

# KOSMOS

## FYSIK OCH MÄNNISKAN

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDETS ÅRSBOK 2024



## FYSIKEN – NYTTAN OCH NYFIKENHETEN

© SUNE SVANBERG



Artikeln publiceras under Creative Commons-licensen CC BY-NC-SA 4.0  
För bildmaterial med källhänvisning  
gäller samma upphovsrättsliga  
regler som för källan.

*f* SVENSKA  
FYSIKER  
SAMFUNDET





**Sune Svanberg** är professor emeritus i Atomfysik vid Lunds Universitet. Hans forskningsområde är grundläggande och tillämpad laserspektroskopi. Han var avdelningsföreståndare för atomfysikavdelningen i Lund och initiativtagare till Lunds Lasercentrum. Han har intresserat sig för realistiska spektroskopitillämpningar i utvecklingsländer, och även arbetat med miljö- och medicintillämpningar i Kina.

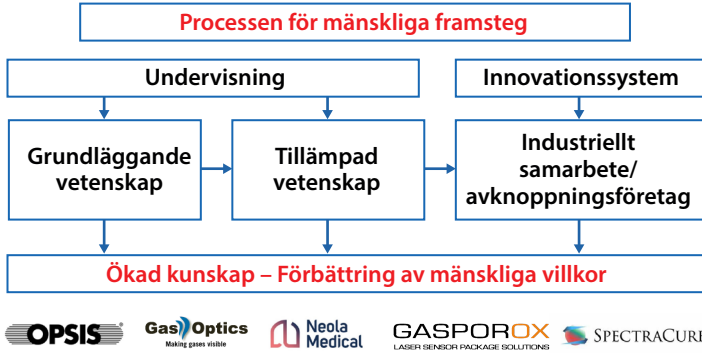
Sune Svanberg är en av Sveriges mest kända fysiker och under en lång karriär har han hunnit ägna en hel del tankar åt nytta och nöje med fysik. Han har dessutom personligen engagerat sig djupt i bemödanden att genom fysik bringa nytta åt andra. Här ger han oss en personlig återblick på sin resa i nyttans och nyfikenhetens kölvatten.

# Fysiken – Nyttan och Nyfikenheten

Fysikens uppgift är att ge en beskrivning av processer i världen, samt att utifrån en god förståelse stimulera under en innovationsprocess, där teknik tas fram, som kan främja mänsklighetens betingelser och framåtskridande. Kunskap kan tyvärr även missbrukas och leda till destruktion och lidande — en etisk kompass måste vara på plats för att styra skeppet mot goda hamnar. Ett speciellt dilemma uppstår när en upptäckt eller teknologi kan användas för både goda eller destruktiva syften (*dual-use-problematiken*).

Ofta leder ansträngningar på fysikens område till nya upptäckter — att sammanhang som varit fördolda kommer i dagen, och att ny och innovativ kombination av kända fenomen leder till fascinerande nya insikter. Här i Sverige har vi fått en speciell och privilegierad roll i detta skeende. Genom Nobelprisen riktas från Sverige strålkastarljuset på ett alldeles speciellt sätt mot de viktigaste nya upptäckterna och uppfinningarna, och pristagarna får en för vetenskapen ovanlig men synnerligen välförtjänt exponering även för allmänheten.

Grundforskning och tillämpad forskning ses ibland som skilda områden, men det finns naturligtvis en kontinuerlig process, där god grundforskning leder till goda tillämpningar, och dessa i sin tur kan generera industriell spin-off och påtagliga framsteg inom teknologi och hälsovård. Någon motsättning behöver ingalunda finnas. Startpunkten i hela processen är undervisning, som måste betraktas som en av de allra viktigaste aspekterna i mänsklig verksamhet - från förmedlingen av de första färdigheterna till att lägga grunden för nytänkande och innovation på universitetsnivå. I Figur 1 visas schematiskt den allmänna processen i mänskligt framåtskridande såsom beskrivits ovan.



Figur 1: Schematisk framställning av samspel mellan undervisning, grundforskning, tillämpad forskning och resulterande kunskapsgenerering och mänskligt framåtskridande. Nederst i bilden ges några illustrationer på spin-off-företag, där innovationer och utvecklingar relaterade till författarens verksamhet lett till mer konkreta resultat.

Fysikens inflytande på vår verklighetsbeskrivning och allmänna välbefinnande är extremt mångfasetterad och kan förstås ej täckas på ett rättvisande sätt i en essä av föreliggande typ. Istället väljer författaren att göra några illustrationer baserade på egen erfarenhet av navigation inom fysikens landskap under snart 60 år och några mer konkreta resultat av detta illustreras även av de spin-off-företag som nämns i nedre delen av Figur 1.

### Nyfikenheten

Människan torde av naturen vara nyfiken och har nog en inneboende kraft att vilja förstå orsak och verkan. Det är naturligtvis enklare om man först betraktat orsaken, fenomenen som är relevanta i sammanhangen, och sedan noterat verkan, än att föra resonemanget åt andra hållet — eller fint uttryckt — lösa inversproblemet. Det är lätt för oss att nu raljera över forntidens okunskap om jorden och dess plats i universum — men det såg ju faktiskt ut som om jorden var platt och att den var den mest relevanta platsen — centrum i universum.

