



Vertaald uit de Duitse tekst van Josef Zens

„Vanaf nu reageer je zuur!” Kijken naar reagerende zuren

Wetenschappers van het Max Born Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (Max Born Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy; MBI) zijn erin geslaagd – in een samenwerking met een onderzoeksgroep van de Ben Gurion University of the Negev in Israël –, nieuw inzicht te verkrijgen in de ultrasnelle uitwisseling van protonen in chemische reacties. Voor hun studie gebruikten de MBI-onderzoekers een zogenaamde fotozuur (een derivaat van pyreen), om die te laten reageren met de base acetaat. De studie levert fundamenteel inzicht in processen, die bijvoorbeeld in biologische cellen voorkomen. Daarbij maakt de studie het mogelijk het standaard model van proton transfer op een belangrijke manier verder te ontwikkelen. The onderzoekers rapporteren hierover in het gerenomeerde Amerikaanse wetenschappelijke tijdschrift Science (volume 301, pages 349-352).

Fotozuren hebben de speciale eigenschap dat ze in twee toestanden kunnen voorkomen. Onder normale omstandigheden hebben ze een zwakke zuurgraad, en daarmee zijn ze niet erg reactief. Alleen na blootstelling aan licht pulsen verandert de zuurgraad met een sprong – en de nu zure moleculen kunnen heftig reageren. „Men schiet met een ultraviolette laserstraal in de vloeistof,” verklaart groepsleider Dr. Erik T. J. Nibbering, “en geeft daarmee het signaal: Vanaf nu reageer je zuur!” Dit effect is belangrijk, omdat met deze truuk men zeer precies op een bepaald tijdstip de start van de reactie definiëren kan.

Na excitatie met UV-licht volgen de experts van het MBI de vloeistof met een ander laserpuls. Deze laserpuls is afgestemd in het infrarode deel van het elektromagnetische spectrum. “We gebruiken de gevoeligheid van moleculaire vibraties met betrekking tot infrarood licht”, zegt Nibbering. Hiermee kan nieuwe informatie vergaard worden. In het bijzonder was het met dit aanslaan/aftast experiment mogelijk voor de onderzoeksgroep te bepalen wanneer een proton het zuur verlaat, en wanneer het aankomt bij de base.

„Dat hoeft niet persé hetzelfde proton te zijn,” rapporteert Nibbering. Men kan zich de situatie voorstellen waarbij protonen doorgegeven worden via de tussenliggende water moleculen, vergelijkbaar met het ballenspelletje dat men vaak op buros aan kan treffen. In dit spel hangen zo'n vijf of zes ballen naast elkaar, in nauw contact met elkaar. Wanneer men nu een bal aan de linker kant omhoog trekt, en het terug laat vallen op de andere ballen, dan zal de impuls overgedragen worden door de rij ballen, en zal aan de rechter kant de laatste bal omhoog springen. De onderzoekers hebben proton transfer gemeten met een 100 femtoseconde takt. “Dit is extreem snel,” zegt promovendus Matteo Rini. “Ter vergelijking: wanneer men een laserstraal voor één seconde aanzet, dan heeft de laserstraal al de maan bereikt. Na 100 femtoseconden heeft een laserstraal slechts een afstand afgelegd dat overeenkomt met de dikte van haarspriet van een mens.

De chemische reacties en de metingen daaraan vinden plaats in een klein volume en in een extreme korte tijd. In hun studie hebben de onderzoekers het zuur-base-water mengsel gepompt door een dunne snede. Een miniatuur waterval met een breedte van 5 millimeter is het gevolg. De "vloeibare gordijn" is slechts 100 micrometer dik, ongeveer twee keer de dikte van een haar van een mens. Door deze "gordijn" hebben de onderzoekers de UV-lichtstraal gestuurd: de zuurmoleculen werden aangeschakeld en begonnen te reageren. De protonen verplaatsten zich van zuur naar base. Vele decennia geleden was dit proces theoretisch verklaard door de Duitse Nobelprijswinnaar Manfred Eigen. Eigen's werk leidde tot het zogenaamde Eigen-Weller model voor protonoverdracht.

