

Surfende elektronen

Citation for published version (APA):

Brussaard, G. J. H. (2006). Surfende elektronen. In T. Hackeng, & H. Veenhof (editors), *Over de grenzen van het weten: jaarboek 2004 Vereniging van Akademie-onderzoekers* (blz. 19-23). Vereniging van Akademie-onderzoekers.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/2006

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Surfende Elektronen

Het onderzoek dat wordt uitgevoerd in de groep Fysica en Toepassingen van Versnellers aan de Technische Universiteit Eindhoven richt zich op het versnellen van elektronen tot (bijna) de lichtsnelheid, met compacte versnellers.

Versnellers als lichtbron

Waarom willen we elektronen versnellen? Het antwoord op deze vraag is: omdat we met snelle elektronen licht kunnen maken.

Wellicht de bekendste huis-tuin-en-keukenversneller is de (inmiddels bijna verouderde) beeldbuis. In de versneller achter in de beeldbuis worden elektronen versneld tot enkele kilovolts, ongeveer 10% van de lichtsnelheid. Als de elektronen de voorkant van de beeldbuis bereiken, wordt hun energie omgezet in zichtbaar licht. Als we de elektronen tot hogere energieën versnellen kunnen we röntgenstraling opwekken waarmee bijvoorbeeld de foto's in het ziekenhuis worden gemaakt. De meest gespecialiseerde lichtbronnen, gebaseerd op snelle elektronen, zijn synchrotrons. Deze apparaten bestaan uit versnellers die de elektronen versnellen tot GigaVolts. Dit is te vergelijken met bijna 1 miljoen beeldbuizen achter elkaar. De straling wordt gemaakt door de elektronen een ringvormige buis in te sturen waar ze in hun baan worden gehouden door magneten rondom de buis. Deze opslagringen hebben een omtrek van tientallen tot honderden meters. Wereldwijd zijn er inmiddels enkele tientallen van deze synchrotrons operationeel. Het onderzoek dat met deze synchrotrons wordt gedaan varieert van het bestuderen van DNA tot het stollingsproces van chocolade om mooiere repen te maken. Op de website van de grootste Europese synchrotron faciliteit, ESRF (European Synchrotron Radiation Facility, www.esrf.fr) wordt een overzicht gegeven van de enorme variëteit van het onderzoek dat met dit licht wordt gedaan. Op dit moment wordt in Duitsland gewerkt aan de ultieme lichtbron: een röntgenlaser. De intensiteit van het licht dat deze laser gaat produceren, is meer dan een miljoen keer groter dan dat van de huidige synchrotrons. Er is wel een prijs: de versneller die daarvoor nodig is, is meer dan 3 kilometer lang.

Waarom een ultieme lichtbron?

De eigenschappen waaraan het licht dat we zouden willen maken, moet voldoen, is waarschijnlijk het best te illustreren aan de hand van de studie naar eiwitstructuren. Eiwitten zijn de 'arbeiders' in ons lichaam. Het zijn complexe moleculen, die verschillende specifieke functies vervullen. Zo verzorgen ze bijvoorbeeld het transport

van stoffen van, naar en binnen de cellen of zorgen ze ervoor dat bepaalde cellen zich vervormen, zodat onze spieren zich spannen of ontspannen. Elk eiwit heeft een specifieke taak. Welke taak hangt af van de exacte structuur van het betreffende eiwit.

Met behulp van het licht van een synchrotron kan de vorm van eiwitmolecuul worden bekeken, maar niet zijn functioneren. Dat laat dus nog veel vragen open. Zo zijn er eiwitten die heel veel op elkaar lijken, maar toch totaal verschillende functies vervullen. Het is te vergelijken met het maken van een foto van iemand die slaapt en aan de hand van die foto proberen te achterhalen wat zijn werk is. Wat je eigenlijk zou willen is foto's maken terwijl de persoon daadwerkelijk aan het werk is. De verschillende foto's samen vertellen je dan veel meer over de specifieke functie van de betreffende persoon.

