

KVANT

april
1994

1

Fysisk Tidsskrift

5. årgang



KVANTE KAOS • KAOS & PERIODISKE BANER • MYSTISKE GAMMA GLIMT •

• ÅRSMØDE I DANSK FYSISK SELSKAB • SORØDAGE 1993

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Ørsted Laboratoriet
Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Telefax : 35 32 04 60
E-mail : kvant@nbivax.nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Mads Hammerich (ansv.)
Rungsted Gymnasium
Jørgen Friis Bak
Naturvidenskabeligt fakultet, ÅU
Jørn Christiansen
Torsten Freltoft (annoncer)
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

KVANT udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år (i Danmark).

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1800 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til Torsten Freltoft, NKT Research Centre, telefon 43 48 35 69, telefax 43 63 00 99.

Oplag: 2000

Tryk: P.J.Schmidt, Vojens
ISSN 0905-8893

Indhold:

Kvantekaos

- Predrag Cvitanović* 1
Findes der overhovedet kaos i kvantemekaniske systemer?
Forfatteren bringer os frem til svaret: Ja.

Mystiske Gamma Glimt

- Holger Pedersen* 8
For få år siden opdagede man mystiske udbrud af γ -stråling på himlen. Glimtene er tilsyneladende ikke forbundet med nogen synlig kilde. I årene der er gået er mysteriet blot blevet dybere i takt med at datamaterialet er vokset. Holger Pedersen tøver ikke med at kalde glimtene for astrofysikkens største mysterium.

Forårsmøde i Dansk Fysisk Selskab

- BEMÆRK TILMELDINGSFRISTEN! 14
Program, tilmeldingsblanket, regler for abstract

Kaos & periodiske baner.

- Per E. Rosenqvist* 19
2. del af en artikelserie i to dele om kaotisk spredning. Første del blev bragt i KVANT 3, 1993.

Sorøddage 94

- Nils O.Andersen* 25
Endnu engang er det lykkedes at fortsætte Sorøddagene for gymnasieelever med et spændende program

Anmeldelse: Politikens Atlas.

- N.O. Lassen* 26

Møder:

- 28
Om fremtiden for kommunikation i fysik.
Årsmøde i Netværket for Kvinder i Fysik.

Forsiden:

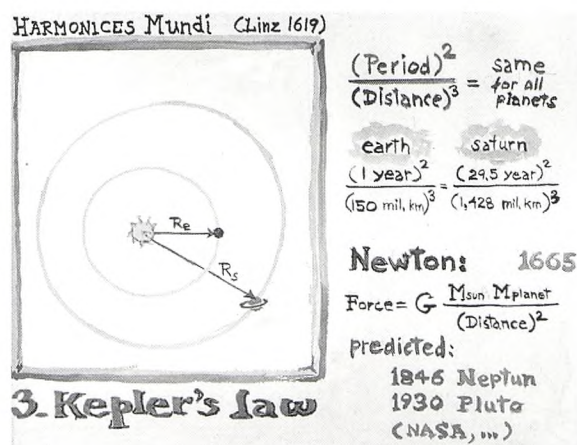
Flipper-maskinen er de Københavnske kaos-fysikers foretrukne lidenskab når de skal forklare nytten af at hænge kaotiske partikelbaner op på et skelet af periodiske baner.

Kvantekaos

Predrag Cvitanović
Center for Chaos og Turbulens Studier
Niels Bohr Institutet

Efter mange års tvivl, om hvorvidt der overhovedet findes kaos i kvantemekanik, kan der i dag måles utvetydige spor af kaos i selve det første og det bedst kendte eksempel på anvendelse af kvantemekanikken, brintatomet.

Et "klassisk" brintatom kan visualiseres som et planetsystem, hvori elektronen farer rundt om kernen i en Kepler ellipse. Kepler formulerede sin første og anden lov i 1609. Keplers første lov postulerer at planeter følger elliptiske baner. Indtil da beskrev man den tilsyneladende meget komplicerede planetbevægelse ved hjælp af epicykler. En epicykel er den kurve et punkt på et hjul beskriver når hjulet ruller langs periferien af en anden cirkel. Ved epicykler bygger man den iagttagne ikke-cirkulære planet bane af en følge af cykler lagt ovenpå hinanden. Selve planeten cirkulerer langs den sidste og mindste cirkel, som så cirkulerer ovenpå den næste, osv..



Figur 1. Keplers 3. lov.

Selvom man idag taler nedladende om epicykler, er de faktisk den eneste praktiske metode for præcisionsberegninger af de fleste fysiske problemstillinger. Idag hedder epicykler "perturbationsteori", og Keplers bidrag var at erstatte starttilnærmelsen, oldtidens cirkler, med en meget bedre tilnærmelse, ellipsen. Keplers anden lov beskriver hastigheden af en planet. Planeten bevæger sig hurtigst i nærheden af solen og langsomt når den befinder sig langt væk. Hastigheden ændrer sig således at en linie mellem planeten og solen overstryger lige store arealer i lige store tidsrum.

Keplers tredje lov fra 1619 relaterer planetens omløbstid til planetens afstand fra solen, og postulerer

at kvadratet på planetens omløbstid er proportional med afstanden fra solen i tredje potens. I vores århundrede inspirerede denne lov til Bohrs kvantisering af brintatomet.

Keplers tredje lov var resultatet af 20 års hårde gennemberegninger af Tycho Brahes måledata, og var Keplers store personlige triumf. Og det er da også en følelse af afsluttet hovedværk der lyser os imøde i hans forord til *Harmonices Mundi* fra 1619:

Keplers eufori².

"Det som jeg forudandede for 22 år siden, så snart jeg opdagede de fem legemer mellem de himmelske baner - hvad jeg troede fast på lang tid før jeg havde set Ptolomeus' *Harmonices*; det som jeg havde lovet mine venner i titlen på denne bog, som jeg havde navngivet før end jeg var sikker på min opdagelse; hvad jeg for 16 år siden opfordrede til at blive søgt efter; det for hvilket jeg samarbejdede med Tycho Brahe, for hvilket jeg bosatte mig i Prag; for hvilket jeg har brugt mine bedste år til astronomiske overvejelser - det har jeg endelig klarlagt, og jeg har indset dets sandhed udover min mest optimistiske forventninger. Det er ikke atten måneder siden at jeg så det første glimt af lys, tre måneder før solopgang, ganske få dage før den klare sol, der er så beundringsværdig at se på, skinnede på mig. Intet holder mig tilbage; jeg vil hengive mig til mit hellige raseri; jeg vil triumfere over menneskeheden ved den ærlige indrømmelse at jeg har stjålet Ægyptens gyldne vaser til at bygge et tempel for min Gud langt væk fra Ægypten. Hvis I tilgiver mig, vil jeg juble; hvis I er vrede, kan jeg bære det; terningen er kastet, bogen er skrevet, klar til at blive læst nu eller af eftertiden - jeg bekymrer mig ikke om hvilket; den kan godt vente et århundrede på en læser, som Gud har ventet 6000 år på en iagttager."

Denne indsigt styrkede ham i hans mystiske tro på, at verden er bygget på underliggende harmonier. Keplers tredje lov førte til Newtons skabelse af naturvidenskab i moderne forstand. I pestårene 1664-1666 flygtede den unge Newton fra Cambridge til landet, og formulerede der tyngdeloven: Tiltrækningskraften mellem to legemer er proportional med produktet af deres masser, divideret med kvadratet på deres indbyrdes afstand.

Herefter fulgte den klassiske fysiks triumftogt. I 1846 regnede man sig til, at der skulle findes en ukendt planet i en bestemt bane hvis små afvigelser i de andre planeters

baner skulle kunne forklares. Og så blev Neptun opdaget. I 1930 fulgte opdagelsen af Pluto, og i dag følger satelliter og rumsonder Newtons love. Suset fra denne succes førte til hovmod hos fagets mestre - allerede I begyndelsen af 17-hundredetallet skrev baron Gottfried Wilhelm Leibniz i "Von dem Verhängnisse":

Leibniz determinisme:

"At alt er frembragt gennem en forudbestemt skæbne, det er næsten så sikkert som tre gange tre er ni. (...) Hvis, for eksempel, en kugle møder en anden kugle i det fri rum og hvis deres størrelser og baner og retninger er kendt før sammenstødet, så kan vi forudse og beregne hvordan de vil støde fra hinanden og hvilken vej de vil tage efter deres møde. Der følges ganske simple love som også vil være gyldige uanset hvor mange kugler der er, og uanset om legemerne har en anden form end kugler. Heraf ses at alt foregår matematisk - dvs. ufejlbarligt - i hele den vide verden, så hvis nogen havde en tilstrækkelig indsigt i tingenes indre væsen, og også havde erindring og intelligens nok til at redegøre for og bruge alle omstændigheder, så ville han være en profet og ville se fremtiden i nutiden som i et spejl."

