



De passies van Nobelprijswinnaar Gérard Mourou

***Passion for extreme light* was de titel van de lezing die Nobelprijswinnaar Gérard Mourou gaf op 8 april tijdens FYSICA 2019 in Amsterdam. Op de vroege ochtend van die dag spreek ik hem in zijn hotel en vertelt hij over zijn huidige onderzoeksonderwerpen. Ook blijkt dat hij naast extreem licht nóg een grote passie heeft, waardoor zijn leven tien jaar geleden compleet veranderde.**

Onlangs is Gérard Mourou 75 jaar geworden, maar hij is nog altijd zeer actief in de laserfysica. In 2006 was hij de initiatiefnemer van de Extreme Light Infrastructure (ELI), de nieuwe gebruikers-faciliteit met geavanceerde lasers op drie locaties in het oosten van Europa: Hongarije, Roemenië en Tsjechië. Hij was ook coördinator van de voorbereidende fase van het project, die eindigde in 2010. Momenteel worden steeds meer onderdelen van ELI in gebruik genomen. Mourou is ook de oprichter van het International Center for Zetta-Exawatt Science and Technology (IZEST) [1]. Bij dit consortium zijn tientallen instituten en faciliteiten betrokken uit de hele wereld (maar niet uit Nederland). Zij denken na over de toekomst van natuurkundig onderzoek met technologieën gebaseerd op door lasers aangedreven plasma's. In maart bereikte de Roemeense ELI-laser het geplande vermogen van 10 PW en daarmee is het de krachtigste laser die er bestaat. De laser krijgt twee van deze 10 PW-armen, waarmee een totale intensiteit van 10^{23} W/cm² bereikt kan worden, of een elektrisch veld van 10^{15} V/m. De laser in Magurele, bij Boekarest, is de meest uitgebreide en complexe van ELI. Deze zal vooral ingezet worden voor kernfysische experimenten. Er komt bij de faciliteit ook nog een intense bron voor gammastraling met een energie tot 19,5 MeV, maar de oplevering daarvan heeft behoorlijk veel vertraging opgelopen.

Mourou: “In Europa heb je momenteel de beschikking over een enorm arsenaal aan lasers en afhankelijk van wat je ermee wilt doen kies je daaruit de meest geschikte. Maar het meest geavanceerde dat we op het gebied van lasers kunnen doen, wordt in de loop van de komende tien jaar gedaan door ELI. Toen we met ELI begonnen hebben we daar al onze kennis in gestopt. We bereiken nu in Roemenië een piekvermogen dat veel hoger is dan dat van andere lasers. En de faciliteit in Szeged in Hongarije is gespecialiseerd in zeer korte pulsen. Maar ik wil nog steeds naar, of achter de horizon kijken van wat er nu allemaal mogelijk is.”

Transmutatie

Mourou werkt zelf onder andere aan transmutatie van kernafval met behulp van lasers. Mourou: “We willen daarvoor de ELI-laser in Szeged gebruiken, omdat we zeer korte pulsen nodig hebben en een krachtig elektrisch veld. We willen namelijk neutronen produceren met een hoge energie. Daarmee kunnen we nucleaire *bad guys* aanpakken; langlevende hoog-radioactieve actiniden als curium, neptunium, americium en plutonium. Daar willen we graag vanaf. Als we die kunnen transmuteren dan wordt kernenergie de allerschoonste en meest beschikbare vorm

van energie. Wat we willen doen is het produceren van deuteronen met een energie van honderden keV. Je focust daarvoor een laser op een film van gedeutereerd diamant. De deuteronen die daaruit loskomen raken een target van tritium en maken daaruit neutronen los met een energie van 14 MeV. Dat is genoeg om de *bad guys* om te zetten in minder schadelijke elementen.”

Transmutatie van actiniden is in het verleden wel onderzocht met neutronen in kernreactoren, maar het proces is

“We willen neutronen produceren met een hoge energie. Daarmee kunnen we nucleaire *bad guys* aanpakken.”

het labstadium nooit ontstegen. Er ook weinig literatuur over te vinden die gepubliceerd is na de beginjaren 2000. Het proces is technisch verre van eenvoudig en er zijn ook maar een beperkt aantal faciliteiten die neutronen kunnen leveren met een energie die hoog genoeg is. Er is zelfs even sprake geweest van het bouwen van, of opnieuw openstellen van oude snelle-kweekreactoren, speciaal bedoeld voor transmutatie van kernafval. Maar al die plannen zijn in bureaulades verdwenen. Als dit werk echter gedaan kan worden met lasers, dan is dat een stuk goedkoper en ontstaan er allerlei nieuwe mogelijkheden.

Gérard Mourou bedacht samen met Toshiaki Tajima (University of California Irvine) een laseraangedreven neutronenbron. Begin april maakte László Palkovics, de Hongaarse minister van Innovatie en Technologie, bekend dat het project van Mourou door de regering van Hongarije ondersteund wordt met ruim 11 miljoen euro [2].

Lasers voor hoge-energiefysica

Tot nu toe zijn lasers vrijwel alleen gebruikt voor onderzoek aan atomen en moleculen. Mourou: “De laser is uitgevonden in 1960. In 1985 kwamen wij met ons eerste artikel waarin we het hadden over de compressie van laserpulsen van millijoules. Daarna gingen we naar het niveau van jou-

les, megajoules enzovoort. Nu kunnen we met de hoge-intensiteitlasers werken op het gebied van de kernfysica. We hebben daarvoor pulsen nodig die zo kort mogelijk duren, want wij zijn uit op een hoog piekvermogen en vermogen is energie gedeeld door tijd. Je kunt makkelijk 1 joule energie produceren, dat is een kleine hoeveelheid. Maar als je 1 joule deelt door 1 femtoseconde, dan heb je 10 petawatt, honderd keer het vermogen van alle energiecentrales in de wereld samen. Dat is wat wij doen in extreem-lichtfysica. Als de intensiteit nog verder omhoog gaat, kunnen we spreken over hoge-energiefysica.”