Att olika myter om tillblivelsen av allt har florerat är ju inte så konstigt eftersom dessa, i brist på bättre förklaringar, förklarade orsak-verkanproblematiken. Successivt kunde dock galjonsfigurer



som Ptolemaios, Galileo och Kopernikus dra *korrekta* slutsatser av objektiva observationer. Men det kanske inte alltid är så lätt. Även som fysiker, med full kunskap om den celesta mekaniken, kanske vi inte så ofta reflekterar över de uppenbara konsekvenserna av denna kunskap. Varför ser man alltid fullmånen just över Rönnäng när man på sommaren betraktar den från fritidshuset på Klädesholmen? Jag fick själv en tankeställare när jag för några år sedan började tala med äldsta barnbarnet (det finns nu 6 stycken!) om vad vi såg på himlen, till exempel månen i dess olika faser. Det är lätt att rita på papper och förklara när man vet svaret, men mera effektivt är ju att ställa en fråga som exempelvis: om månen som vi tittar på just nu är en boll, var är lampan? Vi kan då finna det kanske lite överraskande orsakssammanhanget — just det! — där borta i den riktningen, där solen just gick ner! Detta må vara ett tämligen triviale exempel, men kanske det illustrerar hur forntidens giganter successivt lyckades klura ut hur saker och ting förhåller sig.

Mycket mer komplext är de cykler som M. Milankovich redan på 1920-talet studerade och relaterade till periodiska variationer i jordbanan, jordaxelns lutning med mera, vilka sker på tidsskalor av 10-tusentals och 100-tusentals år. Därigenom kunde han ge en plausibel förklaring till dokumenterade istider och mycket annat. Milankovich cykler är dock ingalunda förklaringen till de kraftiga klimatförändringar som observeras, och som vi endast motsträvt nu försöker hantera.

På den riktigt stora rumsskalan observerar vi idag, bland annat genom att studera galaxers mönster och deras bakomliggande rotation, att den ”vanliga”, baryoniska massan i universum bara tycks vara cirka 5% av det totala innehåll som måste finnas — resten är ”mörk” materia (osynliga, oupptäckta partiklar, som följer gravitationens lagar) eller ”mörk” energi (någon typ av egenskap hos rummet, som får universum att expandera i en observerad ökande takt, istället för i en förmodad minskande takt). Fastän vi vet föga, eller inget, om dessa ”mörka” fenomen, frapperas man av att vi som fysiker ändock ofta uttalar oss med stor bravur och självsäkerhet — att vi har det fulla greppet i förklaringsgrunderna. Det är lätt att åter begå samma misstag som våra kollegor gjorde i slutet av 1800-talet, vilka ansåg att nu visste vi allt, endast detaljer återstod att beskriva. Men sedan kom relativitetsteorin, kvantmekaniken, och mycket annat. Man kan kanske till och med komma

att tänka på orden från Nobelpristagaren Lev Landau (NP 1962): *Cosmologists are often in error, but never in doubt!*

Som kommen från landet, faktisk från ett hus långt in i skogen utan elektricitet, och så småningom uppvuxen på ett litet trädgårdsmästeri, där det mesta hanterades och löstes med handkraft, fick jag tidigt vänja mig vid det praktiska, vilket varit en stor tillgång som experimentalfysiker, som jag av någon anledning kom att bli. Det var nog nyfikenheten som ledde till detta. Problemet uppstår när nästan allting är intressant och fascinerande! Av en ren tillfällighet kom jag i kontakt med den i Göteborg nytillträdde professorn Ingvar Lindgren, som sysslade med atomfysik. Min doktoranduppgift var att hjälpa till att starta upp ett för landet nytt forskningsområde, optisk resonansspektroskopi för studier av växelverknningar inom fria atomer, och sändes därför under ett halvår till en inom fältet framstående grupp i Berlin.

*Resonansspektroskopi* — optisk pumpning, optisk dubbelresonans, nivåkorsningsspektroskopi: Här kunde man utforska maskineriet på den lilla skalan, inte minst genom hyperfinstrukturstudier, där kopplingen mellan atomkärna och elektronhölje studeras i detalj. Fascinerande och tekniskt utmanande, där ibland kontinuerligt arbete långt över dygnsgränsen var nödvändigt för att få allting att fungera på en gång. Här lärde jag mig att intensivt och uthålligt arbete, åtminstone för min del, var nödvändigt för att komma någon vart. Med klassiska ljuskällor av den mest intensiva typen kunde elektroner förpassas relativt långt ut från kärnan och väte-liknande atomteori tillämpas, men till sist försvann signalerna i brusdimmorna, även om den då mest förfinade signalbehandlingen användes. Detta ledde fram till min doktorsgrad och docentkompetens 1972. Det fanns dock en möjlighet att komma vidare — lasern hade upptäckts några år tidigare och började bli, inte bara en lösning som letade efter ett problem,<sup>1</sup> utan ett instrument som ledde till problemlösning, bland annat i form av laserspektroskopi.

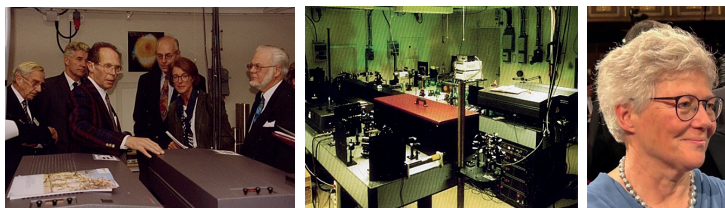
*Laserspektroskopi:* Den första fungerande lasern — rubinlasern — sände ut sina första ljusblixtar i Theodor Maimans laboratorium år 1960. I avsaknad av möjligheter att kontinuerligt ändra ljusvåglängden blev dock de spektroskopiska tillämpningarna begränsade. Situationen ändrades då de första avstämbara lasrarna, främst arbetande med organiska färgämnen, kom, men det var mest i det

<sup>1</sup> Efter det att lasern först realiserats 1960 beskrevs den ibland som "a solution looking for a problem".