Dit model moet nu verder ontwikkeld worden. Wanneer zuur en base al in direct contact staan, dan vindt de protonoverdracht snel plaats. Wanneer echter fotozuur en base eerst naar elkaar toe moeten bewegen, dan is de protonbeweging vertraagd, het contact tussen zuur en base blijken op een later tijdstip plaats te vinden dan men verwacht aan de hand van het model van Eigen en Weller. Waarom is dat zo? "We weten dat nog niet," zegt Nibbering. Hij speculeert dat misschien eerst water moleculen tussen zuur en base zich eerst moeten verwijderen. "Of de protonen hopen tussen water moleculen naar de base." In ieder geval moet een extra intermediaire toestand geïntegreerd worden in het Eigen-Weller model.

Dat model, dat reactiesnelheden op een picoseconde tijdschaal voorspelt, kon indertijd niet experimenteel bewezen worden toen het model gepostuleerd werd. Manfred Eigen sprak over "onmeetbare snelle reacties." In die dagen (zestiger jaren van de vorige eeuw) waren er al lasers, zelfs die werkten met een nanoseconde tijdsresolutie. Een nanoseconde is een miljardste van een seconde. Men kon zich toen niet voorstellen een tijdsresolutie van een picoseconde (duizend keer korter dan een nanoseconde) of zelfs femtoseconde (nog een keer duizend maal kleiner). Tegenwoordig spreken wetenschappers van attoseconden – ook bij het MBI in Berlijn. Een attoseconde is een miljardste van een miljardste deel van een seconde (10^{-18} , oftewel 0, 000 000 000 000 000 001 seconde).

En wat is nu bereikt, wanneer men zien kan hoe protonen rondwandelen? "Dit is fundamenteel onderzoek," zegt Nibbering. "Maar het help ons een beter begrip te krijgen van protongeleiding in water, dus ook een beter begrip van processen, die voorkomen in biomembranen." Misschien zou men een moleculaire schakelaar, gebaseerd op een photoacid, kunnen construeren, speculeert de fysicus. In elk geval toont het werk het volgende: Wat eerst als onmogelijk gold in de natuurkunde, kan niet voor altijd onmogelijk blijven.

Contact: Dr. Erik T. J. Nibbering, 00-49-30-6392-1477 (nibberin@mbi-berlin.de); Matteo Rini, 0-49-30-6392-1414 (rini@mbi-berlin.de)

Bron: *Auteurs en Origineel werk gepubliceerd in Science, Volume 301; Nr. 5631; Pagina's 349-352; Jaar 2003.*

Het Max Born Institute (MBI) for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy werd opgericht in 1992. Het is onderdeel van het "Forschungsverbund Berlin e.V." en is deel van de "Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL)" - kortweg: "Leibniz assoziation". Het MBI heeft ongeveer 180 stafleden waarvan er 90 wetenschappers zijn (inbegrepen promovendi).

Het MBI voert fundamenteel onderzoek uit in het gebied van niet-lineaire optica en ultrasnelle dynamica in de interactie tussen licht en materie en ondersteunt toepassingen dat uit dit onderzoek kunnen voortkomen. Voor dit onderzoek maakt het gebruik van op lasers gebaseerd korte lichtpuls bronnen in een breed spectraal gebied dat het mid-infrarood via het zichtbaar tot aan het Röntgengedeelte omvat .

Met dit onderzoek voldoet het MBI aan een missie op nationaal nivo en is het een integraal onderdeel van de internationale wetenschappelijke gemeenschap. Het biedt zijn faciliteiten en wetenschappelijke expertise ook aan voor wetenschappers in het kader van een actief gast programma in de vorm van een Large Scale Laser Facility gesponsord door de Europese Unie. Het MBI is betrokken in een groot aantal wetenschappelijke samenwerkingsprojecten met universiteiten, andere onderzoeksinstituten en industriële partners van een grote variëteit.

Het Forschungsverbund Berlin e.V (FVB) vertegenwoordigt acht Berlijnse onderzoeksinstituten actief in gebieden van de natuur-, levens- en milieuwetenschappen. De instituten zijn onderdeel van één rechtspersoon, met behoud van wetenschappelijke autonomie. Wegens nationaal wetenschappelijk belang, is de financiering van de onderzoeksinstituten gedeeld door de overheden van de Duitse federale republiek en van de deelstaten in overeenstemming met Paragraaf 91b van de Duitse grondwet.