

IMPACT

60 JAAR AMOLF



IMPACT

60 JAAR AMOLF



IMPACT

Dit boek is opgedragen aan de onderzoekers en ondersteunende staf van AMOLF in de periode 1949-2010.



De teksten in deze publicatie zijn geschreven door de onderzoekers die de afgelopen zestig jaar vorm hebben gegeven aan het onderzoek van AMOLF. Zij hebben AMOLF gemaakt tot een internationaal toonaangevend onderzoeksinstituut. Zij zijn gevraagd de highlight(s) van hun onderzoek te beschrijven en dit boek is daar de neerslag van. Ik wil hen hierbij allen van harte danken voor hun bijdrage.

Dit boek is geen uitputtend overzicht van ál het onderzoek dat sinds 1949 op AMOLF is uitgevoerd. Het geeft wèl het belangrijkste weer dat AMOLF al zestig jaar karakteriseert: een continue stroom van nieuwe ideeën, steeds weer leidend tot nieuwe richtingen in het onderzoeksprogramma, met als allerbelangrijkste criterium: passie voor de wetenschap.

Albert Polman • Directeur FOM-instituut AMOLF

IMPACT

60 jaar FOM-instituut AMOLF

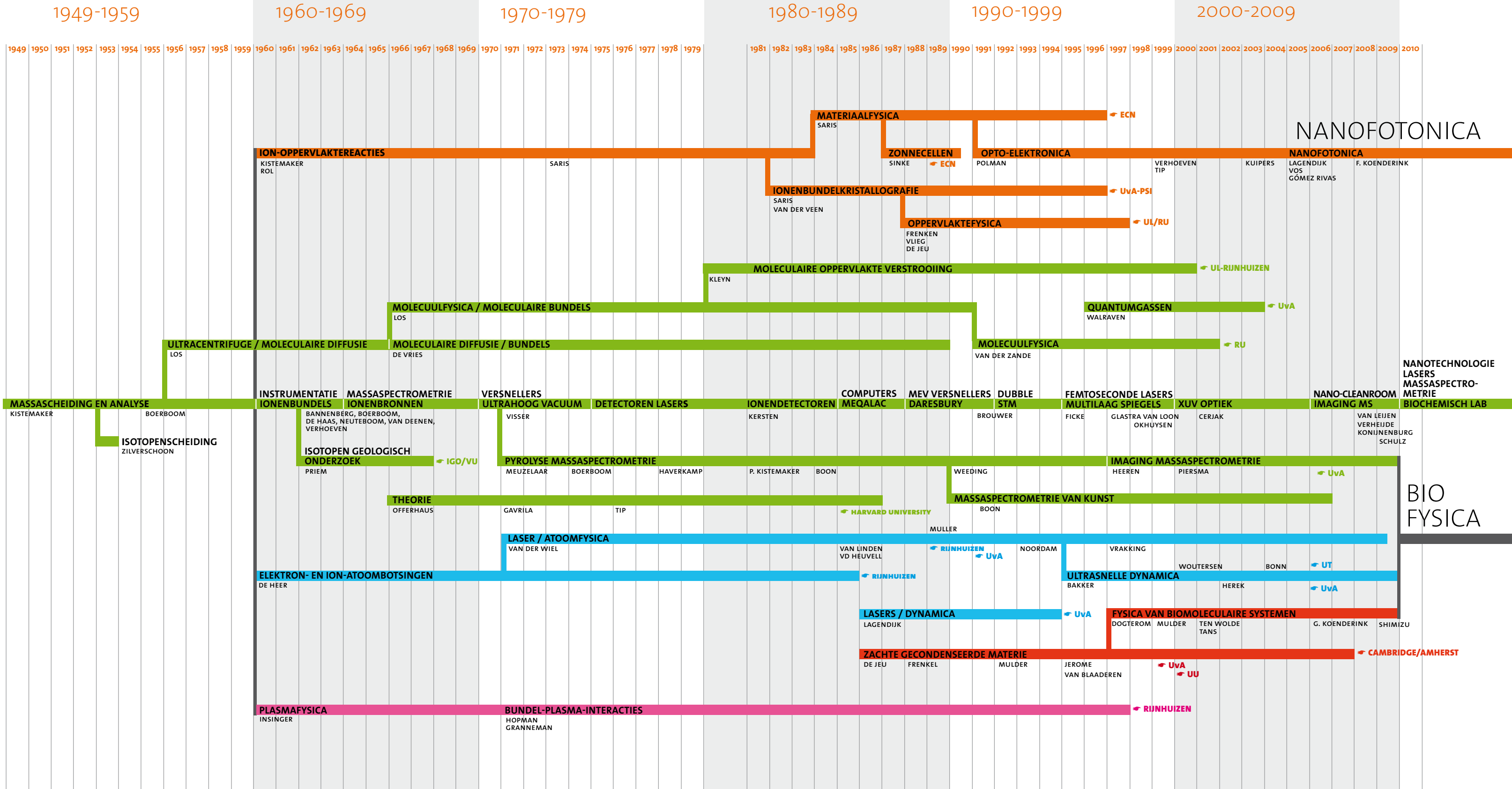


AMOLF: nationaal onderzoeksinstituut van de stichting FOM, onder de koepel van NWO. Al 60 jaar een baken in het landschap van de Nederlandse natuurkunde. Exponent van dynamisch fysisch onderzoek, met een waaier van onderzoeklijnen die snel evolueert en altijd vernieuwend is. Rusteloos, briljant, voortdurend in beweging. Maar constant zijn de spirit, de ideeënrijkheid, de ambitie, de compromisloze inzet voor het onderzoek. En het trotse besef één van de toponderzoekslaboratoria van de wereld te zijn. De FOM-instituten zijn absoluut essentieel voor FOM en dienen van internationale topkwaliteit te zijn. Dat geldt voor de staf, het palet van onderzoeks- onderwerpen, de outillage, de locatie, en uiteraard voor het gebouw. AMOLF is klaar om de toekomst tegemoet te treden!

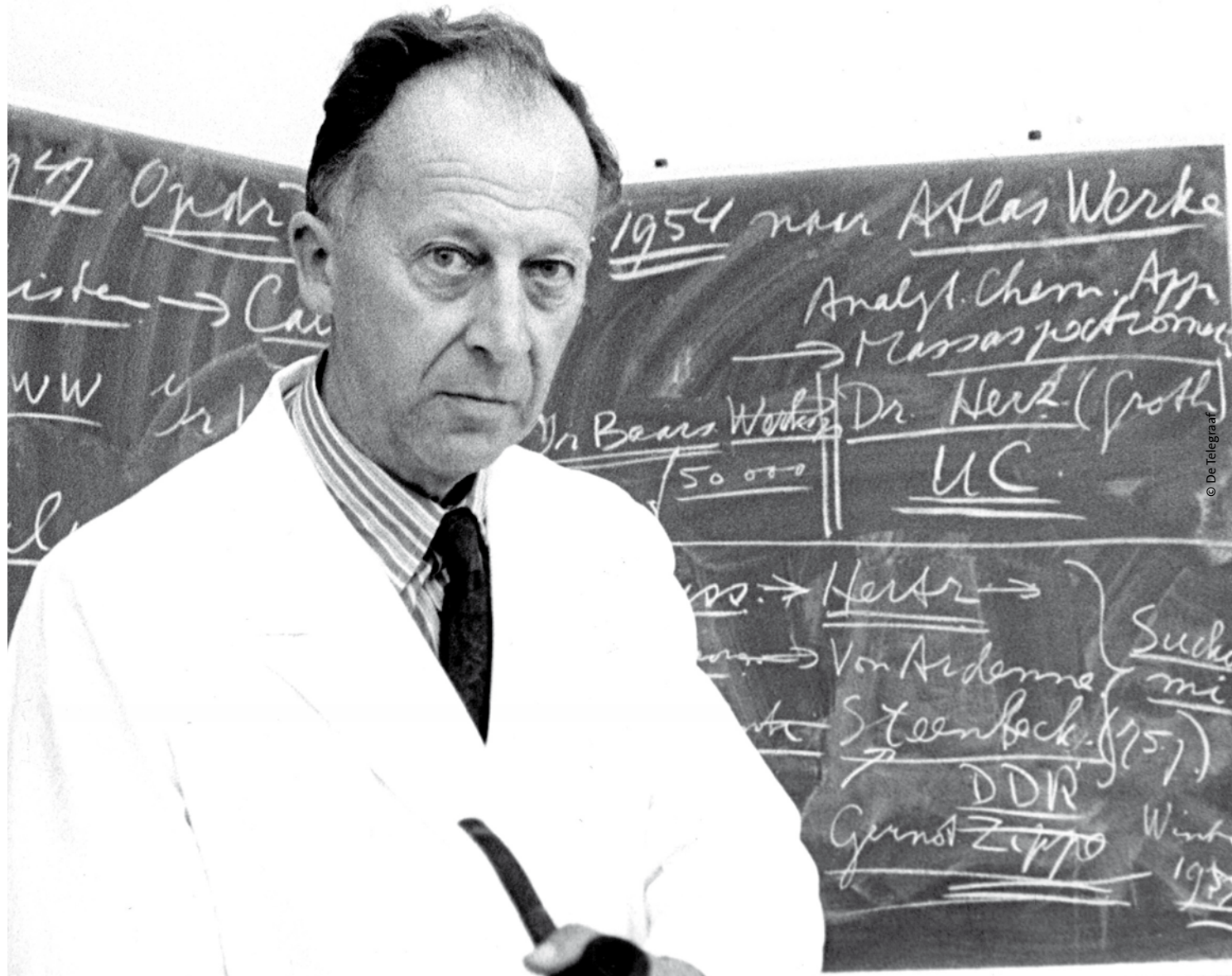
Niek Lopes Cardozo • voorzitter Uitvoerend Bestuur FOM

VOORWOORD	07	1990-1999	48
ONDERZOEKSSTAMBOOM VAN AMOLF	10	HIGHLIGHTS	50
PORTRET Jaap Kistemaker	12	PORTRET Bart Noordam	54
		FEITEN EN CIJFERS Hoogleraren	56
		EXTREEM Het snelste algoritme	57
1949-1959	14		
HIGHLIGHTS	16	2000-2009	58
PORTRET Marnix van der Wiel	18	HIGHLIGHTS	60
FEITEN EN CIJFERS De directeuren	20	PORTRET Marileen Dogterom	66
EXTREEM Het zwaarste ion	21	FEITEN EN CIJFERS AMOLF als internationaal laboratorium	68
		EXTREEM Het langzaamste licht	69
1960-1969	22	2010-TOEKOMST	70
HIGHLIGHTS	24	HIGHLIGHTS Uitdagingen voor de toekomst	72
PORTRET Frans Saris	26	PORTRET Kobus Kuipers	78
FEITEN EN CIJFERS Publicaties 1949-2009	28	FEITEN EN CIJFERS Proefschriften 1949-2010	80
EXTREEM Het beste vacuüm	29	EXTREEM Het kleinste voorwerp	81
1970-1979	30		
HIGHLIGHTS	32		
PORTRET Joost Frenken	34		
FEITEN EN CIJFERS Citaties 1988-2010	36		
EXTREEM Het koudste atoom	37		
1980-1989	38		
HIGHLIGHTS	40		
PORTRET Daan Frenkel	44		
FEITEN EN CIJFERS De gebouwen van AMOLF	46		
EXTREEM De kortste laserpuls	47		

ONDERZOEKSTAMBOOM VAN AMOLF



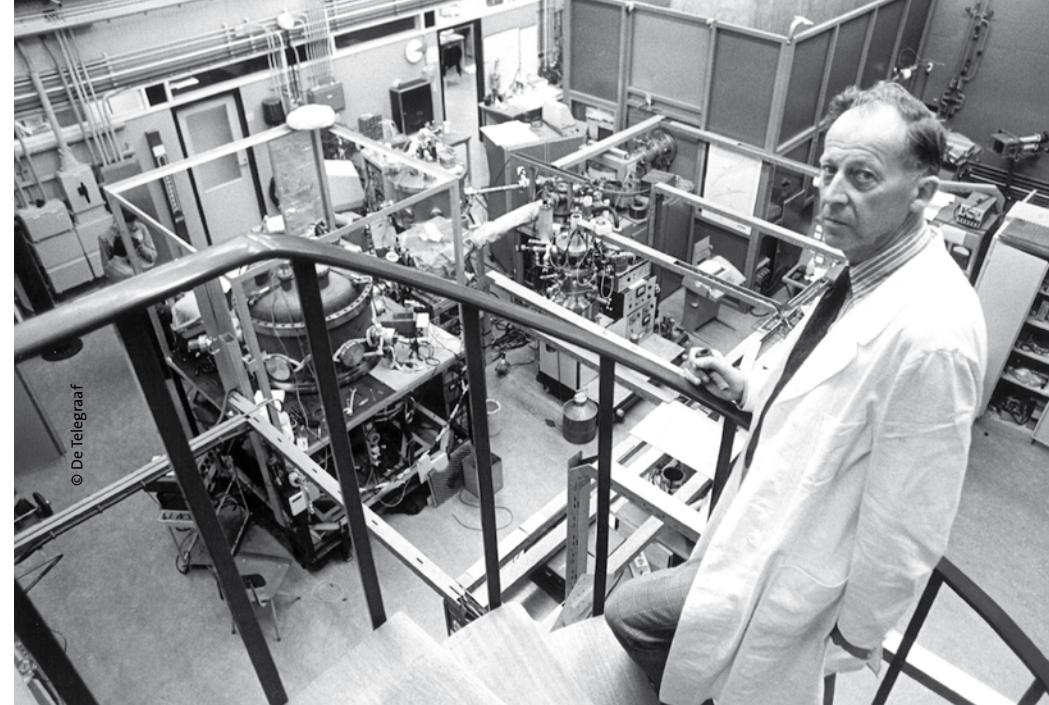
NAMEN GEVEN DE GROEPSLEIDERS AAN, IN HET JAAR WAARIN ZIJ ALS GROEPSLEIDER STARTTEN ← GEEFT AAN DAT (EEN DEEL VAN) DE ACTIVITEIT NAAR ELDERS VERHUIST



Jaap Kistemaker is de grondlegger van AMOLF. Hij was directeur van 1949 tot 1982.

JAAP KISTEMAKER:

“Er is geen vooruitgang in de wetenschap, ALLEEN VERANDERING”



ZO BEGON HET

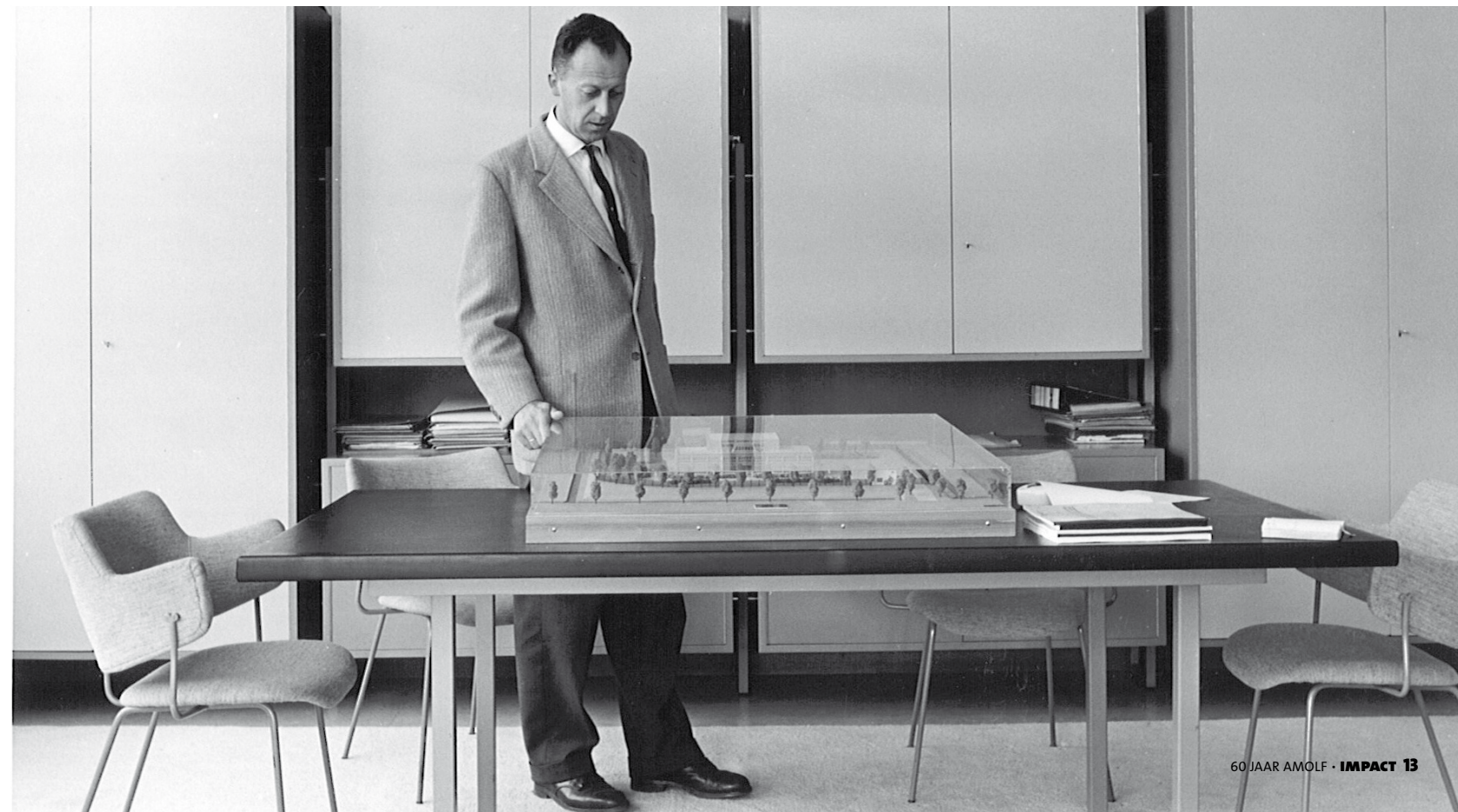
“Op een dag in oktober 1945 kwam mijn promotor, Prof. Kramers, mijn kamer in met een geel boekje, door een speciale koerier uit Washington meegebracht: het Smyth rapport over het Manhattan project. Ik had 24 uur om het te lezen. Kopiëren bestond toen niet. Een paar maanden later besloot een regeringscommissie dat ik naar Kopenhagen moest, om mij bij Niels Bohr op de hoogte te stellen van hoe electromagnetische scheiding in zijn werk ging. Van

kernfysica wist ik weinig en van industriële techniek nog minder. Ik was 28 jaar en getrouwd; onze dochter was 2 maanden oud”.

BRAINSTORMEN

Het weekblad “Katholieke Illustratie” beschrijft Kistemaker in 1960: “De koele Westfriese boerenzoon uit Kolhorn beantwoordde om te beginnen helemaal niet aan de karikaturale opvatting die de meeste leden van zo’n ‘griezelig knappe kernfysicus’ hebben. (...) Een heldere, rustige

intellectueel met aandachtige, grijze ogen, waaromheen soms ineens lachrimpels ontstonden als hij verrast was door een opmerking”. We vragen Kistemaker: Komt u nou nooit op een punt, professor, dat een onderzoek helemaal vast raakt? “O jawel, maar daar hebben we wat voor. Dan gaan we ‘brainstormen’. We steken de koppen bij elkaar en iedereen moet zeggen wat in hem op komt, gek of niet. Het is doodvermoeiend, maar samen kom je soms tot verbazingwekkend leuke dingen.”





DE JAREN VIJFTIG

De jaren van wederopbouw. Door de oorlog is Nederland zijn vooraanstaande positie in de natuurkunde kwijtgeraakt. Op het nieuwe gebied van de kernfysica is een inhaaloperatie gewenst en Jaap Kistemaker wordt door de Nederlandse regering naar Niels Bohr in Kopenhagen gestuurd om zich te oriënteren op uranium isotopenscheiding. De Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM) wordt opgericht en deze besluit in 1949 een Instituut voor Massaspectrografie te starten.

1949...1959

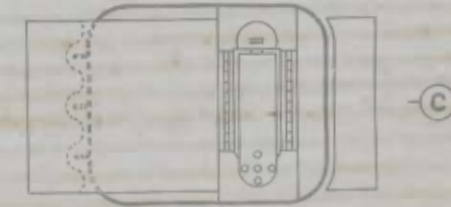
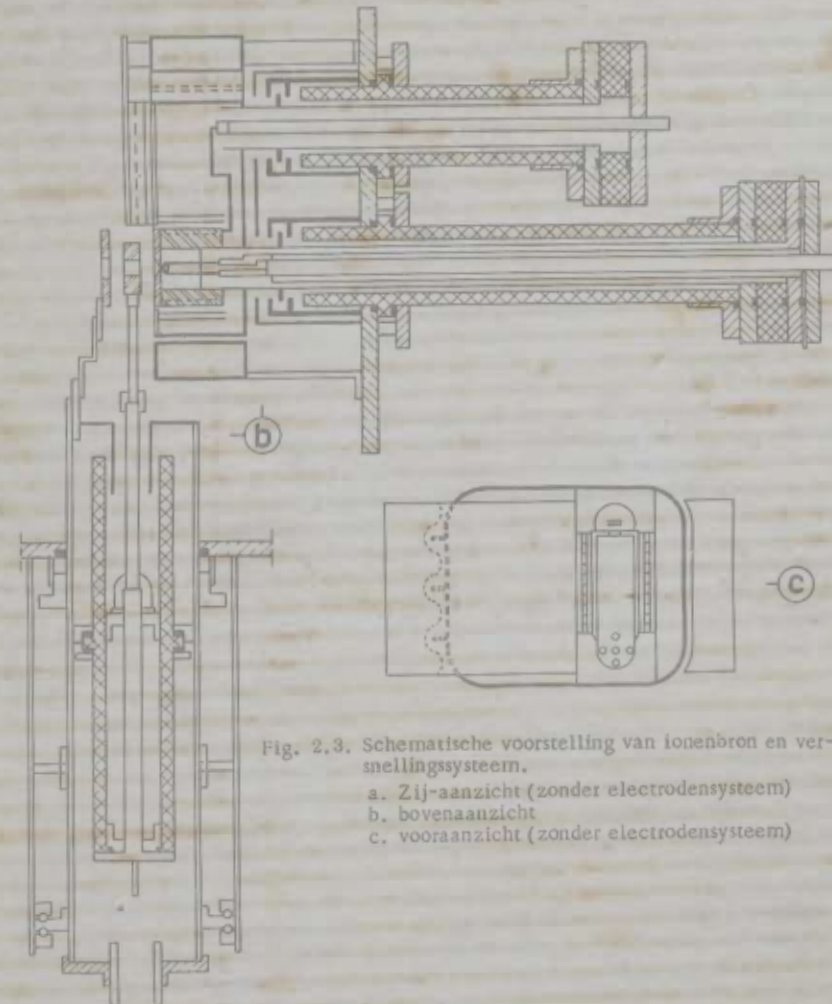
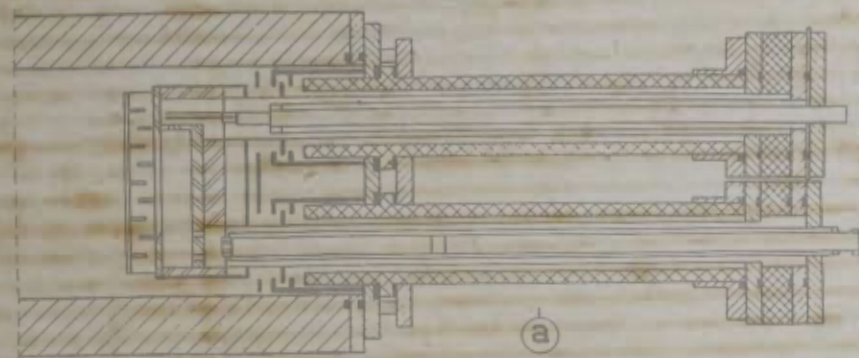


Fig. 2.3. Schematische voorstelling van ionenbron en versnellingsstelsel.

- a. Zij-aanzicht (zonder electrodensysteem)
- b. bovenaanzicht
- c. vooraanzicht (zonder electrodensysteem)

De speciaal ontworpen vorm van de vleugels van de ionenbron maakte het mogelijk een hoge spanning op te wekken. Codewoord was 'Mae West', naar een Amerikaanse filmster met een beroemd profiel.