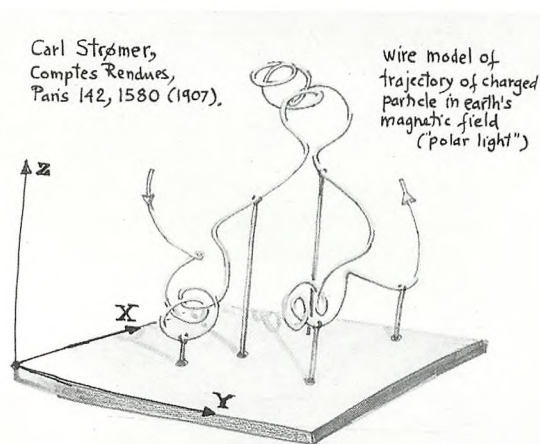
Eller kort sagt: Hvis der bare fandtes et væsen med tilstrækkelig intelligens og tålmodighed, ville det kunne beregne universets udvikling vilkårligt langt frem i tiden.

Alligevel er den meget smukke Kepler ellipse, som ledte til Newtons klassiske dynamik og som styrkede troen på at orden hersker i vores univers, ikke reglen, men undtagelsen. Så snart man tilføjer et tredje legeme til systemet, udviser den klassiske dynamik en fantastisk rig struktur. Her gælder Keplers love ikke længere. En planet snor sig langs en uendelig kompliceret, kaotisk bane, årstider varierer uden nogensinde at gentage sig præcist, og langtidsforudsigelser af kalenderen kan være lige så risikable som vejrprognoser på vores planet. Sandheden er, at vi ikke engang ved om vores tilsyneladende så forudsigelige solsystem er stabilt. Vi ved idag fra computersimulationer, at alle planeter endnu vil være med os om 5 milliarder år. Men samtidig tyder disse simulationer på, at solsystemet er svagt kaotisk, og der kan komme et skønne dag hvor en af planeterne forlader os.

Dette problem har optaget matematikere siden Newtons tid, og i 1885 udlovede Sveriges kong Oscar II en guldmedalje til den som stringent kunne bevise, at vores solsystem vil bestå til evig tid. Henri Poincaré gjorde sig fortjent til guldmedaljen, men han beviste det modsatte: Et typisk dynamisk system er kaotisk, snarere end "keplersk". Det betyder at man kan finde et system hvor planeter kører tilsyneladende regelmæssigt rundt i 1001 år, for så i år 1002 pludselig at slynge en af planeterne ud for evigt. Og ikke nok med det. Hvis man flytter en af planeterne bare en ångström, kan katastrofen ske måske

om 600 år, eller måske om en milliard år.

Poincarés matematik var abstrakt. Han forsøgte ikke engang at skitsere sine kaotiske trajektorier, og der var stort set ingen fysiker som fulgte med. For eksempel brugte den norske fysiker Carl Størmer der levede i begyndelsen af vort århundrede, det meste af sit liv og håndkraft til at beregne banerne for ladede partikler i jordens magnetiske felt. Han håbede dermed at kunne udvikle en teori for nordlys. Disse opslidende regnestykker var antagelig verdens første beregninger af kaotiske baner. For at kunne visualisere sine resultater, byggede han 3-dimensionale ståltråds modeller af trajektorierne.



Figur 2. En af Carl Størmers tredimensionelle visualiseringer af en elektrons bane. Fremstillet i ståltråd.

Idag forventes det af enhver ph.d. studerende i fysik at kunne beregne 100.000 gange længere trajektorier i løbet af få dage og at kunne vise, at Størmers trajektorier var kaotiske.

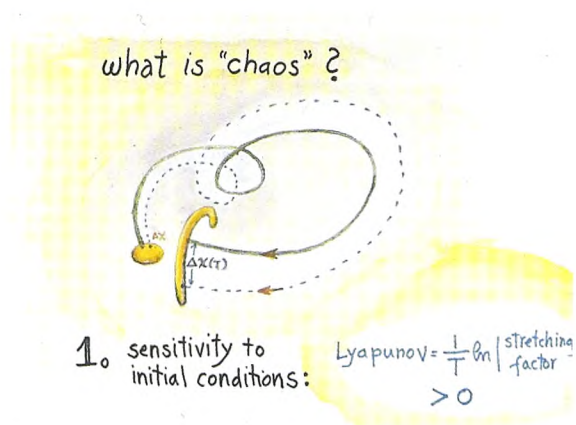
Hvad er kaos?

I dag har ordet "kaos" en præcis betydning for fysikere. For at et dynamisk system skal være kaotisk, skal to betingelser være opfyldt.

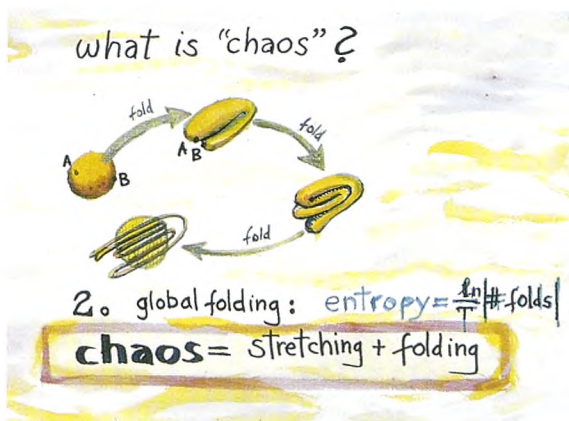
- For det første, skal systemet udvise følsomhed overfor valg af begyndelsespunkt. Afstanden mellem to nærliggende startpunkter skal vokse eksponentielt med tiden, eller, som det hedder i faget: Systemet skal have "positiv Lyapunov eksponent". Det betyder at en lille fejl i begyndelsen fører til en stor fejl efter et stykke tid.
- Den anden betingelse er at, to fjerne startpunkters trajektorier vil komme vilkårligt nær til hinanden vilkårligt mange gange.

Man kan tænke på denne proces som æltning af wienerbrød. Hvis systemet er lokalt ustabilt, men globalt begrænset, må der nødvendigvis forgå en foldningsproces. Dette er der ikke noget usædvanligt i.

Hver gang vi blander lidt mælk i kaffen, gennemfører vi dette eksperiment. Hvis antallet af folder vokser eksponentielt med tiden siger fagfolk at systemet udviser "positiv Kolmogorov-entropi". Et sådant system som er lokalt ustabil og globalt foldende betegnes som "kaotisk". Kaotiske systemer finder man nutildags alle vegne. Alle klassiske dynamiske systemer vil (med få idealiserede undtagelser, som keplerske ellipse bevægelser og den harmoniske oscillator) udvise en vis grad af kaos. Selvom de klassiske naturlove er enkle og deterministiske, er langtidforudsigelse umulig.



Figur 3. Hvad er kaos? I. Nære tilstande glider fra hinanden.



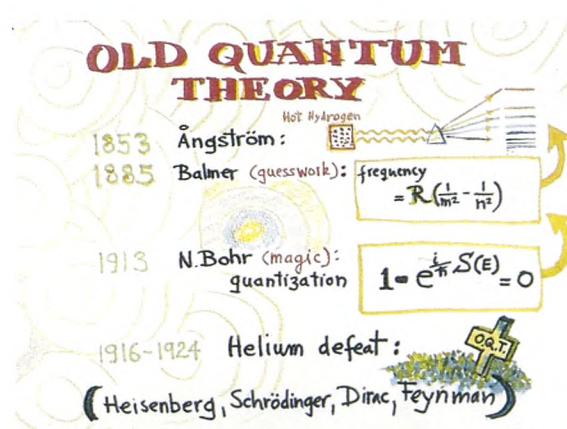
Figur 4. Hvad er kaos? II. Omegnen bliver blandet op med partikler fra nær og fjern.

Og heri ligger "kaos" berigelse af vores begrebsmæssige rækkevidde. Skridtet fra Keplers platoniske harmonier til Newtons ligninger gav os et sprog som gav mening til mange hidtil usammenhængende facts og førte os til en helt anden verdensopfattelse. På samme måde har de seneste årtiers udvikling af "kaos" sproget gjort det

muligt for os at begribe komplekse fænomener som før simpelthen var ubeskrivelige.

Men hvad med kvantemekanik?