gulröda området som dessa fungerade och den gula spektrallinjen i natriumatomen blev en favorit för teknikutveckling. Detta blev dock förstås lite entonigt. Nya färgämnen tillkom och även möjligheten att utnyttja stegvis excitation för att nå mycket högt exciterade tillstånd i så kallade Rydbergatomer. Jag fick själv vara med i detta intressanta skede och vi kunde på Columbia University i New York på kort tid, under min postdoc-vistelse, utvidga kunskapen om de nåbara atomtillstånden högst väsentligt. Efter hemkomsten till Göteborg kunde en mängd kraftfulla laserspektroskopiska principer implementeras. Framgången ledde till en professur i Lund, där utvecklingen fortsatte tillsammans med en växande grupp av duktiga doktorander. Förutom att utvidga förståelsen för elektrondynamiken i atomer, kunde vi bidra med information av stort värde inom astronomin och tolkningen av stjärnspektra. Även om vi förmodligen var en av de ledande grupperna inom europeisk laserspektroskopi kunde man ej slå sig till ro med detta — forskning måste ständigt utvecklas och nya utmaningar antas. För min del blev det ett val mellan två framväxande fält — kylning och infångning av atomer och joner med laserljus, eller växelverkan mellan högintensiv laserstrålning och materia. Mitt val föll på den senare området.

*Högeffektillämpningar* — Nobelpris till Lund 2023: Genom introduktionen av så kallad *chirped pulse amplification* (CPA) — en teknik som Nobelprisbelönades till Gérard Mourou och Donna Strickland år 2018 — blev det möjligt att även i laboratorier av måttliga dimensioner alstra högintensiv laserstrålning i pulser av femtosekundslängd. Detta öppnade upp för studier av en mängd intressanta fenomen: övertongenerering för att nå mycket korta laservåglängder, pumpning av röntgenlasrar, alstring av intensiv bredbandig röntgenstrålning samt partikelacceleration. Fortfarande var lasersystemen stora och svårbearbetade. Genom goda kontakter vid Stanforduniversitetet och laserindustrierna i Palo Alto området framkom en unik möjlighet att kombinera nya tekniker för att åstadkomma ett kraftfullt terawattlasersystem i Lund, som vi kunde få finansierat av Wallenbergstiftelsen. Systemet kunde generera 10 pulser i sekunden, vilket gjorde att nya experiment smidigt kunde utföras. Vi gjorde tidiga studier av biomedicinsk natur, dels med den intensiva röntgenstrålning vi kunde generera genom att fokusera pulserna på ett roterande strålmål av metall, dels med vitljusgenerering genom fokusering i vatten.



Figur 2: *Invigning av Atomfysiks Högeffektlaserslaboratorium 22 oktober 1992 med Lunds Universitets dåvarande rektrix, Boel Flodgren, förutvarande rektor Håkan Westling, och blivande statssekreteraren Peter Honeth (vänster). Terawattlasersystemet 1992 (mitten); Nobelpristagaren Anne L'Huillier, Atomfysik, Lunds Universitet, 10 december 2023 (höger).*

En annan inriktning var röntgenlaserspumpning, vilket ledde till förtroendet att i Lund arrangera den internationella röntgenlaserkonferensen år 1996. Det var dock de nya möjligheterna inom spektroskopi, som generering av höga övertoner möjliggjorde, som syntes mest intressanta. I planeringen för den nya inriktningen i Lund besökte jag Gérard Mourous grupp i Michigan år 1990, samt Gérard Manfrays och Anne L'Huilliers grupp i Saclay, där höga övertoner med plåtåbildning observerats år 1988. Vi hade länge med nya metoder sökt pressa laserspektroskopin mot riktigt korta våglängder, bland annat med Ramanskiftning och fyrvågsblandning, som en del av Jörgen Larssons doktorandarbete (Jörgen är nu avdelningsföreståndare på Atomfysik i Lund!). Jag inbjöd Anne, som en av talarna till invigningen av Högeffektlasersressursen i Lund den 22 oktober 1992, till ett föredrag om övertoner. Hon blev imponerad av vår då världsunika terawattlasers prestanda, som möjliggjorts av att vi trots varningar från experter satsat på att i alla lasersteg, från oscillator, till regenerativ förstärkare, och vidare till slutsteg, använda det nya materialet titandopad safir. Vi kunde attrahera Anne till Lund för gemensamma övertonsexperiment mellan hennes och min grupp.

Anne trivdes i Lund. Jag var på olika sätt i initialskedet behjälplig med anordning av lämpliga tjänster och successivt överförde jag ledarskapet till henne och min tidigare doktorand Claes-Göran Wahlström, som jag på ett relativt tidigt stadium i högeffektlasersprojektet lyckats rekrytera tillbaka till Lundaforskningen, efter en kortare sejour ute i industrin. Framgångsrik forskning kräver frihet och full kontroll av verksamheten, annars söker man



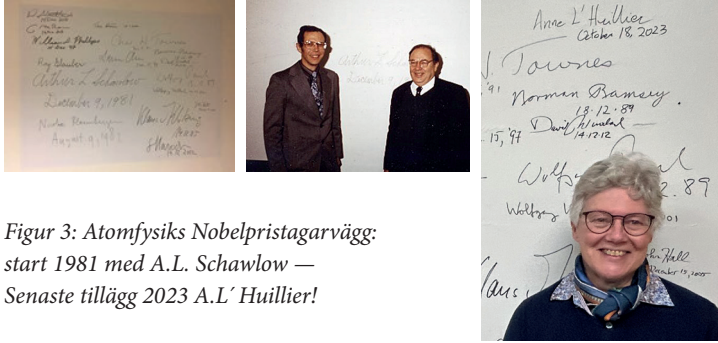
sig lätt till andra jaktmarker. Claes-Göran har med stor framgång drivit laseracceleration av protoner, medan hans tidigare student, Olle Lundh, koncentrerat sig på laseracceleration av elektroner, och dess många tillämpningar. Claes-Göran har gjort en synnerligen framstående insats, inte minst genom att tills för kort tid sedan leda såväl Atomfysikavdelningen som Lunds Lasercentrum (LLC), som jag tog initiativ till år 1995.