HIGHLIGHTS 1949-1959

Op 15 september 1949 wordt het FOM-laboratorium voor Massaspectrografie opgericht. De taak van het instituut is om te onderzoeken hoe uraniumisotopen kunnen worden gescheiden. Het onderzoek concentreert zich rond de bouw van een grote elektromagnetische isotopenseparator. In 1953 wordt het eerste monster (10 mg) verrijkt ^{235}U gemaakt. Door de Nederlandse ontwikkeling besluit het Amerikaans congres in 1955 tot "declassificatie" van de elektromagnetische scheidingstechnologie van uranium. De productie van verrijkt ura-

nium wordt op meerdere plaatsen in Amerika en Engeland gedaan, en op een grotere schaal dan bij FOM. Uranium en andere radio-isotopen komen ter beschikking voor onderzoek en voor medische toepassingen. Kistemaker en Los starten daarop een nieuw project: het verrijken van uranium uit UF_6 met behulp van gascentrifuges, samen met het inmiddels opgerichte Reactor Centrum Nederland (RCN). Het FOM-instituut verhuist in 1959 naar de Kruislaan en krijgt als nieuwe naam het FOM-Laboratorium voor Massascheiding.

HET EERSTE WETENSCHAPPELIJKE ARTIKEL VAN AMOLF

'Investigations on a magnetic ion source I'

J. Kistemaker, H.L. Douwes Dekker, *Physica* (1949)

An ion source of the magnetic type has been developed, using oscillating electrons, and with the filament quite near the ion extraction hole. Space charge limited ion currents have been obtained ranging from 5 to 10 mA using extraction potentials of 6 to 15 kV. Hydrogen, helium and

nitrogen gas have been used, showing an apparent mass effect. No influence of the pressure on the extracted ion current was experienced in the pressure region from 10^{-5} - 10^{-3} mm Hg. An experimental comparison between our source and the usual type has been carried out and the ion outputs show only small differences.



1949



Eerste testmeting van de separator

1953

Uranium isotopenseiding

Jaap Kistemaker overhandigt de eerste hoeveelheid verrijkt uranium aan de voorzitter van de Stichting FOM. Op de achtergrond de isotopenseparator, een 40 ton zware elektromagneet met poolschoenen van 2 meter diameter en een veldsterkte van 3000 Gauss. Uranium ionen (25 kV, 10 mA) werden opgewekt uit UCl_4 gas in een vacuümkamer die voor de polen van de magneet was geplaatst. De speciaal ontworpen vorm van de vleugels van de ionenbron maakte het mogelijk hoge elektrische spanningen te gebruiken zonder dat elektrische ontladingen optreden. Codewoord was "Mae West", naar een Amerikaanse filmster met een beroemd profiel.



V.l.n.r.: J. Kistemaker, J. Clay, J.M.W. Milatz

1954

Lawrence op bezoek

Bezoek aan het FOM-instituut voor massaspectrografie door Ernest Lawrence, directeur van het Radiation Lab van Berkeley University in Californië, VS ter gelegenheid van het eerste uranium isotopenseparatie-experiment.



V.l.n.r.: J. Kistemaker, J. Clay, C.J. Bakker en E.O. Lawrence

Eerste promotie

De eerste promotie bij Jaap Kistemaker van F.J. de Heer vindt plaats in 1954 aan de universiteit van Amsterdam.

1955

'Declassificatie' van isotopenseiding in de VS

De eerste internationale conferentie over isotopenseiding wordt gehouden in Amsterdam waarop de Amerikanen en Britten besluiten het atoomgeheim op te heffen en radio-isotopen beschikbaar te stellen voor de wetenschap en de geneeskunde.

1958

Isotopenverrijking voor ^{14}C ouderdomsbepaling

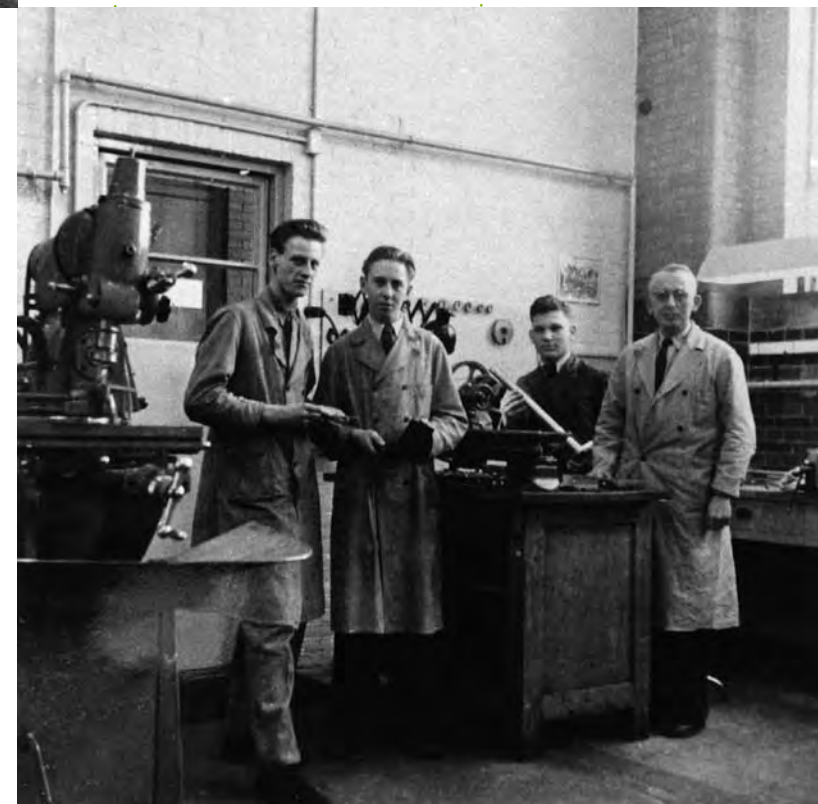
A. Haring, A.E. de Vries en H. de Vries, *Science* 128, 472 (1958).

De nauwkeurigheid van de ^{14}C ouderdomsbepalingsmethode is aanzienlijk verhoogd door isotopenverrijking in een 5 meter lange thermodiffusiekolom. Daardoor werd het mogelijk 70.000 jaar terug in de tijd te gaan. De techniek werd gekalibreerd door de verrijking van $^{14}\text{C}^{16}\text{O}$ en $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ te vergelijken.

1959

Spectroscopie van atomaire botsingen

Dit is het begin van decennia onderzoek aan excitatie, ionisatie en elektronvangstprocessen in elektron- en ion-atoombotsingen.



“Ons apparaat was sneller dan een echt synchrotron en de resultaten kwamen geweldig overeen.”

MARNIX VAN DER WIEL

“Ik vroeg me af: **HOE MAAK IK EEN TABLE-TOP SYNCHROTRON?**”

Marnix van der Wiel voerde vanaf 1963 eerst zijn afstudeeronderzoek en vervolgens zijn promotieonderzoek uit bij AMOLF. Na een korte postdocperiode in Canada, kwam hij in 1972 terug als groepsleider, wat hij tot 1986 bleef. Vanaf 1977 was hij tevens adjunct directeur. Van 1987 tot 1998 was hij directeur van het FOM-instituut voor Plasmafysica Rijnhuizen. Daarna was Van der Wiel tot zijn emeritaat verbonden aan de Technische Universiteit Eindhoven.

“Ionisatie kan met fotonen en met elektronen. Voor metingen aan foto-ionisatie zijn in de jaren zestig zogenoemde synchrotrons ontwikkeld, grote gebruikersfaciliteiten die vele onderzoekers bedienen. Tijdens mijn afstudeerperiode op AMOLF had ik gewerkt aan de totale botsingsdoorsnede van ionisatie door elektronen. Nu liet de theorie een intrigerend, maar verstoep verband zien tussen de ionisatie door snelle elektronen en de ionisatie door fotonen. Ik ben toen verder in de theorie gedoken en vond ook een veel directer verband. Dat werd duidelijk wanneer je alleen de elektronen beschouwde die voorwaarts doorgingen na een botsing en keek naar hun energieverlies.

Dit bracht me op het idee dat ik zelf een soort modelsynchrotron kon maken, waarmee je door metingen te doen aan

elektronen, iets zou kunnen zeggen over ionisatie door fotonen. Ik kreeg van de toenmalig directeur Kistemaker de kans om zo'n apparaat te bouwen. Dat was vrij uniek, want dit was wel een erg ambitieus plan voor een promovendus. Ik had slechts een opzetje gemaakt op één A4-tje en hij zag het zitten. Ik kreeg onbeperkte toegang tot de technici, de tekenkamer. We konden snel bouwen. De elektrotechnici waren van onschatbare waarde bij het ontwikkelen van de zogenoemde coïncidentieschakeling. Dat is in feite het hart van de opstelling die de metingen van twee deeltjesdetectors met elkaar in verband brengt.

Het moment dat we de eerste coïncidenties zagen was geweldig. Toen er signalen uit de twee detectoren kwamen, zou het moeten lukken, maar je moet het eerst maar zien. Het was het bewijs dat ons apparaat

werkte, en goed ook. Onze resultaten kwamen geweldig overeen met de eerste resultaten uit de echte synchrotrons, maar ons apparaat was veel sneller en eenvoudiger te bedienen. Bovendien was het de eerste opstelling op AMOLF die volledig geautomatiseerd was. Een volledige meting kostte al gauw 24 tot 36 uur, maar daar hoefde ik niet meer naast te blijven zitten. Ik hoefde alleen terug te komen om de vloeibare lucht bij te vullen. Niet alleen konden we met dit 'poor man's synchrotron' vele jaren mooi onderzoek doen, een tijd later is het principe bovendien overgenomen in de transmissie-elektronenmicroscopie.

Je zou je kunnen afvragen wat die grote synchrotrons nog voor waarde hadden, als de metingen ook gedaan konden worden met een table-top synchrotron als het onze. Allereerst kunnen er met een echt synchrotron veel meer typen metingen dan alleen quasi-foto-ionisatie gedaan worden, zoals bv. diffractie. Verder is het ook een kwestie van gemak, denk ik. Veel fysici hebben geen zin om zelf zo'n apparaat te bouwen, ze hebben liever dat alles klaar staat en ze direct kunnen gaan meten. Ikzelf houd meer van de kick van een methode ontwikkelen, laten zien dat het werkt, een tijdje mooie fysica ermee doen, en dan weer overdragen.” •



Jaap Kistemaker
1949-1982

Joop Los
1982-1986

Frans Saris
1986-1996

Jook Walraven
1996-2002

Bart Noordam
2002-2005

Albert Polman
2006-heden

DE DIRECTEURS VAN AMOLF

Onder de bezielende leiding van zes directeuren kon AMOLF bloeien en groeien. Wie waren zij en wat hebben ze voor het instituut betekend?

Frans Saris geeft zijn impressies over zijn voorgangers, Jaap Kistemaker en Joop Los:

“**Jaap Kistemaker** deed natuurkunde die de moeite waard was én stond midden in de maatschappij. De samenleving leverde hem zijn onderwerpen en zijn mensen. Omgekeerd was AMOLF hofleverancier voor het bedrijfsleven. Het doorstroombeleid dat AMOLF nu nog kenmerkt, was in de jaren zeventig volstrekt uniek. Jaap Kistemaker zei eens: ‘Het is een voorrecht om hier te werken, en julie recht is op.’ Absoluut onmogelijk in een tijd van vaste contracten, maar het werkte wel. Het gezamenlijke koffiedrinken was volgens hem het geheim van een goed lab. Fysici die samen koffiedrinken, praten niet over vrouwen of over auto’s, maar over fysica. Bij de koffie worden ideeën gegeneerd, schouderklopjes gegeven, teleurstellingen verwerkt.”

“**Joop Los** werd benoemd tot directeur in 1982. Hij was een totaal andere bestuurder dan zijn voorganger. Hij had egards, kreeg door vriendelijk onderhandelen zijn zin.

Hoewel hij maar een korte periode aan het roer stond, heeft hij AMOLF mede gevormd tot een dynamische organisatie waar drie kwart van de medewerkers tijdelijk is. Bovendien was hij zonder twijfel de beste fysicus die AMOLF ooit gehad heeft. Hij was de eerste die lid werd van de KNAW en de eerste die de Fysicaprijs kreeg uitgereikt. Waar zijn voorganger een geweldig technisch lab had opgezet, hebben we het aan Joop Los te danken dat we ook wetenschappelijk aan de top staan.”

Frans Saris werd in 1986 benoemd tot directeur: “Ik heb zowel Jaap Kistemaker als Joop Los meegemaakt als bestuurder en van beiden veel geleerd. Het typische AMOLF beleid van dynamiek en doorstroming heb ik volledig doorgezet. Ik moest er zelfs zelf aan geloven. Bij mijn aantreden bepaalde de Stichting FOM dat een AMOLF-directeur voor slechts vijf jaar werd benoemd en maximaal twee periodes mocht blijven. Dat betreurde ik. Sterker nog, zonder die regel was ik tot mijn pensioen aangebleven als directeur. Ik was er als een vis in het water, AMOLF

was mijn aquarium. Toch was het achteraf gezien goed voor AMOLF. Als ik was blijven zitten, had Albert Polman niet kunnen doen wat hij nu al heeft bereikt.”

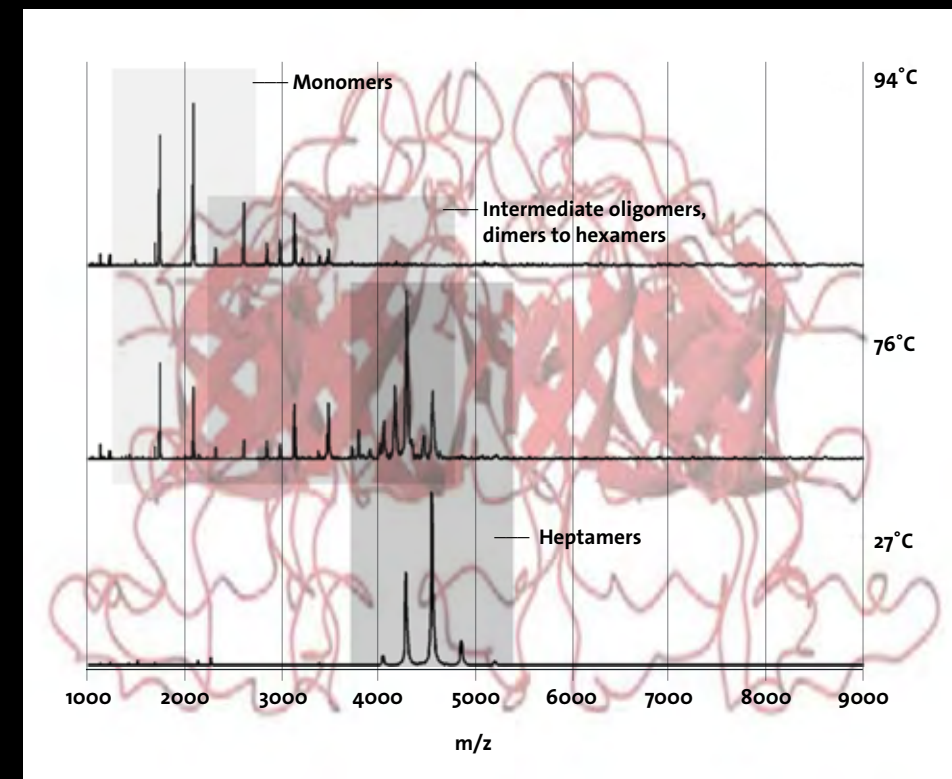
In 1996 werd **Jook Walraven** benoemd tot directeur: “Bij mijn benoeming was het uitdrukkelijk de bedoeling dat AMOLF zich zou profileren binnen de fysica van levende systemen. Het was aan mij om die nieuwe richting te starten. Daarnaast besepte ik dat we alleen met nieuwbouw ook de komende vijftig jaar aan de top konden blijven. Men hechtte erg aan het toenmalige gebouw, maar dat was voor een heel ander soort onderzoek gebouwd. Al snel dachten de medewerkers actief mee over het nieuwe gebouw. Die constructieve sfeer is kenmerkend. Iedereen is erop gericht het beste uit zichzelf en AMOLF als geheel te halen.”

Walraven werd in 2002 opgevolgd door **Bart Noordam**: “De kracht van AMOLF zit in het collectief. Daarom moet je als directeur twee dingen doen: Regelen dat je goede mensen hebt en vervolgens zorgen dat het geheel méér is dan de som der delen. Daarvoor zijn allerlei mechanismen en elke directeur heeft daar elementen aan toegevoegd. Zo heb ik een wekelijks

kantinepraatje ingevoerd tijdens de gezamenlijke koffiepauze. Ik zette mensen in het zonnetje of stond stil bij een vertrekkende medewerker. AMOLF vernieuwt zich voortdurend en ook daarin heeft de directeur een rol. Ik kon in enkele jaren vijf nieuwe groepsleiders aantrekken. Daarmee hadden we alle kanonnen uit de Nanofotonica in huis en konden we AMOLF echt op de kaart zetten in dit nieuwe vakgebied.”

Sinds 2006 wordt AMOLF geleid door **Albert Polman**: “Toen ik begon als directeur, zat AMOLF in een overgangperiode. Het instituut had zich sterk geconcentreerd op twee hoofdrichtingen en nu was het onze taak daarmee de top te bereiken. Tegelijkertijd werd het heel belangrijk om onze banden met de buitenwereld, de universiteiten en de industrie, sterker aan te halen. Daar heb ik me sterk voor ingezet. Een mooi moment was toen ik alle groepsleiders vroeg of zij konden bijdragen aan de oplossing van het energieprobleem: daar kwam direct een groot aantal hele interessante ideeën uit, en energieonderzoek wordt wat mij betreft een van onze nieuwe thema’s. Maar het mooiste het afgelopen jaar was natuurlijk de oplevering van het nieuwe gebouw. AMOLF kan weer zestig jaar vooruit!”

HET ZWAARSTE ION 70 kDa GEWOGEN MET MASSASPECTROMETRIE



R.B.J Geels et al. Rap. Comm. Mass. Spec. 22, 3633 (2008).

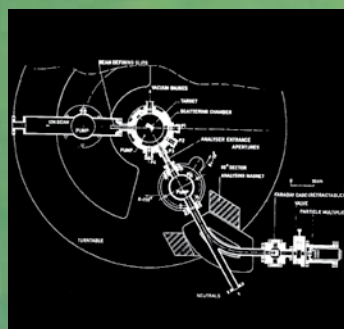
Het zwaarste ion dat is gevangen in een Penning trap van de FTICR massaspectrometer is een meervoudig geladen ($[M+19H]^{19+}$) 70 kDa heptameer van GroES, een onderdeel van het Chaperone complex GroES.GroEL.

DE JAREN ZESTIG

AMOLF richt zich op fundamenteel onderzoek binnen de atoom- en molecuulfysica. De studie van het 'biljartspeel' van interactie tussen elektronen, atomen, moleculen en oppervlakken leidt tot vele nieuwe inzichten. Voor experimenten in molecuulbotsingen worden nieuwe opstellingen gebouwd. Hiervoor zijn nieuwe faciliteiten nodig die met de uitgebreide technische staf in huis worden ontwikkeld. Het kost AMOLF moeite een positie te verwerven binnen het universitair onderzoek in Nederland en daarbuiten.

1960...1969

Het instrument van Datz en Snoek waarbij een ionenbundel verstrooid wordt aan een koperoppervlak (proefschrift C. Snoek, 1966). De secundaire ionen werden geanalyseerd met een magnetische sector massaspectrometer.



HIGHLIGHTS 1960-1969

In de periode 1956-1962 wordt het principe van ultracentrifuge ontwikkeld. Het onderzoek richt zich op de mechanica van snelroterende trommels waarin UF_6 gas wordt gescheiden. In 1962 wordt het eerste doel bereikt. Hierna is de onderzoeksfase voorbij en wordt de technologie overgedragen aan industriële partijen, eerst met Werkspoor. Later wordt uit dit werk Urenco opgericht, dat in 2010 is uitgegroeid tot een groot internationaal bedrijf. Het isotopengeologisch onderzoek wordt een zelfstandig NWO-instituut en wordt gehuisvest bij de VU. Hierna moet het instituut zich opnieuw uitvinden. Het gaat zich richten op fun-

damenteel onderzoek naar de fysische processen die oorspronkelijk aan de isotopenscheidingsprocessen ten grondslag lagen en die nu tot hele nieuwe toepassingen zouden leiden. Diverse nieuwe experimenteeropstellingen worden gebouwd voor de studie van de interactie van elektronen, atomen, moleculen en oppervlakken. Plasmafysisch onderzoek wordt gestart om met behulp van bundels de temperatuur van plasma's te verhogen, om uiteindelijk kernfusie te bereiken voor energieopwekking. In 1966 krijgt het instituut een nieuwe naam: FOM-instituut voor Atoom- en Molecuulfysica (AMOLF).

IN HET NIEUWS

Het grote avontuur van prof. Kistemaker

Fragment uit Elseviers Weekblad, 12 april 1969

In 1955 stapte een jonge wetenschappelijke onderzoeker het directiekantoor van Werkspoor binnen. Zijn naam was dr. J. Kistemaker. Reeds jaren had hij onderzoekingen verricht op het gebied van uraniumverrijking. Hij had pas

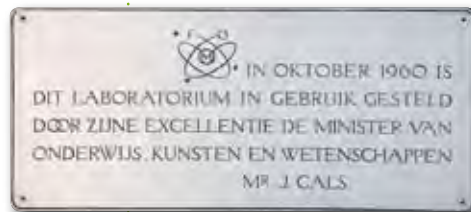
een wetenschappelijk congres te Hamburg bijgewoond waar hij Duitse geleerden had horen spreken over uraniumverrijking door ultracentrifuge. En zijn besluit stond vast: ergens een financier te vinden en zich op het gebied van ultracentrifuge te specialiseren.



1960

Nieuw gebouw

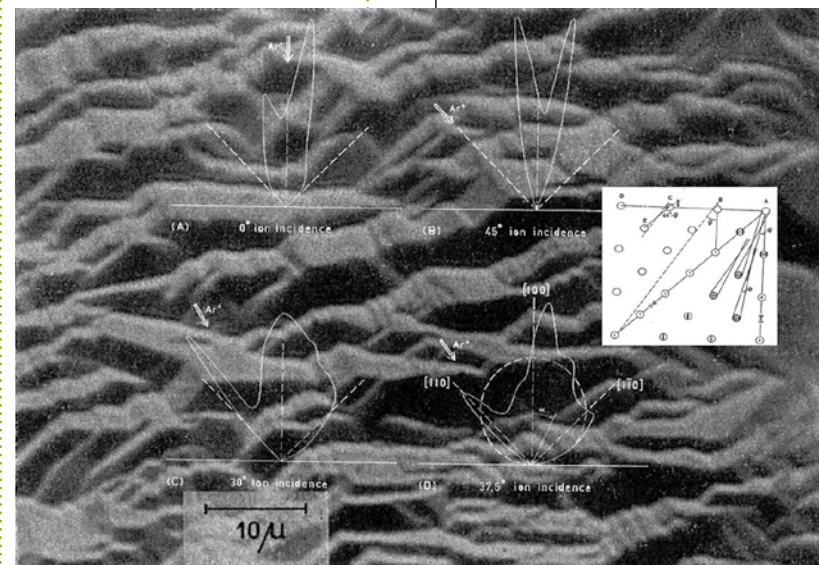
Op 10 oktober 1960 wordt het nieuwe gebouw aan de Kruislaan officieel geopend door minister Cals. Het instituut krijgt een nieuwe naam: FOM Laboratorium voor Massascheiding. Het kent dan 69 medewerkers. Jaap Kistemaker is directeur, Joop Los en Piet Rol zijn adjunct-directeur.



1962

Ultracentrifuge-project AMOLF leidt tot Urenco

Het ultracentrifuge-onderzoek werd in 1962 op AMOLF beëindigd en overgedragen naar Werkspoor. Later ging het over naar Stork, waarna in 1969 Urenco werd opgericht. Sinds 1982 is Urenco (Almelo) een van de grootste producenten van verrijkt uranium ter wereld. Het productieproces is gebaseerd op de ultracentrifuge-techniek waarvan de basis op AMOLF ligt. De jaaromzet van Urenco was in 2009 meer dan 1 miljard euro.