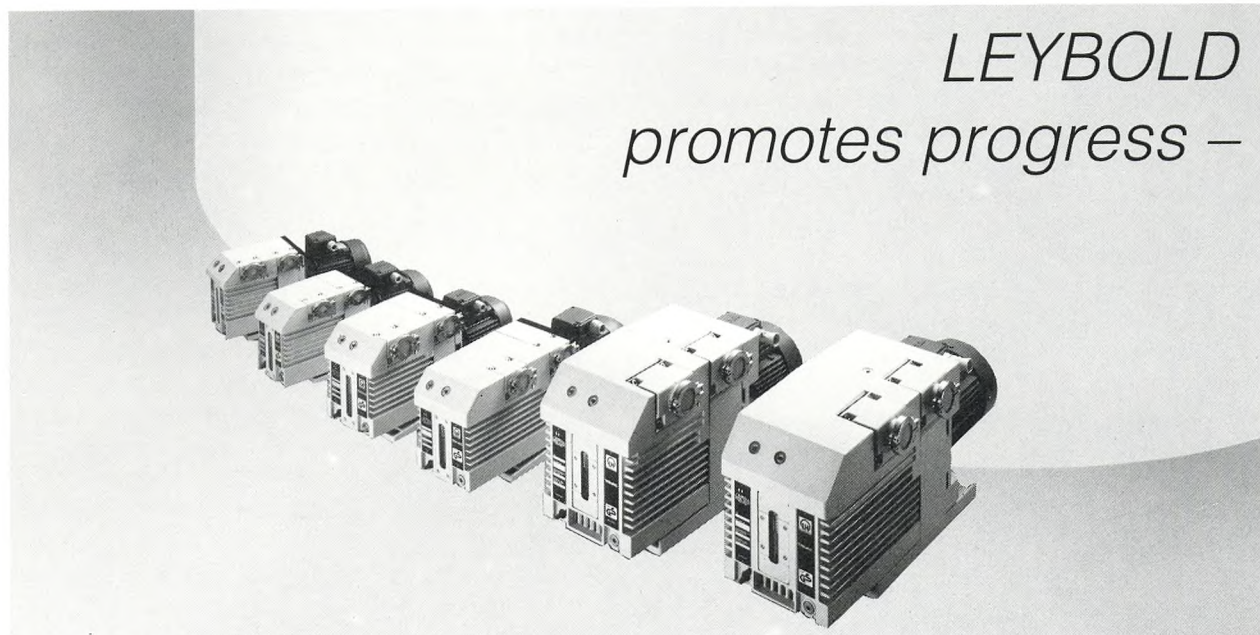
Vi ved at verden følger kvantemekanikkens love! De klassiske er bare bekvemme tilnærmelser. Atomerne, molekylerne er beskrevet af kvantemekanik. Udviser de også kaos? Man er instinktivt skeptisk når man stilles over for kombination af to sexede begreber som "kaos" og "kvantum". "Kvantekaos" har i længere tid været et kontroversielt begreb, og eksistensen af selve fænomenet har været betvivlet. Man har endog bevist, at kvantekaos ikke eksisterer, dvs. at kvantemekanik ikke udviser "positiv Kolmogorov-entropi" og ikke har "positive Lyapunov-eksponenter". Man har heller ikke kunnet finde andre diagnostiske indicier for eksistensen af deterministisk kaos. De mere fundamentalistisk mindedde fysikere går så vidt som til at kræve, at selve ordet "kvantekaos" ikke må nævnes i fagligt kvalificeret selskab. Problemet er bare det, at vi siden Poincarés tid har vidst, at stort set alle dynamiske systemer udviser kaos. Vi kan ikke lade være med at spekulere på hvad det indebærer for atomar fysik.



Figur 5. Hovedårstal i den tidlige kvantemekaniks historie.

For at kunne diskutere dette spørgsmål er vi nødt til at vide noget om kvantemekanik. Heldigvis behøver vi ikke at vide mere end man vidste i 1913.

I 1853 opdagede Ångström at spektret af det lys som varm brint udsender ikke er et kontinuum men består af skarpe frekvenser, og i 1885 lykkedes det Balmer at finde et enkelt numerisk forhold mellem brintliniernes frekvenser. I 1913 benyttede Niels Bohr keplerske baner til at kvantisere brintatomet: ideén var at brintatomet er et atomart planetsystem, hvor elektronen kører i keplerske baner, men ikke alle baner er tilladte. De Broglie tolkede elektron som en bølge, og de tilladte keplerske baner som præcis disse for hvilken i følge af tredje Keplers lov elektronen var en stående bølge. En stående bølge kender alle musikelskere - det er den bevægelse en streng udviser når den



LEYBOLD
promotes progress –

CD Werbeagentur, Bonn

171.9.61.11.019.02

with the well-proven rotary vane TRIVAC-B vacuum pump series.
Excellent final vacuum, integrated oil circulatory pump, high level of hydrogen compatibility, and smooth running are the TRIVAC-B pump features.

Interested? Ask your Leybold adviser.

LEYBOLD AG – A Degussa Company



Leybold ApS, Roskildevej 342, 2630 Tåstrup, Tlf. 43 99 64 44

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



ALCATEL 2-trins pumpers succes giver uændrede priser i 1993.

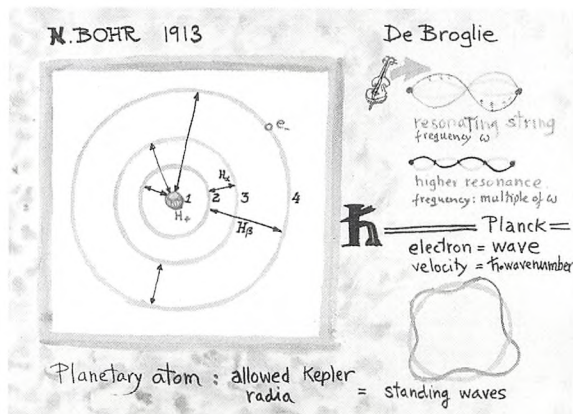
Type	Kapacitet m ³ h ⁻¹ nominel/Pneurop	Sluttryk hPa (mbar) partial/total/+gasballast	Pris kr. excl. moms
2002	2,0 / 1,7	<2x10 ⁻³ / <5x10 ⁻³ / <2x10 ⁻²	8.075,-
2005	5,4 / 4,8	<1x10 ⁻⁴ / <2x10 ⁻³ / <1x10 ⁻²	12.550,-
2010	9,7 / 8,5	<1x10 ⁻⁴ / <2x10 ⁻³ / <1x10 ⁻²	14.500,-
2015	15,0 / 12,5	<1x10 ⁻⁴ / <2x10 ⁻³ / <1x10 ⁻²	15.850,-
2021	20,7 / 16,5	<1x10 ⁻⁴ / <2x10 ⁻³ / <1x10 ⁻²	19.450,-
2033	35,0 / 30,0	<1x10 ⁻⁴ / <3x10 ⁻³ / <6x10 ⁻³	25.500,-
2063	65,0 / 60,0	<2x10 ⁻⁴ / <3x10 ⁻³ / <6x10 ⁻³	39.650,-
2100	120,0 / 105,0	<2x10 ⁻⁴ / <3x10 ⁻³ / <6x10 ⁻³	83.775,-

* robuste * tryksmurte * støjsvage * indbygningsvenlige * specialudførelser for korrosive gasser * reservedele og service i DK.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLÆKSØGERE & MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON- & ÆTSEANLÆG • RF & HV STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS NYBROVEJ 283 DK-2800 LYNGBY TLF 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER NYBROVEJ 193 BIL 30 42 63 00 FAX 45 93 32 93

svinger i sin grundtone, ellers når man anslår den i en flageolet, en højere harmonisk resonans. De Broglie-Bohr's stående bølger får man ved at bøje strengen og lukke den i en cirkel, så den svinger som en cirkelfjeder man slipper.



Figur 6. Bohr-de Broglie bølger.

Den slags argumenter er ret så uoverbevisende, og man ville ikke have taget Bohr alvorligt hvis ikke hans planetære model viste sig at have en stor forudsigelseskraft. Bohr kunne udlede balmerformlen, og forudsige spektret af ioniseret helium. Efter disse indledende succeser var det næste skridt klart: Efter at man havde beskrevet en-elektron atomerne, skulle man tage fat i to-elektron atomerne, dvs. atomart helium. Det forsøgte Bohr og Kramers fra 1916 til 1924, og det blev til en pinlig fiasko, en fiasko der bidrog til gamle kvanteteoris død. Som vi snart får at se var rygtene om kvanteteoriens død dog noget overdrevne.

Idag ved vi at deres forsøg mislykkedes fordi de forsøgte at bruge keplerske baner til beskrivelsen af Poincarés tre-legeme system - og det kan bare ikke lade sig gøre. Poincarés matematik var svært gennemskuelig. Så da Niels Bohr benyttede keplerske baner til at kvantisere brintatomet, var der kun én blandt samtidens kritiske røster, som var opmærksom på, at fundamentet under Bohr-Sommerfeld modellen smuldrer såfremt Poincarés kaos har noget på sig. Denne kritiske røst var verdens mest berømte fysiker, Albert Einstein, og tidskriftet et af tidens mest ansete, og alligevel blev Einsteins 1917-artikel først citeret 41 år senere.

Årsagen var, at Bohrs model hurtigt blev afløst af Heisenberg og Schrödingers kvantemekanik. Og dermed blev Bohrs noget suspekte brug af keplerske baner erstattet af eksakt, omend svært forståelig teori. Selvom teorien er svært at forstå, ledte den direkte til opfindelsen af transistoren og laseren.

Og dog må en ærlig fysiker erkende at man end ikke kan få heliums spektrum ud af denne eksakte ligning.

Kvanter & kaos

Den indsigt som grundlagde kvantekaos kom til Martin Gutzwiller i 1970, men det har taget næsten 20 år at udvikle det til et værktøj. Gutzwiller arbejder på IBM. Han var interesseret i bevægelsen af en elektron i en halvleders krystalgitter, dvs. hvordan man laver en bedre transistor. Sådan et gitter er anisotropisk - elektronen følger én kraft langs krystalens symmetriplan, og en anden på tværs, og følger typisk en "anisotrop" Kepler bane - en bane som aldrig lukker på sig selv, men vandrer kaotisk rundt. Gutzwiller indså derpå at dette system indeholder uendelig mange periodiske baner, der har det tilfælles at de alle er højst ustabile. Denne indsigt som kan spores tilbage til Poincaré, som skrev i slutningen af sidste århundrede:

Poincaré⁴:

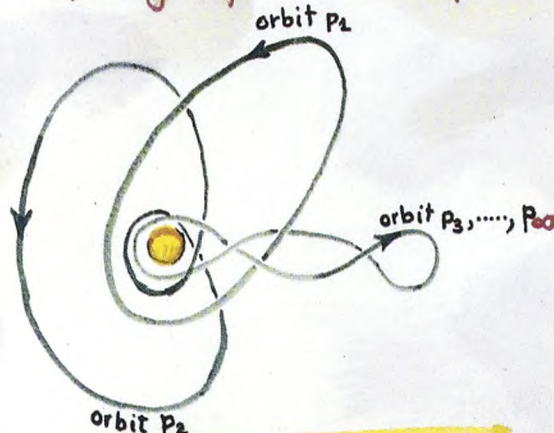
"Étant données des équations ... et une solution particulière quelconque de ces équations, on peut toujours trouver une solution périodique (dont la période peut, il est vrai, être très longue), telle que la différence entre les deux solutions soit aussi petite qu'on le veut, pendant un temps aussi long qu'on le veut. D'ailleurs, ce qui nous rend ces solutions périodiques si précieuses, c'est qu'elles sont, pour ainsi dire, la seule brèche par où nous puissions essayer de pénétrer dans une place jusqu'ici réputée inabordable."

