



# LUND UNIVERSITY

## Synkrotronljuset från Lund

Hur lundafysiker lärde sig använda synkrotronljus på olika sätt.

Lindau, Ingolf; Sorensen, Stacey L

*Published in:*

Fysik i Lund i tid och rum

2016

*Document Version:*

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Lindau, I., & Sorensen, S. L. (2016). Synkrotronljuset från Lund: Hur lundafysiker lärde sig använda synkrotronljus på olika sätt. I *Fysik i Lund i tid och rum* Gidlunds förlag i samarbete med Fysiska institutionen, Lunds universitet.

*Total number of authors:*

2

*Creative Commons License:*

CC BY

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

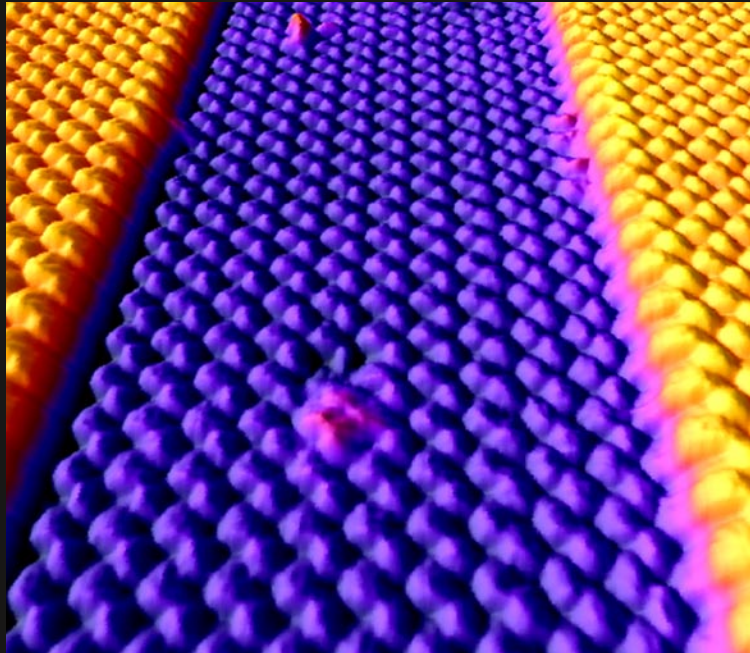
Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



## Synkrotronljuset från Lund

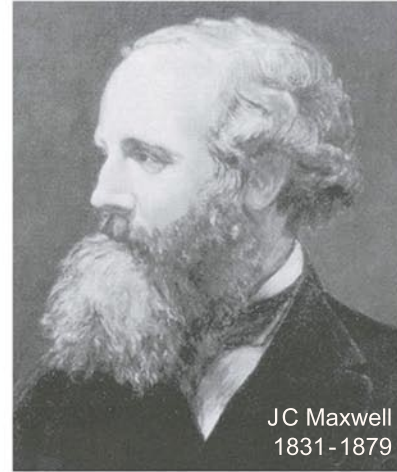
Hur lundafysiker lärde sig använda  
synkrotronljus på olika sätt.

## Alla tiders ljus

När JC Maxwell 1873 ställde upp sina berömda formler som förenade elektricitetslära med magnetism avslutades den klassiska fysikens epok och den nya kvantmekaniska fysiken stod för dörren.

Fjorton år senare visade Heinrich Hertz att elektriska strömmar åstadkom elektromagnetiska fält som strålade ut med ljusets hastighet. Därmed var grunden lagd för synkrotronljus.

Den allmänna teorin för strålning visade sig vara komplicerad. Alfred Liénard skrev 1898, ett år efter elektronens upptäckt, uppsatsen *Elektriska och magnetiska fält*.



JC Maxwell  
1831 - 1879



Alfred-Marie Liénard  
1869 - 1958

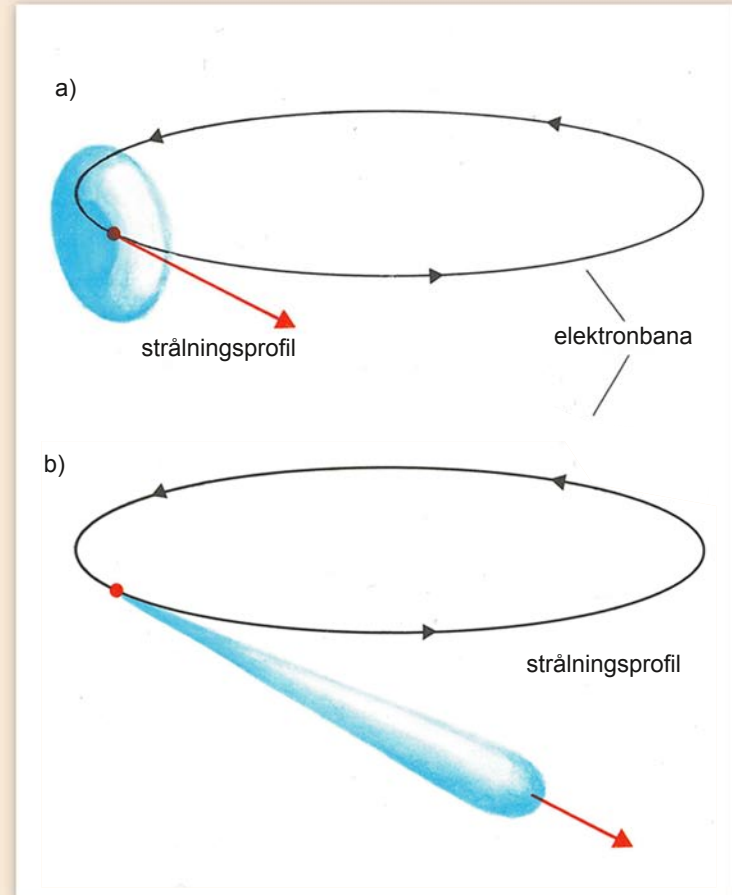
$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E} &= -\partial \mathbf{B} / \partial t \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t \\ \nabla \cdot \mathbf{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0\end{aligned}$$