1963

'Channeling' van ionen in kristallen ontdekt

J.M. Fluit, P.K. Rol

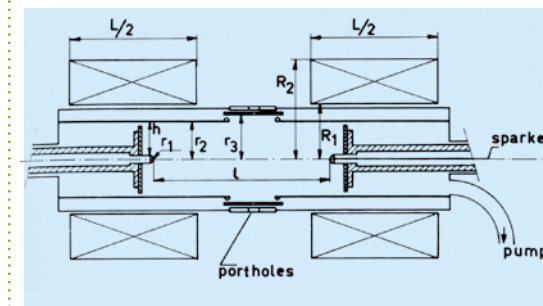
Bij de beschieting van monokristallijn koper met argonionen worden koperatomen uit het oppervlak verstoven. De hoeveelheid verstoven koperatomen blijkt afhankelijk te zijn van de kristaloriëntatie. Als de ionenbundel gericht is langs een hoofdrichting van het koperkristal "channelen" de ionen het kristal binnen zonder koperatomen uit het oppervlak te verstoven.

1965

Instrumentatie voor plasmafysica

Jan Bannenberg ontwerpt en bouwt een instrument waarmee verhitte plasma's gemeten kan worden. Hij volgt Schutten op als technisch directeur en staat samen met Boerboom aan de wieg van vele innovaties: de 200 keV versneller, Torus, Tuba, AMI, de channelplate detector, pyrolyse, MEQUALAC en MeV versnellers.

Elektrodensysteem met magneetspoelen voor plasmafysica

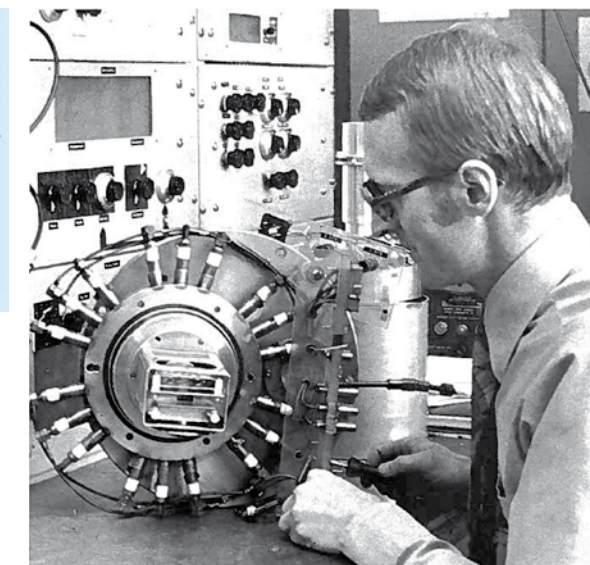


1968

Het 'poor man's synchrotron'

M.J. van der Wiel en G. Wiebes, Physica 53, 225 (1971).

Rond 1970 beleeft AMOLF twee primeurs: het eerste gebruik van 'single-particle' detectors en de koppeling daarvan aan een coïncidentie-schakeling. Daarmee werden voorwaarts gestrooide elektronen en bij de botsing gevormde ionen gemeten. Dit leverde -in een fractie van de meettijd- oscillatorsterkten voor bijvoorbeeld meervoudige ionisatie die kwantitatief vergelijkbaar waren aan resultaten met synchrotronstraling.



Marnix van der Wiel zittend voor het bedieningspaneel van het 'poor man's synchrotron' met een onderdeel daarvan op tafel

“Door mijn ontdekking alleen kwam een heel vakgebied op”



FRANS SARIS

“Ik vroeg me af: **WAAR KOMT DIE RÖNTGENSTRALING VANDAAN?**”

Frans Saris kwam binnen als afstudeerstudent in 1964 en voerde van 1967 tot 1971 zijn promotieonderzoek uit op AMOLF. Hij was een jaar plaatsvervangend groepsleider voor hij vertrok naar Canada. In 1973 vroeg toenmalig directeur Kistemaker hem terug te komen. Saris was tot 1996 groepsleider en tevens van 1986 tot 1996 directeur van het instituut.

“Tijdens mijn promotie zag Jaap Kistemaker op werkbezoek in de Verenigde Staten dat er röntgenstraling ontstond als je atomen met protonen beschoot. Hij vroeg mij per telegram om eens te kijken of dit met argonionen ook zou werken. Dat deed ik en toen hij terug kwam, kon ik hem de bewuste, karakteristieke straling voor argon laten zien. Later herhaalden we de experimenten met andere ionen en deden een vreemde ontdekking. Het bleek dat alle spectra behalve de karakteristieke straling voor het onderzochte element, ook nog een soort continuüm van ongedefinieerde straling bevatte.

Ik vroeg me af waar dat vandaan kwam, en ik had er ook wel een idee over. Ik ver-

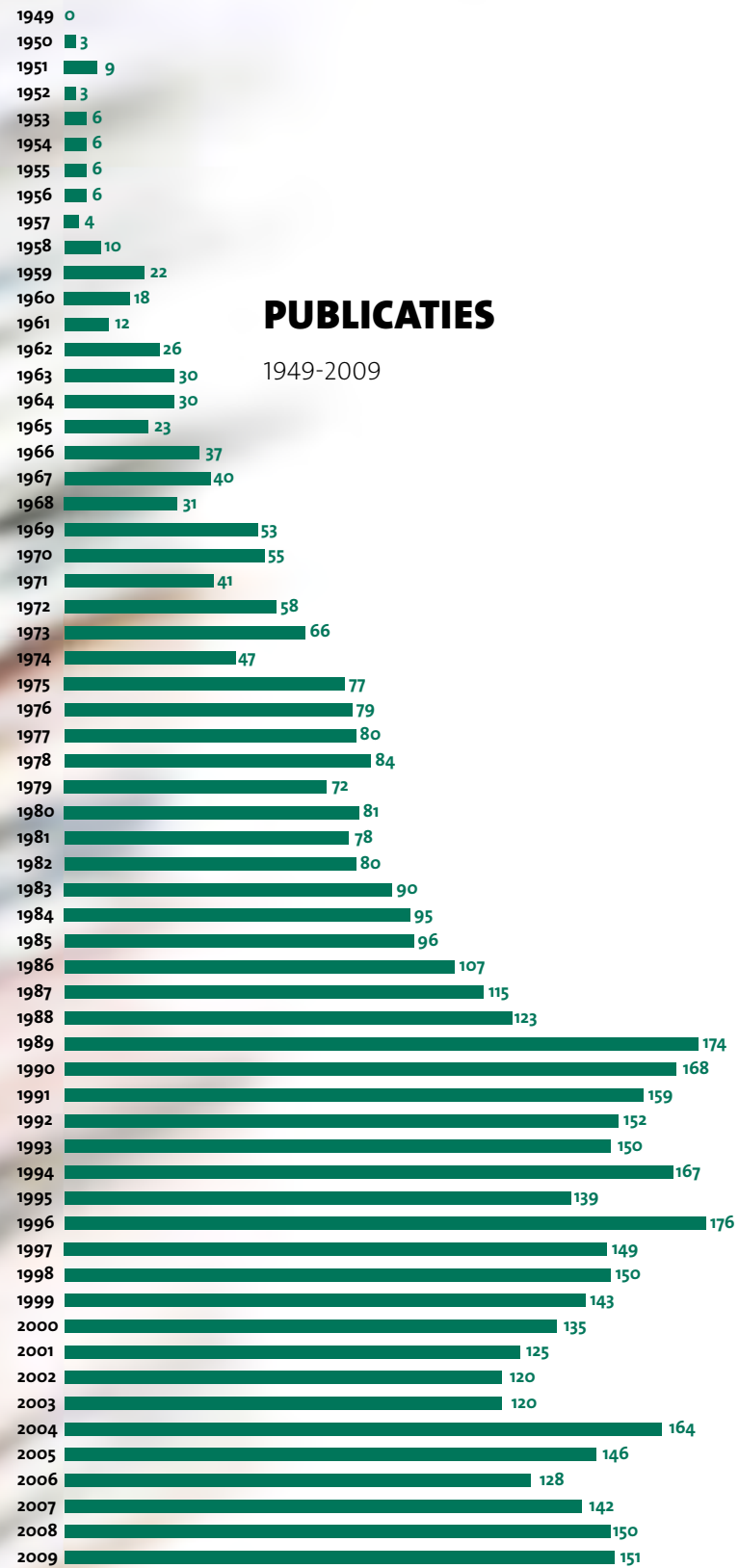
moedde dat de straling die de ionen uitzenden op elk moment tijdens de botsing karakteristiek was voor de kortstondige moleculaire toestand die de botsende ionen op dat moment vormden. Bij nadere analyse bleek inderdaad dat twee botsende argonionen op een bepaald moment straling uitzonden die paste bij krypton, het element dat twee keer zo zwaar is als argon. Ze vormden als het ware heel kortstondig een kryptonatoom.

Door die ontdekking kreeg ik de hele wetenschappelijke wereld over mij heen. Iedereen vond het fantastisch, ik kreeg in korte tijd twee belangrijke röntgenprijzen en allerlei aanbiedingen om hoogleraar te

worden. Met name vanuit de kernfysica was veel interesse, want wat zou er gebeuren als je twee uraniumatomen op elkaar liet botsen? De pogingen om superzware elementen te maken waren destijds in volle gang.

Natuurlijk was ik erg vereerd door de belangstelling en de aanbiedingen. Door mijn ontdekking alleen kwam een heel vakgebied op, maar eerlijk gezegd vond ik dat vakgebied zelf helemaal niet de moeite waard om verder te exploreren. Ik sloeg de aanbiedingen af, want ik ging liever werken als groepsleider bij AMOLF. Ik heb daar nog een aantal jaar onderzoek gedaan aan röntgenstraling. Daarna ben ik overgestapt op onderzoek naar silicium.

Hoe fundamenteel interessant mijn ontdekkingen ook waren, uiteindelijk bleek ik gelijk te krijgen met mijn gevoel dat het nieuwe vakgebied als een nachtkaaars zou uitdoven. Dat ik daar mijn leven niet aan wilde besteden, werd door veel collega-wetenschappers toen helaas niet begrepen.” •

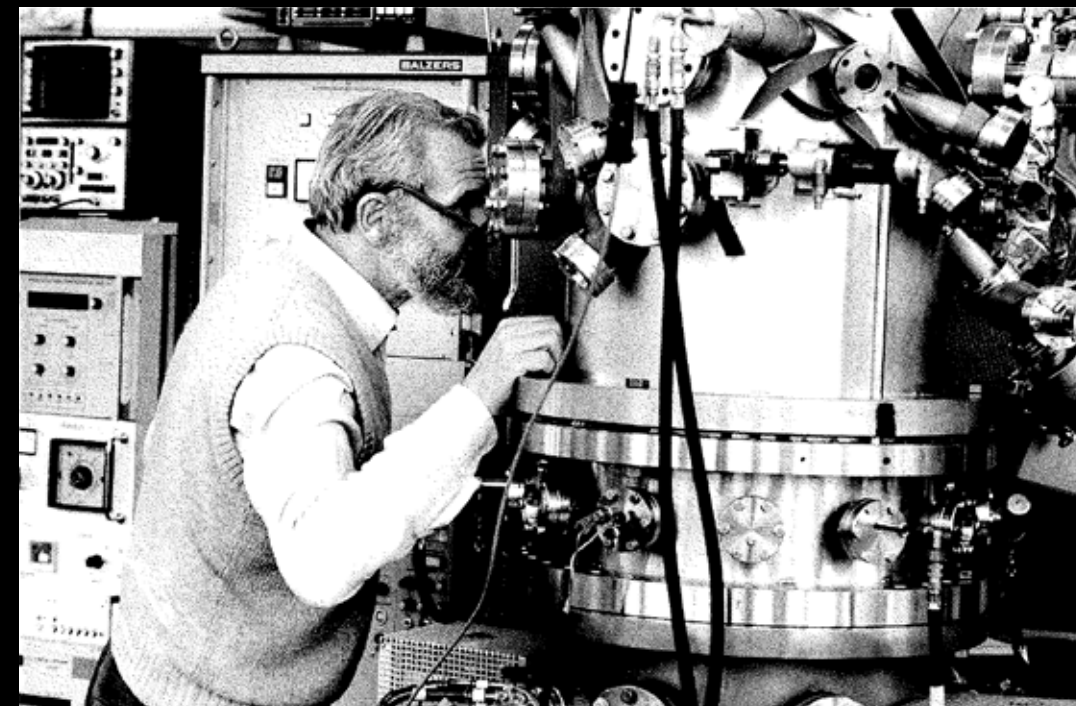


PUBLICATIES

1949-2009

TOTALE OUTPUT **5007** ARTIKELEN

HET BESTE VACUÛM
POMPKEUZE EN SCHOONMAAKPROCEDURES



J. Verhoeven, Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde 42, 44 (1976).

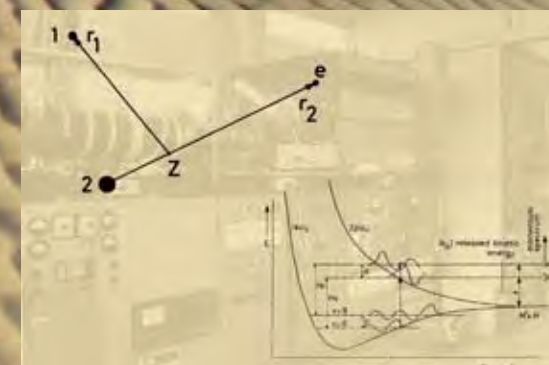
Het beste vacuüm op AMOLF (10^{-12} mbar) werd in 1975 verkregen met behulp van een getter-lonen pomp gecombineerd met een titaan sublimatie pomp. Voor het behalen van deze lage druk was een reductie van de interne ontgassing met een factor 10^6 noodzakelijk, wat werd bereikt door alle vacuümcomponenten na productie in een vacuümoven uit te stoken op 400°C . Na assemblage werd het systeem inclusief pompen nog eens op 250°C uitgestookt. Deze procedure moest iedere keer na beluchten worden herhaald.

DE JAREN ZEVENTIG

De interactie van atoom- en molecuul-bundels met oppervlakken wordt één van de belangrijke thema's. Zoals een woestijn die voortdurend van oppervlaktestructuur verandert door invloeden van buitenaf, zo worden materiaaloppervlakken gemanipuleerd. De dynamische atoom- en moleculufysica wordt een bloeiend vak. Het zijn de eerste jaren van oogsten na investeringen in de ontwikkeling van apparatuur en meettechnieken van de jaren zestig. Onderzoekers treden steeds actiever met hun werk naar buiten, naar hun wetenschappelijke collega's en naar het bedrijfsleven.

1970...1979

In de jaren '70 wordt de botsingsgeïnduceerde dissociatie verder ontwikkeld. In de versneller op de achtergrond kunnen verschillende vibratietoestanden worden aangeslagen voorafgaande aan een ion-molecuul botsing. De figuur laat het potentiële energiediagram van verschillende dissociatieve toestanden van een waterstofmolecuul en de kinetische energie die bij de dissociatie vrijkomt, de zogeheten 'kinetic energy release' zien.



HIGHLIGHTS 1970-1979

In de jaren '70 is de technologie voor het opwekken van atoom- en molecuulbundels zo verfijnd geraakt dat gedetailleerde experimenten kunnen worden gedaan op het gebied van de interactie tussen bundels van elektronen, atomen en moleculen. Ook de interactie van atoom- en molecuul-bundels met oppervlakken wordt een belangrijk thema. Daarnaast starten nieuwe activiteiten op het gebied van elektronenbundelplasma interacties.

Ook komen de eerste lasers het laboratorium binnen. De massaspectrometrie krijgt een nieuwe impuls met de ontwikkeling van de pyrolyse massaspectrometrie.

IN HET NIEUWS

Start samenwerking met Philips

Philips wilde in de jaren 1970 ionenimplantatie verder ontwikkelen voor de fabricage van geïntegreerde circuits. AMOLF sloot met Philips een samenwerkingsovereenkomst waardoor onderzoekers van Philips de versnellers van AMOLF konden gebruiken voordat Philips zijn eigen faciliteiten kreeg. De Philips groep met mankracht en middelen werd gevestigd in de Watergraafsmeer bij het Instituut voor Kernfysisch Onderzoek (IKO). De samenwerking duurde meer dan tien jaar.



1970

Oppervlaktefysica met 200 kV versneller



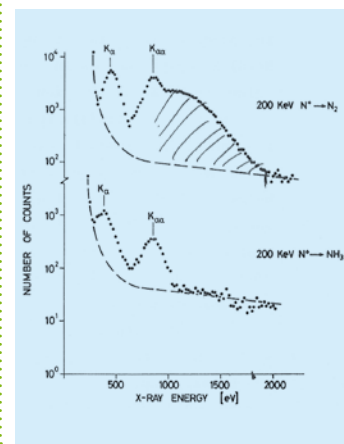
De hiernaast afgebeelde micro-Ampèremeter is het meest bekeken onderdeel van de 200 kV versneller geweest. De maximale uitslag van de meter bepaalde succes of falen van een experiment. Aan de 200 kV versneller zijn in de jaren zeventig de eerste 'channeling'- en 'blocking'-experimenten verricht. De laatste techniek maakte al snel furore onder de naam ionenbundelkristallografie. Het kristallografieonderzoek aan oppervlakken en grensvlakken met deze machine heeft zo'n 15 proefschriften opgeleverd. Een van de hoogpunten was de ontdekking dat het smelten van vaste stoffen (meestal) aan het oppervlak begint.

1972

Moleculaire X-rays

F.W. Saris, W.F. Van der Weg, H. Tawara en R. Laubert, *Phys. Rev. Lett.* 28, 717 (1972).

Tijdens de botsing tussen zware ionen en atomen vormen de elektronen van de botsende deeltjes quasimoleculaire toestanden. In de röntgenspectra van deze botsingen worden deze moleculaire toestanden voor het eerst zichtbaar als karakteristieke continuümstraling.



1974

Pyrolyse massaspectrometrie

EERSTE BIOFYSICA OP AMOLF

Voor de snelle herkenning van bacteriën is een volledig geautomatiseerde pyrolyse-massaspectrometer gebouwd naar de ideeën van Henk Meuzelaar. Hiermee zijn onder meer voor het RIVM grote aantallen analyses uitgevoerd voor de herkenning van tuberculose bacillen. Door de grote gevoeligheid van de massaspectrometer kon de identificatie-/classificatietijd van 6 weken voor deze trage groeiers sterk worden verkort. Het instrument is daarna intensief gebruikt voor de analyse van allerlei niet-vluchtige materialen. De firma Hiden heeft een aangepaste versie van het instrument op de markt gebracht.

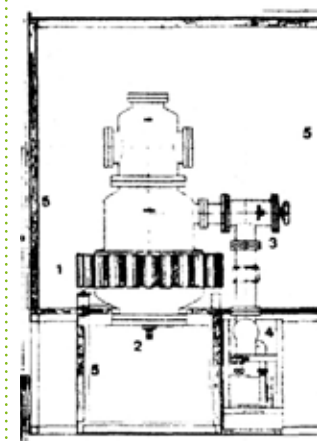


1975

Ultrahoog vacuüm bereikt

J. Verhoeven, *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* 42, 44 (1976).

Begin jaren zeventig kwam bij AMOLF het onderzoek naar oppervlakken van vaste stoffen in de belangstelling. Daarvoor was ultrahoog vacuüm nodig. Dat betekende niet alleen de juiste pompkeuze, maar ook het ontwikkelen van technieken om ontgassing van de gebruikte materialen te verlagen. In 1975 slaagde het toenmalige "Vacuüm Technisch Laboratorium" van AMOLF er in om een systeem te bouwen met een einddruk van 10^{-12} Torr. Dat kon worden gemeten met een speciaal daarvoor door Leijbold Heraeus ontwikkelde "Extractor" meetbuis.



1976

Vastvriezen van moleculaire vibraties

M.M. Hubers, A.W. Kleyn en J. Los, *Chemical Physics* 17, 303 (1976).

Door de totale werkzame doorsnede voor ionenpaarvorming te meten bij hoge snelheden, kon voor het eerst de maximale kans voor elektronovergangen worden gemeten. Dit was de eerste stap naar begrip van harpoenovergangen als inleiding tot chemische reacties.

Magnetische en elektrische quadropool lenzen

Voor de klassieke (magnetische sector) massaspectrometers is de kwaliteit van de ionenbundel sterk bepalend voor de gevoeligheid en het oplossend vermogen. Door het toepassen van combinaties van magnetische en elektrische quadropool lenzen kan de bundelkwaliteit naar behoeven worden geoptimaliseerd. Er zijn meerdere van deze lenzensystemen ontwikkeld en toegepast om het massaspectrum af te beelden op een 2-D ionendetector. Deze lenzen zijn in samenwerking met de firma Jeol verder ontwikkeld en uitgebreid toegepast in commerciële apparatuur.

1978

Laserdesorptie-ionisatie van biomoleculen

M.A. Posthumus, P.G. Kistemaker en H.L.C. Meuzelaar, *Analytical Chemistry* 985, 50 (1978).

Door bestraling met korte laserpulsen kunnen intacte, geprotoneerde en gekationiseerde moleculen worden gedesorbeerd vanaf een oppervlak. Deze waarneming heeft geleid tot een ware revolutie in de analyse van grote biomoleculen met behulp van massaspectrometrie.

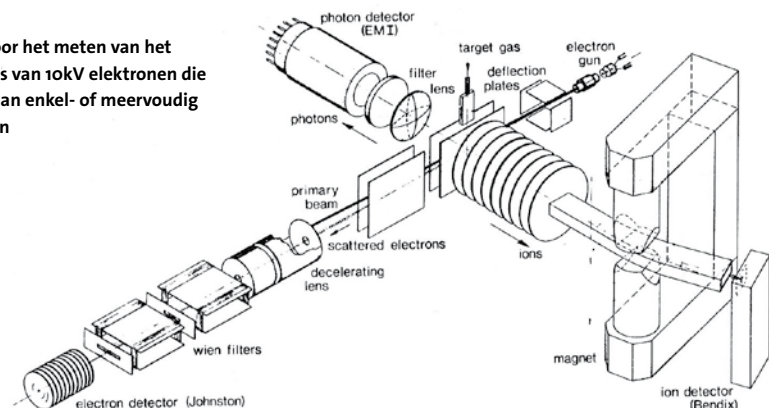
Managementteam (1978):

J. Bannenberg, F.W. Saris, L. Roos, J. Kistemaker, M.J. van der Wiel, J. Los



1971

Opstelling voor het meten van het energieverlies van 10kV elektronen die verstrooien aan enkel- of meervoudig geladen ionen



1974 Groepsfoto in de grote experimental:
V.l.n.r. Boven: Los, Kea, van Veen, Tebra, Visser, v. Deenen, De Jongh, Neuteboom, De Vries
V.l.n.r. Midden: Timmer, Hoogvorst, v.d. Hauw, v.d. Zweep, v. Elst, Peeters, Boerboom, v. Dijk
V.l.n.r. Onder: J. Kistemaker, v. Wel, De Haas, v.d. Veen, Tom, Jansen, Akkermans, Sanders, Bannenberg, de Heer, Monterie



“De grafiek hing nog jaren als een trofee op mijn kamer.”

Joost Frenken begon als student bij AMOLF in 1979, waarna hij in 1982 een promotieonderzoek begon. In 1986 verliet hij het instituut voor enkele jaren, om in 1988 terug te keren als groepsleider. Dat is hij gebleven tot 1997. Sindsdien is hij verbonden aan het Kamerlingh Onnes Laboratorium van de Universiteit Leiden.

JOOST FRENKEN

“Ik vroeg me af: **HOE BEGINT HET SMELTEN VAN EEN KRISTAL?**”

“Faseovergangen als smelten, bevriezen en koken lijken precies te gebeuren bij de smelttemperatuur of verdampings-temperatuur. In werkelijkheid is er altijd een trigger nodig voor zo’n faseovergang: het bevriezen van water begint altijd met de vorming van één kristal, het koken met één gasbel. In een schone, stabiele omgeving, zonder triggers, kan het bevriezen worden uitgesteld tot ver onder het vriespunt. Zo is het mogelijk dat een bakje water in de vriezer vloeibaar blijft, tot je ingrijpt – dan befrist het ineens heel snel. Net zo kan water in een magnetron opwarmen tot ver boven 100 graden zonder dat het gaat koken, maar zodra je het aanpakt schiet het hete water in bubbels alle kanten op, een bekend magnetronongeluk.

