



Foto: Tony Karacsonyi/Pressens Bild

Surfande elektroner

AV CHRISTIAN DELFIN

På samma sätt som en surfare surfar på vågorna kan en elektron surfa i "kölvattnet" efter en laserpuls med hög effekt. Vi har i Lund mätt upp elektroner, accelererade av en laserpuls, med hastigheter som närmar sig ljushastigheten.

Att accelerera elektroner med laser är mycket effektivt och skulle i framtiden kunna vara ett sätt att minska kostnaderna för nya partikelacceleratorer. Med hjälp av dessa anläggningar försöker man bland annat hitta materiens minsta beståndsdelar.

Metoden bygger på att när en ljuspuls från en pulslaser, dvs blinkande, har tillräckligt mycket energi kan den i en gas slita bort elektronerna från atomerna. Kvar blir fria elektroner och positiva joner, ett *plasma*. När laserpulsen växelverkar med plasmat formerar sig elektroner och joner på ett sådant sätt att starka elektriska krafter uppstår. Dessa krafter, Coulomb-krafter, är den attraktionskraft som uppstår mellan positivt laddade och negativt laddade partiklar. Kraften uppträder bland annat i samma riktning som laserpulsen och följer med pulsen i dess hastighet. Fenomenet är mycket likt det kölvatten som bildas bakom en båt. För en elektron som utsätts för denna Coulomb-kraft i laserpulsriktningen "känns" det som att tryckas fram av vågen. Elektronen surfar i "kölvattnet" efter laserpulsen. En elektron kan på detta sätt accelereras till hastigheter som när-

mar sig ljushastigheten. Ljushastigheten är, enligt Einsteins relativitetsteori, den högsta hastighet något kan få.

Hos Lund Laser Centre på Fysiska institutionen finns en högeffektlaser som har tillräckligt hög effekt, dvs energi per tidsenhet (Watt), för att göra experiment av den här typen möjliga. Utvecklingen av sådana system har hela tiden gått mot högre effekt. Istället för att öka energin har dock utvecklingen gått mot att man minskar pulslängden. Lunds högeffektlaser har en pulslängd som är 50 femtosekunder (fs), vilket är 0,00000000000005 sekunder. Energin är så hög att toppeffekten i laserpulsen blir 20 teraWatt, 20.000.000 miljoner Watt. Det är mer än 15.000 gånger vad Barsebäcks kärnkraftverk producerar i medeleffekt. Lasern producerar 10 pulser i sekunden, vilket ger en medeleffekt av måttliga 10 Watt. Detta är ungefär vad en snabbcyklade cyklist kan komma upp i med sin dynamobelysning! I experiment med den här lasern är det dock toppeffekten som utnyttjas och som vi låter växelverka med atomer.

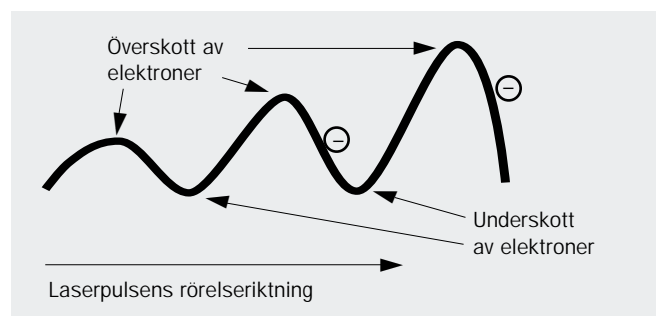
För att producera en laserpuls med en toppeffekt på 20 teraWatt är det inte bara att öka energin i en kort puls. Skulle man öka energin i en 50 fs kort puls så att man kom upp i de höga effekterna som behövs skulle snart speglarna i lasersystemet vara brända. För att undvika detta använder man sig av CPA (Chirped Pulse Amplification) som i korthet innebär följande: En kort puls med lite energi produceras och därefter sträcks den ut ca 2.500 gånger. Energin ökas sedan i

den utsträckta pulsen, som slutligen komprimeras tillbaka till 50 fs igen. Resultatet blir en mycket kort puls med extremt hög toppeffekt som man, genom att sträcka ut pulsen i tiden, undvikit att utsätta speglarna för.

