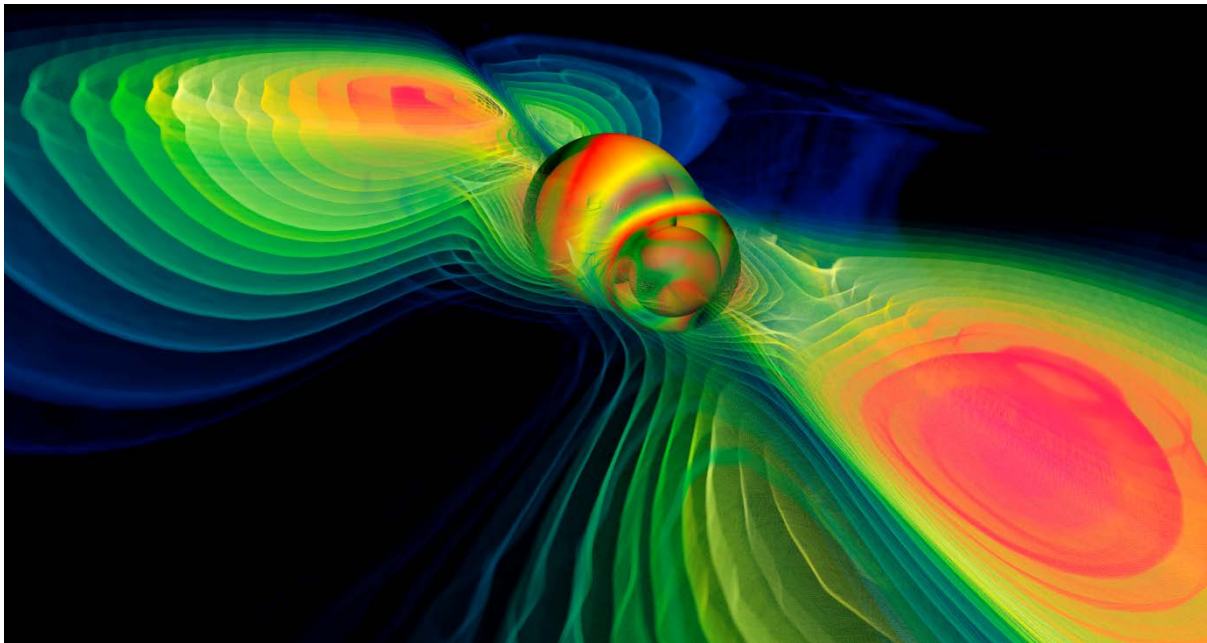
De lezing gaat in op het systeemontwerp zoals het in 2009 succesvol werd geïmplementeerd in de TEXTOR reactor van het Forschungszentrum Jülich. Daarnaast worden de regeltechnische uitdagingen besproken, en de interactie tussen de betrokken vakgebieden: natuurkunde, werktuigbouwkunde, elektrotechniek en regeltechniek.

**Het detecteren van zwaartekrachtsgolven van botsende zwarte gaten**

J. van den Brand

Nikhef / Vrije Universiteit Amsterdam

Wanneer compacte objecten in het heelal (zoals zwarte gaten) samensmelten, voorspelt de algemene relativiteitstheorie van Einstein dat deze rimpelingen veroorzaken in ruimte en tijd. De LIGO Virgo Collaboration (LVC) doet onderzoek naar deze zwaartekrachtsgolven en de eerste detectie vond plaats op 14 september 2015. De instrumenten van LVC zijn Michelson interferometers met in de armen 3 en 4 km lange optische resonatoren. Hiermee is het mogelijk om relatieve lengteveranderingen waar te nemen lager dan  $10^{-22}$ . Mijn onderzoeksgroep bij Nikhef heeft een bijdrage geleverd aan het analyseren van data, en heeft technieken ontwikkeld die het mogelijk maken om model-onafhankelijke tests uit te voeren op het gebied van algemene relativiteit door signalen te gebruiken van degelijke botsende compacte objecten (zowel zwarte gaten als neutronensterren). In de lezing bespreek ik de wetenschappelijke implicaties van zwaartekrachtsgolf fysica, evenals de diverse hightech instrumentatiesystemen die ontwikkeld werden om dergelijke metingen mogelijk te maken.



Numerieke relativiteitssimulatie van het samensmelten van twee zwarte gaten.

*Afsluiting zaterdagmiddag 17 december van 15.10 - 15.40 uur*

**Het weer zien**

Gerrit Hiemstra

NOS Journaal

Het weer is natuurkunde in de praktijk. Alleen zie je er zo weinig van: temperatuur kun je niet zien, luchtdruk is onzichtbaar, waterdamp zie je niet, straling zie je ook niet (behalve het deel van het spectrum waarvoor onze ogen gevoelig zijn). Om met wijlen Johan Cruijff te spreken: “Je gaat het pas zien als je het doorhebt.” Na mijn studie heeft het me jaren gekost om de theorie in de praktijk aan het werk te “zien”. En dat weer zal ik in mijn presentatie laten zien.