"Givet ligningerne ... og hvilken som helst speciel løsning af disse ligninger, kan man altid finde en periodisk løsning (selvom der er sandt at perioden kan være meget lang) sådan, at forskellen mellem de to løsninger vil være vilkårlig lille, i vilkårlig lang tid. Det, som gør disse periodiske løsninger så kostelige er, at de er de eneste håb vi har om at kunne bryde igennem til dette sted, som indtil nu betragtedes som utilgængeligt."

Poincaré fulgte ikke ideén op, men Gutzwiller postulerede at alle disse baner skal indgå i kvantiserings betingelsen, men hver med sin vægt. I en vis forstand er den sidste tids flirt mellem "kaos" og "kvantum" en direkte fortsættelse af Bohrs idé fra 1913. I dag ved vi, at kaotiske systemer indeholder et robust "skelet", som netop består af alle de periodiske baner, og at selv stærkt kaotiske systemer skal beskrives ved hjælp af disse baner. Mere konkret, den oprindelige Bohr-Sommerfeld kvantisering fra 1913 antager, at elektronen opfører sig som en bølge, og at kun de keplerske ellipser som svarer til stationære bølger er tilladte stationære atomare tilstande. I Bohr-Sommerfeld kvantiseringens *moderne*, kaotiske generalisering fortolkes elektronen som en stationær bølge der ikklæder "skeletet" af alle periodiske baner. I klassiske lærebøger ses elektronorbitaler afbildet som en sandsynlighedssky uden om en klassisk bane. I Gutzwillers beskrivelse er den samme sky mængden af alle baner,

QUANTUM + CHAOS

= infinity of unstable periodic orbits



action $S_p(\text{energy}) = \int d\vec{q} \cdot \vec{p}$

counts wavenumber of a trajectory; if integer, standing wave

Bohr 1916:

$$(1 - e^{\frac{i}{\hbar} S(E)}) = 0$$

Gutzwiller 1971

$$\prod_p \left(1 - \frac{e^{\frac{i}{\hbar} S_p(E)}}{\sqrt{\text{stability of } p}}\right) = 0$$

∞ of unstable periodic orbits

Figur 7. Gutzwiller kvantisering: Funktionen $S_p(E)$ kaldes for virkningsfunktionen hørende til bane p . Venstre side af Bohr's kvantiseringsbetingelse er altid numerisk mindre end 1 og bliver 0 for de baner hvor S_p er et multiplum af $\hbar \cdot 2\pi$ svarende til stående Bohr-De Broglie-bølger. Gutzwiller tildeler en stabilitet til hver bane således at de mindre stabile baner bidrager mindre til produktet.

hver vægtet med en sandsynlighed efter hvor stabil den er. I Gutzwiller formelen optæller funktionen S_p antallet af elektron-bølgelængder langs en periodisk bane. p , og kvadratroden af stabilitetsfaktoren siger, at mere ustabile trajektorier bidrager mindre. Meget lange trajektorier er meget ustabile, og det gør det muligt at beregne spektret ved hjælp af et moderat antal af de korteste periodiske baner.

I praksis kræver implementeringen af denne smukke og enkle idé en vis matematisk virtuositet, fordi der findes uendelig mange periodiske baner, og det er ikke umiddelbart klart, hvordan de kan håndteres. Meget hurtigt viser det sig, at problemet er tæt forbundet med nogle af matematikkens dunkleste gåder. Ideén slumrede i matematisk limbo i årtier og det er kun indenfor de sidste få år at arbejderne indenfor kaotiske systemer har udviklet analytiske og numeriske værktøjer med en slagkraft, der kan konkurrere med de traditionelle metoder for de næsten-keplerske systemer. Det bidrog vi også til her i København, blandt andet ved at studere det for os mest nærliggende eksempel på deterministisk kaos: flipper maskiner - beskrevet i denne nummer af KVANT i Per Rosenqvists artikel.

At en flipper maskine er deterministisk og kaotisk er indlysende - men det viser sig at når man engang for alle

har lært hvordan de uendelig mange periodiske trajektorier kan håndteres, kan man tage fat i atomare systemer.

1991 D. WINTGEN



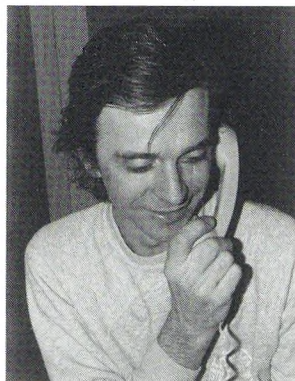
Figur 8. I 1991 lykkedes det Dieter Wintgen at reproducere heliums spektrum ud fra ustabile elektronbaner.

Forbløffende nok er det mest overbevisende ved den nye teori, at den kan anvendes på den gamle kvante-

mekaniks oprindelige triumf: brintatomet - og den gamle kvantemekaniks oprindelige dødstød: heliumatomet. I dag kan man ved hjælp af de klassiske periodiske baner beregne brintatomets kvantespektra og ligeledes måle dem eksperimentelt. Det er endog lykkedes at se de ustabile periodiske baner i et brintatom udsat for et kraftigt magnetfelt. Det mest imponerende fremskridt hidtil blev gjort af unge tyske fysiker Dieter Wintgen. Det lykkedes ham at fremtrylle helium-spektret ud af periodiske baner, og, viser det sig, med meget mindre besvær end når man løser Schrödinger ligningen numerisk. Men når man husker at det er præcis det samme helium spektrum som man opgav at forstå i 20'rne, så må vi drage konklusionen: Kvantekaos findes.

I 1913 var både "kvantum" og "kaos" tilstede. Det der manglede var vores visualiserings redskab, computeren. For mig personligt er det mest fascinerende ved "kvantekaos" at forsøge på at gætte mig til hvordan kvantemekanikken ville have udviklet sig, hvis enhver fysiker i

1913 kunne have beskuet kaotiske baner som vi kan idag, og dermed haft mulighed for intuitivt at begribe Poincarés bud. Udviklingen kunne har ført til en helt anden teori, måske endda en meget mere gennemskuelig kvanteteori end den vi har idag.



Predrag Cvitanović er Carlsbergfonds professor ved NBI. Forskningsområde: ulineær dynamik.

Referencer:

- 1) I. Peterson, *Newton's Clock: Chaos in the Solar System*, (W.H Freeman, New York 1993).
- 2) J. Kepler, *Harmonices Mundi*, (Linz, 1619); oversat af Helge Kragh.
- 3) A. Pais, *Inward Bound*, (Oxford University Press 1986).
- 4) H. Poincaré, *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, (Guthier-Villars, Paris 1892-99).
- 5) M. Born, *The Mechanics of the Atom*, (F. Ungar Publishing Co., New York 1927).
- 6) M.C. Gutzwiller, *Chaos in Classical and Quantum Mechanics*, (Springer, New York 1990).
- 7) D. Wintgen, K. Richter and G. Tanner, "The semi-classical helium atom", *CHAOS* 2, 19 (1992).

Mystiske Gamma Glimt

Holger Pedersen

Niels Bohr Institut for Astronomi, Fysik og Geofysik
Astronomisk Observatorium, Øster Voldgade 3, 1350 København K.

Der er nu registreret omkring 1400 kortvarige glimt af røntgen- og γ -stråling, kommende fra vilkårlige steder af himlen. Disse *Gamma Glimt* varer typisk mellem 0,1 og 100 s. Hverken optiske objekter, radiokilder, vedvarende røntgenkilder eller noget andet har kunnet påvises som årsag. Afstandene er ukendte; processer nær kanten af det observerbare univers har været foreslået, såvel som fænomener i solsystemets umiddelbare nærhed. Uden sammenligning er Gamma Glimt dermed blevet astrofysikkens største mysterium.