Maxwells ekvationer.

# Synkrotronljuset är en relativistisk effekt

Albert Einstein formulerade sin speciella relativitetsteori år 1905. Då kunde Liénards beräkningar vidareutvecklas av G A Schott år 1912. Följande strålprofiler erhöles:

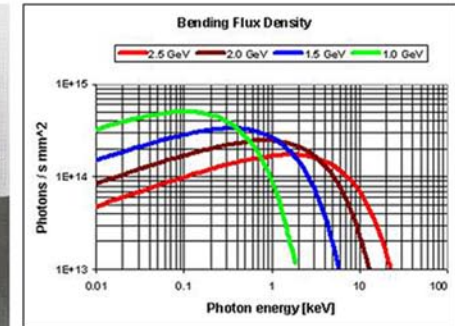
- a) En elektron i cirkulär bana sänder ut strålning. Är hastigheten låg riktas strålningen åt alla håll. Mest strålas det på högkant mot banan, minst mot banans centrum. Strålningen är monokromatisk.
- b) Nära ljushastigheten strålar elektronerna åt endast ett håll. Strålningen är koncentrerad till en smal kon och innehåller alla våglängder.



# Pionjärerna

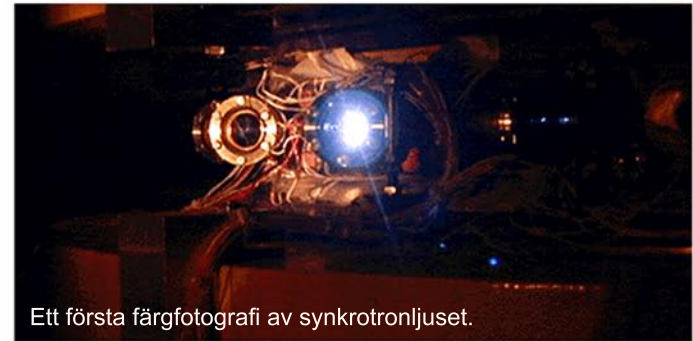
Acceleratorer för laddade partiklar utvecklades på 1930-talet. Först ut med en fungerande elektronaccelerator var DW Kerst år 1941 med en betatron på 2 MeV. Den byggde på transformatorprincipen. JP Blewett kände till Schotts beräkningar om hur strålning sänds ut och observerade krympande elektronbanor på grund av denna strålning.

Själva strålningen observerades våren 1947. När en tekniker vid en 70 MeVs betatron observerade en kraftig ljusstråle tangentiellt ut från vakuumröret var synkrotronljuset upptäckt.



Synkrotronstrålljusspektrum i olika typer av elektronbanor.

Det mest citerade teoretiska arbetet om synkrotronljusstrålning författades av J Schwinger (1918-1994).