Als we hetzelfde willen doen bij eiwitten hebben we heel speciaal licht nodig. Alereerst zijn de onderdelen (de moleculaire groepen) van de eiwitten klein. Dit betekent dat we röntgenstraling nodig hebben om ze te kunnen zien. Daarnaast bewegen alle onderdelen ten opzichte van elkaar. Om een scherpe foto te kunnen maken is daarom een hele korte lichtpuls nodig, vergelijkbaar met de sluitertijd bij het fotograferen van snel bewegende objecten. Tenslotte moet je voldoende licht hebben om ondanks die korte sluitertijd de film toch genoeg te kunnen belichten. Op dit moment is het nog niet mogelijk om licht te maken waarin deze drie eigenschappen worden gecombineerd om in één flits zo'n eiwit te fotograferen.

Elektronen versnellen

De technologie voor het maken van een röntgenlaser met de eerder genoemde eigenschappen (hele korte puls, hoge intensiteit en de juiste golflengte van het licht) bestaat. Maar waarom moet zo'n apparaat zo groot, en daardoor zo duur zijn? De belangrijkste reden daarvoor is dat de elektronen een hoge energie moeten bereiken.

Het versnellen van elektronen is in beginsel heel eenvoudig. Men neme een spanningsbron, bijvoorbeeld een accu. Tussen de twee elektroden van de spanningsbron heerst een spanningsverschil. Als de negatieve elektrode wordt verhit of met een laser wordt beschoten, worden daar elektronen uit het materiaal vrijgemaakt. Door het spanningsverschil zullen de elektronen van de negatieve naar de positieve elektrode worden versneld. Bij een spanningsverschil van 1 Volt, bereiken de elektronen de positieve elektrode met een energie van 1 elektronvolt (eV). Hoe groter het spanningsverschil, hoe hoger de energie waarmee de elektronen aankomen. Het probleem bij de röntgenlaser is, dat de elektronen moeten aankomen met een energie van meer dan tien miljard elektronvolt (giga-elektronvolt, GeV). Het maximale spanningsverschil dat je kunt aanleggen is afhankelijk van de afmeting van de versneller. Als het spanningsverschil te groot wordt, of de afstand tussen de elektrodes te klein, beginnen er vonken over te springen. Door het grote spanningsverschil worden er elektronen uit de wand van de versneller getrokken en de vonken die daardoor ontstaan vernielen de versneller. Dit effect merk je al als je twee draden aan een 12 V-accu aansluit en ze langs elkaar strijkt. Vlak voor en vlak nadat ze elkaar raken, springen de vonken in het rond. De veldsterkte (spanningsverschil per meter) is dan

een paar kilovolt per meter (kV/m). Door in vacuüm te werken, materialen van hoge kwaliteit te gebruiken en de versnellers nauwkeurig te ontwerpen, is het mogelijk om een veldsterkte te maken van zo'n 30 megavolt per meter, zonder directe desastreuze gevolgen. Voor een versneller die de elektronen tot 30 Giga-elektronvolt moet versnellen heb je dan een versneller van minstens 1000 meter nodig.

Plasmaversneller

Vanwege de grote afmetingen van hoge-energie elektronenversnellers bestaat er sinds het einde van de jaren negentig veel belangstelling voor de ontwikkeling van een nieuw type versneller: de plasmaversneller. De werking van een plasmaversneller is een stuk complexer dan van bestaande versnellers en nog niet alle technologie is beschikbaar. Goede redenen dus voor ambitieuze wetenschappers om er aan te werken.

Een plasma is een gas waarbij de elektronen en ionen zich los van elkaar bewegen. Onder normale omstandigheden bestaat een gas uit neutrale deeltjes. Onder iets minder normale omstandigheden kunnen elektronen losgemaakt worden van de kern. Dit gebeurt bijvoorbeeld in een tl-buis door een elektrische stroom door het gas te laten lopen.