Hur blev det då med laserspektroskopin vid riktigt korta våglängder, som varit en av mina drivkrafter i nyinriktningen? Jodå, med ett ytterligare specialbyggt högeffektlasersystem, som var fullt avstämbart i våglängd, lyckades vi med en hög överton av ordning 13 excitera och noggrant livstidsbestämma ett mycket fundamentalt tillstånd i heliumatomen. Detta blev en höjdpunkt för ”kortvåglängds mannen” Jörgen Larsson, som numera med stor energi mest koncentrerar sig på kombinerade laser-synkrotronljusexperiment, bland annat genom framtagningen av strålröret FemtoMAX vid MAX IV.

Övertonsforskningen gled mer och mer in mot perspektivet att i parallellitet med femtosekundspulsgenerering, via modlåsning i det synliga området, kunna alstra attosekundspulser genom koherent koppling av ett flertal ekvidistanta övertoner i mjukröntgenområdet. Lundaforskningen inom området, under ledning av Anne L’Huillier, har varit mycket framgångsrik och öppnat nya domäner inom attosekundfysiken, och Anne delade 2023 Nobelpriset i fysik med motiveringar, från pionjärinsatserna inom övertonsgenerering, till fortsatta arbeten som visat vägen mot slutgiltig alstring och karakterisering av attosekundpulser. Att hon en dag skulle bli Nobelpristagare var det nog många av oss som spådde — att hon blev det som professor vid Lunds Universitet var förstås särskilt roligt! Så fick vi på vår Nobelpristagarvägg på Atomfysik till sist namnteckningen av en högst egen och ytterst värdig Nobelpristagare!

## Nyttan

Vem kan förutsäga nyttan av nya landvinningar? Historiskt har det inte alltid varit så lätt. IBM-chefen Thomas J. Watson uppskattade 1943 att en utvecklad dator kanske skulle kunna attrahera cirka 5 köpare. Har mina egna tidiga futtiga ansträngningar om att öka kunskapen om atomers hyperfinstruktur verkligen bidragit till något nyttigt? [*Hm ...*]. Behöver man verkligen så korta



Figur 3: Atomfysiks Nobelpristagarvägg: start 1981 med A.L. Schawlow — Senaste tillägg 2023 A.L' Huillier!

pulser som nuvarande rekordet på cirka 40 attosekunder till något praktiskt? Är det något som man borde lärt sig av historien är det nog att alla nya möjligheter, om än från början lite exotiska, nästan alltid leder till något ”nyttigt”, och till och med vardagligt. Hur rätt fick inte Michael Faraday, när han som svar på frågan från politikern William Gladstone om elektriciteten skulle kunna få någon framtida användning sade: *There is every probability that you will soon be able to tax it!* Som sagts inledningsvis, det finns verkligen ingen motsats mellan grundforskning, tillämpad forskning och mänskligt framåtskridande. Kungliga Vetenskapsakademien uttryckte detta väl i sin skrift från år 2012: *Den oväntade Nyttan*.

För egen del hade jag inte en tanke på att min egen forskning skulle kunna ha någon direkt nytta — för mig var det fullt tillräckligt att kunna bidra till grundläggande förståelse av atomens inre liv. Att min fascination för atomdynamik undersökt med laser med uteffekt spännande från mW till Terawattområdet faktiskt placerade mig i läge att även något bidra till förbättrad energianvändning, förbättrad miljö, säkrare livsmedel och bättre sjukvård, blev både förvånande och överraskande för mig — den oväntade nyttan.

*Energi:* Den industriella revolutionen möjliggjordes av fossila bränslen, som utvunnits i allt högre kvantiteter. Detta kom dock med prislapp, som tidigt insågs, nämligen miljöförstöring. Kärnkraft sågs då som ett realistiskt komplement/alternativ, inte minst i Sverige, där vi snabbt blev ledande inom teknikutveckling och tillämpning. En hake var dock, att i de mest realistiska lättvattenreaktorerna måste det naturligt förekommande 0,7%-iga uran-235 anrikas till 3 procent. Denna process, baserad på diffusion eller centrifugering, kräver enorma anläggningar och investeringar. Man insåg tidigt att man istället skulle kunna utnyttja det optiska iso-



topskiftet mellan U-235 och den helt dominerande isotopen U-238 för att utföra laserseparation av kärnbränslet. När dåvarande Naturvetenskapliga Forskningsrådet (NFR) som en nymodighet runt år 1976 lanserade Energirelaterad Grundforskning som ett nytt fält såg jag, med vår effektiva stegvisa laserexcitation upp till mycket högt exciterade tillstånd, en möjlighet att göra något nyttigt — att bidra till Sveriges energiförsörjning! Selektivt exciterade U-235 atomer kunde lätt joniseras och separeras. Vi fick anslag, men redan efter två år lade jag ner projektet, av rent etisk/moraliska skäl. Det blev lite för många förfrågningar om att ta emot utländskt helfinansierade doktorander från länder som Irak, Indien och Pakistan. Varför kan man fråga? Min slutsats var att vi här hade en klockren situation av *dual-use*-problematiken. Att i ett normalt universitetslaboratorium kunna producera ”*weapons-grade uranium*” var inget jag ville bidra till. Långt senare hörde jag på nyheterna att Blix-kommissionen, som undersökte om Irak hade ”*weapons of mass destruction*”, egentligen bara hittat vissa dokument om laseranrikning av uran. Med stor tillfredsställelse konstaterade jag att vi hade i alla fall inget med detta att göra.