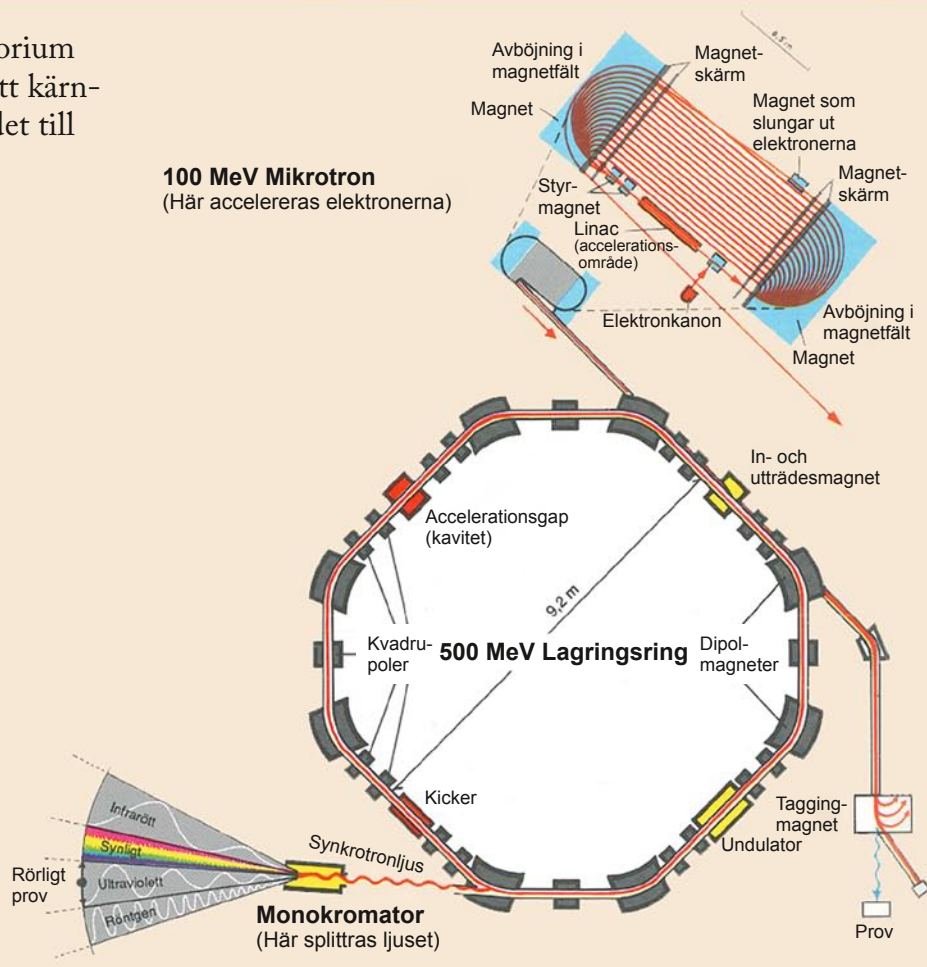


Ett första färgfotografi av synkrotronljuset.

# MAX-projektet

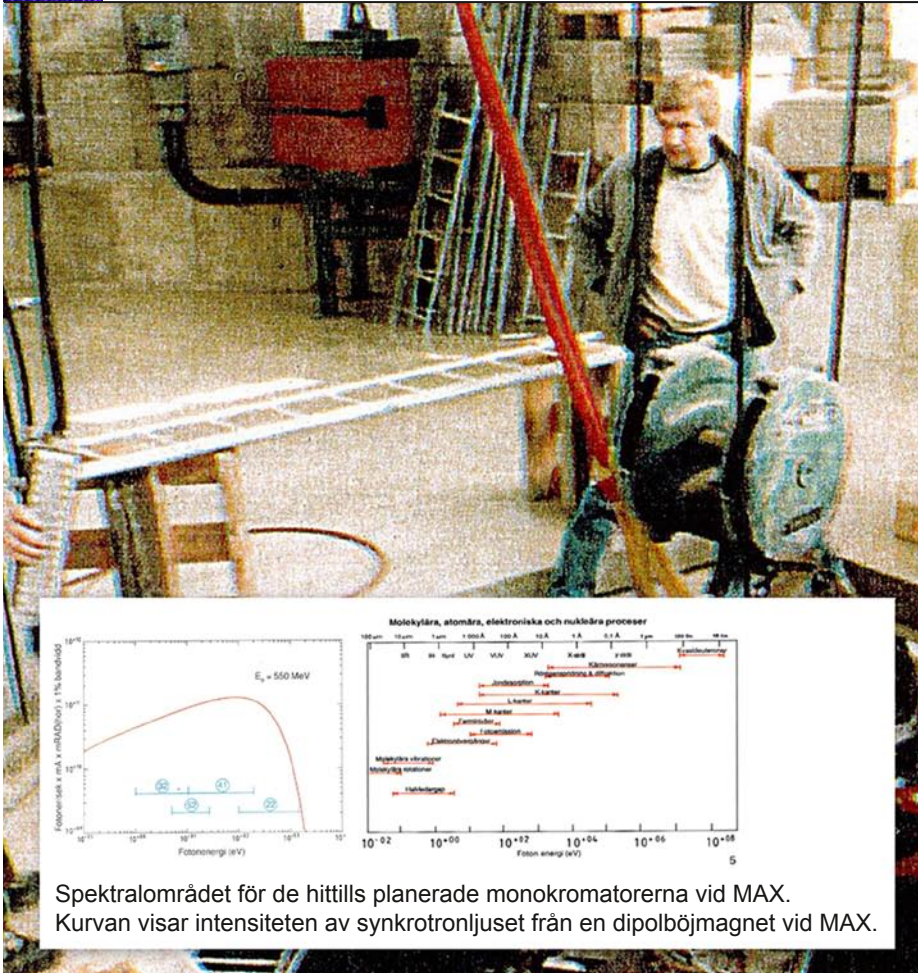
MAX-lab är Sveriges synkrotronljuslaboratorium placerat i Lund. Det startade år 1973 som ett kärnfysikprojekt och fem år senare utvecklades det till att även innefatta en synkrotronljuskälla.

**100 MeV Mikrotron**  
(Här accelereras elektronerna)



Principskiss över MAX I-ringen.