“We konden eerder al met lasers velden maken van 1 GeV/cm, maar de herhalingsfrequentie van de pulsen was maar 1 hertz. Nu werken we aan een nieuwe laserarchitectuur met zowel een hoog piekvermogen als een hoge puls-frequentie, 10 kHz. Een manier waarop we dit proberen te realiseren is met zeer efficiënte fiberlasers. Normaal gesproken hebben lasers een efficiëntie van maximaal een fractie van een procent. Met fiberlasers haal je 30 tot 40%. Voor een fiberlaser gebruiken we duizenden gedoteerde glasvezels, waar het licht gefaseerd doorheen gaat. Glas is goedkoop en de fysica van glas is goed bekend. We hoeven dus alleen maar een beetje slimmer te worden om betere combinaties te maken van bestaande materialen voor de productie van betere lasers.”

De kosmos op tafel

“Met een laser kun je de energie van een plasma verhogen en op die manier kun je elektronen in een plasma in een gigantisch veld vangen van giga-elektronvolts per centimeter. Dan krijgen die elektronen relativistische snelheden. Als een elektron 8 cm beweegt in een veld van 1 GeV/cm dan wordt zijn energie 8 GeV. Dat is fantastisch want gewoonlijk zijn de afmetingen van versnellers voor het maken van deeltjes met deze energie honderden meters lang.”

“De ELI-faciliteiten werken met zichtbaar licht. Als we naar dit regime van hoge-veldenfysica willen, dan denk ik dat we met röntgen moeten gaan werken. Als je een hoge intensiteit hebt in het röntgenregime dan kun je deeltjes versnellen. Met een gradiënt van 1 TeV/cm heb je CERN op het puntje van je vinger. Daarvoor moeten we waarschijnlijk zichtbaar-lichtpulsen comprimeren tot attoseconden. Daarna kunnen we de röntgenstraling comprimeren door middel van relativistische plasmacompressie. Als je dat soort korte pulsen op een target afstuurt, dan ontstaat er een plasma. De elektronen uit dat plasma gaan dan met de snelheid van het licht tegen de richting van de lichtpuls in bewegen, waardoor die weer gecomprimeerd wordt. Wij zijn op dit moment bezig met simulaties van dit proces [3].”

“Als dat mogelijk is, dan kun je ook denken aan PeV-versnellers; dat betekent dat je deeltjes met een energie van de orde van PeV, die we nu alleen kennen in de kosmos, kunt maken op aarde. Dan kun je de vorming van zwarte gaten bestuderen. Dan hebben we de kosmos op een tafelblad. Maar zover is het nog niet, dat is een blik op de verre toekomst. Daarvoor hebben we nu nog drie ordes van grootte te gaan. Je komt dan ook in het regime waar je het vacuüm

gaat beïnvloeden, dat gaat dan materialiseren. Maar voordat het vacuüm compleet instort ontstaan er elektron-positronparen en die verstoren je veld, zodat je het vacuüm niet verder kunt afbreken. Het licht komt er dan namelijk niet meer doorheen, dus dan wordt het interessant wat er wel gebeurt...”

Openbaring

De eerste vraag die Mourou stelde toen hij aankwam in Amsterdam was: “Heeft het hotel ook een zwembad?”

“Ik zwem niet met de snelheid van het licht, verre van dat. Maar het klopt dat ik graag zwem en het liefst buiten, in koud water en zonder wetsuit.”

Daarom vraag ik hem of hij ook bezig is met de fysica van massieve objecten die zich voortbewegen door een dicht medium. Mourou: “Nee, op dit moment niet echt.”

“We hoorden dat u een enthousiaste zwemmer bent...”

Mourou: “Jazeker, maar ik zwem niet met de snelheid van het licht, verre van dat. Maar het klopt dat ik graag zwem en het liefst buiten, in koud water en zonder wetsuit. Ik ben ermee begonnen toen ik 65 jaar was. Dat was in de baai van San Francisco, waar je met zeehonden kunt zwemmen. Ik was daar met mijn zoon en hij zwemt graag. Hij vroeg me of ik mee ging zwemmen daar, bij de Dolphin Club, de oudste zwemvereniging van San Francisco. Ik sputterde tegen, want dat leek me niet fijn daar in de baai. Maar hij zei dat er bij de club veel oudere mensen dan ik zwommen en dat ik nooit te oud kon zijn om wat te leren. Dus toen ben ik daar het water ingegaan en ik was verrast dat ik het had gedaan en dat ik het nog lekker vond ook. Ongeveer tien seconden lang is het onaangenaam, maar daarna: wow! Voor mij was het een openbaring, een compleet nieuwe ervaring. Ik probeer nu zo vaak mogelijk buiten te zwemmen en dat heeft mijn leven compleet veranderd!

REFERENTIES

- 1 <https://portail.polytechnique.edu/izest/en>
- 2 www.u-szeged.hu/news-and-events/2019/project-led-by-szte
- 3 Pisin Chen en Gerard Mourou, *Phys. Rev. Lett.* **118**, 045001 (2017).