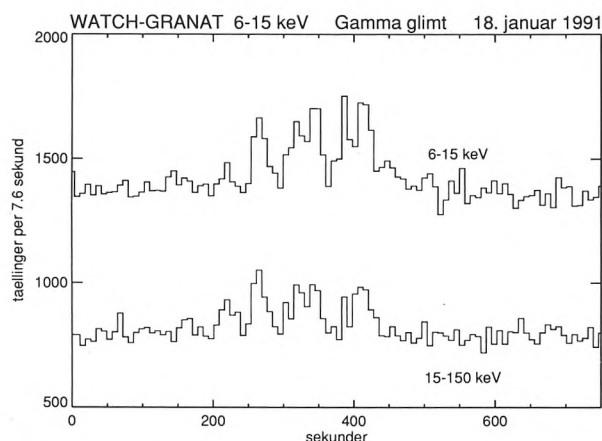
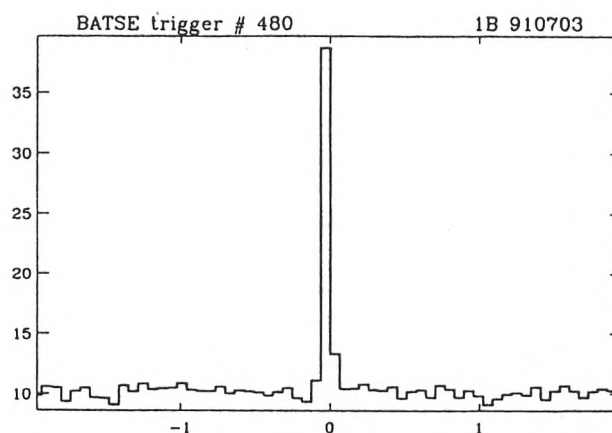
Det var det amerikanske tidsskrift *Astrophysical Journal*, som i 1973 bragte den første rapport. Forskere ved Los Alamos National Laboratory fortalte om deres iagttagelse af 16 usædvanlige begivenheder registreret med nogle satellitter kaldet *Vela*. Disse satellitter var sendt i kredsløb om Jorden i ret høje baner for at overvåge Sovjetunionens overholdelse af en traktat fra 1963 mod atombombeprøvesprængninger i atmosfæren. Ray Klebesadel og medarbejdere kunne ikke få målingerne til at stemme med det forventede: de 16 glimt stammede ikke fra Jorden, ej heller fra Solen, de kom efter alt at dømme fra det dybe Univers.

Allerede i 1968 havde Stirling Colgate fremsat en teori, at supernovaeksplosioner kunne give anledning til udsendelse af γ -stråler. Ideen var, at supernovaskallens hurtige bevægelse mod os skulle blåforskyde synligt lys ind i det højenergetiske område. Klebesadel checkede de kendte supernovaer, men de stemte ikke i tid og sted, så indtil videre måtte Colgate's hypotese lægges på hylden. På omtrent samme måde er det gået 134 teorier, publiceret siden da: ingen har kunnet bevises at være korrekte, og kun få har kunnet modbevises. Nogle astronomer har derfor overvejet et frivilligt moratorium mod nye modeller, indtil bedre eksperimentelle data kan indskrænke valgmulighederne. Omvendt mener andre at fantasien skal have frit løb; der er stadig plausible processer, som ingen har "sat sig på".

Compton Observatoriet

Kort tid efter opdagelsen blev det besluttet at bygge udstyr til eftersøgning af flere udbrud. Min optælling viser, at mindst 58 rumsonder og 18 stratosfæreballeroner har haft held dertil. Blandt de mest kendte er *Apollo 16*, *Venera 11-12*, *Pioneer Venus Orbiter* og *Ulysses*. Det mest prementtøse projekt er *Compton Gamma Ray Observatory*, som blev opsendt med rumfærgen i 1991. Instrumenterne ombord hedder BATSE, COMPTEL, OSSE og EGRET, og har forskellige karakteristika, med hensyn til synsfelt, spektralt følsomhedsområde, energiopløsning og evne til

at bestemme fotonernes ankomstretninger. Kun BATSE er specielt designet til opdagelse af transiente kilder. Den består af otte meget store scintillations-detektorer, placeret i satellittens hjørner. Så snart et udbrud er påbegyndt, sendes besked til de andre instrumenter, som så indsamler og videregiver data med ekstra høj tidsopløsning.

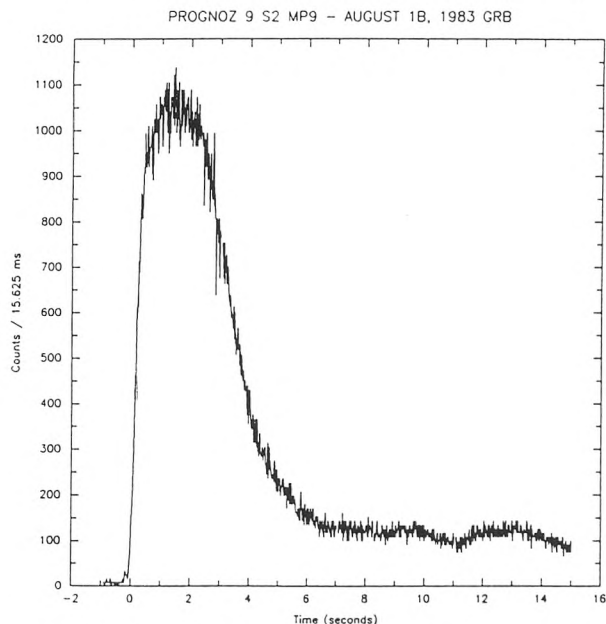


Figur 1. a) Et kort glimt, 128 ms, detekteret 3. Juli 1991 med BATSE. I sit maksimum nåede begivenheden over 35000 tællinger pr. 64 millisekunder.

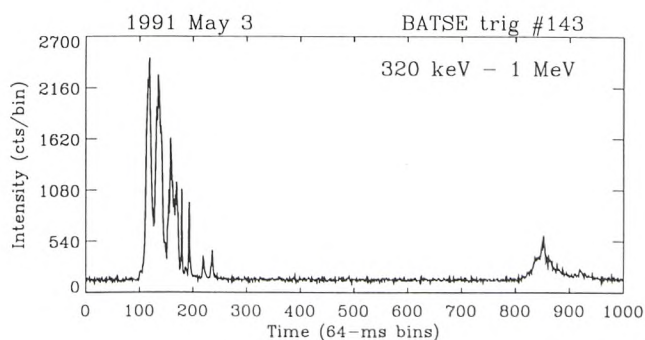
b) Et 280 sekunder langt Gamma Glimt, detekteret 18. Januar 1990 med den danskbyggede WATCH detektor, ombord på satellitten Granat.

Med BATSE måles i gennemsnit 0,85 Gamma Glimt pr. dag. Når der korrigeres for detektorens synsfelt, bliver

den ideelle hyppighed 800 ± 40 begivenheder pr. år. Målingerne antyder en mangel på svage begivenheder; det er med andre ord, som om vi nu er i stand til at registrere næsten alle glimt, som forekommer i det observerbare univers, indenfor $\sim 10^{26}$ m. Hvis det er rigtigt, er Gamma Glimt de mest mest lysstærke objekter, 10^{44} W, og astrofysikken har dermed fået et uventet og meget kærkomment redskab til studiet af universets store dybder.



Figur 2. Et kraftigt Gamma Glimt med jævnt forløbende tidsudvikling. Glimtet ioniserede kortvarigt Jordens stratosfære hvorved kortbølgetransmission blev forstyrret. Det er dermed det første eksempel på, at en begivenhed udenfor Solsystemet har påvirket forholdene her.



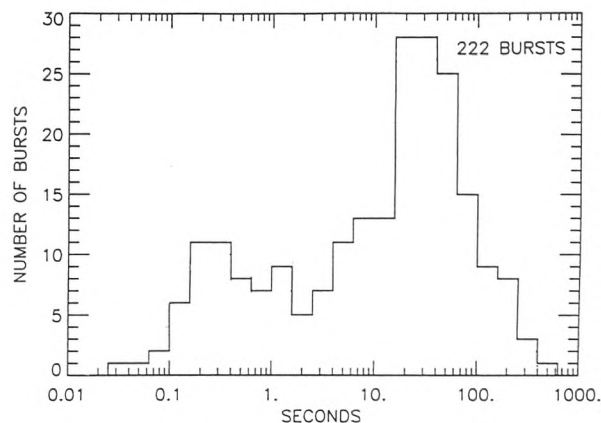
Figur 3. Et Gamma Glimt med kompliceret tidsudvikling. Begivenheden består af to dele, adskilt med 35 s. Gennem den første del varierer intensiteten meget, medens den sidste del kun består af en enkelt top.

Både glatte og takkede

Gamma Glimt er vanskelige at beskrive; rigdommen på kurveformer er meget stor. Nogle varer så kort som 5 ms, andre over 10 minutter. Nogle har en jævn udvikling i

lysstyrke, med et enkelt maksimum, medens andre svinger voldsomt i lysstyrke. Figur 1 - 3 viser eksempler.

Data fra flere satellitter antyder, at kurverne kan skilles i to grupper, primært i afhængighed af deres varighed (Figur 4) og deres "takethed". Der er også antydning af spektrale forskelle mellem de to grupper. Efterhånden som BATSE materialet vokser, vil det blive muligt, at undersøge om sådanne delmængder af Gamma Glimt har en fordeling over himlen, som er konsistent med kendte objekttyper. Hovedparten af Gamma Glimt benævnes *klassiske*, medens tre aparte kilder betegnes som "repeatere" (se senere).



Figur 4. Fordelingen af varigheden af Gamma Glimt. Den logaritmiske tidsskala viser en markant mangel på begivenheder af varighed mellem 0,5 og 5 s.

Ingen klassiske glimt viser tegn på periodicitet. Strålingen er således ikke moduleret, som det er kendt fra radiopulsarer. Heller ikke næsten-periodiske svingninger er påvist med sikkerhed, som det kendes fra plasmabevægelser over polerne af flere magnetiske neutronstjerner i dobbeltstjernesystemer.