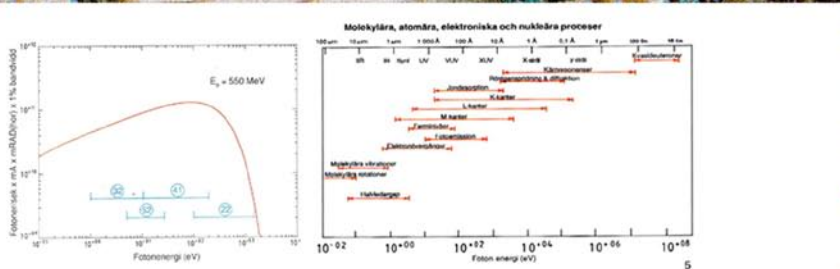
# Uppbyggnaden



En docenttjänst i synkrotronljusfysik inrättades även om ingen sådan forskning bedrevs i Lund och det blev Anders Flodström från Linköping/Stanford som fick tjänsten. Han var full av idéer och en framgångsrik entreprenör. Dessutom en av huvudansökarna till MAX-labs utvidgning och den vetenskapliga bestyckningen av synkrotronljusringen.

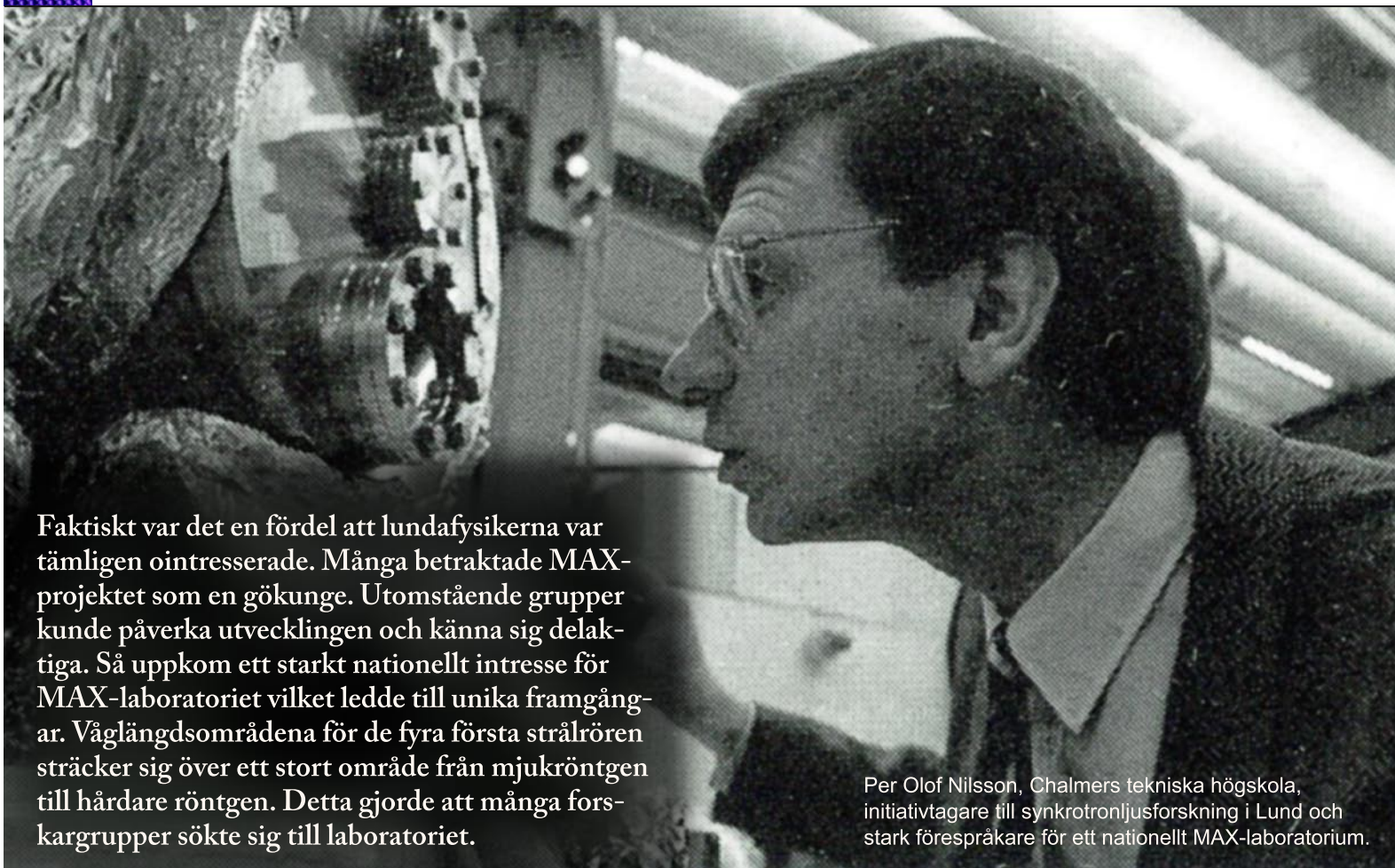
I arbetet med bestyckningen av synkrotronljusringen var huvudprincipen att laboratoriet borde utvecklas till ett nationellt forskningscentrum.

Alla aktiva grupper i landet som bedrev denna forskning skulle känna sig välkomna och kunna nyttja utrustningen.



Anders Flodström  
Universitetslektor i synkrotronstrålnings fysik  
från 1981 - 1985, senare professor, dekanus  
och rektor av två svenska universitet.