Het lijkt logisch dat ook bij het smelten van een kristal zo’n trigger nodig is. En dat het dus mogelijk moet zijn om een kristal te verwarmen tot boven de smelttemperatuur zonder dat het daadwerkelijk smelt. Maar hoe men ook probeerde, dat lukte

niet. Er werd wel vermoed dat de start van het smeltproces al beneden het smeltpunt begint, maar niemand kon dat aantonen.

Ik viel met mijn neus in de boter, want ik kon bij AMOLF metingen doen met de ionenbundelkristallografie en daarmee onderzoeken hoe het smeltproces van kristallen begint. Ik kon bij elke temperatuur tellen hoeveel atoomlagen er al gesmolten waren. De eerste metingen had ik al vroeg in mijn promotietijd gedaan, mijn promotor wilde toch eens weten wat er gebeuren zou als ik lood opwarmde. Ik deed dat, maar ik zag de impact van de metingen niet en stopte ze in een la. Anderhalf jaar later werd ik wakker geschud door een theoretische lezing. Ik had wel degelijk een effect gemeten! Alleen niet zo nauwkeurig, dus de metingen moesten opnieuw. Ik heb de hele nacht doorgemeten, samen met mijn begeleider, Friso van der Veen, die het zo spannend vond dat hij erbij wilde zijn. Die grafiek, waar we met de hand punt voor punt de metingen in hadden getekend, heeft nog lang als trofee op mijn

kantoor gehangen. Om vijf uur ’s morgens gingen we naar huis. De volgende morgen was het nieuws al door het lab gegaan: Al bij vijftig graden onder het smeltpunt bleek de eerste atoomlaag van het loodoppervlak te gaan smelten.

Doordat we de apparatuur zelf hadden ontwikkeld, was er een grote technische voorsprong. En die zorgde weer voor een intellectuele voorsprong. Wij konden nieuwe experimenten verzinnen omdat we de techniek al beheersten. Er waren wel andere groepen die probeerden te doen wat wij deden. Maar als je moeite hebt om überhaupt een meting te doen, ga je je niet wagen aan iets risicovols als het verwarmen van lood tot het smeltpunt.

Die grote aandacht voor instrumentatie is kenmerkend voor AMOLF en geeft het instituut ook grote wetenschappelijke voorsprong. Bovendien levert het completere wetenschappers op. Die complete wetenschapper is wat mij betreft een typisch AMOLF-product.” •

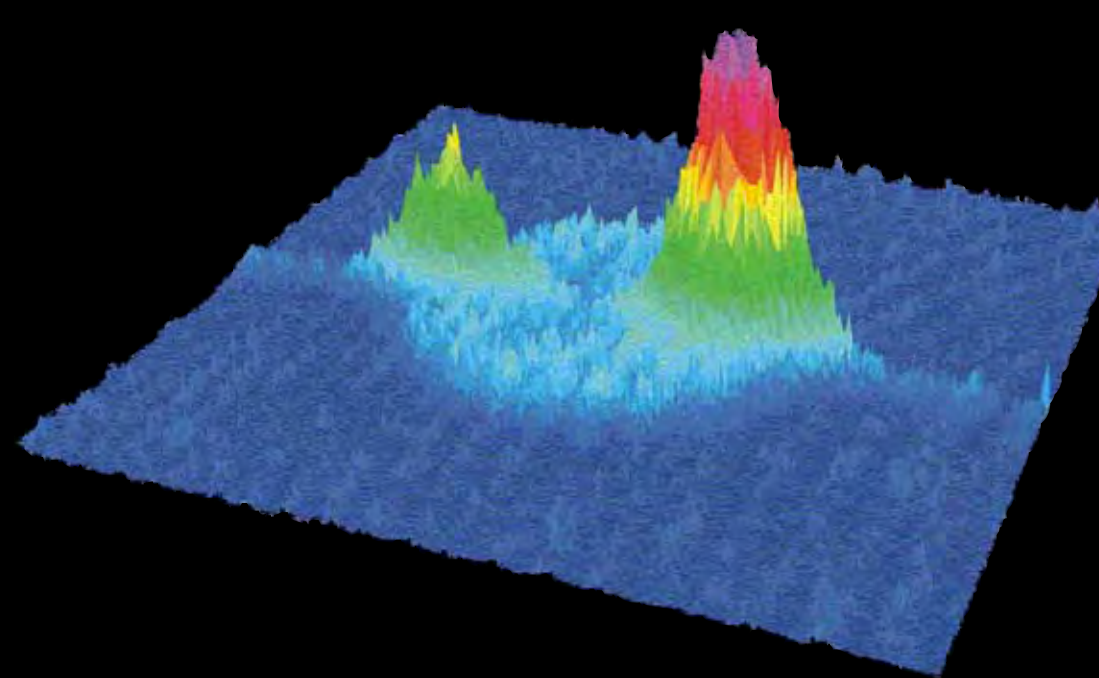
DE 10 MEEST GECITEERDE AMOLF-ARTIKELEN

1988-2010



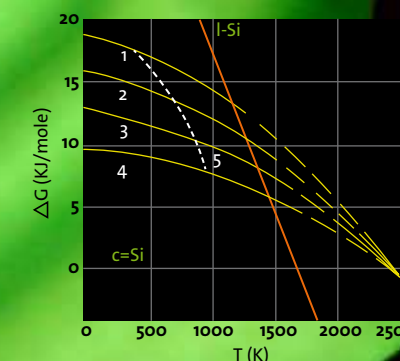
HET KOUDSTE ATOOM

500nK (0,000.000.5K)



C. Buggle, J. Leonard, W. von Klitzing en J.T.M. Walraven, Phys. Rev. Lett. 93, 173202 (2004).

De elastische verstrooiing van atomen bij lage energie kan gemeten worden door twee Bose-Einstein condensaten, gekoeld tot een temperatuur van een paar honderd nanokelvin, tegen elkaar aan te schieten. De s- en d-golf verstrooiingspatronen kunnen zichtbaar gemaakt worden door de energie van de botsing te variëren. De onderzoekers hebben laten zien dat met één enkele foto van het verstrooiingspatroon de werkzame doorsnede nauwkeurig bepaald kan worden zonder dat het botsende aantal atomen bekend hoeft te zijn. De temperatuur van de atomen was 500 nK (0,000.000.5k).



In de fabricage van elektronische schakelingen van silicium spelen zowel kristallijn, amorf als vloeibaar Si een rol. Wonderlijk genoeg was het smeltpunt van amorf Si niet bekend. Door het smelten en stollen van silicium te bestuderen met korte laserpulsen en met calorimetrie werd duidelijk dat amorf Si vele atomaire structuren kent, met met elk een eigen smeltpunt.

1980...1989

DE JAREN TACHTIG

De opkomst van de micro-elektronica leidt tot een grote hoeveelheid onderzoeksvragen binnen de oppervlakte- en materiaalfysica. Het onderzoek wordt steeds internationaler. Ondanks de naweeën van de koude oorlog werken op AMOLF fysici uit Amerika, Rusland, Japan, China en Europa nauw samen. Omgekeerd gaan AMOLF-onderzoekers steeds meer naar het buitenland als postdoc of voor een sabbatical.

In de jaren '80 krijgt het instituut een grote naam met het oppervlaktestruktuuronderzoek. Met ionenbundelkristallografie wordt het mogelijk de atomaire structuur van oppervlakken te bepalen. Daarnaast wordt het met nieuw ontwikkelde ionenversnellers mogelijk nieuwe materialen te maken voor toepassingen in onder meer zonnecellen. De atoomfysica richt zich na de ontdekking van het 'poor man's synchrotron' steeds meer op processen in extreem sterke laservelden en

breekt daar vele records. In de molecuulfysica zijn molecuuloppervlaktestruktuuronderzoek en moleculaire vibratiespectroscopie belangrijke onderwerpen. De pyrolyse-gaschromatografie massaspectrometrie gaat zich onder meer richten op de karakterisatie en identificatie van bio-organieke stoffen. Het MEQALAC-project wordt succesvol afgesloten met de productie van een intense bundel 1 MeV N-ionen voor plasmafysica-experimenten.



De Promotiefabriek

In 1986 bracht Vrij Nederland-journaliste Janneke Koelewijn een maand lang bij AMOLF door en schreef de VN-bijlage 'De Promotiefabriek'.

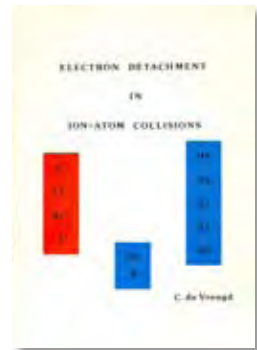
Vier jaar lang dag en nacht 'fommen' op zoek naar de trillingen van het atoom.

1980

Moleculaire vibraties gezien op femto-seconde tijdschaal

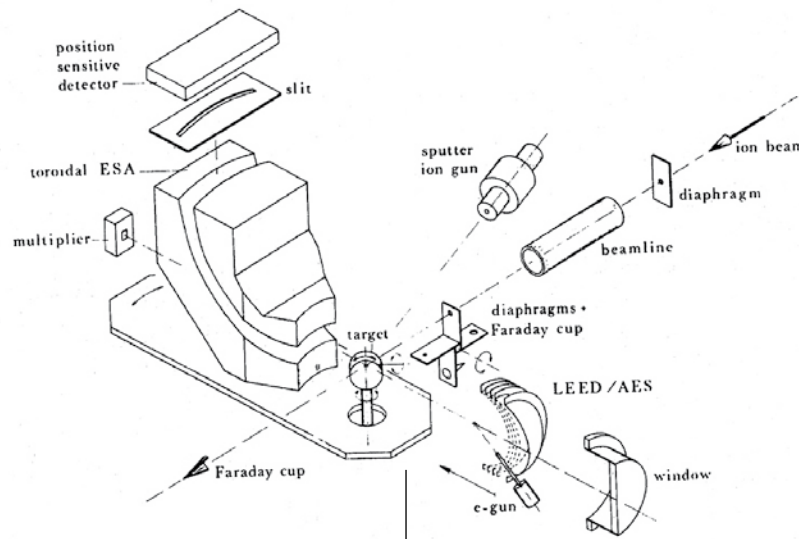
A.W. Kleyn, V.N. Khromov en J. Los, J. Chem. Phys. 72, 5282 (1980).

In een differentiële werkzame doorsnede zijn oscillaties gezien die het gevolg zijn van volledige moleculaire vibraties tijdens een botsing. Een van de botsende deeltjes wordt via zijn uiteindelijke ladingstoestand gebruikt als sonde voor ultrasnelle moleculaire vibraties.



1980 100^e AMOLF-proefschrift C. de Vreugd: Electron detachment in ion-atom collisions (Universiteit Leiden, 1980) Promotoren: J. Los en J. Kistemaker

1982



AMOLF-vacuümcursussen een begrip

E.P.Th.M. Suurmeijer en J. Verhoeven, Vacuümtechniek; Nederlandse Vacuümvereniging (NEVAC) 1989.

Vanuit het "Vacuüm Technisch Laboratorium" van AMOLF zijn tot in de jaren '90 vele vacuümcursussen georganiseerd waaraan ook velen uit het bedrijfsleven hebben deelgenomen. Deze cursussen leidden op tot door de Nederlandse Vacuüm Vereniging (NEVAC) georganiseerde examens die een wijdverspreide erkenning genoten. In de eerste jaren werd gebruik gemaakt van het boekje: Elementaire Vacuümtechniek, geschreven door Piet Rol. Later werd door AMOLF een completer en vernieuwd leerboek uitgegeven, dat tevens diende als naslagwerk. De nieuwste uitgave vormt nog steeds de basis voor cursussen op zowel HBO- als WO-niveau.



Ionenbundelkristallografie

J.F. van der Veen, Surface Science Reports 5, 199 (1985).

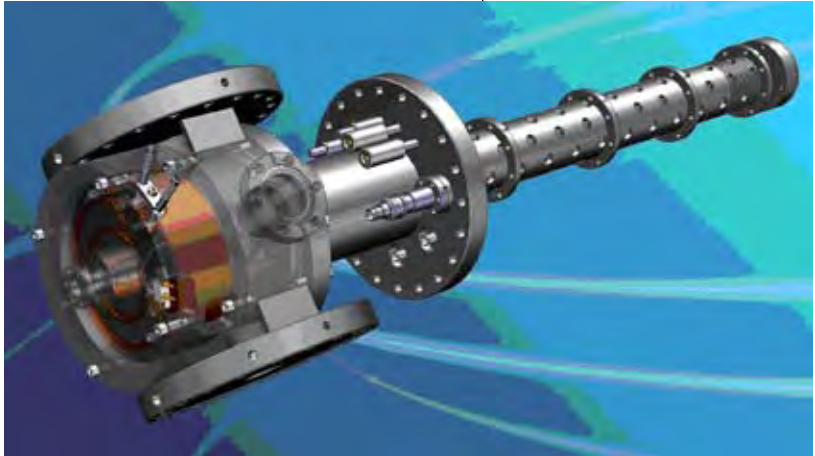
In de jaren '70 werd de basis gelegd voor een krachtige nieuwe meetmethode met extreem hoge gevoeligheid voor de roosterstructuur van de buitenste atoomlagen van vaste stoffen: medium energy ion scattering (MEIS). Ook voor metingen aan grensvlakstructuren, oppervlaktevibraties en de wanorde die bijvoorbeeld optreedt bij het verschijnsel oppervlaktesmelten was deze methode optimaal. Op basis van de ontwikkelingen bij AMOLF werd door High Voltage Engineering Europa BV een commercieel MEIS-instrument op de markt gebracht dat ook nu nog wereldwijd een trouwe schare gebruikers geniet.



Twee-deeltjes detector met tijds- en plaatsresolutie

D.P. de Bruijn en J. Los, Rev. Sci. Instrum. 52, 1020 (1982).

De microchannelplate werd door Joop Los uitgebreid met een uitlezing die meting van gecorreleerde snelle keV deeltjes mogelijk maakte met een plaatsresolutie van 60 µm en tijdsmeting beter dan 1 ns. Deze detector zorgde voor een revolutie in de translatiespectroscopie, een verhoging van de telsnelheid en een uitbreiding naar snelle neutralen. Hij stond centraal in een groot aantal AMOLF-promoties. De detector en het principe van 'imaging' van kinematica zijn een inspiratie geweest voor tientallen groepen wereldwijd.



1983

De 2π 'Kruit' spectrometer

P. Kruit en F.H. Read, J. Phys. E: Scient. Instrum. 16, 313 (1983).

In 1983 vonden Pieter Kruit en Frank Read een nieuw type time-of-flight elektronspectrometer uit: een 'magnetische fles' waarvan het veld alle elektronen uit een target binnen een 2π ruimtehoek naar de detector leidt. De eerste metingen met deze detector aan multifotonionisatie van Xe trokken zo de aandacht dat een grote community zo'n spectrometer wilde hebben. AMOLF droeg toen de rechten over aan een kleine laserfirma in Asten (N. Brabant), die binnen een aantal jaren bijna 100 exemplaren verkocht.



1984

Protonbestraling van CH₄ leidt tot verstuiwen van grote moleculen

A.E. de Vries, R. Pedrys, R.A. Haring, A. Haring en F.W. Saris, Nature 311, 39 (1984).

Een bundel protonen met een energie van enkele KeV die op een bevroren methaanoppervlak wordt gericht maakt grote koolwaterstofmoleculen los van het oppervlak, die vervolgens vrij het vacuüm in bewegen. Dit werk had implicaties voor de studie van planeten, waar deze processen ook kunnen optreden.

Werkzame doorsnede voor ladingsuitwisseling met gestripte ionen

D. Dijkkamp, D. Ciric en F.J. de Heer, Phys. Rev. Lett. 54, 1004 (1985).

De werkzame doorsnede voor ladingsuitwisseling in botsingen van atomair waterstof en C⁶⁺, N⁷⁺ en O⁸⁺ ionen is gemeten. De resultaten zijn in uitstekende overeenstemming met theoretische berekeningen. De resultaten zijn van belang voor plasmadiagnostiek.



Multifoton-ionisatie in sterke stralingsvelden

H.G. Muller en A. Tip, *Phys. Rev. A* 30, 3039 (1984).

Bij multifoton-ionisatie van atomen kan uit de energie van de uitgezonden elektronen worden afgeleid hoeveel fotonen geabsorbeerd zijn. Experimenten door Van der Wiel et al. lieten zien dat de eerste energetisch mogelijke pieken, die overeenkomen met een energie die net genoeg is om de ionisatiepotentiaal te overwinnen, in het spectrum ontbraken. Een theoretische verklaring van dit effect werd gevonden in de details van de vectorpotentiaal in de Hamiltoniaan. Dit werk leidde tot toekenning van de Teylers medaille aan de auteurs.

IN HET NIEUWS

Opening van versnellerfaciliteit

1987

De MeV-versnellerfaciliteit werd geopend met een concert voor cello en twee versnellers, gecomponeerd door Frances-Marie Uitti.



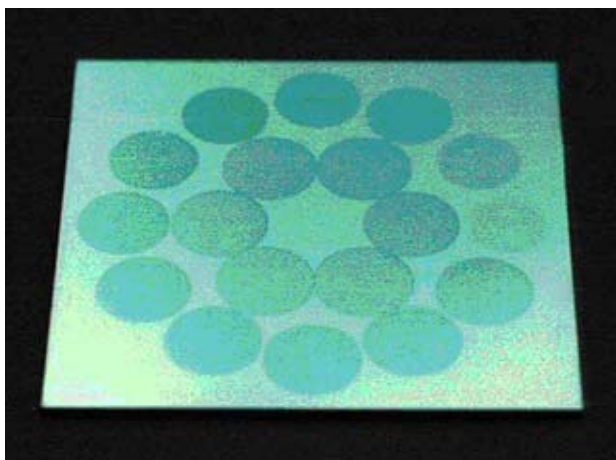
HIGHLIGHTS 1980-1989

1984

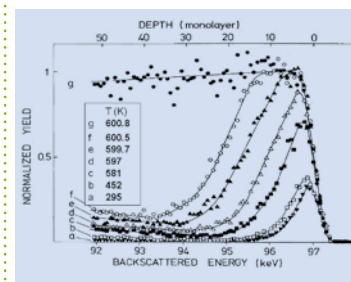
Explosieve kristallisatie van amorf silicium

W.C. Sinke en F.W. Saris, *Phys. Rev. Lett.* 53, 2121 (1984).

Silicium vormt de grondstof voor het leeuwendeel van elektronica en zonnecellen, 25 jaar geleden en nog steeds. Amorf en kristallijn zijn de twee belangrijkste verschijningsvormen en begrip van de overgang tussen die twee is van groot belang. Omdat amorf silicium meer energie bevat dan kristallijn silicium blijkt de overgang explosief te kunnen verlopen na "aantikken" met een laserpuls.



1985



Oppervlaktesmelten van lood

J.W.M. Frenken en J.F. van der Veen, *Phys. Rev. Lett.* 54, 134 (1985).

Voorspellingen dat smelten al ruim onder het normale smeltpunt bij het oppervlak zou beginnen bestonden al enige tijd. Het zou de verklaring zijn voor het meestal uitblijven van spontane oververhitting van vaste stoffen boven het smeltpunt. Het eerste overtuigende bewijs voor dit belangrijke verschijnsel kwam van ionenverstrooiingsmetingen aan het (110) oppervlak van lood.

De eerste Jacob Kistemakerprijs

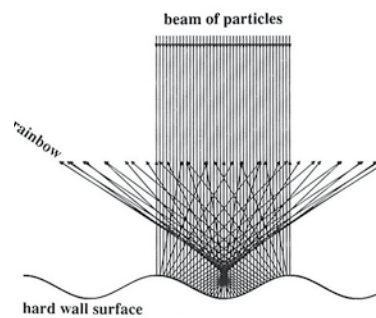
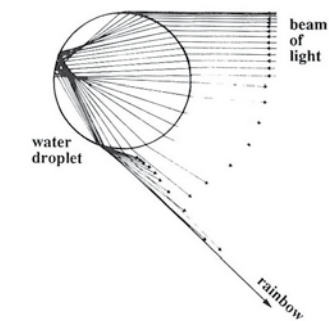
De eerste Jacob Kistemakerprijs wordt toegekend aan Frans Saris en Friso van der Veen voor hun werk aan oppervlaktefysica. Later ontvangen ook Wim Sinke (1992) en Joost Frenken (2007) deze prijs.

1986

Harpoeneren plakt moleculen aan een oppervlak

P. Haochang, T.C.M. Horn en A. W. Kleyn, *Phys. Rev. Lett.* 57, 3035 (1986).

Voor de eerste keer zijn harpoenovergangen gezien, die suggereren dat ladingsoverdracht van een oppervlak naar een molecuul de eerste stap vormt in de chemisorptie van moleculen aan oppervlakken.



MEQALAC: Multiple Electrostatic Quadrupole Array Linear Accelerator

R. Wojke et al. *Nucl. Instr. Meth. A* 300, 25.

In de MEQALAC versneller die op AMOLF werd ontwikkeld werden meerdere parallelle N^+ ionenbundels versneld door gebruik te maken van 32 in serie geschakelde radiofrequente versnelsecties, die werden bedreven op 25 MHz. De zeer intense ionenbundels werden gefocusseerd door een set van miniatuur-elektrostatisch quadrupole lenzen. De versneller is gebruikt om 1 mA N^+ bundels te versnellen naar 1 MeV. De versneller is ontwikkeld om te dienen als injector voor plamafysica-experimenten.

1987

Atomen in sterke stralingsvelden

M. Pont en M. Gavrilin, *Phys. Rev. Lett.* 65, 2362 (1990)

Gavrilin en Pont voorspellen dat de golf functie van het elektron in waterstof in superintense ultrakorte laserpulsen een nieuwe stabiele macroscopische toestand vormt: een doughnut voor circulair gepolariseerd laserlicht en een halter voor transversaal gepolariseerd licht.

Rondetijd van het elektron gemeten

A. ten Wolde, L.P. Noordam, A. Lagendijk, en H.B. van Linden van den Heuvell, *Phys. Rev. Lett.* 61, 2099 (1988).

Klassiek draait het elektron rond een positieve atoomkern. Quantummechanisch wordt een elektronbaan door een gedelokaliseerde golf functie gerepresenteerd. Door golven (eigentoestanden) op te tellen wordt het elektron toch weer gelokaliseerd en krijgt het pakketje ook een rondetijd die gelijk is aan de klassieke rondlooptijd. Met behulp van ultrakorte laserpulsen is het gelukt om deze rondetijd voor het eerst experimenteel vast te stellen. In de Belgische pers werd dit destijds omschreven als "Hollanders zien ze vliegen".

1988

Shell bouwt zonnecelfabriek met AMOLF-technologie

Het Shell dochterbedrijf R&S in Helmond bouwt een productielijn voor zonnecellen van polykristallijn silicium. Diverse processtappen die op AMOLF zijn ontwikkeld worden in het R&S productieproces toegepast.

MeV zware-ionenversneller

A. Polman et al., *Nucl. Instr. Meth. B* 37/38, 935 (1989).

Het oppervlakte-materiaalonderzoek op AMOLF vereiste in de jaren '80 steeds dikkere oppervlaktelagen. In samenwerking met High Voltage Engineering Europa BV werd een 1 MeV zware-ionenversneller ontwikkeld. Nieuw aan dit apparaat was een ionenbundelwisselsysteem, waarmee de bron kon worden vervangen zonder de versnellertank te openen en een speciaal ontworpen versnellerbuis die geen straling produceerde. De versneller werd tot 2002 gebruikt en leverde meer dan 250 publicaties en 25 proefschriften op.



DAAN FRENKEL

“Ik vroeg me af: HOE VORMEN DIE KRISTALLEN ZICH?”

Daan Frenkel werkte van 1987 tot 2008 bij AMOLF, eerst als groepsleider, later tevens als afdelingshoofd en lid van het managementteam. Hij gebruikt numerieke methoden voor onderzoek naar hoe orde ontstaat uit wanorde. Sinds 2008 is Frenkel verbonden aan de Universiteit van Cambridge.

