



LUND UNIVERSITY

Symmetrier i atomkärnans värld

Om roterande atomkärnors egenskaper och existensen av supertunga atomkärnor.

Ragnarsson, Ingemar; Åberg, Sven; Forkman, Bengt; Holmin Verdozzi, Kristina

Published in:

Fysik i Lund i tid och rum

2016

Document Version:

Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Ragnarsson, I., Åberg, S., Forkman, B. (Red.), & Holmin Verdozzi, K. (Red.) (2016). Symmetrier i atomkärnans värld: Om roterande atomkärnors egenskaper och existensen av supertunga atomkärnor. I *Fysik i Lund i tid och rum* Gidlunds förlag i samarbete med Fysiska institutionen, Lunds universitet.

Total number of authors:

4

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

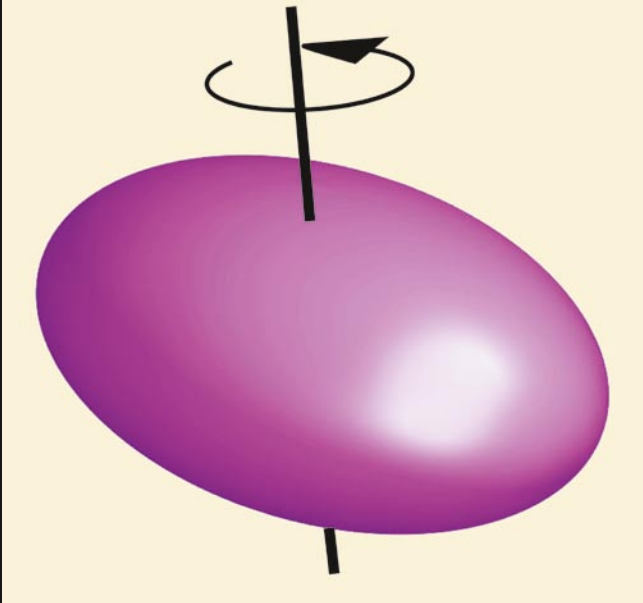
Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

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



Symmetrier i atomkärnans värld

Om roterande atomkärnors
egenskaper och existensen av
supertunga atomkärnor.

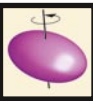


Atomkärnor spinner loss

Vid Sven Gösta Nilssons bortgång 1979 hade han en stor aktiv forskargrupp omkring sig som alla forskade på snabbt roterande atomkärnor. Den starka sammanhållningen belyses i ett citat av Sven Åberg.

Varje fredagsmorgon hösten 1974 tog forskargruppen i matematisk fysik morgonfärjan Malmö-Köpenhamn för att besöka Ben Mottelsons veckokurs om de senaste rönen inom ämnet högspinnfysik, följt av omfattande diskussioner där alla och bl.a. Aage Bohr, Ikuko Hamamoto och Ben själv deltog. Förberedelsen för dessa diskussioner finslipades under resan och vårt frukostbord på färjan var alltid täckt av papper med långa beräkningar. Mottelsons föreläsning var 'lätt' att förstå, tills vi åter satt på båten tillbaka från Köpenhamn och i detalj försökte förstå vad han egentligen sagt.





En japanska efterträder skånegrabben

Ikuko Hamamoto kom under 60-talet till Niels Bohr Institutet i Köpenhamn på ett stipendium från Japan. Då professuren i matematisk fysik i Lund 1979 blev ledig, efter Sven Gösta Nilssons bortgång, tilldelades den Hamamoto i extremt hård internationell konkurrens.