Als een zeer krachtige laserpuls in een plasma wordt geschoten, duwt het licht de plasma-elektronen opzij. Na het passeren van de laser bewegen de plasma-elektronen terug naar het midden van het plasmakanaal, waardoor er een hekgolf achter de laserpuls ontstaat. Dit is te vergelijken met een boot die door het water vaart. Het water wordt door de romp van de boot weggeduwd, maar achter de boot ontstaat een hekgolf. De laserpuls gaat met bijna de lichtsnelheid door het plasma. De hekgolf volgt de laserpuls met dezelfde snelheid, net als de hekgolf achter een boot. De uitdaging is nu om elektronen te laten surfen op de hekgolf achter de laser. De belangstelling voor plasmaversnelling komt voort uit het feit dat de elektronen in deze hekgolf onder de juiste omstandigheden een veldsterkte ondervinden tot 1000 gigavolt per meter. Dat betekent in theorie, dat de elektronen voor de röntgenlaser kunnen worden versneld in een plasmaversneller van minder dan een centimeter.

Hierbij moet wel enige voorzichtigheid worden betracht. Op grond van soortgelijke berekeningen als hierboven gingen in de Duitse Bondsdag recentelijk stemmen op om de bouw van de 3 km lange versneller te stoppen in afwachting van een (goedkopere) plasmaversneller. Voorlopig is het echter nog niet mogelijk om de elektronen in het plasma over meer dan 1 mm te versnellen. Ze bereiken daarmee nog maar 1% van de energie die nodig is voor de röntgenlaser. Daarnaast is de totale hoeveelheid elektronen die kan worden versneld veel lager dan in de versneller die in Duitsland wordt gebouwd.

Desalniettemin biedt de plasmaversneller ongekende mogelijkheden voor het versnellen van elektronen. De uitdagingen zijn echter navenant. Globaal bestaat de plasmaversneller uit drie onderdelen: het plasma, de laser die de plasmagolf moet maken en een injector die elektronen vlak achter de laserpuls het plasma in moet schieten, zodat ze op de hekgolf verder worden versneld. In Nederland wordt het onderzoek naar plasmaversnellers daarom uitgevoerd door drie samenwerkende groepen: het

FOM-instituut voor Plasmafysica 'Rijnhuizen' (het voormalig centrum voor kernfusie met veel kennis op het gebied van plasma's), de lasergroep van de Universiteit Twente en de versnellergroep van de Technische Universiteit Eindhoven.

De elektroneninjector

Het door de KNAW ondersteunde onderzoek betreft de injectie van elektronen in de plasmagolf. Om terug te komen op de analogie van het surfen: Een surfer dobbert op de golven voor het strand. Om een hoge snelheid te bereiken en zijn of haar kunsten te kunnen vertonen, moet de surfer op het juiste moment beginnen te peddelen. Door zichzelf een beetje snelheid te geven wordt de surfer door de golf meegenomen. Hetzelfde geldt voor elektronen. Het probleem met elektronen is dat ze zelf niet kunnen peddelen en dat de laserpuls die de hekgolf veroorzaakt al vrijwel met de lichtsnelheid gaat. De elektronen moeten, om door de plasmagolf opgepikt te worden, een schop krijgen die ze tot ruim 99% van de lichtsnelheid versnelt.

Men zou zich kunnen afvragen hoeveel zin het heeft om een injector te bouwen die de elektronen tot 99% van de lichtsnelheid versnelt, om ze vervolgens in een complexe plasmaversneller nog minder dan 1% verder te versnellen. Het antwoord op die vraag is, dat in de wereld van de relativiteitstheorie, als deeltjes bijna met de lichtsnelheid gaan, het begrip snelheid niet meer zoveel betekenis heeft. Het is beter om te spreken over energie. Als we elektronen die bijna met de lichtsnelheid gaan verder versnellen, betekent dit dat hun energie toeneemt. Die energietoename gaat vooral zitten in de toename van de massa van de elektronen en nauwelijks meer in de snelheid. In het geval van de injector en de plasmagolf komt het er op neer dat de injector de elektronen versnelt van 0 tot 99% van de lichtsnelheid en in energie: van 0 tot 10 miljoen elektronvolt. De plasmagolf moet ze dan verder versnellen tot 99,999% van de lichtsnelheid, maar in energie van 10 miljoen tot 10 miljard elektronvolt.