“In de natuurkunde van eenvoudige systemen heb je genoeg aan theorie en experiment, maar voor complexere systemen is het vrijwel onmogelijk om kwantitatieve theoretische voorspellingen te doen. Als het experiment dan niet overeenkomt met de theorie, is het onmogelijk om te bepalen of de fout in de theorie zelf, in de benadering die je hebt moeten maken, of in het experiment zit. Strikt genomen zijn experimenten nooit fout: je meet wat je meet – maar soms is er een probleem met de interpretatie van die metingen. Dan bieden numerieke simulaties uitkomst. Simuleren is niet moeilijker dan uitrekenen met de hand, maar omdat een computer

vele malen sneller is, kun je hem een berekening vele malen laten herhalen. Simulaties zijn daarmee een soort experiment in de computer. Ze geven een voorspelling van de uitkomsten van een echt experiment.

Met mijn numerieke achtergrond was ik een vreemde eend in de bijt van AMOLF. Simuleren deed men in die tijd alleen bij de interpretatie van experimenten, maar nooit als doel op zich. Het instituut was destijds voornamelijk experimenteel gericht en het grootste deel van het onderzoek ging over atoomfysica en oppervlaktefysica. Mijn onderzoek sloot aan bij het experimentele



“Met simulaties kun je ook experimenten nabootsen die technisch nog niet mogelijk zijn.”

onderzoek naar vloeibare kristallen en polymeren, van onder andere Wim de Jeu. Ik was vanuit numeriek oogpunt geïnteresseerd in hoe spontane ordening ontstaat in wanordelijke materialen en dat is precies wat er bij de vorming van een kristal ook gebeurt.

Het leuke van simulaties is dat je ook experimenten kunt nabootsen die technisch nog niet mogelijk zijn. Je kunt bijvoorbeeld de ordening in materialen onderzoeken die

nog niet zijn gemaakt. Hierdoor hebben we met simulaties voorspellingen kunnen doen die pas tien of vijftien jaar later experimenteel zijn bevestigd. Eén van de vragen die onze simulaties wisten te beantwoorden was wat de invloed van lading is op de snelheid van kristalvorming. Ook gaven onze berekeningen inzicht in de manier waarop de kristallisatie van eiwitten kan worden versneld.

Ik heb altijd dankbaar gebruik gemaakt van de goede wetenschappelijke sfeer op AMOLF en van de mogelijkheden die er waren om echt nieuwe dingen te ontwikkelen. In mijn geval ging dat niet om ingewikkelde technische apparatuur, maar wij kregen wel de tijd om te investeren in compleet nieuwe rekenmethoden. In feite maakten we dus een ‘numeriek apparaat’. Dat gaf ons de kans om ook daadwerkelijk goede voorspellingen te doen over de stabiliteit van kristallen en de snelheid waarmee ze zich vormen.” •

DE GEBOUWEN VAN AMOLF



1960 KRUISLAAN 407

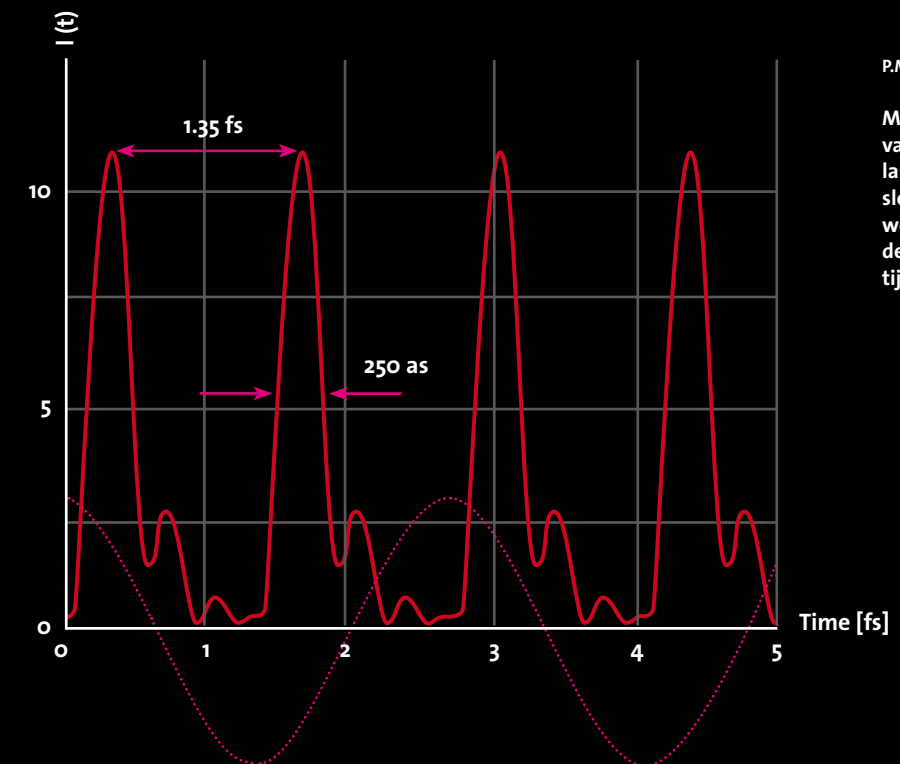
1970 AANBOUW

1986



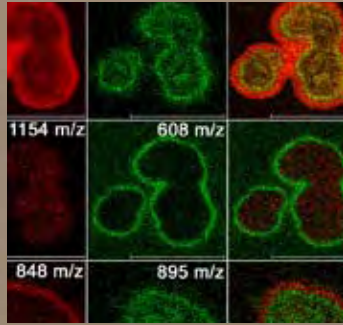
2009 SCIENCE PARK 104

DE KORTSTE LASERPULS
250 ATTOSECONDEN (0,000.000.000.000.000.25 S)



P.M. Paul et al., Science 292, 1689 (2001)

Met behulp van de generatie van hoge harmonischen werden laserpulsen met een duur van slechts 250 attoseconden opgewekt. Hiermee werd het mogelijk de bewegingen van elektronen tijdsopgelost te bestuderen.



Afbeelding van eiwitten gemaakt met massaspectrometrie.

1990...1999

DE JAREN NEGENTIG

De fysica van zachte materialen komt op als nieuw thema voor fundamenteel onderzoek met belangrijke toepassingen. AMOLF start vervolgens onderzoek naar de fysica van levende systemen. Het richt zich eerst op enkele biomoleculen zoals het hier schematisch weergegeven DNA; later op complexere systemen. AMOLF kent een grote dynamiek: tweederde van de medewerkers heeft een tijdelijke aanstelling en stroomt na enkele jaren door. Het onderzoek wordt steeds internationaler. Ook komen steeds meer buitenlandse promovendi naar Nederland om hier onderzoek te doen.

Na de ontdekking van oppervlaktesmelten richt de oppervlakfysica zich steeds meer op de dynamica van oppervlakken door gebruik te maken van scanning probes en röntgenverstrooiing. Het succesvolle zonnecelprogramma verhuist in zijn geheel naar het ECN in Petten. Het onderzoek naar zachte gecondenseerde materie en computerfysica, dat al in de jaren '80 was gestart, neemt een grote vlucht. De eerste experimenten op het gebied van fysica van bio-

moleculaire systemen beginnen. In extreem sterke (laser) stralingsvelden wordt atoom- en molecuulfysica op extreem korte tijdschalen mogelijk. Quantumgassen komen als nieuw onderwerp het instituut binnen, evenals optoelektronica en ultrasnelle dynamica in gecondenseerde materie. De massaspectrometrie gaat zich richten op moleculaire oorzaken van verouderingsprocessen in schilderijen.

Zonnecellen van AMOLF naar ECN

W.C. Sinke et al.

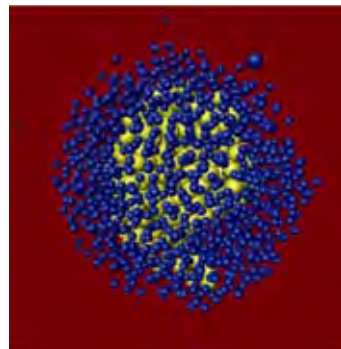
Na een aantal jaren van pioniersonderzoek aan zonnecellen in de jaren '80 werd het programma in 1990 overgedragen aan het Energie-onderzoek Centrum Nederland (ECN). Onderwerpen, apparatuur en onderzoekers verhuisden. Bij ECN kon het onderzoek zich verder ontwikkelen en verbreden in de richting van technologie en toepassingen. Met zeer veel succes: bij ECN werken nu 85 mensen aan alle aspecten van fotonische conversie en de afdeling speelt een vooraanstaande rol in Europa en ver daarbuiten. ECN heeft daarnaast meerdere wereldrecords zonnepaneelrendement op zijn naam staan.

1991

Licht wordt sterk vertraagd in verstrooiende media

M.P. van Albada, B.A. van Tiggelen, A. Lagendijk, en A. Tip, *Phys. Rev. Lett.* **66**, 3132 (1991).

Op grond van experimenten en theorie vond de AMOLF-groep dat de voortplanting van licht extreem - tot wel een factor 10 - vertraagd kon worden in verstrooiende media. Aanvankelijk ondervond deze ontdekking enorm veel weerstand in de wetenschappelijke gemeenschap, vooral omdat het een voorbeeld betrof waarin elektronen en licht zich verschillend gedragen. Nu betreft het een mijlpaal die ook bevestigd is voor andere klassieke golven, zoals geluid.



Fasengedrag van ketenmoleculen voorspeld

D. Frenkel, G.C.A.M. Mooij en B. Smit, *J. Phys. Condensed Matter* **3**, 3053 (1991).

In de periode 1960-1970 werden numerieke technieken ontwikkeld om het fasengedrag van edelgassen en kleine moleculen te voorspellen. Echter, die technieken waren onbruikbaar voor grotere moleculen. De nieuwe methode die in 1991 op AMOLF werd ontwikkeld is (nog steeds) de standaardmethode om het fasengedrag van ketenmoleculen te voorspellen. De methode is daarna ondermeer door andere onderzoekers toegepast om nieuwe katalysatoren te ontwerpen.

Vibratieconstante van O_2^- moleculen

W.J. van der Zande, *Chem. Phys.* **157**, 287 (1991).

Dat een molecuul geïoniseerd kan worden is bekend; dat je twee elektronen uit een molecuul kan halen zonder dat het meteen explodeert is wellicht verrassend. De twee-deeltjes detector van Joop Los maakte het mogelijk om een hele kleine fractie aan O_2^- in een bundel van O^+ te bestuderen en de eigenschappen te bepalen. Deze klasse moleculen werd nog even gezien als een begin van zeer hoge-energie brandstof. Met deze ontdekking begon een onderzoeksrichting voor een paar jaar.



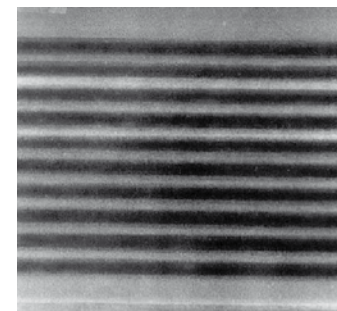
200° AMOLF proefschrift
R.G. van Silfhout: Structure and morphology of static and growing Ge(111) surfaces (Universiteit Leiden, 1992)
Promotor: J.F. van der Veen

TOEPASSING!

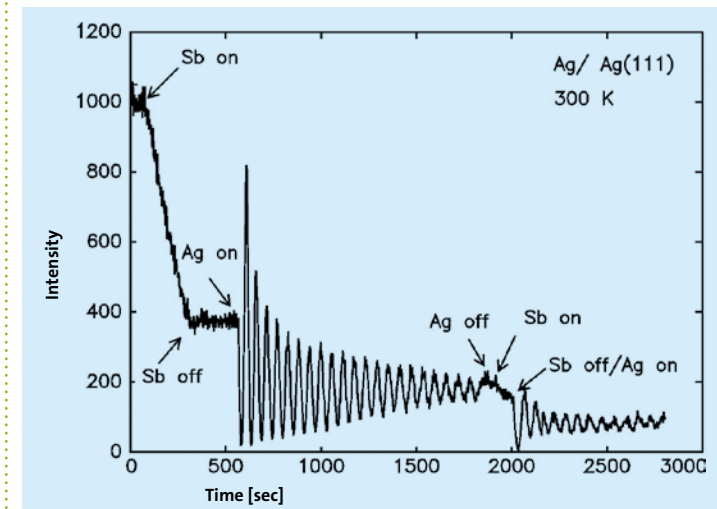
Röntgenspiegels met ultragladde multilagen

E.J. Puik, M.J. van der Wiel, H. Zeijlemaker en J. Verhoeven, *Appl. Surf. Sci.* **47**, 251 (1991).

Multilagen van bijvoorbeeld Ni/C en W/C zijn efficiënte spiegels voor röntgenstraling. Voor optimale reflectie moeten de grensvlakken binnen tienden van nanometers vlak zijn. De oppervlakteruwheid die vormt tijdens het groeien van de lagen kon worden weggepolijst met behulp van edelgas-ionen. Dit leverde een drie keer hogere reflectie op voor multilaagspiegels voor straling met een golflengte van 3.2 nm. Het onderzoek naar X-ray multilaagspiegels werd in de loop van de jaren '90 verplaatst naar het FOM-Instituut Rijnhuizen. Daar heeft het vervolgens de basis gelegd voor een groot Industrial Partnership Program (IPP) van FOM met Zeiss. Dit leidde weer tot een succesvolle toepassing van deze spiegels in de nieuwste EUV scanner van ASML, waarmee 13.6 nm straling wordt gebruikt voor lithografie.



1992



'Zeep' voor gladde kristalgroei

H.A. van der Vegt, H.M. van Pinxteren, M. Lohmeier, E. Vlieg en J.M.C. Thornton, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3335 (1992).

's Werelds eerste in-situ metingen van kristalgroei met behulp van röntgendiffractie werden door AMOLF in 1988 gerealiseerd. Vier jaar later ontdekten de onderzoekers door toeval, in de laatste vier uur van een experiment van twee weken vol tegenslagen, dat antimoon ervoor zorgt dat zilver veel gladder groeit op het (111) oppervlak.

Nucleatiesnelheden voorspeld

J.S. van Duijneveldt en D. Frenkel, *J.Chem.Phys.* **96**, 4655 (1992).

Nucleatie is een verschijnsel dat bijzonder infrequent kan zijn (uren, dagen, maanden, jaren) en dat maakt directe simulatie van dit verschijnsel moeilijk. In het begin van de jaren '90 werd op AMOLF een techniek ontwikkeld die het mogelijk maakte om direct nucleatie-barrières te berekenen. Dit werk (en de vele daaropvolgende AMOLF-publicaties) hebben geresulteerd in een nieuwe opbloei van de studie van kristal-nucleatie.



Professor HG geeft les in balans houden

April 1997
Harm Geert Muller geeft natuurkundeles in de André van Duin Show.

HIGHLIGHTS 1990-1999

1993



Stabilisatie tegen ionisatie

M. Pont en M. Gavrilin, Phys. Rev. Lett. 65, 2362 (1990).

Theoretisch werk van Gavrilin e.a. voorspelde dat atomen in een extreem intense laserpuls stabiel zouden zijn tegen ionisatie. Dit tegen-intuïtieve idee werd nu voor het eerste experimenteel bevestigd met neon-ionen in een 100 fs laserpuls met een intensiteit van 10^{14} W/cm².



1995
Ionenbeweging in de nieuwe Fourier Transform Ionen Cyclotron Massspectrometer

1996

Miniatuur erbium lichtversterker

G.N. van den Hoven, A. Polman, C. van Dam, J.W.M. van Uffelen en M.K. Smit, Appl. Phys. Lett. 68, 1886 (1996).

De eerste geïntegreerde optica op AMOLF. Een 600 nm dikke Al₂O₃ lichtgeleider op een Si substraat werd gedoteerd met erbium-ionen door gebruik te maken van de MeV ionenversneller. Met een pomplaser kon een signaal bij 1.5 micrometer met een factor 2 worden versterkt. Lichtversterkers op silicium zijn belangrijk omdat ze optica en micro-elektronica met elkaar kunnen verbinden. Deze structuur is (nog steeds) 's werelds kleinste erbium optische versterker en werd later door het Amerikaanse bedrijf Symmorphix tot een product verwerkt.

Wanneer verlaat een elektron een atoom?

M. Lankhuijzen en L.D. Noordam, Phys. Rev. Lett. 76, 1784 (1996).

Een atoom dat een foton absorbeert kan ioniseren. Maar hoe lang duurt het voordat het elektron daadwerkelijk het atoom verlaat nadat het de fotonenergie heeft opgenomen? Met behulp van een op AMOLF ontwikkelde streak camera konden de onderzoekers als eerste meten wanneer het elektron aan het atoom ontsnapte: het duurde toch nog enkele picoseconden. De streakcameratechnologie werd gepatenteerd en gebruikt om een ver-infrarooddetector te bouwen met een resolutie van slechts 2 oscillaties van het elektromagnetische veld.



1997

Mechanisme van eiwitkristallisatie

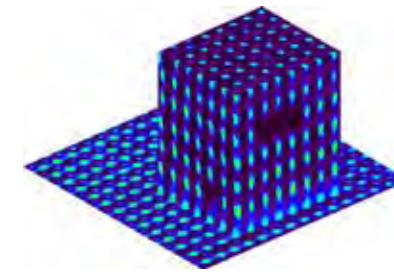
P.R. Ten Wolde en D. Frenkel, Science 277, 1975 (1997).

Veel eiwitoplossingen vertonen een opmerkelijk fasengedrag: een oververzadigde oplossing ontmengt spontaan in een geconcentreerde en verdunde fase. Berekeningen lieten zien dat de snelheid van kristal nucleatie omhoogschiet, vlak boven het kritieke punt van de metastabiele ontmengcurve. Dit verschijnsel heeft belangrijke praktische consequenties voor het kiezen van de optimale condities voor het groeien van eiwitkristallen voor röntgendiffractie.

Reactiviteit van een oppervlak verandert binnen een Ångstrom

D.A. Butler, B. Berenbak, S. Stolte en A. W. Kleyn, Phys. Rev. Lett. 78, 4653 (1997).

Het blijkt dat een oppervlak dat is bedekt met waterstofatomen optreedt als een perfecte spiegel voor invallende NO-moleculen, maar ook de helft van deze moleculen invangt. Geconcludeerd kon worden dat de reactiviteit van een door waterstof bedekt Ru oppervlak vlak bij de waterstof lokaal teniet wordt gedaan.



Colloïdale kristallen groeien op een gestructureerd oppervlak

A. van Blaaderen, R. Ruel en P. Wiltzius, Nature 385, 321 (1997)

Epitaxiale kristalgroei bestaat uit het groeien van een kristal van een verschillend materiaal op een éénkristal van een ander materiaal met ongeveer dezelfde rooster constante. Via deze methode kunnen zelfs kristallen worden gegroeid die niet de evenwichtsstructuur hebben. Deze techniek die nu colloïdale epitaxie heet hebben we vertaald naar de groei van colloïdale deeltjes.

1998

Magneto-optische val als bron voor koude atomen

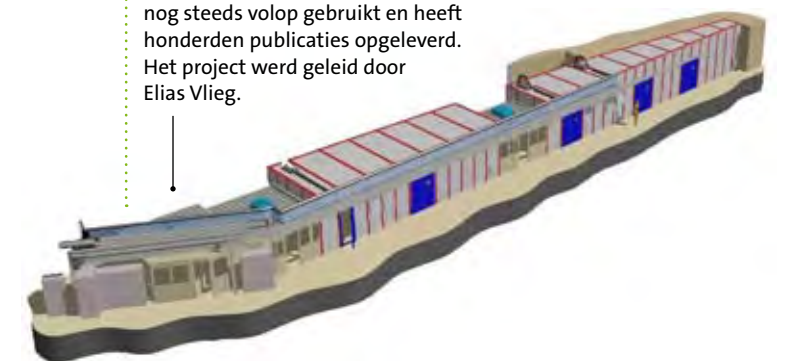
K. Dieckmann, R. Spreeuw, M. Weidemüller en J.T.M. Walraven, Phys. Rev. A 58, 3891 (1998).

Optische koeling in twee dimensies blijkt bij uitstek geschikt voor het bouwen van compacte, schone en intense bronnen van koude atomen. De eerste bron van dit type werd op AMOLF gebouwd.

DUBBLE bundellijn bij ESRF

M. Borsboom et al. J. Synchr. Rad. 5, 518 (1998).

De complete technische infrastructuur van AMOLF is in de periode 1994-2000 ingezet om de 'Dutch Belgian BeamLine' te ontwerpen en realiseren bij het ESRF synchrotron in Grenoble. Dit betrof het ontwerp van de volledige lay-out en fabricage van optische elementen en delen van de experimentele apparatuur. De DUBBLE bundellijn wordt nog steeds volop gebruikt en heeft honderden publicaties opgeleverd. Het project werd geleid door Elias Vlieg.



BART NOORDAM

“Ik vroeg me af: **WANNEER VERLAAT EEN ELEKTRON EEN ATOOM?”**”

Bart Noordam deed van 1987 tot 1990 promotieonderzoek op AMOLF. Hij kwam in 1992 terug als groepsleider en werd later afdelingshoofd, tot 2000. Van 2002 tot 2005 was hij de vijfde directeur van het instituut. Momenteel is Noordam decaan van de Faculteit Natuurwetenschappen aan de Universiteit van Amsterdam.

“Als je licht met de juiste hoeveelheid energie op een atoom af stuurt, kan een elektron die energie opnemen en gebruiken om het atoom te verlaten. Dit zogenaamde foto-elektrisch effect is al sinds Einstein bekend. Ik vroeg me echter af, wanneer het elektron nu precies het atoom verlaat. Is dat direct na opname van de fotonenergie, of ‘een tijdje’ later? Met die laatste mogelijkheid hield ik rekening, want tijdens mijn promotie had ik metingen gedaan aan de ‘rondetijden’ van elektronen. Ik wist dus hoe lang een elektron doet over zijn baan rond de atoomkern.

Eigenlijk was het een simpele vraag, maar hij was nooit eerder gesteld. Bovendien was hij lastig te beantwoorden. Onderzoek

naar elektronen doe je namelijk bijna altijd met licht, maar een vrij elektron kan geen licht opnemen. Je kunt het dus niet zien! Bij AMOLF kreeg ik de mogelijkheid om apparatuur te ontwerpen en te maken waarmee ik het tijdstip van wegschieten toch nauwkeurig kon bepalen. Dat deden we door de elektronen af te buigen en ze daarna te detecteren.

Het bleek dat elektronen na opname van de fotonenergie soms wel drie of zelfs tien ronden door ‘vliegen’ voordat ze het atoom verlaten. Het precieze moment waarop het elektron het atoom verlaat, hangt onder andere af van de eigenschappen van het atoom en de energie van het foton. Deze ontdekking opende een heel arsenaal aan nieuwe onderzoeksvragen.

Ik kon bijna niet snel genoeg meten om alles te zien wat ik wilde zien.