Med ett nästan omätligt behov av energi, som en följd av tekniskt framåtskridande, måste effektivare energigenereringsmetoder ständigt eftersökas. Skulle vår laserspektroskopi ändå kunna göra ett bidrag här? Förbränningsprocesser har ju under lång tid varit den helt dominerande energigeneratoren. Runt år 1976 hade man i USA, främst vid Sandia-laboratoriet i Livermore, startat laserbaserad förbränningsdiagnostik med syfte att ge ny kunskap för effektivare bränsleanvändning och lägre föroreningsalstring. Här borde vi kunna bidra till Nyttan! Jag åkte ut till VOLVO och föreslog ett nytt forskningsprojekt för avdelningscheferna Lars-Göran Rosengren och Thure Högberg på VOLVO Teknisk Utveckling. Dåvarande Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU) beviljade min av industrin stödda ansökan med det fullständigt svindlande beloppet en miljon kronor! Vi hade då redan med befintlig utrustning visat att vi kunde göra relevanta studier.

Detta skedde bland annat inom ramen för ett examensarbete av en talangfull teknolog vid namn Marcus Aldén, som efter ganska stor övertalning beslöt sig för att fortsätta på doktorandnivå. Marcus följde med i flytten från Göteborg till Lund år 1980, dit hela förbränningslaboratoriets utrustning kunde överföras. Vi kunde presentera en mängd ganska unika resultat inom det nya

forskningsområdet. Efter doktorsexamen ville i alla fall Marcus, i enlighet med sin ursprungliga tanke, gå till industrin, men min övertalningsförmåga kom igen till användning, och Marcus gick vidare mot docentur. Stora forskningskontrakt beviljades. Jag sökte även en professur för Marcus, vilken blev beviljad, och Atomfysikavdelningen avknoppade en ny avdelning för förbränningsfysik, till vilken forskningskontrakten överfördes. Denna avdelning har varit mycket välfinansierad och framgångsrik, och då Marcus helt nyligen nådde pensionsåldern hade den producerat närmare 200 doktorsavhandlingar inom laserdiagnostik och kinetik för förbränningsprocesser, ofta i samarbete med relevant industri. Man kan kanske då säga att mitt nya initiativ inom energiområdet kom att leda till ”den oväntade nyttan”, och att det ursprungliga moraliska dilemmat i energiforskningen i slutänden ledde till något mycket positivt. Dessutom fick ju kärnkraften av helt andra skäl inte den varaktiga betydelse som man tidigt avsåg. Man kunde kanske förvänta sig, att även ett så nyttigt område som förbättrade förbränningsprocesser skulle vara utan etiska konflikter. Propäer avseende forskningssamarbete inom energiomvandling från Sydafrika, fortfarande med sin apartheid-politik, fick dock mitt nej — jag ville inte bidra till att det isolerade landet skulle kunna hålla ut längre genom förbättrade processer.

*Miljö:* I våra dagar är miljöaspekter i blickpunkten på ett sätt som knappast erfarits tidigare. Människan är fullt kapabel att göra riktigt bra saker, man är tyvärr även utomordentligt företagsam i att ohämmat exploatera natur och miljö. Att reducera miljöförstöring och klimatförändringar är en viktig ambition för de flesta politiska inriktningar. Att objektivt kunna mäta miljöförhållanden är då förstås viktigt. Min första insikt i att laserspektroskopin skulle kunna användas för något ”nyttigt” kom just inom miljömätområdet. Den tidsupplösta mätteknik, med vilken vi bestämde livstider i exciterade atomtillstånd, kunde användas för laserradarmätningar (lidar) av atmosfäriska luftföroreningar. Jag inhandlade ett litet teleskop för amatörastronomi, riggade upp det i korridoren på Chalmerslaboratoriet och tejpade fast fotomultiplikatorn mot okularet. Nu kunde detektorn se fotoner, bakåtspridda från laserpulserna som lämnade huset genom det öppnade korridorfonstret ut i Göteborgsluften. I stället för att vara fördröjda av den ändliga livstiden i ett övre atomtillstånd, var de nu fördröjda genom sin begränsade flykthastighet, 300 m/μs. Allt var i övrigt samma! Detta

blev början på miljörelaterad lidarforskning, som intresserat mig under nästan 50 år! Många olika mobila mätsystem har utvecklats av synnerligen kapabla doktorander, och tillämpningarna har blivit många, inom luftförorenings- och vattenanalys, vegetationsstudier, kulturarvssektorn och inom arkeologirelaterade projekt. Direkt användande av det bakåtspridda ljuset, studium av fluorescensen från fasta strålmål (till exempel fasaderna på Colosseum i Rom), eller analys av en på avstånd alstrad laserugnista (så kallad *laser-induced break-down spectroscopy*, LIBS) är olika varianter på lidarteknikens mångfasetterade tillämpningsområden.

En oväntad tillämpning kom då vi kunde göra vissa aspekter av den gamle kinesiske historikern Simas över 2200 år gamla beskrivning av terrakottakejsaren Qin Shi Huangdis mausoleum i Xi'an mera troliga. Med vårt mobila lidarsystem kunde vi fastställa att det faktiskt fortfarande finns en svag halo av kvicksilverbaserad gas runt den öppnade gravkullen, i vilken kejsarens sarkofag skulle vara omgiven av stora mängder glittrande kvicksilver — livselixiret självt.