## Nationellt laboratorium



Faktiskt var det en fördel att lundafysikerna var tämligen ointresserade. Många betraktade MAX-projektet som en gökunge. Utomstående grupper kunde påverka utvecklingen och känna sig delaktiga. Så uppkom ett starkt nationellt intresse för MAX-laboratoriet vilket ledde till unika framgångar. Våglängdsområdena för de fyra första strålrören sträcker sig över ett stort område från mjukröntgen till hårdare röntgen. Detta gjorde att många forskargrupper sökte sig till laboratoriet.

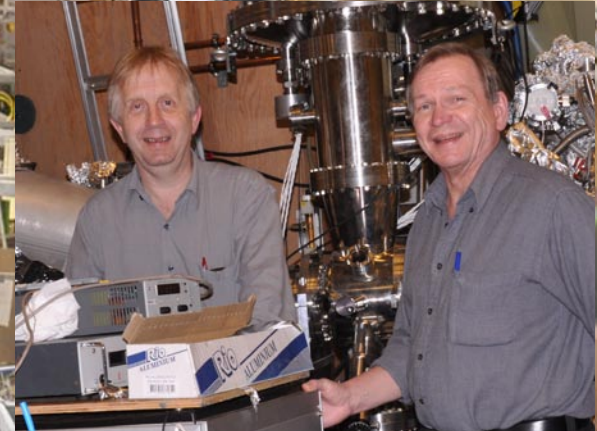
Per Olof Nilsson, Chalmers tekniska högskola, initiativtagare till synkrotronljusforskning i Lund och stark förespråkare för ett nationellt MAX-laboratorium.



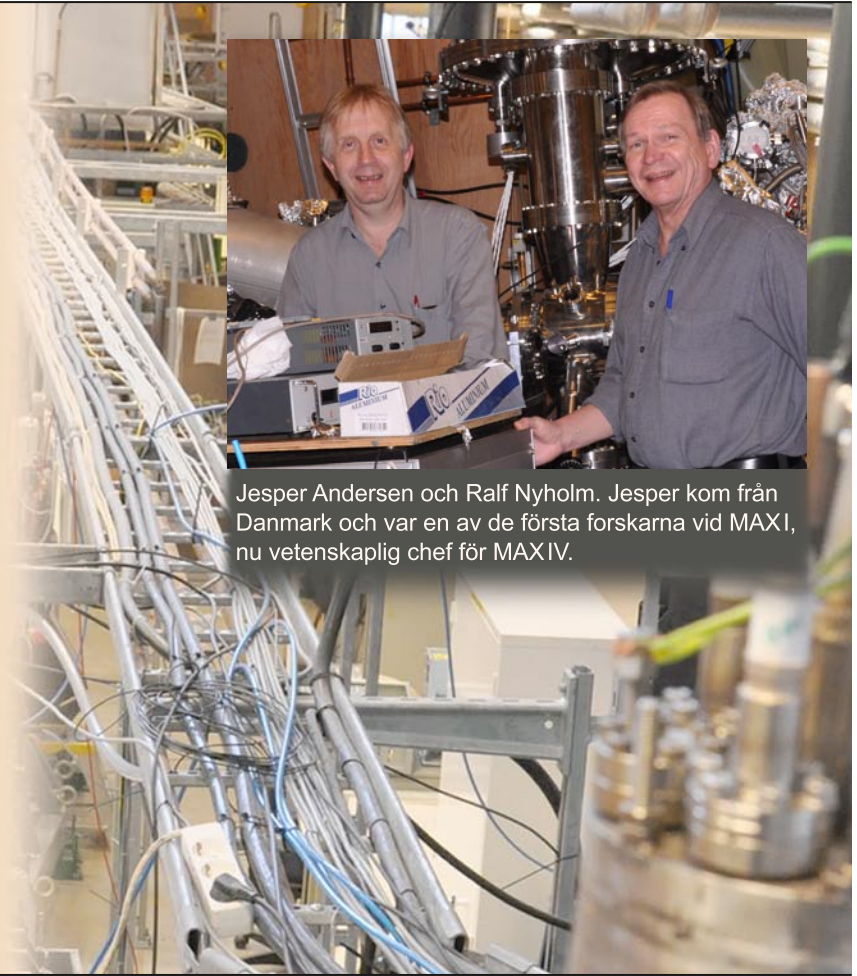
## Forskare från alla håll strömmar till

År 1980 erbjöd rektorsämbetet vid Lunds universitet MAX-projektet en välutrustad maskinhall. Acceleratorn kom i drift för forskning 1986, och laboratoriet invigdes året därpå.

I MAX-labs första årsrapport finns 16 olika synkrotronljusprojekt redovisade. Ett är av två unga forskare, Ulf Karlsson från MAX-lab och Roger Uhrberg från Linköping. De rapporterade om inre högupplösta elektronnivåer i Au/Si (111) gränssnitt. Innan dess hade Anders Flodström lämnat sin docenttjänst vid MAX-lab och efterträts av uppsalafysikern Ralf Nyholm.



Jesper Andersen och Ralf Nyholm. Jesper kom från Danmark och var en av de första forskarna vid MAX I, nu vetenskaplig chef för MAX IV.



## Ett hus fyllt av ljus

Redan år 1985, alltså innan MAX-projektet startat, skisserade det kreativa paret Mikael Eriksson och Anders Flodström på en gemensam nordisk synkrotronljuskälla på 2,5 GeV. Den gick under arbetsnamnet Super-MAX. Samtidigt skulle NFR besluta om ett deltagande i ESRF (en europeisk synkrotronljuskälla).