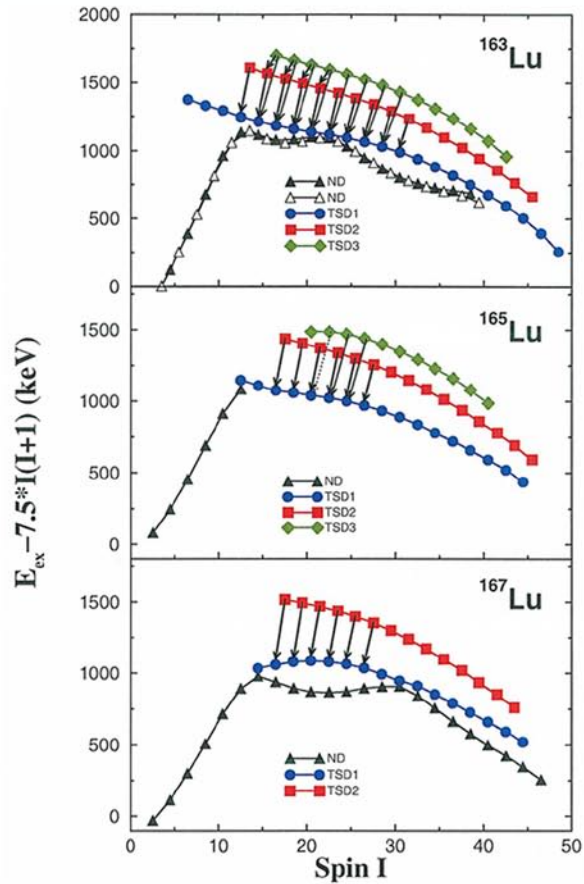
Hon skulle komma att tillbringa mer än 40 år i Köpenhamn och Lund. Några år efter sin pensionering återvände Ikuko till Tokyo, där hon fortfarande är mycket aktiv inom kärnteoriforskningen.



Ikuko Hamamoto, professor i matematisk fysik vid LTH mellan 1982-2001.



Wobblande tillstånd



Ikuko Hamamoto har intresserat sig för att förstå och tolka kärnfysikaliska fenomen, särskilt partikelvibrationskopplingar inne i kärnan för att få kunskap om kollektiva och enpartikel-rörelser inne i kärnan.

I sökandet efter mönster i kärnor med tre olika symmetriaxlar har hon gjort grundläggande förutsägelser beträffande egenskaperna hos elektromagnetiska övergångar som kännetecknar den triaxiala formen och föreslog och bekräftade att den experimentella upptäckten gjord av G B Hagemann et al., 2001 är upptäckten av wobblande tillstånd.



Expert på beräkningar av kärnmassor



Peter Möller är numera amerikansk medborgare och verksam vid Los Alamos National Laboratory i New Mexico.

Peter Möller fortsatte Sven Gösta Nilssons beräkningar på fission och är idag en ledande expert inom detta område. Genom ett mycket noggrant arbete har han utvecklat en detaljerad modell för beräkningar av kärnmassor.

Att kunna förutsäga kärnmassor är av mycket stor betydelse, bland annat för att förstå astrofysikaliska processer och för att kunna göra förutsägelser om gränsen för atomkärnan.

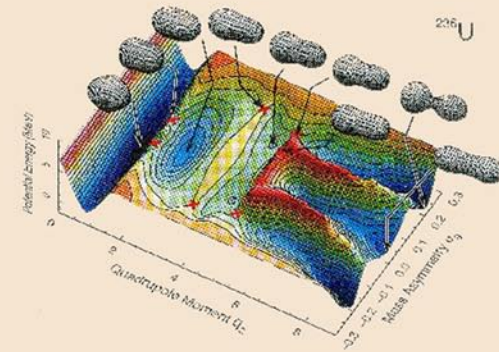
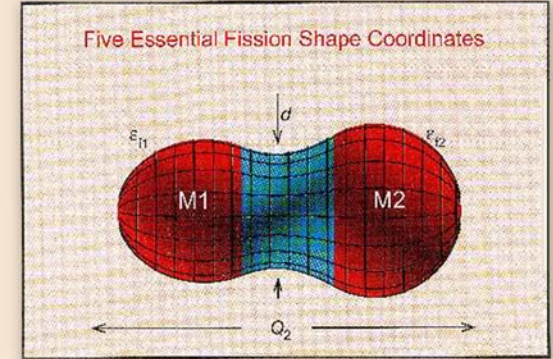
Peters massformel har länge varit den mest pålitliga för att studera så kallade supertunga grundämnen.