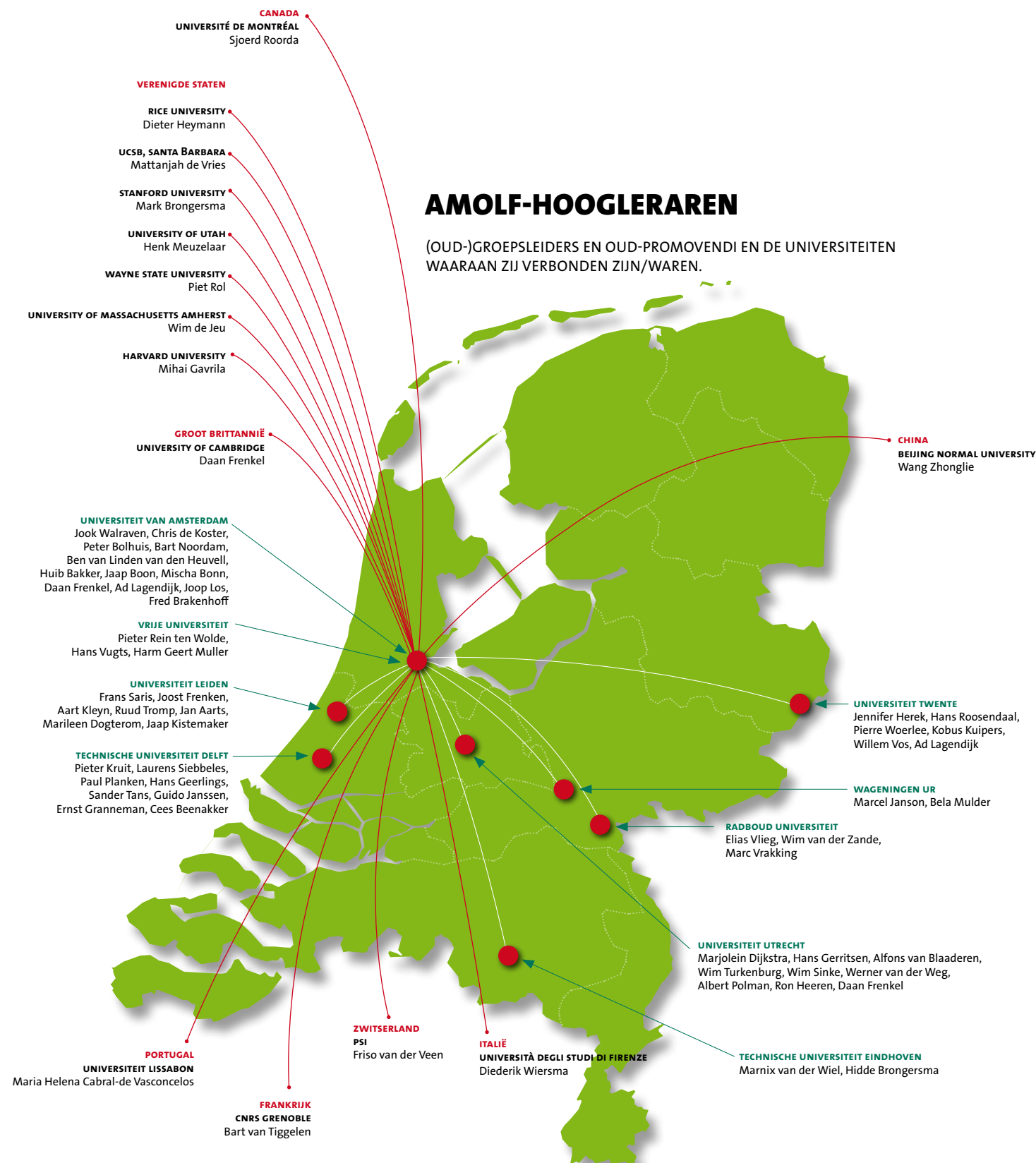
Het was ons geluk dat het elektron nog even bleef rondhangen voordat het wegschoot. Ik vergelijk het met het zoeken naar olie, ook daarbij hoop je een veld te vinden waar je nog lang plezier van hebt. Indien was gebleken dat het elektron meteen weg schiet, hadden we het antwoord geweten, maar dat was lang niet zo interessant geweest. Nu boorden we met ons onderzoek een rijke bron aan, waar veel uit voortvloeide, waaronder een patent op de IR streakcamera en verschillende veelbelovende onderzoeksvelden.

Omdat wij zelf onze apparatuur hadden ontwikkeld, konden we in die onderzoeksvelden ook steeds voorop lopen. Dat gold niet alleen voor mijn groep, maar voor het instituut als geheel. De sfeer van samenwerken binnen AMOLF was daarbij heel belangrijk. Van de ongeveer honderd AMOLF-publicaties op mijn naam, is zeker de helft in samenwerking met andere groepen tot stand gekomen.” •

“Het was ons geluk dat het elektron nog even bleef rondhangen.”

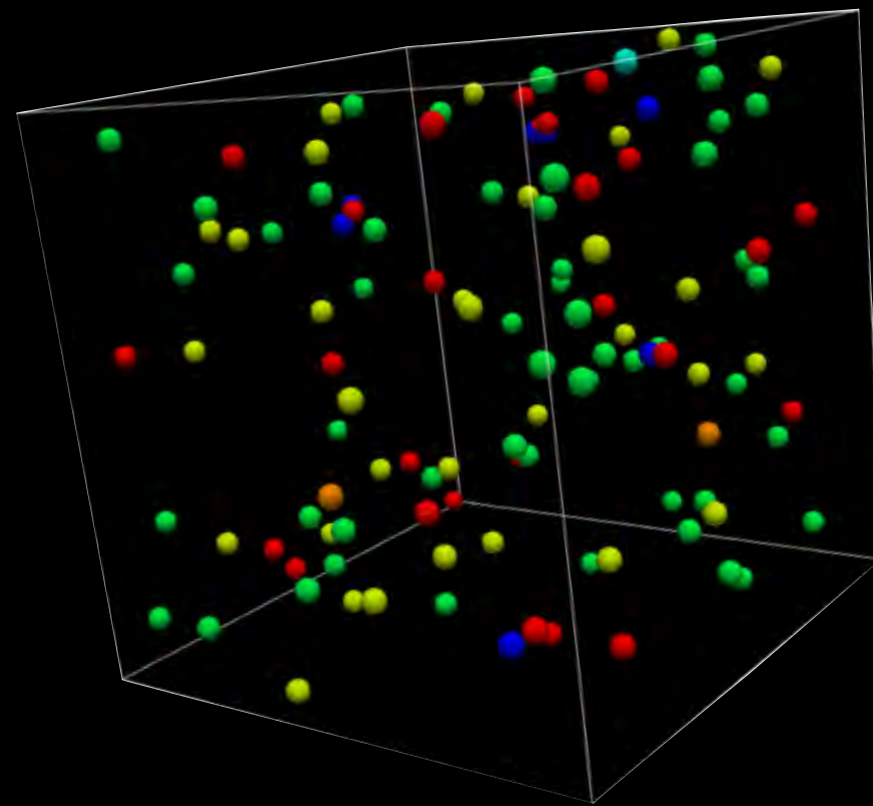
AMOLF-HOOGLERAREN

(OUD-)GROEPSLEIDERS EN OUD-PROMOVENDI EN DE UNIVERSITEITEN WAARAAN ZIJ VERBONDEN ZIJN/WAREN.

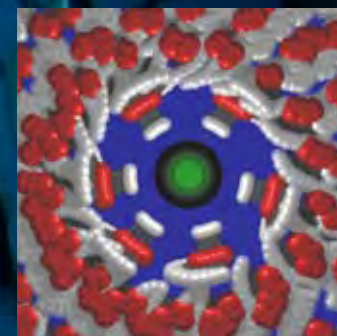


HET SNELSTE ALGORITME BIOCHEMISCHE NETWERKEN OP MOLECULAIR NIVEAU SIMULEREN

J. S. van Zon en P. R. ten Wolde,
Phys. Rev. Lett. 94, 128103 (2005).



Biochemische netwerken zijn de analoge computers van het leven. Er is nu een algoritme ontwikkeld om dit soort netwerken op moleculair niveau te simuleren, dat ordes van grootte sneller is dan bestaande numerieke technieken. Dit maakt het nu mogelijk grote biologische systemen te simuleren.



De structuur en dynamica van water zijn met ultrasnelle lasertechnieken bepaald.

2000...2009

HET BEGIN VAN DE 21STE EEUW

Opkomst van de nanotechnologie. Doordat fabricage- en meettechnieken steeds verfijnder worden komt de nanoschaal in beeld. De biomoleculaire fysica profileert zich als nieuw onderzoeksgebied. Wetenschap wordt steeds meer multidisciplinair: natuurkundigen, scheikundigen en biologen werken steeds meer samen en op het grensvlak van disciplines ontstaan nieuwe onderzoeksgebieden. Onderzoekers spelen een grotere rol in het maatschappelijk debat. De samenleving vraagt steeds nadrukkelijker naar het nut van wetenschappelijk onderzoek en het begrip "valorisatie" komt op: kennisoverdracht naar maatschappij en industrie.

Aan het begin van de 21^e eeuw herpositioneert AMOLF zich opnieuw. Het focuseert zich op twee hoofdthema's waarvan de kiem al in de jaren '90 werd gelegd: fysica van biomoleculaire systemen en nanofotonica. Quantumgassen, atoom- en molecuulfysica verhuizen naar diverse universiteiten en het kunstonderzoek wordt afgesloten. Massaspectrometrie richt zich op imaging voor

biomedische toepassingen. Het werk aan ultrasnelle dynamica van moleculen richt zich steeds sterker op biofysische vraagstukken. Kennisoverdracht naar de maatschappij en samenwerken met de Nederlandse en Europese universiteiten wordt steeds belangrijker. Diverse onderzoeksgroepen werken samen aan fundamenteel onderzoek aan zonnecellen.



Opening Amsterdam nanoCenter

Met de opening van een ultra-moderne cleanroom in 2003 kreeg AMOLF de beschikking over moderne nano-fabricage technieken zoals elektronenbundel-lithografie, optische lithografie, focussed ion beam milling en soft lithography. Deze faciliteiten zijn essentieel in het onderzoek in nanofotonica en biomoleculaire fysica.

2000

Spin-off bedrijf oppervlakpreparatie

Het prepareren van schone en gladde oppervlakken was essentieel voor het oppervlakfysica-onderzoek op AMOLF. Onderzoekstechnicus René Koper had zich hierin gespecialiseerd en kreeg uit de hele wereld verzoeken om kristallen en andere oppervlakken te prepareren. In 2000 begon hij voor zichzelf. Surface Preparation Laboratories (Zaandam) is nu een succesvol bedrijf dat diensten verleent aan bedrijven en instituten in binnen- en buitenland.

Palladium deeltjes bewegen over een TiO₂ oppervlak

M.J.J. Jak, A. van Kreuningen, C. Konstapel, J. Verhoeven en J.W.M. Frenken, *Surface Science* 457, 295 (2000).

Metaaldeeltjes op een keramische drager vormen een katalytisch systeem dat wordt toegepast in de chemische procesindustrie. Na enige tijd vermindert de activiteit van zo'n systeem. Dit wordt vaak toegeschreven aan de groei van de deeltjes als gevolg van de diffusie van atomen over het oppervlak of aan de migratie van complete clusters. Met behulp van een variabele-temperatuur (video-snelheid) STM is aangetoond dat palladium deeltjes van ≈ 2 nm zich in hun geheel over een TiO₂ (110) oppervlak bewegen.

2001

MOLART toegepast in de kunstwereld

Het MOLART-programma onderzoekt verouderingsaspecten van verf en vernis op schilderijen en polychrome beelden met behulp van massaspectrometrie en chemische microscopie. MOLART en het vervolgprogramma De Mayerne werden in 2006 formeel afgesloten met een symposium. De onderzoekers in deze programma's vonden hun weg als onderzoekers bij kunstonderzoeksinstituten, musea, onderwijs en chemische industrie. Met spinoffbedrijven opgericht door MOLART-onderzoekers wordt onderzoek verricht voor musea en restauratoren in binnen- en buitenland. Recent uitgevoerde projecten betreffen bijvoorbeeld schilderijen van Vermeer, Jordaens, Rothko en Rembrandt.

Voorspelling van kristalnucleatie

S. Auer en D. Frenkel, *Nature* 409, 1020 (2001).

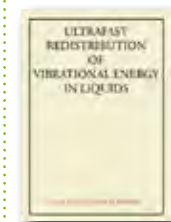
Met behulp van de numerieke technieken die op AMOLF werden ontwikkeld lukte het om de kristalnucleatiesnelheid te voorspellen van een simpel en goed gekarakteriseerd modelsysteem, namelijk colloïdale "harde bollen". Deze berekeningen toonden aan dat de overeenstemming tussen theorie en experiment (die tot dan toe niet echt getoetst kon worden) lang niet zo goed als was aangenomen.

2002

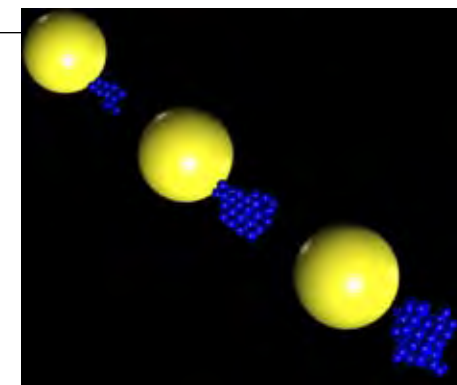
Bose-Einstein condensatie buiten thermisch evenwicht

I. Shvachuck, C. Buggle, D. Petrov, K. Dieckmann, M. Zielonkowski, M. Kemmann, T. Tiecke, W. von Klitzing, G. Shlyapnikov en J.T.M. Walraven, *Phys. Rev. Lett.* 89, 270404 (2002)

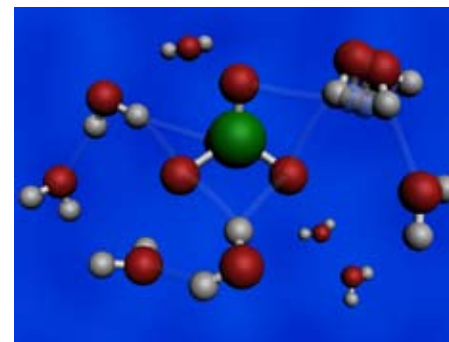
Met dit experiment werd aangetoond dat Bose-Einstein condensaten gevormd worden als lokaal aan de condensatieconditie wordt voldaan. Dit soort condensaten vertonen sterke fasefluctuaties, die gemeten kunnen worden door de materiegolf te focuseren en de afmeting van het focus te meten.



300^e AMOLF proefschrift M.A.F.H. van den Broek: Ultrafast redistribution of vibrational energy in liquids (Universiteit van Amsterdam, 2002) Promotor: H.J. Bakker



2003



Water wordt traag rond ionen

M.F. Kropman, A.W. Omta en H.J. Bakker, *Science* 291, 2118 (2001)

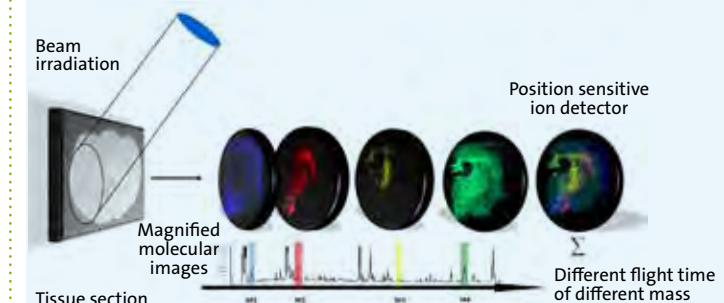
Ongeveer 70% van het water op aarde en in ons lichaam is zout water, d.w.z. water met een hoge concentratie opgeloste ionen. Het effect van ionen op water is onderzocht met mid-infrarood lichtpulsen met een duur van ~ 100 femtoseconden. Het resultaat van dit onderzoek is samengevat in bovenstaande 'foto' van water rond een ClO₄⁻ ion die weergeeft dat water rond een ion veel langzamere waterstofbrugdynamica en rotatiedynamica vertoont dan watermoleculen in bulk water.

2004

Massamicroscopie

De op AMOLF ontwikkelde massamicroscopie maakt met behulp van stigmatische ionenoptiek directe afbeeldingen van biomacromoleculaire ionen van weefseloppervlakken. De massamicroscopie gebruikt vluchtijds-massaspectrometrie voor moleculaire identificatie en laser-desorptietechnieken om intacte moleculaire ionen zoals peptiden, proteïnen en DNA uit oppervlakken vrij te maken. Met deze techniek is het mogelijk om zonder specifieke moleculaire labels de moleculaire morfologie van weefselcoupes snel en gedetailleerd in kaart te brengen.

THE MASS MICROSCOPE



2005

Moleculaire machines geflitst

O.F.A. Larsen, P. Bodis, W.J. Buma, J.S. Hannam, D.A. Leigh en S. Woutersen, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102, 13378 (2005).

Moleculaire machines zijn niet alleen klein, maar bewegen ook zeer snel. Dat maakt het lastig hun werking in beeld te brengen. AMOLF-onderzoekers wisten een moleculaire machine te 'flitsen' met twee korte infrarode lichtpulsen, waardoor de beweging van de machine kon worden gevolgd met een tijdsoplossend vermogen van 1 biljoenste seconde.

Nieuw licht

In 2007 publiceerde NRC Handelsblad een paginagroot artikel over het nanofotonica-onderzoek op AMOLF, genaamd Nieuw licht.

Fragment: Welkom in de wereld van het Nieuwe Licht. Dankzij nanofotonica kunnen we licht opsluiten in een doosje, wordt wanorde nuttig, kunnen we minuscule lasers construeren en blijkt door een goudzeefje verrassend veel licht te gaan. Een rondgang.

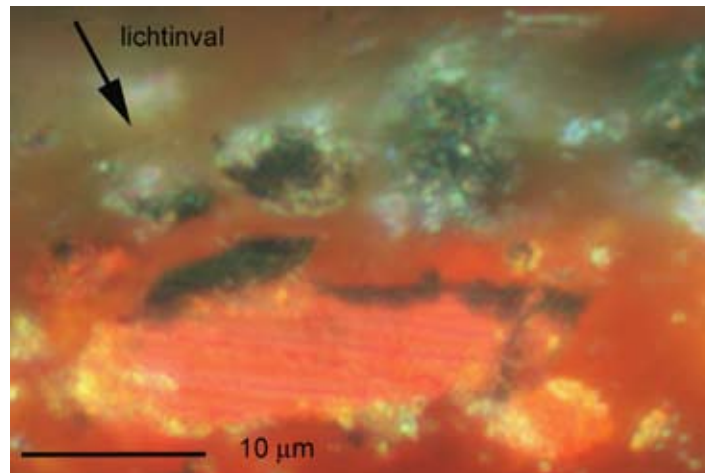


Nanofotonica inspireert beeldend kunstenaar

Het onderzoek van Kobus Kuipers inspireerde beeldend kunstenaar Voebe de Gruyter om een monument te maken voor de slachtoffers van chemische wapens, ter gelegenheid van de 10^e verjaardag van de Organisation for Prohibition of Chemical Weapons (OPCW) in Den Haag. Het monument werd in mei 2007 onthuld door Koningin Beatrix.



2005



Het zwarten van vermiljoen

K. Keune en J.J. Boon, *Anal. Chem.* 4742 (2005)

De zwarte korst op vermiljoen (HgS) in verouderde schilderijen is een reactieproduct van het HgS met chloride. Het chloride verkleint de bandgap waardoor er lichtgeïnduceerde elektrochemische processen kunnen optreden: Hg(II) wordt gereduceerd tot Hg(0) als nanobolletjes van metallisch kwik (optisch zwart) en het sulfide oxideert tot SO₂ dat verdampt. Vervolgens reageren chlorides met metallisch kwik tot diverse witte kwikchlorides. Dit inzicht was van belang om verouderingsprocessen in schilderijen te begrijpen.

Jaap Boon ontvangt in 2007 voor zijn onderzoek de Gilles Holst medaille van de KNAW.



AMOLF start groep bij Philips

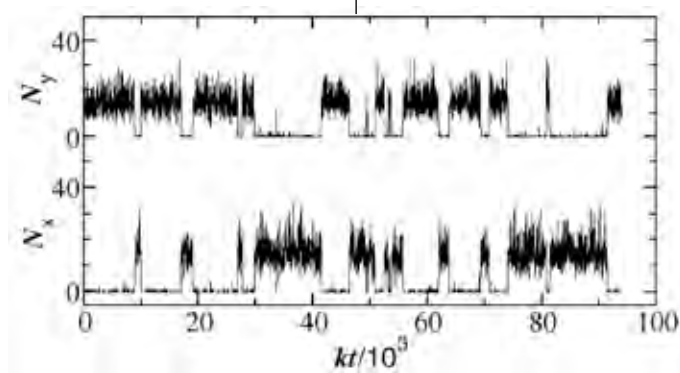
In 2005 begon AMOLF een nieuwe onderzoeksgroep, die werd gevestigd op de campus van Philips Research in Eindhoven. De groep, onder leiding van Jaime Gómez Rivas, verricht fundamenteel onderzoek naar het concentreren en geleiden van licht. De kennis is relevant voor toepassingen in onder meer verlichting en bio-sensoren. Met deze samenwerking is de kennisoverdracht tussen AMOLF en Philips (in beide richtingen) aanzienlijk versterkt. Het contract tussen FOM en Philips is in 2010 verlengd.



Zeldzame, maar belangrijke gebeurtenissen gesimuleerd

R. J. Allen, P. B. Warren en P. R. ten Wolde, *Phys. Rev. Lett.* 94, 018104 (2005).

Files, financiële crashes, kristal-nucleatie, eiwitvouwing, polymeertranslocatie, omklappen van genetische schakelaars: het zijn allemaal voorbeelden van rare events - gebeurtenissen die niet vaak voorkomen, maar als ze voorkomen, wel grote gevolgen hebben. Er bestaat nu een algoritme dat ons in staat stelt dit soort zeldzame gebeurtenissen in evenwichts- en niet-evenwichtssystemen efficiënt te simuleren.



Lokalisatie van neuropeptiden in hersenweefsel



A.F.M. Altelaar, J. van Minnen, C.R. Jiménez, R.M.A. Heeren en S.R. Piersma, *Anal. Chem.* 77, 735 (2005)

Neuropeptiden in het brein regelen levensbelangrijke biologische processen zoals voortplanting en eetgedrag. De chemische structuur van de neuropeptiden bepaalt samen met de locatie welke processen aan- of uitgezet worden. Met behulp van hoge-resolutie imaging massaspectrometrie is bepaald welke neuropeptiden in welke neuronale cellen actief zijn gedurende bepaalde levensstadia van de zoetwaterslak *Lymnea stagnalis*.

2006

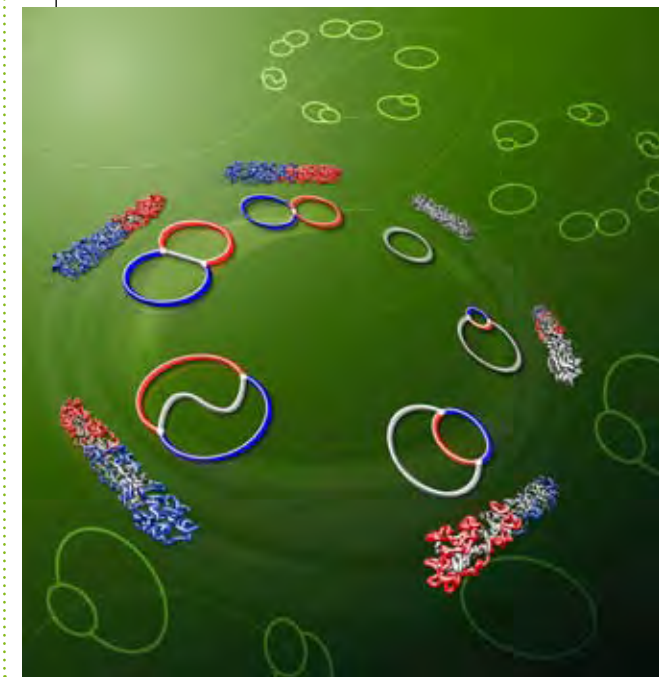
Entropie als 'motor' in levende cellen

S. Jun en B.M. Mulder, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103, 12388 (2006).

Het is nog altijd een raadsel hoe bacteriën hun gekopieerde chromosomen netjes verdelen bij de celdeling. Computersimulaties laten zien dat lange polymeren in een klein celvormig volume vanzelf uit elkaar gaan en zich verdelen over de celhelften. De drijvende kracht hiervoor wordt geleverd door entropie: de 'wanorde' waar alle moleculen naar streven.

De Nationale Denktank

In 2004 deed een groep AMOLF-promovendi en postdocs mee aan een essaywedstrijd van de Stichting de Avond voor Wetenschap en Maatschappij. Zij wonnen de tweede prijs met hun idee voor het opzetten van 'De Nationale Denktank'. Doel is met een groep jonge wetenschappers oplossingen te vinden voor maatschappelijke problemen door de expertise van wetenschap, bedrijfsleven en overheidsorganisaties te combineren. De Denktank kiest jaarlijks een onderwerp, waar een groep van zo'n 20 streng geselecteerde studenten en promovendi drie maanden samen aan werken. Sinds de oprichting is AMOLF ieder jaar met een medewerker in de Denktank vertegenwoordigd geweest.