Efter stor vanda och korridoriskussioner kunde NFR år 1988 presentera ett förslag där man avvisade Super-MAX-projektet men lovade att stödja ett bantat förslag på 1,5 GeV (snart kallat MAX II).

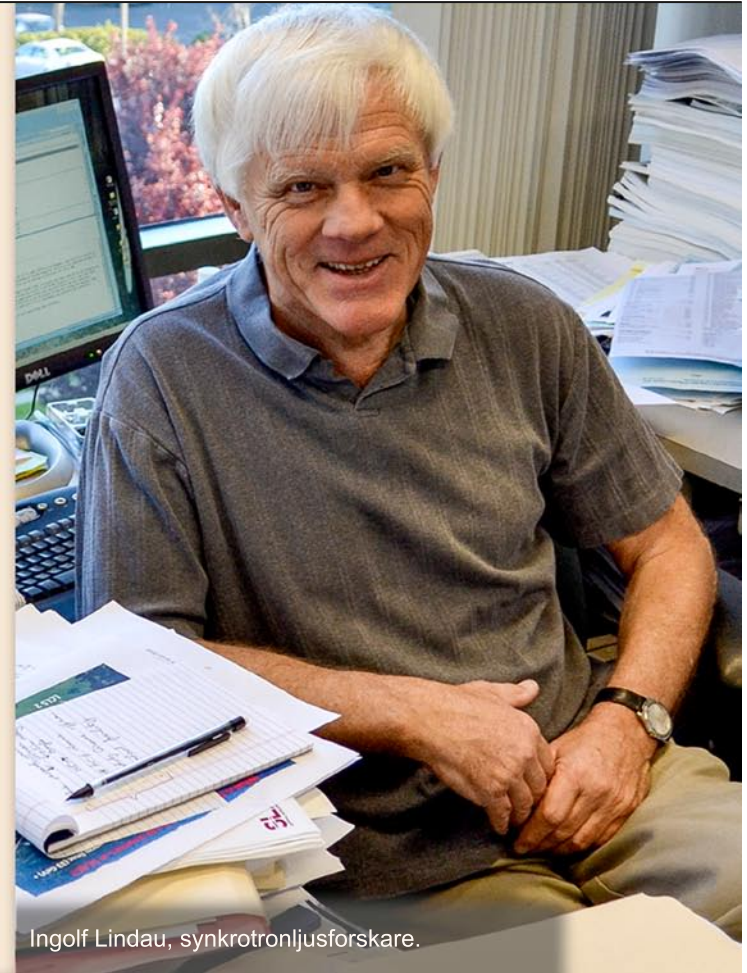


## Kompetens drar till sig kompetens

Vid denna tid (sept 88 - aug 89) var Ingolf Lindau på sabbatsår från Stanford i Sverige vid MAX-lab. Detta var synnerligen betydelsefullt för MAX-labs framtid.

Man hade till förfogande en synkrotronljusforskare med gott internationellt rykte. Han var just den rätte mannen att arbeta fram en ansökan om MAX II.

Redan våren 1986 ansökte LU om en professur i synkrotronljusfysik som beviljades i juli 1988 och Ingolf Lindau tillträdde tjänsten 1990.



Ingolf Lindau, synkrotronljusforskare.

## Kunglig glans



Ingolf Lindau i samtal med Kung Carl XVI Gustaf.

Ingolf Lindaus uppgift var tvåfaldig. Han skulle lotsa fram MAX II-projektet till ett färdigt laboratorium och bygga upp en forskningsavdelning. Han lyckades.

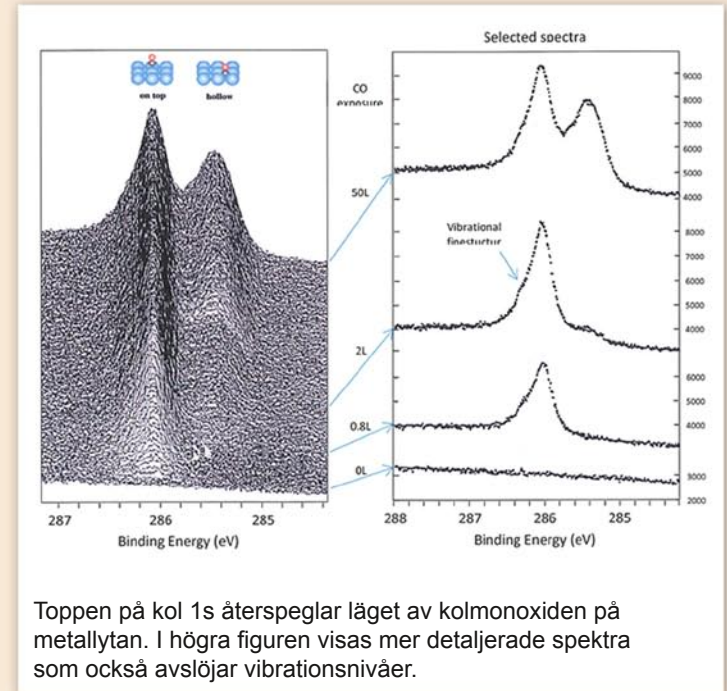
När han avgick som föreståndare 1997 var den nya och den gamla lagringsringen bestyckade med 16 strålrör. Dessutom fanns det 4 insättningselement av typ wiggler och undulator.