Förutsägelser om nya tunga grundämnen

På jorden existerar inte grundämnen tyngre än uran i lätt mätbara kvantiteter, eftersom de blir allt mer instabila genom radioaktivt sönderfall. Men med moderna massformler kan man förutsäga mer eller mindre stabila öar för super-tunga kärnor.

Vissa tyngre grundämnen kan skapas på konstgjord väg genom kollision och fusion av andra lättare grundämnen och på senare tid har cirka 20 nya grundämnen kunnat placeras in i det periodiska systemet.



Kartan över hur urankärnans form förändras då kärnan passerar genom energilandskapet med berg och dalar.



Fängslad av roterande kärnor

Vad händer om man sätter en atomkärna i snabb rotation? Hur reagerar kärnans protoner och neutroner? Hur snabbt kan den snurra innan den sprängs?

Ingemar Ragnarsson studerar hur atomkärnans inre fungerar och har genom sin forskning ökat förståelsen för hur olika kvantmekaniska effekter ger upphov till olika kärnformer.

Vid ökande rotation kan plötsligt själva kärnans rotation upphöra och all rotation finns hos ett relativt litet antal nukleoner. Detta kallas för att rotationen terminer. Ingemar har utvecklat en formalism som gör det möjligt att förstå och förutsäga detta fenomen.



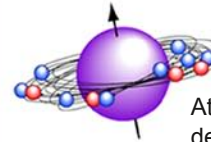
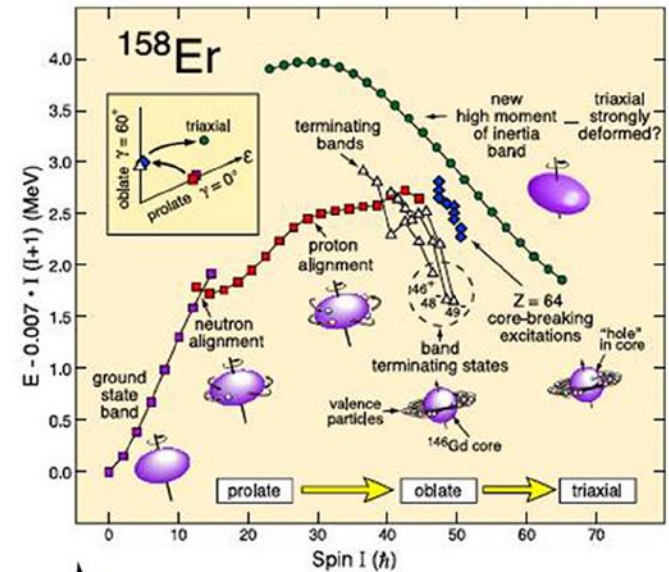
Ingemar Ragnarsson, professor i matematisk fysik.



Rotationen terminerar

Ingemar Ragnarsson samarbetar med experimentella kärnfysiker där han prövar atomkärnans detaljerade uppträdande genom matematiska beräkningar och utvecklar modeller som sedan tillämpas i kollegornas experiment.

Förutom beskrivningar av terminerade band har Ingemar också studerat strukturen hos starkt deformerade atomkärnor, så kallade superdeformerade kärnor. Tillsammans med Sven Gösta Nilsson har han författat en betydelsefull bok inom kärnstrukturfysik, *Shapes and Shells in Nuclear Structure*.



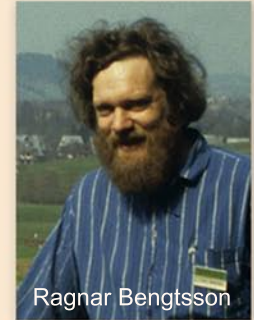
Atomkärnan ^{158}Er uppvisar flera olika faser där den roterar snabbare och snabbare (x-axeln). Formen ändras från att vara prolata (cigarformad), till att sedan bli oblat (pannkaksliknande) och slutligen triaxial (de tre axlarna olika stora) då rotationen ökar. Under den oblata fasen uppträder terminerade bandtillstånd, där systemets energi (y-axeln) varierar oregelbundet.