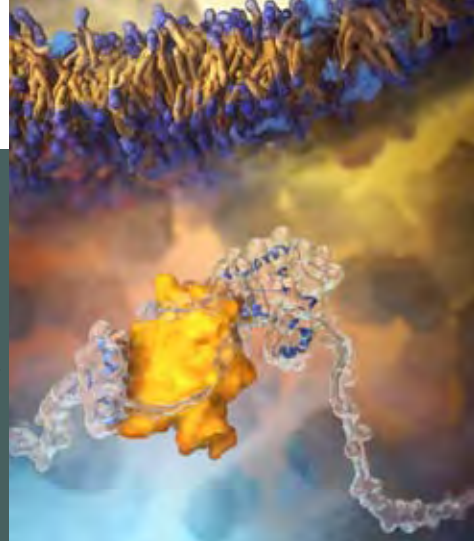


Invloed chaperonne op eiwitvouwen als eerste geobserveerd

P. Bechtluft, R. van Leeuwen, M. Tyreman, D. Tomkiewicz, N. Nouwen, H. Tepper, A. Driessen, en S.J. Tans, *Science* 318, 1458 (2007).

Kennis van de manier waarop eiwitten vouwen is van direct belang voor het begrip van meerdere hersenaandoeningen, maar hoe dit proces begeleid wordt door chaperonnes is moeilijk te bestuderen. Deze studie heeft laten zien dat dit kan, door naar een enkel vouwend eiwit te kijken met een optisch pincet. Verrassend genoeg blijkt de chaperonne alleen maar een specifieke vouwfase te beïnvloeden.

© Sander Tans, Graham Johnson



IN HET NIEUWS

Nano Valley aan de Amstel

Parool, 18 oktober 2008

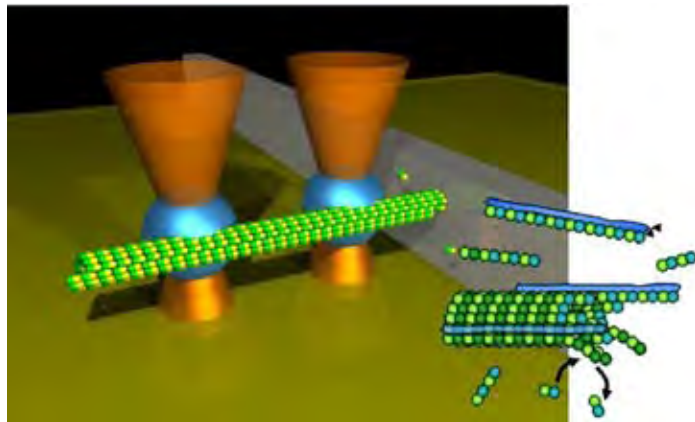
Het Parool besteedt aandacht aan de positie van Nederland in de nanotechnologie en interviewt Albert Polman.

Goed nieuws: Nederland excelleert op het gebied van de nanotechnologie, een markt die al snel goed zal zijn voor hallucinante omzetcijfers. Amsterdam kan zelfs uitgroeien tot het Nano Valley van Europa, zeggen deskundigen.



HIGHLIGHTS 2000-2009

2006



Dynamica van microtubuli met moleculaire resolutie gemeten

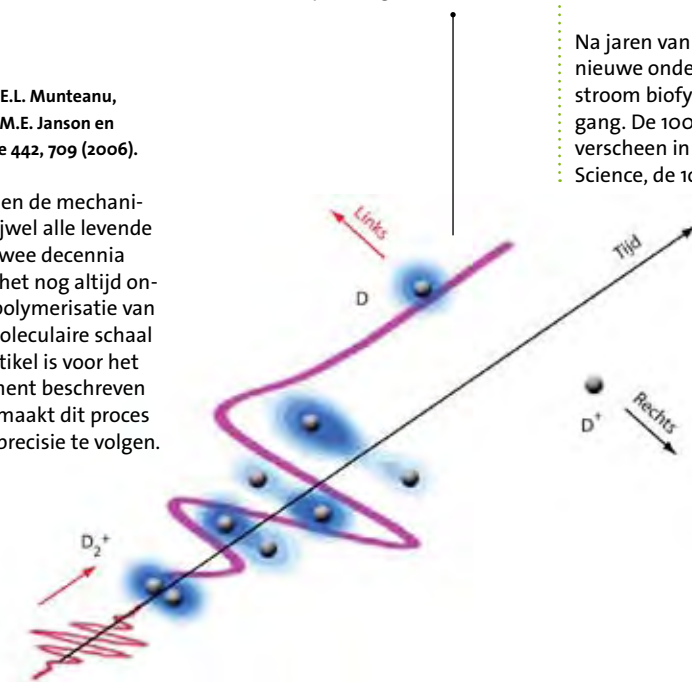
J.W.J. Kerssemakers, E.L. Munteanu, L. Laan, T.L. Noetzel, M.E. Janson en M. Dogterom, *Nature* 442, 709 (2006).

Microtubuli vormen de mechanische basis van vrijwel alle levende cellen. Ondanks twee decennia van onderzoek is het nog altijd onduidelijk hoe de polymerisatie van microtubuli op moleculaire schaal verloopt. In dit artikel is voor het eerst een experiment beschreven dat het mogelijk maakt dit proces met moleculaire precisie te volgen.

Gecontroleerde lokalisatie van elektronen in moleculaire dissociatie

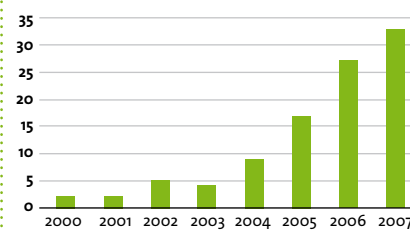
M.F. Kling, C. Siedschlag, A.J. Verhoef, J.I. Khan, M. Schultze, T. Uphues, Y. Ni, M. Uiberacker, M. Drescher, F. Krausz en M.J.J. Vrakking, *Science* 312, 246 (2006).

In een eerste voorbeeld van controle over de bewegingen van elektronen op attoseconde tijdschaal, werd met behulp van een fasegestabiliseerde laser het elektron in een H_2^+ molecuul selectief op het ene, dan wel het andere proton gelokaliseerd.



2007

Biofysica Publicaties



100^e biofysica-publicatie

P. Bechtluft, R. van Leeuwen, M. Tyreman, D. Tomkiewicz, N. Nouwen, H. Tepper, A. Driessen en S.J. Tans, *Science* 318, 1458 (2007).

J.W.J. Kerssemakers, E.L. Munteanu, L. Laan, T.L. Noetzel, M.E. Janson en M. Dogterom, *Nature* 442, 709 (2006).

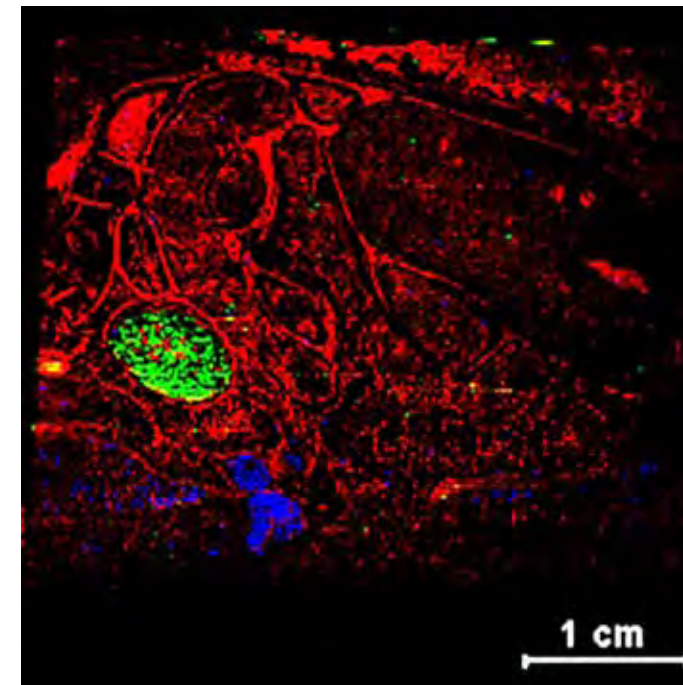
Na jaren van investeren in dit nieuwe onderwerp kwam een grote stroom biofysicapublicaties op gang. De 100^e biofysicapublicatie verscheen in november 2007 in *Science*, de 101^e in *Nature*.

2008

Imaging MS faciliteit gebruikt door farmaceutische industrie

De moleculaire imaging faciliteit op AMOLF wordt in samenwerking met verschillende farmaceutische bedrijven gebruikt om het metabolisme van geneesmiddelen te onderzoeken. De hoge resolutie

labelvrije techniek die op AMOLF is ontwikkeld laat zien welke cellen en organen een actieve rol spelen in het metabolisme. Dit geeft inzicht in de specifieke werking van geneesmiddelen.



TOEPASSING

2009

Nieuw gebruik voor detectoren uit de hoge-energie fysica

G. Gademann, Y. Huisman, A. Gijsbertsen, J. Jungmann, J. Visschers en M.J.J. Vrakking, *Rev. Scient. Instr.* 80, 103105 (2009).

In samenwerking met onderzoekers van NIKHEF zijn Medipix detectoren, die oorspronkelijk ontwikkeld zijn als X-ray detectoren, gebruikt voor plaatsopgeloste detectie van elektronen en ionen. Dit leidt tot interessante toepassingen in chemische fysica en biomoleculaire massaspectrometrie.

MARILEEN DOGTEROM

“Ik vroeg me af: **HOE GROEIEN MICROTUBULI PRECIES?**”

“Het hele veld kijkt naar ons voor de data.”

Marileen Dogterom begon in 1997 als groepsleider bij AMOLF. Sinds 2003 is ze hoofd van de afdeling Biomoleculaire Fysica en tevens lid van het managementteam.

“De stijfheid van cellen wordt bepaald door de mechanische eigenschappen en dynamica van zogenoemde ‘microtubuli’. Dat zijn dunne, stijve eiwitbuisjes met een doorsnede van 25 nanometer. Ze kunnen vele micrometers lang worden en hun lengte verandert voortdurend, doordat ze op willekeurige momenten kunnen schakelen tussen periodes van groei en krimp. We weten bovendien dat ze door te groeien een kracht uitoefenen op andere structuren in de cel. Microtubuli zijn bijvoorbeeld heel belangrijk bij het op de plaats duwen en ‘meenemen’ van chromosomen bij een celdeling. Door te groeien, geven ze een chromosoom letterlijk een duw in de juiste richting.

Om te begrijpen hoe een microtubule kracht levert, en hoeveel, moet je eerst begrijpen hoe het groeiproces werkt. We weten uit biologische metingen dat de buisvorm van microtubuli bestaat uit dertien ‘kettingen’ van eiwitmoleculen. Met gewone lichtmicroscopie is het al mogelijk om één groeiende microtubule

zichtbaar te maken en zijn groeisnelheid te meten, maar die methode geeft niet genoeg resolutie om de groei eiwit voor eiwit te bekijken. En dat zouden we wel graag willen.

Wij hebben een opstelling ontwikkeld waarmee we, onder andere met behulp van een optisch pincet, een microtubule gecontroleerd kunnen laten groeien in een bepaalde richting. Die groei kunnen we vervolgens op nanometerschaal volgen. We zien nog steeds niet helemaal wat er op eiwitniveau gebeurt, maar zijn daar wel een flinke stap dichterbij. Bovendien zijn wij de eersten in de wereld die dit gelukt is. Het hele veld, inclusief de concurrenten, kijkt naar ons voor de data. Over de interpretatie ervan zijn we het bovendien nog lang niet eens. Het is een compleet nieuw type data, dus de analyse is erg complex.

We hadden dit experiment al jaren in ons hoofd en het is geweldig dat het nu allemaal bij elkaar komt en werkt. Vooral de biochemische kant van het verhaal was vreselijk ingewikkeld. Bovendien kun je met dit soort experimenten niet eeuwig blijven oefenen. Ze lukken gewoon niet zo vaak. Ik weet zeker dat we in de toekomst met een nog hogere resolutie kunnen meten – en dus daadwerkelijk de vraag hoe microtubuli groeien, kunnen beantwoorden. Maar eerst willen we begrijpen wat we nu al kunnen zien.

Hoewel de experimenten slechts een model zijn van hoe het proces in een levende cel zou kunnen gaan, is onze motivatie wel biologisch. Er gebeurt nog zoveel in de cel dat we niet begrijpen.

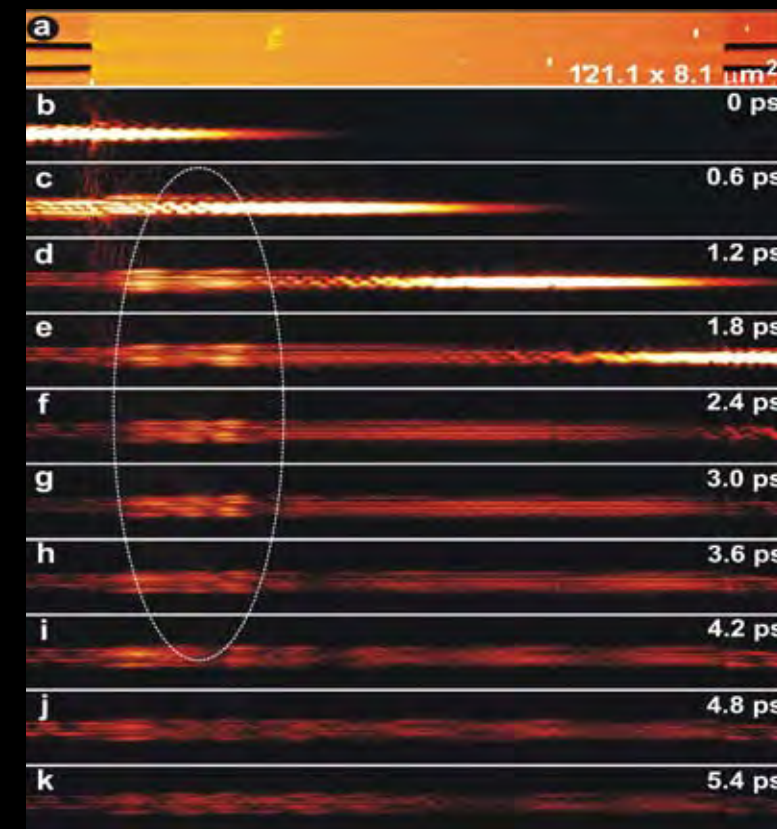
Als het ons lukt om het groeiproces van microtubuli in de cel op nanoschaal in kaart te brengen, hopen we uiteindelijk meer inzicht te krijgen in de processen in een levende cel, en te begrijpen waardoor bepaalde processen misgaan in een zieke cel.” •

WAAR KOMEN AMOLF-ONDERZOEKERS ANNO 2010 VANDAAN

AMOLF ALS INTERNATIONAAL LABORATORIUM

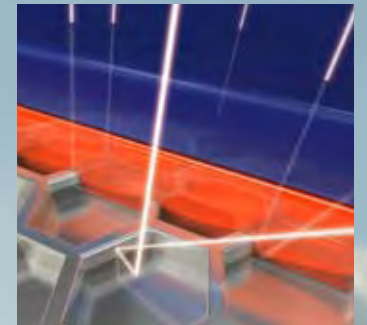


HET LANGZAAMSTE LICHT
LICHT VERTRAGEN IN EEN FOTONISCH KRISTAL



H. Gersen, T. J. Karle, R. J. P. Engelen, W. Bogaerts, J. P. Korterik, N. F. van Hulst, T. F. Krauss en L. Kuipers, Phys. Rev. Lett. 94, 073903 (2005).

Het periodieke gatenpatroon van een fotonisch kristal oefent een grote invloed uit op het gedrag van licht in het kristal. Sommige kleuren zijn verboden in het kristal, terwijl andere zich wel voortplanten, maar zeer traag. De afbeeldingen geven snapshots van een lichtpuls weer die van links een fotonisch kristal binnendringt en daarin wordt vertraagd tot een snelheid die kleiner is dan 1/1000 van de lichtsnelheid.



Plasmonische zonnecel: metalen nanostructuren worden gebruikt om licht in een zonnecel op sluiten.

2010...toekomst

DE TOEKOMST

Verder begrip en controle van de wereld om ons heen. Dat is onze grote uitdaging voor de toekomst. Door het onderzoek in de afgelopen decennia is onze nieuwsgierigheid naar de bouwstenen van de wereld om ons heen en de oorsprong van ons eigen bestaan gedeeltelijk bevredigd. Het is tevens helder geworden dat onze huidige maatschappij wordt gedragen door technologie die is ontstaan door decennia lang te investeren in fundamenteel onderzoek. In de toekomst zal investeren in fundamenteel onderzoek van essentieel belang blijven om belangrijke vragen van wetenschap en maatschappij te kunnen beantwoorden. De uitdagingen van de huidige onderzoeksleders van AMOLF staan in dit laatste hoofdstuk genoemd.



FEMIUS KOENDERINK



MISCHA BONN



GIJSJE KOENDERINK



JAAP BOON



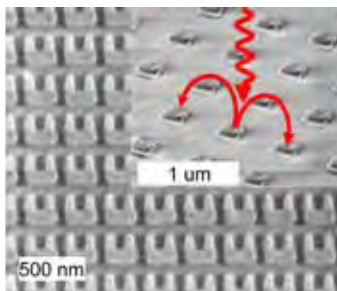
KOBUS KUIPERS

AMOLF NA 2010

AMOLF heeft een zeer sterke positie opgebouwd op zijn twee hoofdthema's: biofysica en nanofotonica. Het instituut heeft voor dit onderzoek een ultramoderne infrastructuur opgebouwd waarmee nu verder geogst kan worden.

Mijn uitdaging voor de toekomst:

"Nano-wifi-antennes, zodat enkele moleculen communiceren via enkele lichtquanta: voor ons is elk foton goud waard."



Magneetveld van licht drijft nano-LC-resonanties aan

I. Sersic, M. Frimmer, E. Verhagen en A. F. Koenderink, *Phys. Rev. Lett.* 103, 21903 (2009).

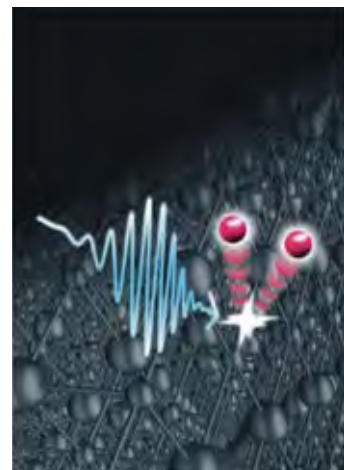
Normale materialen wisselwerken alleen met het elektrisch veld van licht. Dit experiment liet voor het eerst zien dat U-vormige nanoringen gemaakt van goud direct wisselwerken met het magneetveld van licht. De ringen werken als kleine stroomspoeltjes van één enkele winding. Door een LC-resonantie bij optische frequenties hebben ze een zeer sterke magnetische respons, die gebruikt kan worden voor nieuwe optische materialen.

"De grote uitdaging is om wetmatigheden te vinden binnen complexe systemen zoals zonnecellen en celmembranen."

Fotovoltaïsche magie van quantum dots ontmaskerd

J. J. H. Pijpers, R. Ulbricht, K.J. Tielrooij, A. Osherov, Y. Golan, C. Delerue, G. Allan en M. Bonn, *Nature Phys.* 5, 811 (2009).

Een belangrijke beperking van huidige zonnecellen is dat er per geabsorbeerd lichtdeeltje (foton) maar één elektron wordt gegenereerd. Het werd altijd aangenomen dat in halfgeleider nanokristallen (quantum dots), meer elektronen per foton gegenereerd konden worden dan in bulk materiaal. Nu blijkt dit proces juist efficiënter in bulk materiaal dan in quantum dots; een belangrijk gegeven voor de verdere ontwikkeling van zonnecellen.



"Ik wil graag weten hoe we slimmere en sterkere materialen kunnen maken met de levende cel als inspiratiebron."



Supramoleculaire architectuur van fibrine is essentieel voor bloedstolling

I. Piechocka, M. Bacabac, M. Potters, F.C. MacKintosh en G.H. Koenderink, *Biophys. Journ.* 98, in druk (2010).

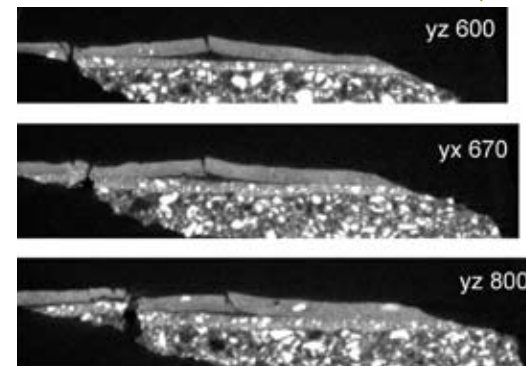
Zodra we een wond oplopen wordt het bloed plaatselijk gestold door polymerisatie van fibrine tot een elastisch netwerk. AMOLF-onderzoekers hebben met reologie aangetoond dat fibrine netwerken extreem grote krachten tolereren, doordat de fibrinedraden een hiërarchische structuur hebben die vervormingen opvangt door op verschillende lengteschalen omkeerbaar te vervormen. Dit biedt inzicht in de oorzaken van stollingsziekten en in ontwerpprincipes voor nieuwe materialen.

"Mijn wens is het 3D X-ray-onderzoek van submicronstructuren in composiet-materiaal op eigen kracht uit te bouwen."

De 'Schilderkunst' van Johannes Vermeer in 3D bekeken

J.J. Boon en E. Oberthaler, in: *Vermeer Die Malkunst - Spurensicherung an einem Meisterwerk*, exhibition catalogue, Vienna, January 2010.

Johannes Vermeer gebruikte voor zijn witte tegelvloer een unieke zeer verfijnde olieverf met loodwitnanokristallen, die nu afbladdert omdat het oorspronkelijke oliemedium een kristallijn halatopolymeer is geworden. Röntgen-tomografische microscopie in het SLS synchrotron bij PSI in Zwitserland geeft met opeenvolgende virtuele dwarsdoorsneden een beeld van een schelpvormige contractiebreuk die de start vormt van het delaminatieproces van de glasharde oppervlakteverf.

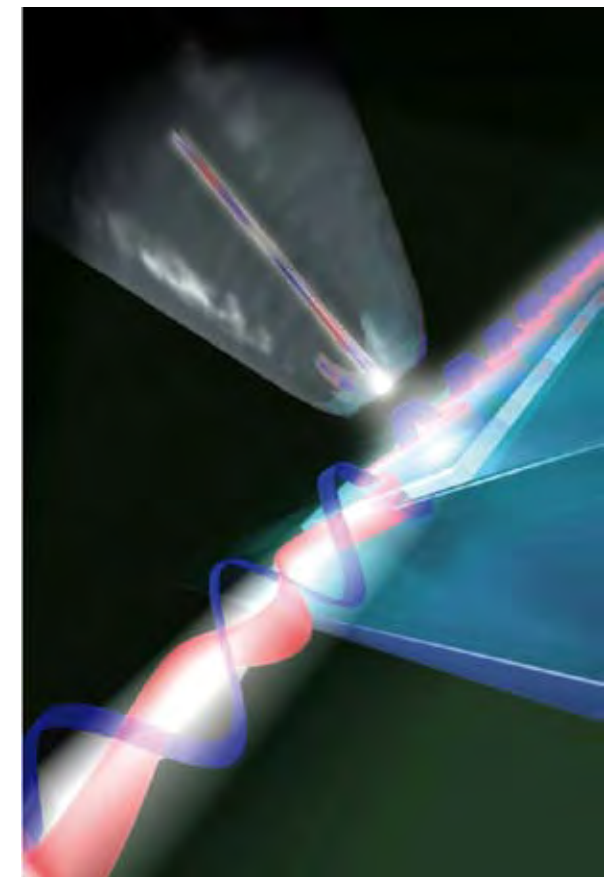


"Het lijkt me fantastisch om licht te kunnen vangen en even later weer vrij te laten."

Het magnetisch veld van licht gemeten

M. Burreli, D. van Oosten, T. Kampfrath, H. Schoenmaker, R. Heideman, A. Leinse en L. Kuipers, *Science* 326, 550 (2009).

Licht is een elektromagnetische golf waarin oscillerende elektrische en magnetische velden onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Voor de interactie tussen licht en materie bij optische frequenties speelt het magneetveld een verwaarloosbare rol. Als we licht zien, "zien" we het elektrische veld, we zijn blind voor het magneetveld. Met een slimme nanoprobe blijkt het echter toch mogelijk het magneetveld fasegevoelig waar te nemen met een ruimtelijke resolutie kleiner dan de golflengte. Dit is van belang voor een beter begrip van licht op de nanoschaal.