Ingolf lämnade även efter sig en forskargrupp med 17 medlemmar som utförde förstklassisk forskning. Den internationella utvärderargruppen var full av beundran och kallade prestationen heroisk.

# Fotoelektronspektroskopi

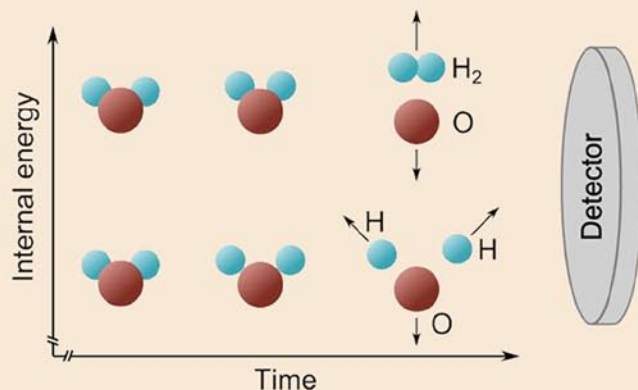
Fotoelektronspektroskopi, belönat med Nobelpriset i fysik till Kai Siegbahn 1981, blev starten för den nyetablerade synkrotronljusavdelningen 1990.

Ralf Nyholm och Jesper Andersen studerade ytfysikaliska och ytkemiska problem. Exempelvis utfördes adsorptionsstudier av kolmonoxid på en enkristallin yta av rhodium. Vid låga täckningar finns endast en topp (kol 1s) som relateras till CO bindning direkt ovanför en Rh yttatom. Vid ökad täckning dyker ytterligare en topp upp som kan tolkas som CO i en hålposition på Rh ytan.



Toppen på kol 1s återspeglar läget av kolmonoxiden på metallytan. I högra figuren visas mer detaljerade spektra som också avslöjar vibrationsnivåer.

# Molekyl och klusterforskning



Exemplet visar hur vattenmolekylens geometri ändras när det elektroniska sönderfall som påverkar molekylorbitalerna skapar bindningar mellan atomerna.

Stacey Ristinmaa Sörensen, ville förstå dynamiken i material vid mycket låga tätheter som belyses med synkrotronljus. Hur reagerar materialet för ljuset och hur snabbt sker kemiska reaktioner som startas? Hur beter sig fria nanopartiklar och kluster?

Genom att använda kortlivade elektroniska tillstånd som klocka kunde gruppen i samarbete med svenska forskargrupper inom molekylfysik och kvantkemi följa molekylernas dynamik på tidsskalan  $10^{-15}$  sekunder.



Stacey Ristinmaa Sörensen, föreståndare för avdelningen för synkrotronljusfysik.

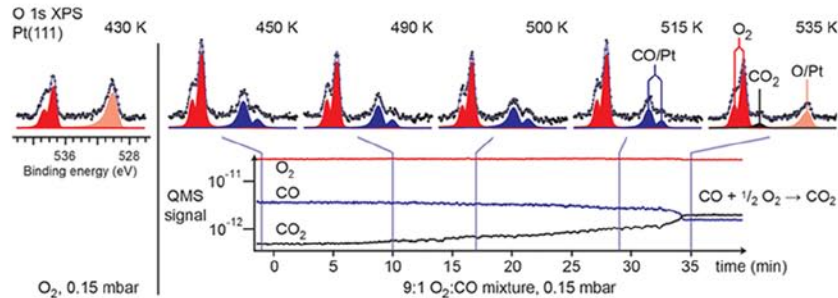
# Ytkatalytiska experiment



Joachim Schnadt, professor i fysik med inriktning mot synkrotronljusbaserad in-situ-elektron-spektroskopi.

Syre 1s elektronspektra visar hur koldioxid skapas genom katalys där  $O_2$  (röda toppar) och CO reagerar kraftigt med en platinayta när temperaturen ökar. Det bekräftas genom masspektrometri.

Ytkatalytiska experiment vid höga gastryck begränsar möjligheten att använda elektron-spektroskopin som kräver mycket låga tryck. Synkrotronljusets höga briljans gör att svårigheterna övervinns och in-situ experiment blir möjliga. Denna teknik utvecklades av professor Joachim Schnadt. Han och hans forskargrupp har vid MAX II bland annat lyckats studera hur en platinayta reagerar med en gasblandning av kolmonoxid och ren syrgas. Vid ökande temperatur oxiderar kolmonoxiden till koldioxid.

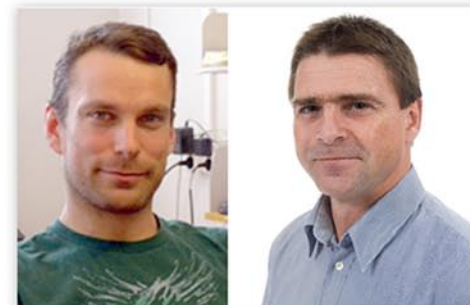


Experimentet visar en ny koldioxid-gasfastopp för temperaturer kring 535 K.

