

Förord

En god fingervisning på att en upptäckt, eller vetenskapliga och teknologiska framsteg, mognat är att dess terminologi delvis förändras. Något som börjar som ett försök till en förbättrad metodologi blir då till ett vetenskapsfält. Så länge pulsade lasrar funnits har det varit ett mål att göra pulserna så korta som möjligt. Vi hade pikosekundspulser, som blev femtosekundspulser och så fick vi laserpulser som var så korta att man kom in i attosekundsområdet. Vi fick attosekundslasrar, och i takt med att teknologin utvecklats och tillämpningarna blivit fler, har vi börjat tala om *attofysik* (avsiktligt skrivet med gemen bokstav). *attofysik* är temat för årets *Kosmos* — volym 101.

Genom åren har *attofysik* och dess pionjärer fått många erkännanden. En kulminering blev Nobelpriset i fysik 2023, som tilldelades Pierre Agostini, Ferenc Krausz och Anne L’Huillier. I Sverige blev vi särskild glada för den sistnämnda. Anne L’Huillier må vara fransyska till sitt ursprung, men är sedan bortåt tre decennier tillbaka också lundensare. Vid sidan av hennes betydelse internationellt, har hon spelat en viktig roll för svensk fysik och som hon också under åren varit mycket uppskattad som lärare, mentor och kollega, har vi tillägnat *Kosmos 2025* till henne och till *attofysik*.

Lund har spelat en viktig roll för *attofysik*, nationellt och internationellt, och det är naturligt att Lund är väl representerat i årets nummer. Lundaforskare var bland de första i Sverige som började arbeta med lasrar och till stor del har svensk utveckling inom laserfysik drivits från Lund. En nyckelperson har varit Sune Svanberg, som skriver lite om detta i förra årets *Kosmos*. Han och hans medarbetare tog initiativet till ett centrum för högeffektslasrar, vilket i sin tur bidrog till att Anne L’Huillier kom till Lund.

Idag finns attofysik representerat vid flera svenska lärosäten, och innefattar spetsforskning inom såväl teori som experiment. Detta har vi försökt att spegla i årets *Kosmos*.

Första gången en dag såg en lasers ljus var 1960, när Theodore Maiman fick en rubinlaser att fungera. Enligt inte helt bekräftade källor var det hans assistent Irnee D’Haenens som först skämtsamt sade att det är en lösning som letar efter ett problem. I skrivande stund finns dock minst tiotusentals patent som har med lasrar att göra. Laserteknologin utvecklades snabbt efter 1960. Fler våglängdsområden blev tillgängliga, effekter blev högre, ljuset kunde avges kontinuerligt eller pulsat, och pulserna blev allt kortare. I jakten efter så korta pulser som möjligt tog man till allsköns fysikaliska fenomen. Bland dessa var några av de viktigaste *interferens* och *övertoner*. Dessa nyckelord uppträder ofta i årets artiklar.

Människans öga kan knappast uppfatta händelser på tidsskalan så korta som en hundradels sekund. Om något händer snabbare än så ser vi hur saker och ting såg ut *innan* och hur det ser ut *efter*, men själva händelsen förefaller vara ögonblicklig (bokstavligen!). Vi kan inte se vad som utspelar sig under det att händelsen pågår — vill vi göra det behövs teknologiska verktyg. Ju snabbare dessa blir, desto snabbare fenomen kan vi studera. Om vi vill veta vad som pågår under det att en excitation, spridning eller jonisation pågår krävs extremt snabba verktyg. Attosekundspulser innebär att vi kan få insyn i, till exempel, vad som händer när en elektron frigörs från ett material vid den fotoelektriska effekten. Detta och annat inspirerar såväl experimentalister som teoretiker att titta närmare på fenomen som inte tidigare varit möjliga att undersöka empiriskt.

Kosmos 2025 inleds med en personligt skriven artikel av huvudpersonen själv, Anne L’Huiller, som beskriver sin resa med ultrakorta laserpulser. Efter den inledningen gör vi, innan vi tittar närmare på attofysik, en avstickare. Vi pratar om korta tider, men vad är egentligen tid? Frågan kan samtidigt tyckas vara såväl trivial som djupt komplicerad. Vi har bett Erik B. Karlsson att ägna lite tid åt detta, och i hans artikel tacklar han frågan från både filosofiska och fysikaliska synpunkter.

En grundlig genomgång över hur attosekundspulser alstras ges av Mette Gaarde. Hon förklarar de aspekter av växelverkan mellan ljus och materia som processerna bygger på, såsom övertoner, fasmatchning och interferens. Hon går också in på tillämp-

ningar. Artikeln följs av ett annat pedagogiskt bidrag, där attosekundsfysik förklaras med en helt annan, mer populärvetenskaplig metod. Johan Mauritsson och Hedvig Jalhed drar paralleller mellan attofysik och operasång för att genom detta förklara fysiken.

I bokens fortsättningen går vi in på vad som kan studeras inom attofysiken, på vidareutvecklingar, och på underliggande teknologi. Marcus Dahlström och Eva Lindroth ställer frågan hur tider för jonisation av atomer kan studeras. De har studerat detta teoretiskt och jämfört med experiment. Detta ger på köpet fördjupade insikter i hur attosekundspulser genereras. Vi fortsätter med en närmare beskrivning av lasrar och tekniska lösningar som ligger till grund för generering av attosekundspulser — detta i en artikel av Anne-Lise Viotti och Cord Arnold.

Årets *Kosmos* avslutas med exempel på hur experiment inom attofysik har spridit sig i Sverige. Lázló Veisz i Umeå visar att den materia laserljuset växelverkar med för att alstra attosekundspulser inte behöver vara i gasfas. Kort pulslängd för generellt med sig att pulsens toppeffekt blir mycket hög. I detta fall skapar laserpulser ett plasma på en yta, i vilket laddningar accelereras så pass att vi träder in i ett nytt forskningsområde — relativistisk attofysik. Till sist har vi en artikel där Andreas Hult Roos och Raimund Feifel från Göteborg kombinerar attofysik med elektronspektroskopi — också en upptäckt som givit ett svenskt Nobelpris. De använder detta för att på en extremt kort tidsskala studera processen när en elektron rycks bort från sin atom.

attofysik är fortfarande ett ungt forskningsområde. Exempelen vi visar i *Kosmos 2025* är, trots att de imponerar, bara början. Det är omöjligt att förutse all ny kunskap som kommer att genereras. Vilken ökad förståelse kommer vi att kunna få av fenomen vi tidigare ansett som ögonblickliga? Vilka nya tillämpningar kommer vi att få? Kommer laserpulser att bli ännu kortare, så att vi får zep-tosekundspulser ($1 \text{ zs} = 10^{-21} \text{ s}$), och vad skulle det i sådana fall betyda? Om detta hoppas vi kunna läsa i framtida nummer av *Kosmos*.

Trevlig läsning!

Anders Kastberg, november 2025