JAIME GÓMEZ RIVAS



SANDER TANS



ALBERT POLMAN



MARILEEN DOGTEROM



PIETER REIN TEN WOLDE

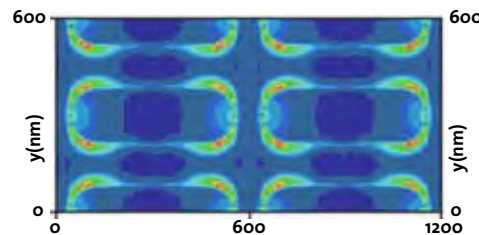
Mijn uitdaging voor de toekomst:

“Licht persen in een volume een miljoen keer kleiner dan de golflengte.”

Resonante plasmon antenne arrays

G. Vecchi, V. Giannini en J. Gómez Rivas, *Phys Rev. Lett.* 102, 146807 (2009).

Met verfijnde nanofabricage-technieken kan men zeer nauwkeurig gouden nanodeeltjes fabriceren. De interactie van licht met deze deeltjes is vergelijkbaar met de interactie van radiogolven met antennes; ze krijgen daardoor de naam nano-antennes. Als deze nano-antennes keurig op een rooster worden geplaatst versterken zij elkaars antennewerking. Deze collectieve werking leidt tot zeer scherpe resonanties in het spectrum van het antennerooster. Deze resonanties kunnen worden gebruikt om de efficiëntie van sensoren te verbeteren.



“Ik wil laten zien hoe een chaperone een eiwit opvouwt.”

Bacterie zet expressie van een enkel gen aan



A.M. Adiciptaningrum, I.C. Blomfield en S.J. Tans, *EMBO reports* 10, 527 (2009).

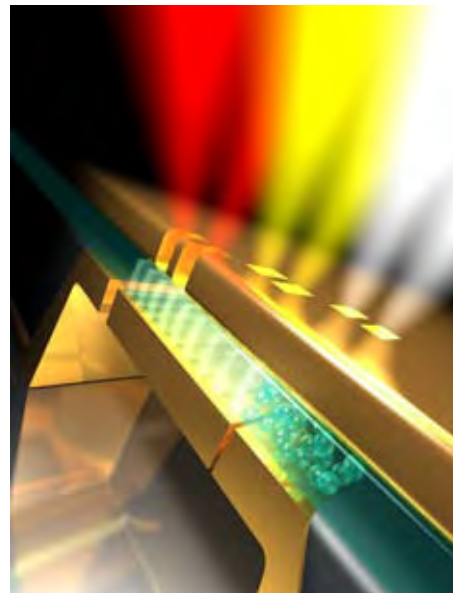
Groeiende bacteriën hebben meerdere kopieën van hun chromosoom en dus ook van alle genen. Kan een enkele kopie aangeschakeld worden? Door gebruik te maken van groene fluorescerende eiwitten en een gedetailleerde analyse van enkele cellen, blijkt dat het fim-gen dit kan door een speciaal regulatiemechanisme gebaseerd op DNA-recombinatie. Dit proces speelt een directe rol in bacteriële infecties.

“Ik wil met nanofotonica een revolutie veroorzaken in de zonneceltechnologie.”

Elektrisch aangeslagen oppervlakteplasmonen

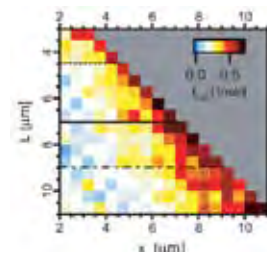
R.J. Walters, R.J.A. van Loon, I. Brunets, J. Schmitz en A. Polman, *Nature Materials* 9, 21 (2010).

Plasmonen zijn elektromagnetische golven die zich aan het oppervlak van een metaal voortplanten. Ze zijn zo klein dat ze in een computerchip passen. Ze brengen zo optische communicatie en de chiptechnologie bij elkaar. In een sandwich van twee dunne goudfilms met daartussen een laagje alumina met Si nanokristallen is het gelukt plasmonen elektrisch aan te slaan.



“Hoe mechanische krachten het binnenste van een cel organiseren, dat zou ik graag willen begrijpen.”

Kracht regelt dynamica van microtubuli in levende cellen



C. Tischer, D. Brunner en M. Dogterom, *Mol. Sys. Biol.* 5, 250 (2009)

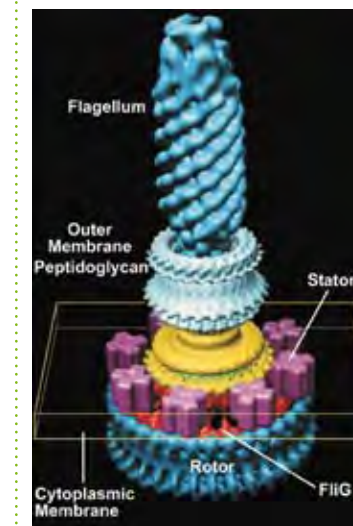
Dat microtubuli duwkrachten kunnen leveren en dat daardoor hun groeidynamica verandert was al langer bekend uit experimenten in gezuiverde systemen. Dit artikel laat voor het eerst zien dat ook in levende (gist)cellen de dynamica verandert zodra er krachten geleverd worden. Dit geeft de cel de mogelijkheid om de dynamica van microtubuli specifiek bij het bereiken van het celuiteinde aan te passen.

“Ik zou willen begrijpen hoe levende cellen informatie kunnen coderen in de spatio-temporele dynamica van biomoleculen, zoals eiwitten en DNA.”

Moleculaire motoren kunnen schakelen door mechanische terugkoppeling

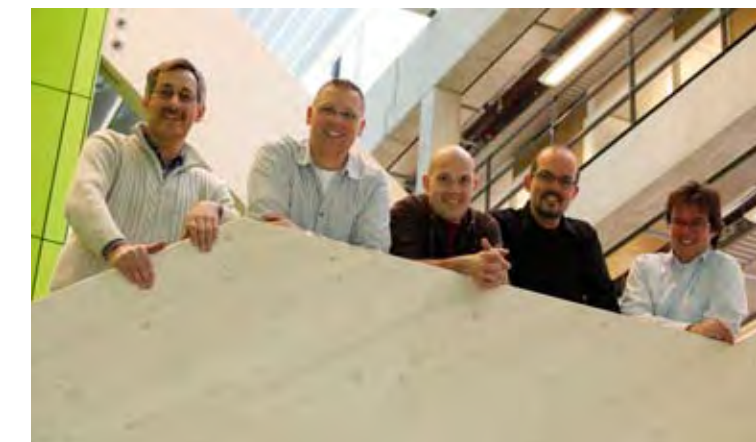
S.B. van Albada, S. Tanase-Nicola en P.R. ten Wolde, *Mol. Sys. Biol.* 5, 316 (2009).

Vele soorten bacteriën worden voortgestuwd door zogenaamde zweepharen, die worden aangedreven door moleculaire motoren. Het schakelen van deze motoren wordt niet alleen aangestuurd door biochemische signalen, maar ook door mechanische terugkoppeling: wanneer de kracht op de motor te hoog wordt, neemt de kans toe dat de motor in een andere versnelling wordt gezet.



Hoogwaardige technische ondersteuning

Al 60 jaar lang drijft het onderzoek van AMOLF op hoogwaardige technische ondersteuning. De ontwerpafdeling, mechanische werkplaats en electronica en softwareafdelingen hebben altijd een essentiële rol gespeeld in het mogelijk maken van het onderzoek op het instituut. AMOLF investeert ook in de toekomst in de beste apparatuur en faciliteiten binnen deze afdelingen zodat ook zij klaar zijn om het onderzoeksprogramma van de toekomst mogelijk te maken.



V.l.n.r. Wim Brouwer (Hoofd Mechanische Werkplaats), Marco Konijnenburg (Hoofd Software Engineering), Iliya Cerjak (Hoofd Ontwerpfdeling), Carl Schulz (Hoofd ICT) en Duncan Verheijde (Hoofd Electronics Engineering)



BELA MULDER



TOM SHIMIZU



MARC VRAKKING



AD LAGENDIJK



RON HEEREN



HUIB BAKKER

Mijn uitdaging voor de toekomst:

“De kloof van molecuul tot cel dichten met spannende theorie is een droom om voor te gaan.”

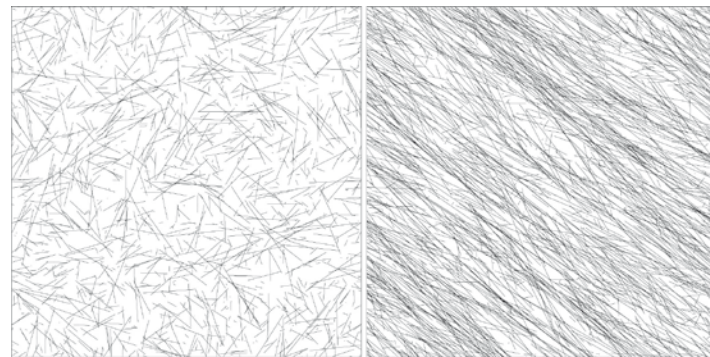
“Mijn doel is het verbinden van het ontwerp van moleculaire signaalnetwerken in levende cellen aan de restricties die opgelegd worden door hun gedrag en evolutie.”

“Mijn uitdaging is om te filmen wat elektronen tijdens een scheikundige reactie doen.”

“Ik wil nu eindelijk wel eens weten hoe verstrooiing in elkaar zit.”

“Ik wil begrijpen hoe cellen in weefsel chemische signalen doorgeven door te bepalen waar welk proteïne zit in en onder een celoppervlak. Een biochemische ontdekkingsreis op de kubieke micrometer.”

“Als we echt begrijpen hoe water werkt, dan wordt heel veel duidelijk.”



Botsende microtubuli lijnen op in de cortex van plantencellen

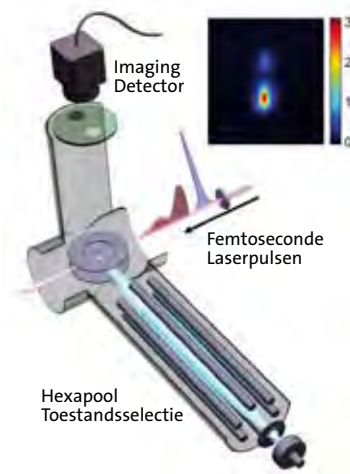
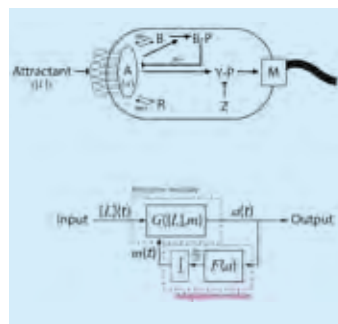
S. Tindemans, R. Hawkins en B.M. Mulder, *Phys. Rev. Lett.* 104, in druk (2010).

Het voor groeiende plantencellen karakteristieke en functioneel belangrijke corticale netwerk van opgelijnde microtubuli blijkt door zelforganisatie tot stand te komen. Met een combinatie van een analytisch model en simulaties van botsende dynamische microtubuli in een tweedimensionaal vlak laten we zien dat de ordening ontstaat door een selectiemechanisme dat verkeerd georiënteerde microtubuli korter laat leven.

Biomoleculaire informatienetwerken

T. S. Shimizu, Y. Tu en H. C. Berg, *Mol. Sys. Biol.*, in press (2010).

We zoeken naar een natuurkundig begrip van netwerken die informatie verwerken in levende cellen door middel van in-vivo metingen van essentiële moleculaire interacties en grofkorrelige modellen. Deze kunnen zowel de essentiële dynamiek beschrijven, alsmede een analytische benadering van biologisch relevante functionele eigenschappen toestaan.



Oriëntatie en uitlijning van quantum-toestand geselecteerde NO-moleculen

O. Ghafur, A. Rouzée, A. Gijsbertsen, W.-K. Siu, S. Stolte en M.J.J. Vrakking, *Nature Physics* 5 289 (2009).

De ontwikkeling van nieuwe röntgen vrije-elektronenlasers maakt de weg vrij voor het volgen van wijzigingen in moleculaire structuren tijdens een (bio)-chemische reactie via röntgendiffractie. Een vereiste hierbij is dat alle moleculen aan het begin van het experiment dezelfde kant opstaan. Dit is mogelijk gemaakt met een combinatie van laser en continue elektrische velden die georiënteerd worden.

Variatie van de effectieve brekingsindex om optisch transport in wanordelijke media te meten

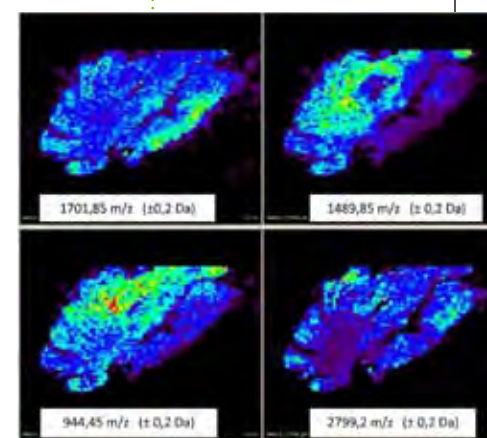
S. Faez, P.M. Johnson en A. Lagendijk, *Phys. Rev. Lett.* 103, 053903 (2009).

Door poreuze media te vullen met een gas waarvan de druk varieert, kan het transport van licht langs lange paden dramatisch worden beïnvloed. Veranderingen van 10^{-4} in de brekingsindex zijn al voldoende. Op deze manier kunnen de belangrijkste transportparameters van licht op eenvoudige wijze worden bepaald. Deze nieuwe methode kan voor veel materialen worden gebruikt.

Eiwitvormen in weefsel zichtbaar gemaakt met gasfase mobiliteitsmetingen

J. Stauber, L. MacAleese, J. Franck, M. Snell, E. Claude, B. Kükrer Kaletas, I. van der Wiel, M. Wisztorski, I. Fournier en R.M.A. Heeren, *J. Am. Soc. Mass Spec.* 21, in druk (2010).

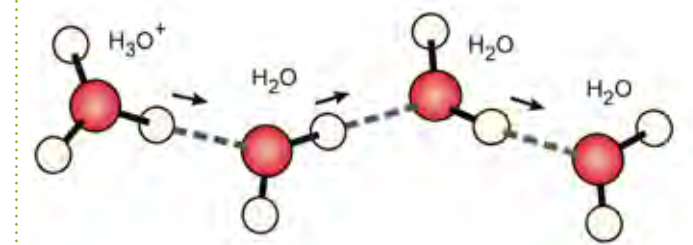
De functie van eiwitten wordt bepaald door hun samenstelling van aminozuren en hun vorm. Met behulp van ionenmobiliteitspectrometrie (een scheiding op basis van botsingsdwarsdoorsnede) zijn eiwitten van een identiek nominaal moleculair gewicht toch naar hun vorm te onderscheiden. Gekoppeld met imaging massaspectrometrie heeft dit geleid tot de visualisatie van nieuwe structuren in weefselcoupes van neurologisch materiaal die zonder deze vormscheiding verborgen zouden blijven.



Hoe water protonen geleidt

K.J. Tielrooij, R.L.A. Timmer, H.J. Bakker en M. Bonn, *Phys. Rev. Lett.* 102, 19 (2009).

Met THz pulsen met een duur van een picoseconde is onderzocht hoe protonen door water worden geleid. De metingen laten zien dat het proton sterk gebonden is aan vier watermoleculen: het vormt een $H_9O_4^+$ structuur. Het blijkt ook dat liefst vijftien omringende watermoleculen zich opnieuw moeten rangschikken om de protonlading aan andere watermoleculen door te geven.



“Het manipuleren en ‘pesten’ van licht werd een doel op zich.”



KOBUS KUIPERS

“Ik vroeg me af:
**HOE KAN IK HET LICHT
STIL ZETTEN?”**

Kobus Kuipers begon in 1988 als afstudeerstudent op AMOLF en deed er van 1990 tot 1994 zijn promotieonderzoek. In 2003 kwam hij terug bij het instituut als groepsleider. Sinds 2006 leidt hij tevens AMOLF’s Centre for Nanophotonics en is hij lid van het managementteam.

“Licht heeft me mijn hele leven al gefascineerd, maar dat licht op nanoschaal echt een onderzoeksonderwerp werd, had in eerste instantie vooral een praktische oorzaak. In het begin van mijn carrière deed ik onderzoek naar individuele moleculen. Dat vereiste allerlei trucs waarbij we het licht op een zo klein mogelijke schaal moesten manipuleren. Dat was zo ingewikkeld dat het manipuleren en ‘pesten’ van licht een doel op zich werd.

Licht beweegt razendsnel en laat zich maar moeilijk vangen. Dat komt niet alleen door het licht, maar ook door de aard van de materialen om ons heen. Maar juist dat het zo moeilijk is, maakt het ook spannend. Licht vangen en stilzetten, als dát lukt heb je echt iets voor elkaar gekregen. Natuurlijk is het idee niet helemaal uit de lucht gegrepen. Met name onze inzichten

in het manipuleren van licht in fotonische kristallen maken het idee van ‘licht stilzetten’ veelbelovend.

In een fotonisch kristal zijn materialen op nanoschaal zo gestapeld dat bepaalde kleuren licht er niet in kunnen bestaan. Stel nou dat je binnenin zo’n kristal een kamer-tje maakt, waar dat licht wel kan bestaan. Als het je lukt om het licht in dat kamertje te krijgen, heb je het dus gevangen. Daarvoor moet je het kristal zo manipuleren dat je als het ware tijdelijk een deur open zet en als het licht binnen is, die deur gauw weer dicht gooit.

Gevangen licht is nog geen stilstaand licht. Daarvoor moeten we nog een stap verder. Het blijkt dat wanneer we een fotonisch kristal manipuleren tot vlakbij het punt waar licht wordt uitgesloten, dat licht heel

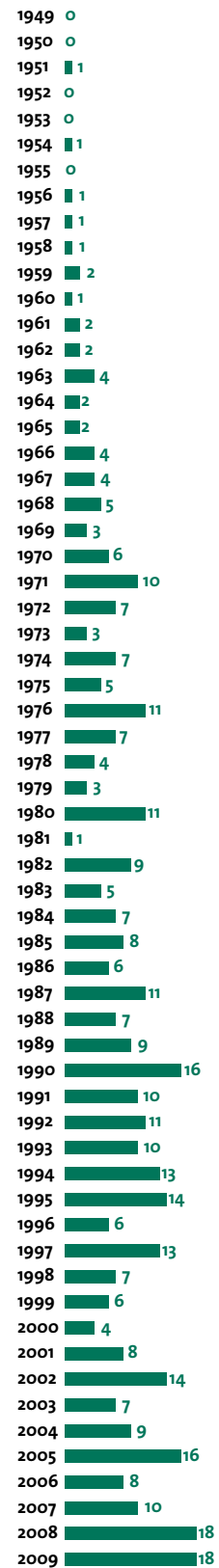
langzaam wordt. Dat geeft je extra schakeltijd. Als ik het licht eerst afrem en vervolgens het kristal verander zodat het licht wordt uitgesloten, dan kan ik het in theorie bevriezen.

In de praktijk blijkt dit nog heel moeilijk, onder andere omdat blijkt dat de kleur van het licht zelf kan veranderen als je actief iets aan het kristal verandert. We hebben de oplossing nog niet, maar de weg ernaartoe is ook geweldig. Onderweg komen we heel interessante fysica tegen. Zo was de ontdekking dat langzamer licht gevoeliger is voor fouten in het kristal in eerste instantie een domper, want het bemoeilijkt onze experimenten. Tegelijk leverde het ons allerlei fundamentele, nieuwe inzichten over licht op.

Wat we doen is vooral een spannende fysische uitdaging, maar als het lukt kun je er veel nuttige dingen mee doen. Vandaar dat we in dit fundamentele onderzoek golf lengtes gebruiken die ook voor toepassingen relevant zijn, namelijk het nabij-infrarode spectrum dat in de telecommunicatie veel wordt gebruikt.” •

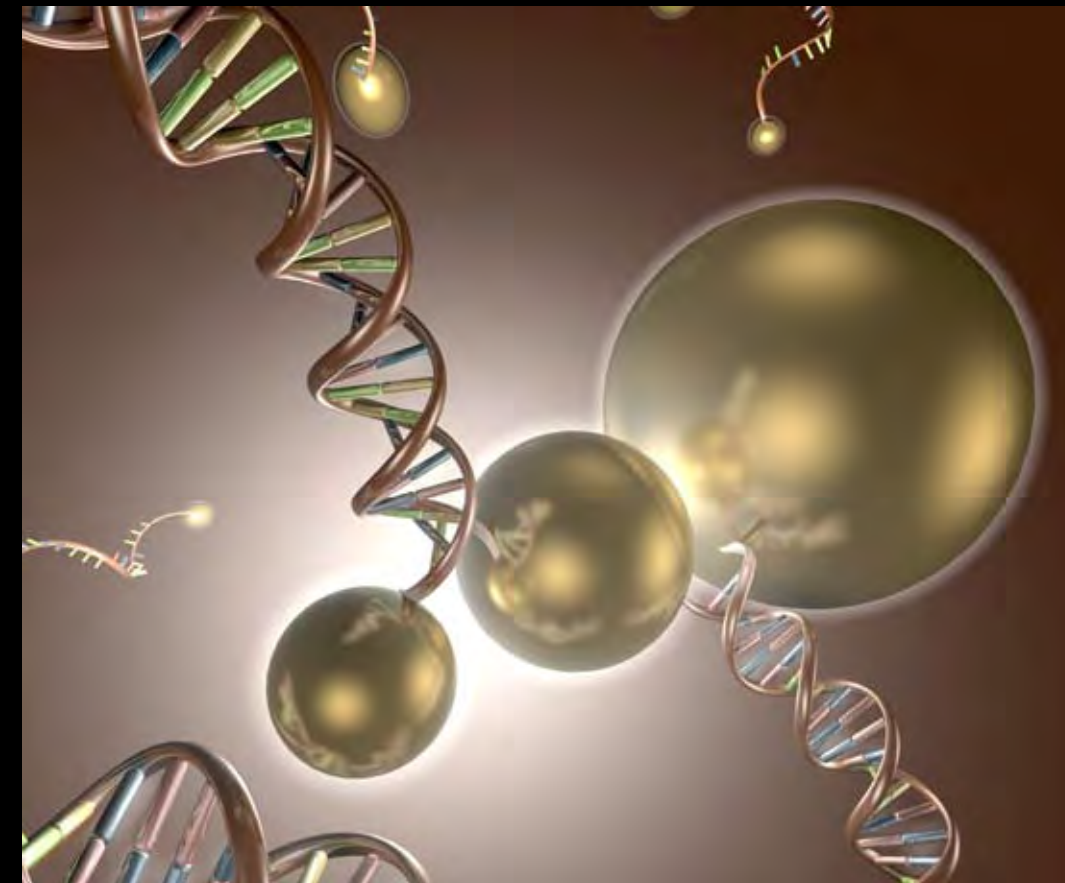
PROEFSCHRIFTEN

1949-2009



TOTAAL 392 PROEFSCHRIFTEN

**HET KLEINSTE VOORWERP
EEN PLASMONISCHE NANOLENS**



S. Bidault, F.J. García de Abajo en A. Polman, J. Amer. Chem. Soc. 130, 2750 (2008).

Drie gouden bolletjes met diameters van 5, 10, en 20 nm zijn aan elkaar geregen tot een structuur waarin licht kan worden geconcentreerd in een volume van slechts enkele nanometers. De structuur is gemaakt met een DNA template techniek, waarbij de individuele goudbolletjes selectief zijn gebonden aan voor-geprogrammeerde basenparen van het DNA.

IMPACT © 2010

Uitgegeven in eigen beheer.

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

COLOFON

Redactie

Ron Heeren
Albert Polman
Melissa van der Sande

Met dank aan

Huub Kersten
Piet Kistemaker
Frans Saris
Dolf de Vries
Marnix van der Wiel

Interviews

Bauke Vermaas, Zwolle

Art-direction & vormgeving

Petra Klerkx, Amsterdam

Fotografie

Iwein Maassen, Haarlem
Taco van de Eb, Leiden
Minouche de Wilde, Utrecht
Hanne Nijhuis, Amsterdam
Ivar Pel, Utrecht
Dreamstime

Druk

Damen Grafia, Haarlem



Correspondentieadres

FOM-instituut AMOLF
Postbus 41883
1009 DB Amsterdam

E-mail info@amolf.nl
Telefoon 020 754 71 00
www.amolf.nl