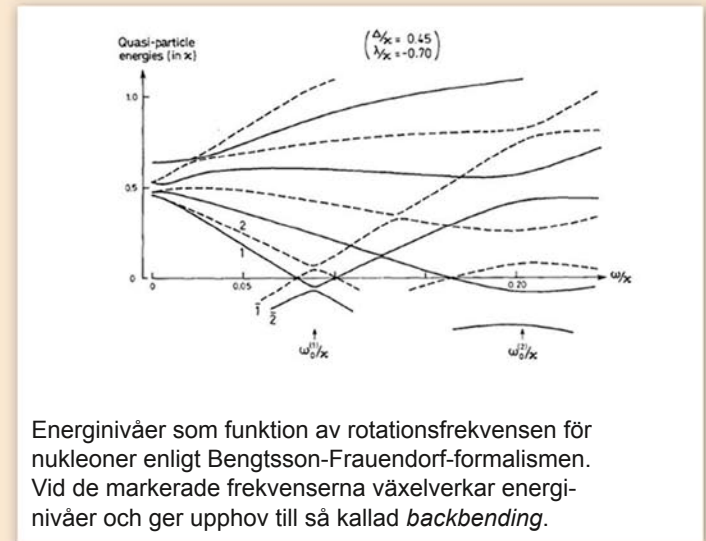
Närkontakt med experimenter

I sin forskning har Ragnar Bengtsson ägnat sig åt att beskriva roterande atomkärnor. Mest uppmärksammas är Bengtsson-Frauendorf-formalismen som utvecklades i slutet av 1970-talet. Genom att transformera observerade energispektra till det roterande systemet får man en enkel och generell jämförelse med teoretiskt beräknade energinivåer.

Bengtsson har under lång tid haft ett brett internationellt samarbete med experimenter för att förstå och beskriva observerade energispektra. Dessa studier har bland annat lett till en ökad förståelse av koexisterande kärnformer och triaxiala kärnor.



Ragnar Bengtsson





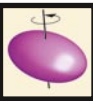
Forskare och organisatör



Sven Åberg var föreståndare för avdelningen för Matematisk fysik mellan 2000-2016 och Preses i Fysiografiska sällskapet 2011.

Som doktorand på 70-talet och under en stor del av 80-talet forskade Sven Åberg på snabbt roterande kärnor och bidrog till förståelsen av hur rotationen kan driva kärnan till så kallad superdeformation. Dessa resultat var viktiga för den experimentella upptäckten av superdeformation 1986.

Han studerade även hur exotiska kärnor kan de-exciteras genom att utsända alfa-partiklar eller protoner; ett område som idag är högaktuellt.



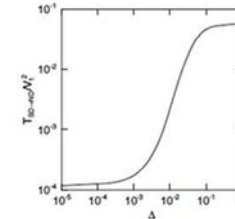
Initiativtagare

Sven Åberg har också bidragit till förståelsen av centrala problem inom kärnstrukturfysiken som hur atomkärnor kan bli kaotiska och konsekvenser av detta. Bland annat kunde han sätta upp ett villkor för hur kvantkaos inträder i ett allmänt mångpartikelsystem, ibland benämnt som the Åberg condition.

Andra forskningsområden, till vilka han väsentligt bidragit är pairing och nivåtätheter, jätteresonanser och ultrakalla atomära kvantgaser.



Sven är initiativtagare till Nordiska sommarskolor inom kärnfysiken (tillsammans med Ben Mottelson) och har arrangerat flera internationella konferenser inom kärnfysik och kaosfysik. Han har startat och drivit såväl Gemstone-projektet vid LTH, som NORDITA:s Master Class in Physics. Projekt som vänder sig till duktiga gymnasister i Sverige respektive doktorander i de nordiska länderna.