Behalve het geven van de beginsnelheid moet de injector nog een ander probleem oplossen: Om uiteindelijk voldoende licht te maken met de elektronen moeten zo veel mogelijk elektronen tegelijk versneld worden. Nu is het vrij eenvoudig om met een korte laserpuls een heel intens wolkje elektronen te maken. Maar omdat elektronen allemaal dezelfde (negatieve) lading hebben, stoten ze elkaar af. Dit betekent dat binnen een fractie van een seconde het wolkje is gegroeid en de dichtheid is afgenomen. Gevolg is dat maar een paar elektronen op het juiste punt van de golf terecht komen om verder versneld te worden. Er is gelukkig een effect dat dit enigszins kan voorkomen. Dit heeft te maken met de relativiteitstheorie. Kort samengevat komt het er op neer dat dichtbij de lichtsnelheid de tijd langzamer loopt. De elektronen stoten elkaar af, maar gezien vanuit het laboratorium duurt dit veel langer dan wanneer de elektronen bijna stilstaan. Om zoveel mogelijk elektronen over te houden, moeten we ze zo snel mogelijk naar de lichtsnelheid brengen.

De injector moet dus de elektronen versnellen tot 99% van de lichtsnelheid en dat ook nog over een zo kort mogelijk traject. Enkele jaren geleden hebben we in Eindhoven de beste elektroneninjector ter wereld gerealiseerd. Deze injector is gebaseerd op 'conventionele' versnellertechnologie, maar wel extreem geoptimaliseerd.

Met deze injector kunnen de elektronen tot de gewenste 99% van de lichtsnelheid worden versneld in een versneller van slechts 25 cm. Een kopie van deze injector zal worden gebruikt voor onze eerste plasmaversnellingsexperimenten. Maar eigenlijk is zelfs deze injector nog niet goed genoeg. Daarom zijn we bezig met de ontwikkeling van een nieuwe injector gebaseerd op een andere technologie. Zoals al eerder naar voren kwam, is de maximale versnelling in een conventionele injector beperkt. Als de veldsterkte te groot wordt, ontstaan ontladingen (vonken). Het ontstaan van zo'n vonk kost echter tijd. Heel weinig tijd (ongeveer één miljardste seconde), maar lang genoeg om elektronen te versnellen voordat de vonk overspringt. Het is daarom zaak om het elektrische veld aan en uit te schakelen binnen die miljardste seconde. Met deze technologie is het dan mogelijk om de elektronen tien keer zo snel naar de lichtsnelheid te schieten. Het onderzoek naar deze techniek bevindt zich nu in de testfase. We zijn in staat om elektronen te versnellen met een tien keer zo hoog veld, maar nog niet op een geheel gecontroleerde manier en nog niet synchroon met de laser die de hekgolf in het plasma maakt. In de komende tijd gaan we een door ons ontwikkelde schakelaar in de versneller integreren. Deze schakelaar maakt gebruik van dezelfde supersnelle laser als de plasmaversneller. Dat betekent dat we de versneller precies op het juiste moment kunnen activeren en dat de elektronen op de beste plaats in de hekgolf terechtkomen voor de *Perfect Ride*.

Project: *Een Nieuw Versneller Concept, voor het maken van elektronenpulsen met hoge helderheid en het genereren van straling.*

Dr. G.J.H. Brussaard is verbonden aan de Faculteit Technische Natuurkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.

E-mail: g.j.h.brussaard@tue.nl