*Ekologi:* Partiklar i atmosfären har alltid varit av stort intresse ur miljösynpunkt, särskilt sådana som är tillräckligt små ( $PM_{2,5}$ )<sup>2</sup> för att kunna passera ner i lungornas alveoler. Aerosolpartiklars inverkan på *climate forcing* har även länge varit den största osäkerhetsfaktorn i modellering av globala temperaturökningar. Sålunda har partiklar länge varit föremål för intensiva lidarmätningar, även på global skala, inklusive från rymdburna system. Om nu små partiklar med lätthet kan ses med laserradartechnik, borde det vara ännu lättare att se stora partiklar — flygande insekter! Denna insikt, som växte fram i Lund, har lett till en stor och framgångsrik verksamhet i samarbete med biologer. Insekter är av största intresse, eftersom de tjänstgör som ovärderliga pollinatörer, men tyvärr även som spridare av dödliga sjukdomar, till exempel malaria, medan andra insekter är konsumenter av grödor, avsedda för en hungrande värld.

Till en början använde vi traditionella pulsade lasersystem och studerade flygande insekter, och även fåglar. Genom att analysera inducerade fluorescensfärger kunde mer specifik karaktäristik fås. Främst genom insatser av Mikkel Brydegaard, tidigare doktorand i min grupp, har nu mycket kraftfulla, och samtidigt billiga mätsystem baserade på avståndsmätning genom triangu-

<sup>2</sup>Partiklar med mindre än 2,5 mikrometers aerodynamisk diameter.



Figur 4: Kejsaren Qin Shi Huangdis mausoleum i Xi'an, som vaktas av den berömda terrakottaarmén, befanns i lidarmätningar vara inbäddad i en svag halo av förgasat kvicksilver, som torde komma från den djupt liggande gravkammaren. (Zhao, G., Zhang, W., Duan, Z. et al. Mercury as a Geophysical Tracer Gas – Emissions from the Emperor Qin Tomb in Xi'an Studied by Laser Radar. *Sci Rep* **10**, 10414 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67305-x>).

lering utvecklats. Bakåtspridning från en kontinuerlig laserstråle avbildas genom ett närmonterat teleskop med vinklad CCD-detektor, som genom arrangementet ser skarpt på alla avstånd. Med snabb utläsning från detektorn kan insekternas vingslag lätt registreras då de flyger genom laserstrålen, och objektet kan därigenom bättre identifieras. Metoden vi använt i Lund, och på många avlägsna platser på jorden, har blivit till stor oväntad nytta. Att under en enda natt kunna registrera kanske 100 000 individer står verkligen i bjärt kontrast mot att med häv försöka fånga en flygande fjäril! Mikkel driver nu med stöd från ERC (*European Research Council*) ett omfattande forskningsprogram, som även innefattar undervattensmätningar.

*Jordbruk, mat och läkemedel:* Få saker är så primära som livsmedel och mediciner, som kan tillgodose människans mest fundamentala behov. Även här kan laserspektroskopiska analysmetoder komma till användning. Fluorescenssignaler uppfångade från markbaserade större system eller från av oss utvecklade drönarburna



lättviktsystem, kan ge information om status hos till exempel majs och ris. Nästan alla livsmedel förpackas på något sätt, ofta i modifierad atmosfär (kväve eller koldioxid), för att öka hållbarheten. Det är då viktigt att utan påverkan på förpackningen, direkt genom ytskiktet (även ljusspridande papper), kunna mäta att tätheten är intakt, i anslutning till förpackningsmaskinen eller i kundkedjan. Kvalitetskontroll av farmaceutiska preparat är också rigorös, och vi har utvecklat kraftfulla metoder även för dessa ändamål<sup>3</sup>.

*Medicinska tillämpningar:* Författaren har haft förmånen att nu under cirka 40 år även kunnat arbeta med medicinska tillämpningar av laserspektroskopi. Med min bakgrund i ren grundforskning, och stora intresse för kvantmekanikens grunder, blev det en stor överraskning att aktivt kunna bidra till förbättrad sjukvård, och kanske till och med rädda liv. Detta var förvisso från början helt oväntat — ”den oväntade nyttan”. Arbetet har hela tiden bedrivits i samarbete med medicinsk expertis, och i synnerhet tillsammans med min fru sedan 55 år, Professor Katarina Svanberg. Starten var arbeten inom fotodynamisk tumörterapi (PDT), där en tumörsökande substans (s.k. sensibiliserare) belyses med laserljus i det röda/nära IR-området, varvid kroppens syremolekyler överförs från det normala grundtillståndet (en triplett) till ett singlett-tillstånd. Singlett-syre är en aggressiv radikal, som slår ut viktiga livsprocesser. Ytliga hudtumörer har med stor framgång behandlats, och även djupt liggande tumörer har kunnat behandlas genom att föra in optiska fibrer i tumörmassan. Härvid har en interaktiv teknik utvecklats, där samma fibrer (upp till 18 stycken) kan utnyttjas för att injicera det terapeutiska laserljuset, och dessutom för optisk diagnostik av behandlingssituationen, där ljusflöde, syresättning och koncentrationen av sensibiliseraren tomografiskt kan bestämmas för att styra behandlingsprocessen. En huvudinriktning är behandling av prostatacancer, men andra tillämpningar, till exempel vad gäller tumörer i bröst och bukspottskörtel, kan tillkomma<sup>4</sup>. Den fotodynamiska processen är fascinerande och man kan se vissa paralleller med fotosyntesen. I båda dessa fotokemiska processer, som sker vid rumstemperatur, är en aktiv molekyl (i fotosyntesen klorofyll) verksam, ljus erfordras och syre spelar en viktig roll. Syret erfordras i den nedbrytande fotodynamiska processen, medan syre produceras i fotosyntesen.