Kaos-assisterad tunnling från ett superdeformerat tillstånd till ett normaldeformerat. Bilden visar hur sannolikheten för tunnling (vertikala axeln) ökar mycket dramatiskt om hänsyn tas till kärnans kaotiska egenskaper (horisontella axeln). Mekanismen medför att ett superdeformerat tillstånd kan sönderfalla snabbt i enlighet med experimentella resultat.



Några teoretiker i högspinn

Stig Erik Larsson deltog i utvecklandet av formalismen och skrev en stor del av datorprogrammen som användes för att beskriva triaxiala och roterande kärnor.

Georg Leander gjorde avgörande insatser vad gäller päronformade kärnor och deras rotation. Trots sina unga år fick han en ledande befattning som teoretiker vid Oak Ridge laboratoriet i USA innan han drabbades av cancer och alltför tidigt gick bort 1989.

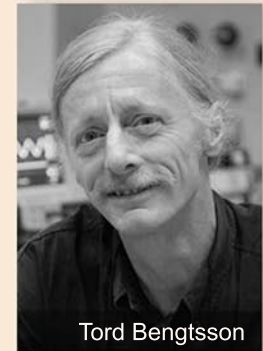
Tord Bengtsson, som påbörjade sina doktorandstudier 1979, visade sig tidigt ha stor begåvning i att utveckla formalism och skriva datorprogram. Hans program används ännu idag runt om i världen för att beskriva energinivåer och rotationsband hos snabbt roterande kärnor.



Stig Erik Larsson



Georg Leander



Tord Bengtsson



Framgångsrik med öppna kvantsystem

Tore Berggren disputerade 1966 i Lund genom att tolka resultat från $(p,2p)$ -experiment utförda vid Gustav Wernerinstitutet i Uppsala. Tolkningen stödde starkt skalmodellen för atomkärnor.

På 60-talet utvecklade han teorier om resonanstillstånd i öppna kvanttillstånd, där partiklarna nästan är obundna och kan försvinna ur systemet.

I en avgörande publikation 1967 visade han hur man matematiskt kan hantera sådana obundna tillstånd.

Tore Berggren var docent i matematisk fysik vid LTH 1966 - 1996.



Tore Berggren 1931 - 1996



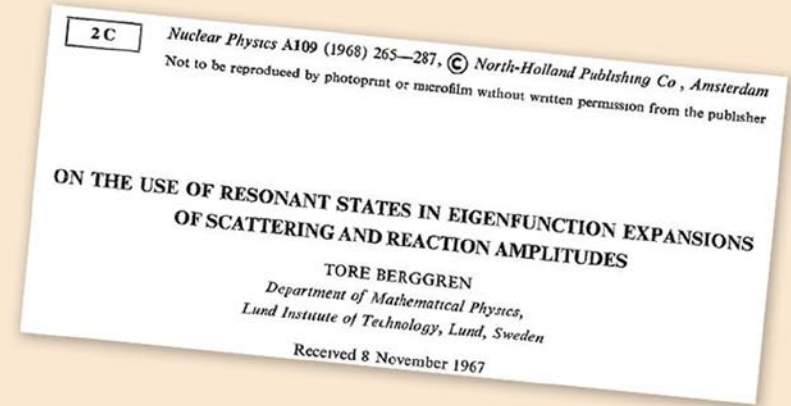
A Sleeping beauty

Idag ser man ofta artiklar där Tore Berggrens namn förekommer i artikelns titel.

År 2007 firades 40-årsminnet av Tore Berggrens viktiga resultat med en konferens i Trento: *40 years of the Berggren representation.*

Resultaten har på senare tid även visat sig användbara vid beräkningar för experiment med kvantprickar i nanoskala.

Tore led av en reumatisk sjukdom och avled 1996, endast 64 år gammal. Tyvärr hann han inte själv uppleva det stora internationella genombrottet av sina teoretiska arbeten.