De klassiske Gamma Glimt kommer fra stadig nye retninger og på uforudsigelige tidspunkter. Disse to forhold i forening gør fænomenet vanskeligt at studere i stor detalje. Hvis en detektor skal dække alle retninger må glimtet dominere over mange faste og variable kilder, såsom Solen, pulsarer og kvasarer, og også en variabel partikelbaggrund. Hvis synsfeltet, og hermed baggrundssignalet begrænses (man siger, at detektoren *kollimeres*), bliver hyppigheden af registreringer tilsvarende lav.

Linser og spejle duer ikke

γ -stråler afbøjes ikke i optik og reflekteres ikke af spejle. Man kan derfor ikke bestemme positioner for Gamma Glimt, som for andre astronomiske objekter. Den bedste metode benytter sig af glimtets forskellige ankomsttider ved vidt adskilte rumfartøjer. Hvis man antager at Gamma Glimtet stammer fra en så stor afstand at bølgefronten gennem solsystemet kan regnes for plan, kan man ud fra tidsforskellen let bestemme ankomstretningen. Bestemmelsen kræver tre eller flere detektorer og er altid behæftet med en vis usikkerhed. Statistisk støj, usikkerhed



Figur 5. WATCH instrumentet fra Dansk Rumforskningsinstitut. Instrumentets fulde navn er Wide Angle Telescope for Hard Cosmic X-rays. Det cirkulære gitter med en diameter på 25 cm roterer en gang i sekundet under hele flyvningen. Gitteret danner et røntgenlys-skyggemønster på detektoren. En analyse af mønsterets tidlige forløb angiver røntgenkildernes placering paa himlen. Instrumentet vejer 11 kg og bruger 12 W.

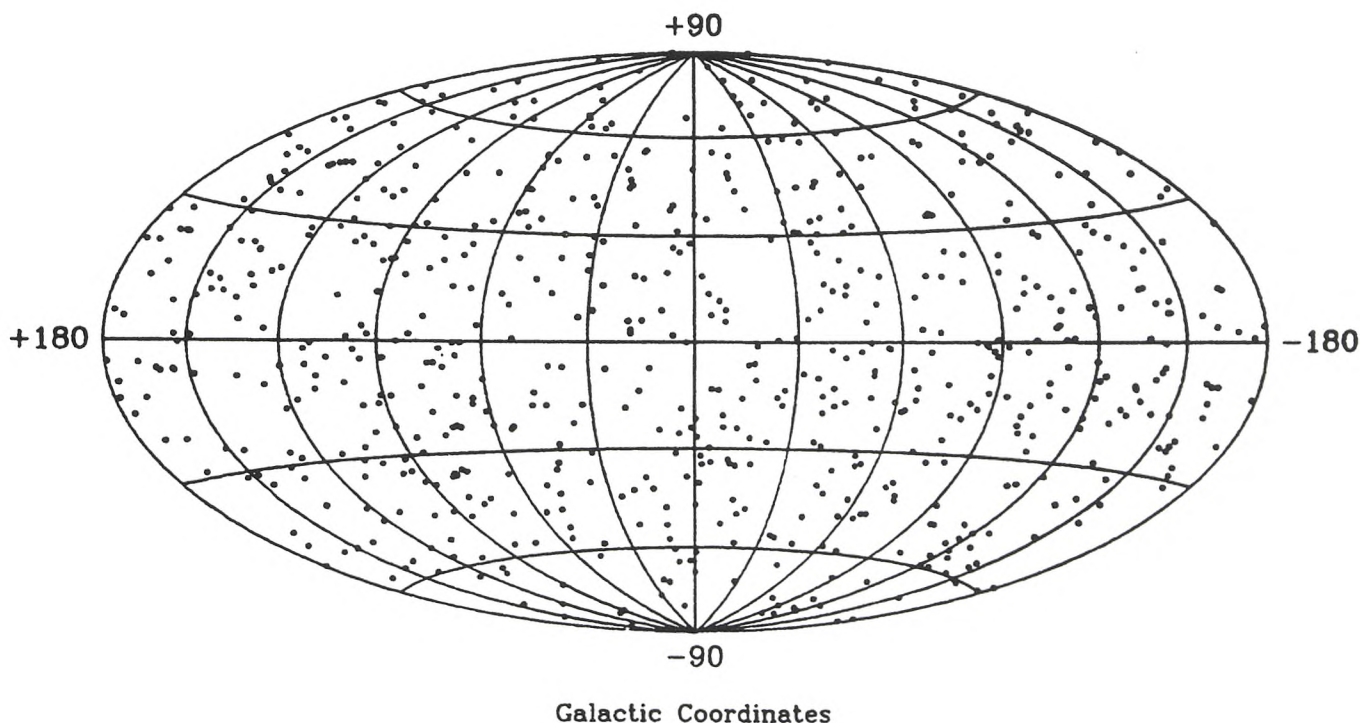
i kendskabet til rumsonderne positioner, fejl i deres tidsregning og forskelle i spektral følsomhed er af betydning. Bølgefrontens krumning, og dermed afstanden til kilden, kan undersøges hvis man har flere detektorer i sving. Det er kun lykkedes i et enkelt tilfælde hvor det viste sig at bølgefronten var plan indenfor måleusikkerheden. (SGR 0526-66, se senere).

Efter tabet af *Mars Observer* består det nuværende interplanetare netværk af Gamma Glimt detektorer kun af to: Compton i lav bane om Jorden, og *Ulysses*, som er på vej fra Jupiter mod Solens poler, højt over ekliptika. Et fjerde medlem, *Pioneer Venus Orbiter*, faldt fornyligt ned i Venus atmosfære, efter 14 års tjeneste. Med kun to detektorer kan et givet glimt ligge hvorsomhelst på et smalt bånd omkring en lille cirkel af vilkårlig diameter.

En anden teknik benytter et antal pladeformede detektorer ombord på en enkelt rumsonde. Ideen er, at sig-

nalet i den enkelte detektor vil afhænge af indfaldsvinklen, og være størst for vinkelret indfald. BATSE er af denne type, og dens positioner kan nu beregnes til 3° nøjagtighed, kun få minutter efter begivenheden. For meget energirige gammastråler kan de enkelte fotoners ankomstretninger bestemmes, og data fra både COMPTEL og EGRET har givet positioner af præcision som BATSE. Kombineret med de nys omtale lille cirkler kan "fejlområderne" indskrænkes betydeligt.

Gode positioner kan opnås i Røntgenområdet, under 100 keV, ved anvendelse af passende kollimatorer. Det bedste eksempel herpå er WATCH detektoren fra Dansk Rumforskningsinstitut. Denne benytter stavformede scintillatorer af to typer, NaI og CsI, bag et roterende gitter, og kan bestemme Gamma Glimt positioner med en præcision på omkring $0,3^\circ$. Fire enheder flyver med den Sovjet-



Figur 6. Fordeling over himlen af 687 Gamma Glimt. Kortet er i galaktiske koordinater, og viser alle BATSE glimt, som er stedfæstet med acceptabel nøjagtighed. Der er ikke tegn på, at kilderne til er koncentreret i Mælkevejens plan. Desuden viser en analyse af glimtenes intensiteter en påfaldende mangel på svage begivenheder. Det synes dermed, som om nuværende detektorer er følsomme nok til at registrere omtrent alle Gamma Glimt, som ikke (p.g.a. Universets udvidelse) er rødforskudte og tidsstrakte til ukendelighed.

tisk opsendte *Granat* satellit, og een var med på den 10 måneder lange *Eureca* mission. Niels Lund og medarbejdere har nu registreret mere end fyrre transiente kilder og har dermed givet et væsentligt bidrag til kendskabet til Gamma Glimt i det lavenergetiske spektralområde.

687 positioner

Figur 6 viser positionerne for 687 Gamma Glimt, registreret med BATSE. Hvis kilderne hører til Mælkevejen vil man forvente at se en koncentration langs dens plan, eller i retning af dens centrum (figurens midte). Dette er ikke tilfældet. Problemet kan omgås ved at antage en fordeling af hypotetiske kilder i en meget stor halo omkring Mælkevejen (radius over $\sim 10^{21}$ m), men så skulle man have tilsvarende fordelinger omkring retnin- gen til Mælkevejens naboer, specielt Andromedagalak- sen, og også det er dårligt foreneligt med observationer. Heller ikke galakseho- be, som f.eks. Coma-hoben, træder frem på kortet. Den simpleste forklaring er, at de ob- serverede glimt er jævnt fordelt gennem universet, ud til af- stande hvor kosmologisk rødforskydning og tidsstrækning

bringer signalet under detektionsgrænsen. En nylig ana- lyse af BATSE materialet antyder faktisk at de svage glimt er strakt i tid med en faktor ~ 2 , sammenlignet med de klare. Som en konsekvens af rummets udvidelse og den generelle relativitetsteori anses denne opdagelse anses for særdeles vigtig.

Ingen synlige objekter

Flere Gamma Glimt positioner er blevet sædeles grundigt studeret med CCD optagelser fra jordbaserede kikkerter, med røntgenteleskoper og med store radioteleskoper, men uden at man har fundet noget, som påkaldte opmærksomheden. Benyttelse af Hubble-rumteleskopet vanskeliggøres af, at kun en snes positioner har sandsyn- lige fejl under $0,03^\circ$.