När en sådan laserpuls fokuseras i en gas kommer elektronerna i gasens atomer att slitas bort, joniseras, tidigt i pulsen. Den återstående delen, den med högst effekt, kommer således att växelverka med fria elektroner och joner. Laserpulsens kommer att trycka de lätta elektronerna utåt. Jonerna utsätts för samma krafter, men eftersom de är mycket tyngre stannar de i princip kvar på samma ställe under den korta tid, 50 fs, som de utsätts för kraften från laserpulsens. När pulsen har passerat kommer återigen Coloumb-kraften att leda till att de negativt laddade elektronerna dras tillbaka mot de positivt laddade jonerna. De kommer att börja svänga runt jonerna på samma sätt som en fjäder svänger runt sitt jämviktsläge efter att man dragit ut den och släppt. Det uppstår ett område efter laserpulsens med överskott av elektroner. När elektronerna befinner sig längst iväg från jonerna uppstår ett område med underskott av elektroner. Dessa områden ligger på samma ställe relativt pulsen och rör sig med samma hastighet som laserpulsens hela tiden (jämför kölvattnet efter en båt). En våg bildas som rör sig efter pulsen trots att "fjädrarna", elektronerna, bara ligger och svänger. Återigen kan en koppling göras till vatten där en våg rör sig trots att vattenmolekylerna bara gungar upp och ner och ej rör sig med vågen.

Trycks fram av vågor

En elektron som hittar in mellan områden med överskott av elektroner och områden med underskott av elektroner kommer att känna en mycket stark Coulomb-kraft åt samma håll som laserpulsens rör sig. Elektroner kan därigenom surfa bakom en laserpuls och känna som om de trycks fram av "kölvattnet", se bilden. Därigenom kommer också hastigheten att öka hela tiden. Metoden kallas också mycket riktigt *Laser Wake Field Acceleration* som ungefär kan översättas med kölvattens-acceleration med hjälp av laser. Här har jag beskrivit hur elektroner accelereras men det finns inga tekniska problem att använda samma metod för andra laddade partiklar.



De elektroner som kommer in och känner av de starka Coulomb-krafterna får en känsla av att surfa i "kölvattnet" efter laserpulsens.

Christian Delfin blev i juni doktor på "surfande elektroner" på Avdelningen för atomfysik vid LTH.

"High-intensity Laser – Matter Interactions in Gas Targets. Harmonic Generation and Relativistic Channelling" heter avhandlingen.

Innan Christian från Kristianstad började doktorera i Lund hade han läst till civilingenjör i Uppsala och arbetat med pappersforskning på Modo i Örnsköldsvik. Våren 1997 började han forska för "så lärde jag mig mest". Trots mycket tekniskt strul med högeffektlasrarna blev han alltså klar i år.

Ungefär som ljudvågor ger upphov till övertoner ger laserljus "övertoner" (vissa multipler av grundfrekvensen) när det fokuseras i en gas. Om detta handlar den grundforskning som Christian ägnat sig åt.

Vid riktig hög intensitet uppstår relativistiska effekter då elektronerna i den joniserade gasen närmar sig ljushastigheten. Vilka praktiska tillämpningar forskningen kan få vet man ännu inte, men att accelerera partiklar är en tänkbar användning.

– Kanske kan man göra en röntgenlaser som blir medicinskt säkrare än en konventionell röntgenapparat, säger Christian. Andra hoppas att man i kanalen, som han berättar om här, kan skapa fusionsenergi som löser våra framtida energi-problem.

Med högeffektlasern arbetar ett team om två professorer och sex doktorander samt gäster från hela Europa. Därför talar man engelska hela dagarna. Lasern är nämligen av EU utnämnd till "Large Scale Facility".

När Christian inte arbetar cyklar han helst. Efter att ha hämtat sig från en skada har han nu som veteran – 31 år – börjat tävla medan hustrun Anna är på god väg att bli cykelproffs.



På olika sätt kan man bilda en laserkanal där ett sådant "kölvatten" utbreder sig och i denna kanal accelerera laddade partiklar.

Ännu så länge utsträcker sig inte längden av en sådan accelerationskanal till mycket mer än en millimeter. Vi har i Lund mätt upp laseraccelererade elektroner som har en hastighet av 98 procent av ljushastigheten efter en accelerationssträcka på endast 0.5 mm. Det skall sättas i proportion till de andra typer av accelerators som används i t ex den europeiska gemensamma acceleratoranläggningen belägen i Cern, Schweiz. Dessa har en accelerationskraft som är 1.000 gånger mindre än vad vi åstadkommer med laseraccelerationen. Det vill säga, vi gör på en millimeter vad en konventionell accelerator gör på en meter!

Nya acceleratoranläggningar planeras att byggas och deras gigantiska storlek gör att priset för dessa blir oerhört högt.

Forskningen inom området med laseraccelererade partiklar ligger på grundforskningsnivå och mycket återstår ännu att förstå, men detta skulle kunna vara en ny metod att i framtiden minska kostnaderna för acceleratoranläggningar.