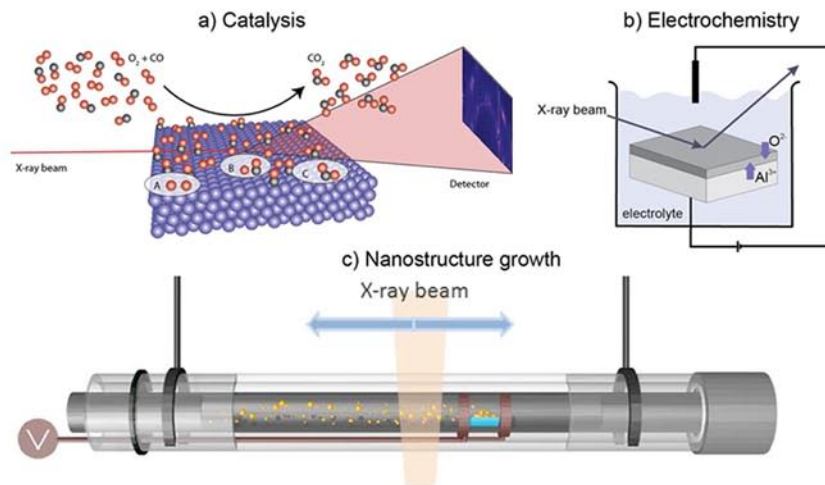
# Katalys och elektrokemi

Hård röntgenstrålning (25-85 keV) från synkrotronljuskällor lämpar sig utmärkt för att studera material och processer på den atomära skalan i miljöer nära de som används i kommersiellt bruk eller produktion.

Med grundforskning inom ytfysik som bakgrund har avdelningen för synkrotronljusfysik utvecklat nya metoder baserade på interferens och diffraktion för ökad förståelse av moderna material som används eller kommer att användas inom katalys, elektrokemi och kristallväxt.



Synkrotronljusforskare  
Johan Gustafson och Edvin Lundgren





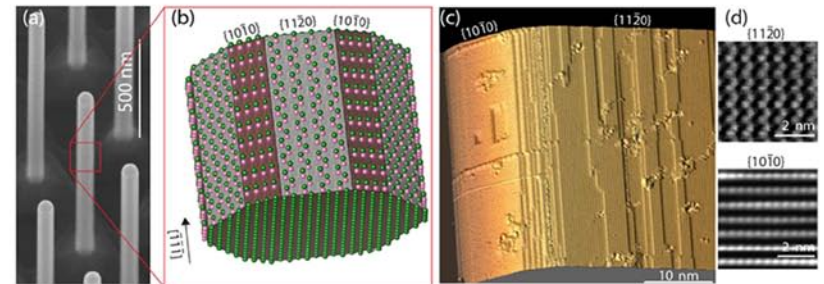
## Ytstruktur på atomskala

Sveptunnelmikroskopi, som belönades med Nobel-priset 1986, gör det möjligt att se hur enskilda atomer är ordnade på ytan av exempelvis nanotrådar. Hos en nanotråd spelar ytan stor roll för dess egenskaper eftersom den nästan bara består av yta. Nanotrådar är vanligtvis någon mikrometer långa och några tiotals nanometer tjocka och användbara i till exempel elektronik, solceller och LED-lampor.

Under ledning av Lars Johansson var Lunds universitet först i Sverige med denna nya mikroskopi och idag bedrivs mycket forskning kring nanotrådar vid Fysicum.



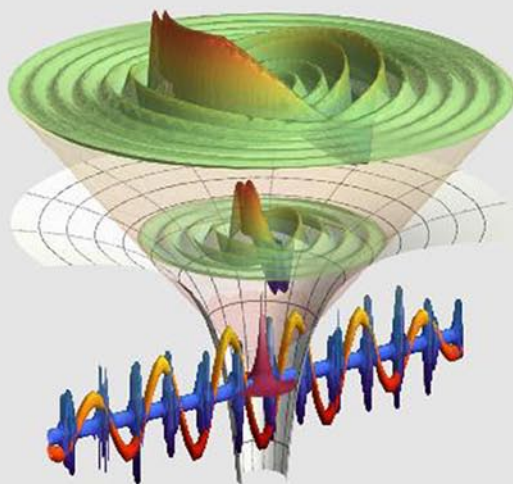
Synchrotronljusforskare Anders Mikkelsen. Från nanotrådar (a) till enskilda atomer (d).





Synchrotronljusforskare Mathieu Gisselbrecht.

Tvåelektronvågfunktion som skapades med korta laserpulser i xenon-atomerna vid attolabbet.



Avdelningens två experimentella verksamheter: Spektroskopi och mikroskopi utvecklades parallellt och båda visade sig vara en bra grund för samarbeten med andra forskargrupper inom institutionen: Attosciencegruppen vid avdelningen för atomfysik och nanometerkonsortiet vid avdelningen för fasta tillståndets fysik.

Snabba förlopp sätts igång i atomära vågfunktioner, molekyler och på ytan med korta laserpulser och förloppet undersöks med spektroskopi.

Mathieu Gisselbrechts uppmärksammade tidsupplösta mätningar i xenon visar att i dubbeljonisation sänds elektronerna ut med några hundra attosekunders mellanrum.