I forhåbning om at nogle kilder repeterer har man end- videre gennemset talrige gamle vidvinkeloptagelser, for at efterspore fortidige optiske udbrud. Resultaterne af disse arbejder er stadig omdiskuteret: ingen af de påståede op- tiske udbrud har ført til nogen dybere forståelse. I kun få tilfælde er der samtidighed mellem et Gamma Glimt

og en tilsvarende jordisk observation i den "rigtige" retning. Intet optisk udbrud blev registreret, og den energi, som udsendes i optisk lys kunne beregnes at være højst en procent af γ -strålingen. Tilsvarende negative resultater er opnået i radioområdet, i det infrarøde, og ved ultrahøje energier, 10^{12} - 10^{14} eV. Heller ikke neutrino- eller gravitationsbølgedetektorer har vist signaler.

Spektroskopiske undersøgelser

Spektroskopi er normalt den bedste måde til at få indsigt i astronomiske objekters fysiske natur. De mest anvendte γ -strålingsspektrometre består af proportional- eller scintillationstællere og har så lille energiopløsning, $\sim 10\%$, at eventuel spektral struktur kun ses udvisket. Halvleder-spektrometre, f.eks. af germanium, er meget bedre, men de skal helst køles kryogenisk, hvilket hidtil har givet dem en begrænset levetid, omkring et år.

Gamma Glimt-spektre strækker sig over et meget bredt energiinterval, fra røntgenområdet ved 1 keV, til 10 GeV, et spænd på ti millioner. Der er enighed om, at nogle Gamma Glimt taber hårdhed under forløbet og danner en hale af røntgenstråling. Derimod er forekomsten af spektrallinier stadig kontroversiel. De fleste rapporter drejer sig om en emissionslinje ved ~ 400 keV. Den kunne svare til e^+e^- annihilationsenergien 510 keV, rødforskudt gennem en typisk neutronstjernes gravitationsfelt. Andre spektre viser antydning af absorptionslinier omkring 40 keV, som kunne stamme fra cyclotronstråling i et meget kraftigt magnetfelt, 10^{12} Gauss. Denne process skulle danne spektrallinier ved multipla af den mindste frekvens, og man har derfor gjort meget ud af at studere to spektre, optaget med den japanske satellit *Ginga*. Disse spektre viser to absorptionslinier med det indbyrdes energiforhold 1:2, præcis som forventet, og er et yderligere argument for at nogle Gamma Glimt, men ikke nødvendigvis alle, skal forklares som processer nær overfladen af stærkt magnetiske neutronstjerner. Problemet er, at de målte linie-spektre kun i få tilfælde har kunnet bekræftes fra andre rumsonder. Således har satellitten *Solar Maximum Mission* observeret 144 Gamma Glimt uden at finde linier en eneste gang, og det til trods for at detektoren udmærket var i stand til det, i betragtning af dens observationer af solfakler. Også BATSE måler udelukkende strukturløse spektre, men om dette er inkonsistent med *Ginga*'s resultater er endnu ikke bevist.

Tre bløde gengangere

Mange undersøgelser har søgt at påvise repeterende kiler. Blandt de ~ 1400 glimt hidtil registreret synes kun tre kilder at have vist sig mere end en gang. Alle tre ses i retning af områder med stor stjernetæthed. Positionen af den mest velkendte, SGR 0526-66, svarer nøje til en ung (~ 10000 år) supernovarest, N49, i den Store magellanske Sky. Den har udsendt 16 Gamma Glimt. Serien startede med et gigantisk udbrud 5. Marts 1979, som blev set fra ni rumsonder. I et kort øjeblik nåede energistrømmen ved Jorden 10^{-6} W/m², omtrent ti gange fluxen af synligt lys

fra Sirius. Herefter registreredes en 2 minutter lang hale af mindre intens stråling, moduleret med en 8 s periode. Dette sidste tages som tegn på, at et kompakt objekt, formentlig en neutronstjerne, er involveret. Tre optiske glimt, som blev registreret flere år senere fra La Silla, kan muligvis stamme fra denne kilde; det ene lignede til forveksling den impulsive fase fra 5. Marts 1979.

På grund af den implicerede høje luminositet, 10^{38} W, nægtede mange forskere at tro, at kilden var så langt væk som i den Store magellanske Sky, $2 \cdot 10^{21}$ m væk. Man mente, at den kun ved et tilfælde sås i retning af N49. Baseret på observationer kunne afstanden være så ringe som $5 \cdot 10^{13}$ m; denne værdi blev bestemt ved måling af bølgefrontens (manglende) krumning. SGR-begivenhedernes tilknytning til supernovarest er imidlertid på det seneste blevet kraftigt bestyrket. Den repeterende kilde SGR 1806-20 udsendte omtrent 100 glimt i perioden fra 1978-1986, hvilket dog ikke tillod at positionen blev bedre bestemt end $\sim 1^\circ$. En ny aktivitetsperiode startede 30. September 1993, og ved en stor indsats fra Compton Observatoriet, radioobservatoriet Very Large Array, og den Japanske satellit ACSA, blev fejlområdet indsnævret til en lille radiokilde, benævnt G10.0-0.3, som nu vides at udsende bløde Gamma Glimt. Tågen ligger i Mælkevejens plan, 10° fra retningen til centrum, og dobbelt så langt væk. Det er formodentlig en *plerion*, d.v.s. en ung supernovarest, som drives ved energi tappet fra pulsarens rotation. Men til trods for denne identifikation er energikilden til γ -strålingsudbruddene stadig ukendt; den skal klare 10^{35} W.

Vi skal nu vende tilbage til de klassiske, ikke-repeterende, og hårde Gamma Glimt, for hvilke der endnu ikke er nogen forklaring.

Nær eller fjern

Nogle teoretikere har foreslået, at kilderne kan have noget at gøre med kometer i Oort skyen (som i sig selv er hypotetisk). Hvis det er rigtigt vil de være $\sim 10^{13}$ gange tættere på os, end forudset i andre scenarier. Tilsvarende er forholdet i energiudsendelse altså en faktor 10^{26} . Det er klart at et sådant manglende empirisk kendskab til kildernes energiudsendelse er en hindring for udarbejdelsen af plausible modeller.

Det hurtige forløb af visse Gamma Glimt skulle antyde noget om kildernes udstrækning. Det er almindeligt antaget, at en lysgiver, som stråler lige meget i alle retninger (er isotrop), ikke kan variere hurtigere end at lys (og dermed γ -stråling) kan passere på tværs af objektet i samme tid. Da nogle Gamma Glimt har tidsstruktur under $200 \mu s$, må deres dimensioner altså være under 60 km. Kendte objekter af denne størrelse indbefatter kometer, asteroider, meteoritter, neutronstjerner og de stadig hypotetiske sorte huller. Ved i tankerne at lade objekterne kollidere på passende vis, er det let at frembringe den nødvendige energimængde. Men om modellen er realistisk og om energien kan komme ud som γ -stråling, er en anden sag.

Umiddelbart før opsendelsen af Compton Observatoriet var den fremherskende mening, at Gamma Glimt var galaktiske i natur og havde deres oprindelse i magnetiske neutronstjerner. Enkelte teoretikere, heriblandt Bohdan Paczyński, havde dog konstrueret afvigende modeller, som placerede Gamma Glimt i ekstragalaktiske afstande, svarende til en tid da Rummet kun fyldte 10^{-9} af nu. Elektromagnetiske fænomener fra superledende kosmiske strenge kan måske være årsagen, og da de ikke er knyttet til galakser, vil der ikke være noget at se, hverken før eller efter begivenheden. Teorien er derfor vanskelig at verificere.

Paczyński har senere foreslået, at Gamma Glimt skyldes sammensmeltning af neutront dobbeltstjerner. Sammensmeltningen skyldes parrets vedvarende udsendelse af gravitationsstråling, med påfølgende mindsning af afstanden mellem stjernerne (det var påvisningen af denne proces, som i 1993 gav nobelprisen i fysik til Russell Hulse and Joseph Taylor). I vor egen galakse kendes tre neutron-dobbeltstjerner, og de vil smelte sammen i løbet af 10^8 - 10^9 år. Indenfor en det observerbare univers skulle der dermed være tilstrækkelig mange til at forklare den observerede hyppighed af Gamma Glimt 800 pr. år. Energikilden synes således at være tilstede, men teorien lider under den mangel, at det meste af energien formodentlig vil undslippe som neutrinoer, snarere end γ -stråler. Alligevel er det modeller af denne type, som efter de overraskende resultater fra BATSE nu har størst gehør.

For alle kosmologiske modeller gælder det, at hvis et Gamma Glimt undervejs passerer en gravitationslinse, vil det ankomme til os i flere versioner og fra lidt forskellige retninger. Man holder derfor nøje udkig efter glimt, som ligner hinanden.

Fremtidsudsigter

Der er ikke noget, som tyder på, at gåden om Gamma Glimt står foran en snarlig løsning. Mere end een proces kan let være på spil, og observationsmaterialet forbliver sparsomt. Drastisk reducerede fejl i positionsbestemmelsen er én vej frem. Ved en "workshop" i Huntsville, Alabama, i Oktober 1993, diskuterede man bl.a. et forslag om at sende en ganske lille detektor (kun 0,4 kg) ud til en afstand af $3 \cdot 10^{13}$ m fra Solen (Jordens afstand er $1,5 \cdot 10^{11}$ m). Dette ville kunne bestemme positioner til omkring $1''$ ($=1^\circ/3600$) udstrækning, en stor gevinst for optiske identifikationer.