Tore Berggrens banbrytande arbete från 1967. Långt senare visade det sig att hans teorier från 60-talet kunde användas för att beskriva strukturen hos instabila atomkärnor genom att t.ex. kombinera skalmodellen. Tores arbete öppnade ett fönster mot formuleringen av en omfattande mångpartikelteori för öppna kvantsystem.



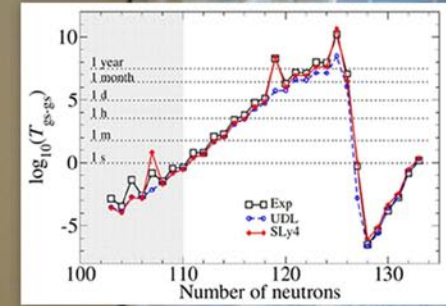
Alfapartikelliknande tillstånd

Gillis Carlsson disputerade i Lund 2007 genom att räkna på roterande atomkärnor med Ingemar Ragnarsson som handledare.

Hans stora intresse är att förstå atomkärnors egenskaper utifrån krafterna som verkar mellan nukleoner. Detta är svårt att räkna på. Därför är en viktig del av forskningen att finna approximationer, som beskriver nukleonernas rörelser inne i atomkärnan.

För att förklara kärnornas alfa-sönderfall betraktar man hur två protoner och två neutroner nära atomkärnans yta binder ihop sig till en α -partikel som sedan har en liten möjlighet att tunnla iväg.

Observera den goda överensstämmelsen mellan experiment och teori. Det finns bara en löpande parameter i beräkningen.



Gillis Carlsson



Hyllad föreläsare

Cecilia Jarlskog disputerade i Lund 1970 i teoretisk fysik och blev därmed första kvinnliga doktor i Lund i detta ämne. Hon återvände från CERN till Lund 1994 som professor i teoretisk partikelfysik vid Lunds tekniska högskola.

Nedan utdrag från hyllningstalet av J V Luce i juli 2005 när Cecilia utnämndes till hedersdoktor vid Trinity College i Dublin.

Hon har skickligt och matematiskt undersökt principerna för hur subatomära och elektriska beståndsdelar i materia samverkar eller förlorar sin symmetri. Genom denna långt pågående och genomträngande forskning kan hon med stor auktoritet föreläsa om bildandet och framväxten av den fysikaliska världen och om logiken i de observerade egenskaperna hos dess minsta beståndsdelar.

Cecilia Jarlskog är en skicklig och mycket efterfrågad föreläsare.



Quarks

⊗

Leptons

EXIST

any number of families
in the Standard Model

- $S_u = M_u M_u^\dagger$
- $S_d = M_d M_d^\dagger$

$|V_{\alpha j}|^2 = \text{tr}(P_\alpha(S_u) P_j(S_d))$

$\alpha = u, c, t, \dots$
 $j = d, s, b, \dots$

Happy



Jarlskoginvarianten

Cecilia Jarlskog har huvudsakligen forskat om teorin för den svaga kärnkraften och är mest känd för att ha utvecklat Jarlskogs invariant, som är den storhet som handlar om CP-brottet, den del av växelverkan som skiljer sig för partiklar och antipartiklar. Jarlskog visade att denna storhet är oberoende av de godtyckliga faser, som kvantmekaniken kräver för kvarkarnas vågfunktioner.

Jarlskog har också varit mycket engagerad i kontakter mellan forskning och övriga samhället och har även varit rådgivare till generaldirektören för CERN.

CP violation

$$\Delta P(\alpha, \beta) = P_{\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta} - P_{\bar{\nu}_\alpha \rightarrow \bar{\nu}_\beta} = 4 \times \sum_{i>j} \text{Im} [U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*] \sin \left(\frac{\Delta m_{ij}^2 L}{2E} \right)$$

$$\text{Im} [U_{\alpha i}^* U_{\beta i} U_{\alpha j} U_{\beta j}^*] = (\pm) J_{CP}$$

Jarlskog invariant

(+) cyclic permutations in (α, β) and (i, j)
 (-) anticyclic permutations in (α, β) and (i, j)

Independent of the mixing matrix parameterization = rephasing invariant