<sup>3</sup>Länk: ([www.gasporox.se](http://www.gasporox.se)).

<sup>4</sup>Länk: ([www.spectracure.com](http://www.spectracure.com)).

Laserspektroskopiska signaler kan även användas för att karakterisera vävnad, avgränsa tumörer från frisk vävnad, med mera. Laserstrålning i ultravioletter eller blå våglängdsområdena kan användas för att inducera fluorescens med breda spektralstrukturer, vilka är skiftade mot det långvågiga hållet. Genom att balansen mellan olika vävnadskomponenter ändras vid malignitet, kan tumörer, även osynliga för ögat, ofta lokaliseras och avgränsas. Även Ramansignaler, som avspeglar molekylvibrationer, kan ge specifik information. Båda teknikerna har också testats i syfte att styra laserablation av kärlförkalkningar.

Mycket skarpare och mera specifika signaler kan erhållas från fria fysiologiska gaser, främst syrgas och vattenånga. Gaserna kan finnas i hålrum, såsom i lungorna, bihålorna eller i mellanörat. Det är av stort intresse att där kunna mäta syrgashalterna. Detta försvåras dock av den kraftiga ljusspridning som alltid finns i vävnader, och som gör att vägsträckan ljuset gått genom just gas blir okänd. Vi har dock utvecklat en metod där vattenånga mäts samtidigt. Eftersom koncentrationen av mättad vattenånga enbart beror av temperaturen kan vattensignalerna användas för att bestämma den effektiva våglängden, vilken kan utnyttjas för bestämningen av syrgashalten. Metoden, som vi kallar *Gas in Scattering Media Absorption Spectroscopy* (GASMAS), kan användas för att i realtid mäta status hos olika lunglobber hos spädbarn, särskilt förtidigt födda, vars ofullständigt utvecklade lungor är den mest problematiska aspekten<sup>5</sup>. Vi arbetar nu med att utvidga metoden till större barn och kanske vuxna. Här kan förhoppningsvis en teknik utvecklas för att styra ventilatorer under sövning, eller för att optimera för svårt sjuka respirator-inkopplade patienter (till exempel med den nyligen så aktuella COVID-19-infektionen).

Antibiotikaresistens är ett växande globalt problem, vars dignitet kan mäta sig med global uppvärmning. Oansvarig användning av antibiotika, som är avsedda för svåra bakteriella infektioner, men som är verkningslösa för virusorsakade sjukdomar, har lett till att många preparat blivit oanvändbara, då multi-resistens (MRSA) har utvecklat sig i befolkningen. Medan de skandinaviska länderna genom goda rutiner kraftigt förskonats, är varannan person i stora delar av den tätbefolkade världen bärare av resistent bakterier. Problemet hänger samman med att valfria antibiotikapreparat ibland fritt kan säljas över disk. Dessutom utveck-

<sup>5</sup>Länk: ([www.neolamedical.com](http://www.neolamedical.com)).

las ytterst få nya antibiotika av läkemedelsbolagen (affärsidén med att sälja så lite som möjligt av en vara, till så få patienter som möjligt är inte attraktiv!). Ett särskilt problemområde är insats av antibiotika vid bihåle- och mellanöroninflammationer. Vi har använt GASMAS-metoden för att studera gaskoncentration och gasutbyte i dessa håligheter, och förhoppningen är att enkla, icke-invasiva mätningar skall kunna hjälpa doktorer att optimera användning av antibiotika och avsvällande preparat.

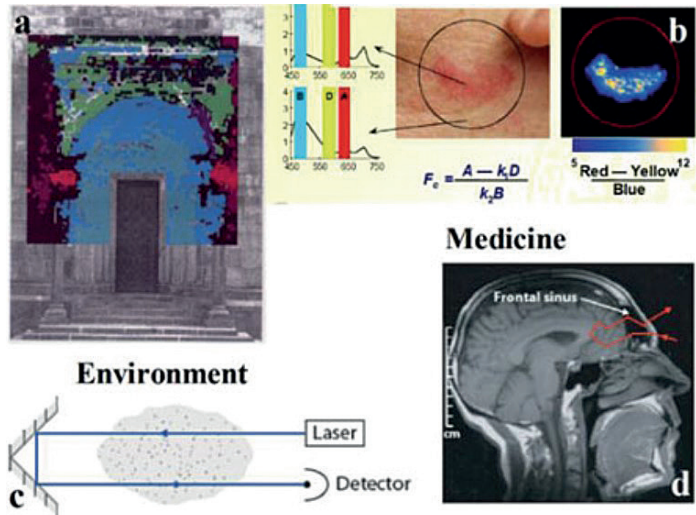
### Den laserspektroskopiska verktygslådan

Som illustrerats ovan kan de spektroskopiska metoderna ha mycket varierande tillämpningsområden. Detta illustreras ytterligare i Figur 5, med ett flertal forskningsområden, som bedrevs i en och samma forskningsgrupp vid South China Normal University i Guangzhou, Kina, ledd av författaren gemensamt med Katarina Svanberg. Vårt halvtidsarrangemang under 10 år, efter formell svensk pensionering, kunde bidra till utveckling av angreppssätt, som är speciellt relevanta i ett land som Kina, med många förorenings-, livsmedels-, och resistensproblem. Miljö, ekologi, jordbruk, livsmedels- och medicinrelaterade områden studerades med samma grundmetodik, där mest storleken på lasrarna och de optiska komponenterna var det som kunde variera. Här kunde vi på likande sätt som i Lund överföra synsättet, att vi har en spektroskopisk verktygslåda, innehållande olika skarpa verktyg, som en skicklig ”hantverkare” kan använda i en mängd olika sammanhang. Skickligheten måste komma genom relevant undervisning och laboratorieträning på master- och doktorandnivå. Forskningsfälten var de, som var etiskt acceptabla för författaren, som sedan ungdomen starkt motsatt sig tänkbara militära användningsområden.

Det kan förvisso vara överraskande att spännvidden kan vara så stor. Förklaringen är att grundteknikerna helt måste behärskas, och att projekten drivs i tvärvetenskaplig miljö, där fysikkunskaper och spektroskopisk expertis konfronteras med forskare som är ledande inom applikationsområdena och dess problemställningar. Ovetenskapligt kan detta uttryckas som att på detta sätt kan det ”hela” bli betydligt mera än ”summan av delarna”! En ytterligare illustration av argumenteringen ges i Figur 6, där tillämpning av exakt samma tekniker sker på helt olika storleksskalor. Exempel från miljö- och medicinområdena ges. I övre delen visas till vänster multispektral avbildning utnyttjande laserinducerad fluo-







Figur 6: Fluorescensmätteknik tillämpad på olika storleksskalor visas i figurens övre del (olika stenmaterial i en port på Lunds Domkyrka, respektive en elakartad tumör under ytterörat), medan gasabsorption av avstämbart laserljus utnyttjas på olika längdskalor i den nedre delen (medelkoncentration av luftföroreningar i en stad, respektive koncentrationen av syrgas i pannans bihålör).

oförmågan att dela med sig, även av sitt överflöd. En ny typ av världsledare med inspiration av personer som Mahatma Gandhi, Nelson Mandela, och Moder Teresa skulle nog behöva komma på plats. Kanske de mest strategiska insatserna, globalt sett, är att söka hjälpa de som har föga, eller inget, till självhjälp — att lokalt i utvecklingsländer understödja relevant forskning och teknisk utveckling. En naturvetenskaplig doktor, utbildad med internationella hjälpinsatser, men med sin examen från sitt hemuniversitet, kan bli synnerligen strategisk i sitt fattiga hemland, oändligt mer än motsvarande person med en västerländsk examen, som ofta bara resulterar i *brain-drain*. Exempel på strategiska insatser av detta slag är de som bedrivs av International Science Programme (ISP), organiserat vid Uppsala Universitet. Budgeten är liten/försumbar och har tyvärr ytterligare minskats på grund av tveksamma politiska omprioriteringar. Jag har haft förmånen att på mycket liten skala under en 30-årsperiod få bidra i detta arbete, vilket lett till diverse insatser på plats i länder som Ghana, Senegal, Mali, Sudan, Kenya, Ecuador och Peru.



Figur 7: Bilder från svenska spektroskopiinsatser i Afrika. Mikkel Brydegaard i Ghana (ovan, vänster), Katarina Svanberg i Senegal (ovan, höger), och Sune Svanberg i Mali, respektive Kenya (nedre raden, vänster och höger).

## Efterskrift

Fysiken erbjuder en fascinerande värld full av överraskningar och glittrande ädelstenar, och spänner upp en väv av strukturer och färger på skalor från det minsta till det största. Det hela styrs av ett överraskande litet antal principer och basala begrepp, och kombinationer av dessa beskriver det mesta. Fysiken pressar hela tiden obändigt på ut mot det okända och oförklarade, och lägger nya domäner till *Terra Cognita*. Det som under lång tid synts oundgängligt och kanske till och med onödigt att eftersträva, kan trots allt med spetsforskning erövrats och införlivas i det rutinnässiga och alldagliga. Här erinrar man sig kommentaren från den gamla skriften i anslutning till beskrivningen av byggandet av Babels torn: härefter skall inget vara omöjligt för dem, vad de än beslutar sig för! Grundforskningens landvinningar kan utnyttjas i tillämpad forskning, som kan leda till förbättrade livsvillkor och minskning av mänskligt lidande.

Vad som sorgligt släpar efter är människans moraliska och etiska utveckling, som tyvärr knappast gör några större framsteg.

Vi är fortfarande minst lika duktiga på att förstöra och förgöra varandra, trots att nästan all kunskap är fritt tillgänglig via internet, och att världen knutits samman genom extremt effektiva transporter i geografin och i cyberrymden. Visst skulle fysiken, och vetenskapen i allmänhet, mycket bättre kunna vara ett verktyg för att i vänskap binda samman människor av olika ursprung i en gemensam strävan att bidra till en ”bättre” värld! Vi är ju trots allt alla passagerare på ”Rymdskeppet Jorden”, hänvisade till varandra i en kall och ogästvänlig rymd – skulle det inte bli mycket trevligare om vi kunde sträva efter att hjälpas åt istället för att ständigt lägga krokben för varandra?



### Vidare läsning

- Bergström, J., Holm, G., Håstad, J., Ingelman, G., Lindahl, U., Norin & T. (2012). *Den oväntade Nyttan* Kungl. Vetenskapsakademien. <https://www.kva.se/app/uploads/2022/06/ovantadenyttan170831.pdf>.
- Svanberg, S. (2010). Forskarens frihet och etiska ansvar. I Ståhl S. (Red.), *Symposiet forskningens etiska gränser* (ss. 34–45). Kungl. Fysiografiska Sällskapet i Lund.
- Svanberg, S. (2020). *Memoarer — Det ljusnar mot aftonen — Ljuset som verktyg och som ledning* <http://svanberg-sweden.se>.
- Svanberg, S. (2022). *Atomic and Molecular Spectroscopy — Basic Aspects and Practical Applications, 5th Ed.* Springer-Nature.
- Svanberg, S. (2023, 4 oktober). How we hired 2023 Nobel laureate Anne L’Huillier — and why we knew she was destined for greatness. *The Conversation*. <https://theconversation.com/>.