En anden idé bygger på formodningen om detekterbare mængder af glimtende stråling også i andre bølgelængdeområder. Simultanobservationer er derfor blevet sagen, og indgår nu i planlægningen af flere rumeksperimenter. ESA's INTEGRAL mission vil således indbefatte en γ -strålingsdetektor, en kollimeret røntgenmonitor og et CCD baseret "Optical Transient Camera", med åbning $32^\circ \times 32^\circ$. INTEGRAL ventes opsendt 2001.

Den amerikanske HETE mission (op 1994/1995) vil

også studere Gamma Glimt i tre bølgelængdeområder, γ , røntgen, og ultraviolet. Hvis den trinvis identifikation lykkes, vil positionerne kunne bestemmes ombord på satellitten, til omkring $10''$. Det er planen at radiotransmittere koordinaterne til Jorden i "real-time". Professionelle og amatører vil da kunne lytte med og hurtigt rette deres kikkerter ind. Positionerne vil formodentlig også blive rundsendt via Internet.

Men hvorfor vente

Det har fornyligt vist sig, at man kan komme igang endnu tidligere. Dette skyldes (besyderligt nok) et teknisk uheld ombord på Compton Observatoriet: BATSE skulle normalt aflevere sit signal til båndoptagere, som med mellemrum tappes fra Jorden. Men da båndoptagerne er brudt sammen, må signalet transmitteres løbende, via geostationære satellitter. Det giver Goddard Space Flight Center mulighed for at beregne en approximativ position (nøjagtighed 5 - 10°), i det øjeblik et nyt Gamma Glimt er under udvikling. Processen, er lynhurtig: kun 4,4 s efter glimtets start kan positionen være undervejs til de samarbejdende observatorier. For nærværende undersøger forfatteren, sammen med kolleger fra København og Toulouse, hvordan denne information bedst kan udnyttes. Vi forestiller os opstillet to store CCD kameraer på La Silla og La Palma, d.v.s. et på hver halvkugle. Via et transatlantisk kabel og endnu en satellit kan GSFC signalet nå frem så betids til disse observatorier, at kameraerne kan blive indstillet og en eksponering starte kun 7,5 s efter begyndelsen af et Gamma Glimt. Da mange begivenheder varer længere, skulle denne teknik være berettiget. Kameraerne tænkes forsynet med en CCD mosaik på ialt 4098×4098 billedelementer, som udlæses til en kraftig PC. Hver pixel vil måle $20'' \times 20''$. Et billede af et Gamma Glimt kan derfor stedsbestemmes til $\sim 5''$, hvilket muliggør opfølgningsarbejder med langt større kikkerter, og dermed måske en afklaring af kildernes tilknytning til nære stjerner eller fjerne galakser. For de svageste optiske glimt, som i løbet af eet år kan detekteres med dette *Rapid Response Camera*, kan vi forvente at bestemme et luminositetsforhold $L_{optisk}/L_{gamma} \sim 10^{-5}$. Dette er nok til at skelne mellem forskellige teoretiske modeller for lysudsendelsen.



Holger Pedersen er cand.scient. og har beskæftiget sig med optiske studier af astrofysiske højenergikilder, siden 1980, bl.a. under sit arbejde for European Southern Observatory og Nordic Optical Telescope Scientific Association.

Forårsmøde 2. — 3. juni 1994

Dansk Fysisk Selskab afholder sit forårsmøde i 1994 som en sammensmeltning af de tidligere sektionsoptdelte forårsmøder og det fælles årsmøde. Forårsmødet vil således i år indeholde årets generalforsamling. Mødestedet bliver på Odense Universitet. Da mødet starter kl. 11.00 den 2. juni er det muligt at klare mødet med en enkelt overnatning. Derved skulle fysikinstitutternes ønske om at reducere mødeudgifterne være imødekommet samtidigt med, at studerende kan deltage til en absolut favorabel pris. Tidspunktet er valgt uden for undervisningsperioden, hvorved alle landets fysikere får en lejlighed til at mødes.

Forårsmødet vil indeholde fire plenarforedrag af almen fysisk interesse samt tre parallelsessioner arrangeret af atomfysik-, faststoffysik-, og kerne-, partikel- og astrofysiksektionerne, heraf nogle i fællesskab. Sideløbende hermed vil de nyeste danske forskningsresultater blive præsenteret på en postersession, og det nyeste apparatur vist på en udstilling. Som noget nyt i år vil Astronomisk Udvalg, arrangere et fagligt møde i forbindelse med DFS's forårsmøde. Idet sessionerne for Astronomisk Udvalgs møde følger DFS's, vil det være muligt at følge foredrag begge steder. Mødet slutter med DFS's generalforsamling.

Onsdag den 1. juni 1994, dagen før DFS's forårsmøde starter, har *Netværk for Kvinder i Fysik* et møde. Deltagerne i dette møde opfordres til at fortsætte på DFS's møde, og gøres opmærksom på muligheden for at tilmelde sig begge arrangementer på blanketten bagest i dette indlæg.

Alle landets fysikere opfordres til at deltage i forårsmødet med indlæg og posters og ikke mindst bidrag til en livlig diskussion. Især vil vi meget gerne give yngre forskere og forskerstuderende muligheden for at præsentere deres resultater for en bredere kreds.

Inviterede foredragsholdere

Plenarforelæsere:

D. M. Newns, IBM: "On the theory of high T_c superconductors"

A. Libchaber, Princeton: *annonceres senere*

C. Deutsch, Universite Paris-Sud, Frankrig : "Ion Beam — Dense Plasma Interaction for Particle driven Fusion"

P. Jenni, CERN, : "The ATLAS - project at the LHC"

Aftenforedrag:

A. Pais, København: "Historical Physics"

Atomfysiksektionen:

H. Woordman, Leiden: "Rotating Atoms"

Faststofsektionen:

E. M. Forgan, Birmingham: "Magnetic flux lattice melting in high T_c superconductors"

L. Peliti, Naples: "Dissipation-induced drift in asymmetric potentials: A model for motor proteins"

S. Brorson, Odense: "Terahertz spectroscopy of high T_c superconductors"

J. Salzman, Haifa: "Selective epitaxial growth of III-V semiconductors — Problems and prospects"

G. Zocchi, CATS: "Turbulence in liquid Helium"

F. Gray, MIC: *annonceres senere*

Ben Yu-Kuang Hu, MIC: *annonceres senere*

Kerne-, partikel- og astrofysiksektionen:

Carlo Iglesias, Lawrence Livermore: "Atomic opacities in stellar interiors"

Fællessession om rum-fysik:

R. Lundin, Kiruna: "Results from the Freja and Viking Satellites"

Fællessession om komplekse systemer:

G.J. van Heijst, Eindhoven: "Self-organization and Vortices in Two-dimensional Flows"

Registreringsblanket til

DFS forårsmøde 2. – 3. juni 1994

Navn _____
Institut _____
Adresse _____
Telefon _____ Telefax _____
E-mail _____
Titel på bidrag _____

Jeg foretrækker ☐ poster, ☐ mundtlig præsentation, ☐ ingen præference.

DFS forårsmøde 2. — 3. juni 1994:

- ☐ Jeg er studentermedlem af DFS og er dermed fritaget for mødeafgift.
☐ Mødeafgift, 700 kr.
☐ Jeg er studentermedlem af DFS og søger om støtte til rejse og ophold.

Netværk for Kvinder i Fysik 1. juni 1994:

- ☐ Jeg ønsker at tilmelde mig mødet d. 1. juni.
☐ Jeg ønsker frokost d. 1. juni, 100 kr.
☐ Jeg ønsker middag d. 1. juni, 200 kr.

Ønsket indkvartering:

- ☐ Enkeltværelse, 540 kr.
☐ Delt 2 sengs værelse, 300 kr.
☐ Delt 3 sengs værelse, 250 kr.

Betaling i alt, _____ kr. er indsat på DFS's girokonto 8255334.

Jeg er ☐ ryger, ☐ ikke ryger.

☐ Jeg ønsker at blive medlem af Dansk Fysisk Selskab.

Denne blanket samt evt. abstract sendes til:

Bente Nørgaard
Fysisk Institut
Bygning 307, DTH
2800 Lyngby

Registreringsblanket, abstract, mødeafgift og betaling for ophold skal være modtaget senest **fredag den 29. april 1994**.

Dansk Fysisk Selskab • Danish Physical Society

Praktiske detaljer

Tidspunkt

Torsdag den 2. juni til og med fredag den 3. juni 1994.

Registrering:	torsdag kl. 10.00
Mødestart:	torsdag kl. 11.00
Mødeslut:	fredag kl. 16.30
Busser til stationen:	fredag kl. 16.40

Indkvartering

Alle deltagerne indkvarteres på Hotel H.C. Andersen nær Odense banegård. Der vil blive arrangeret transport mellem Odense Universitet og hotellet på de relevante tidspunkter. Frokoster og aftensmad indtages i Odense Universitets kantine. Morgenmaden indtages på hotellet. Priser for indkvartering:

Enkeltværelse	540,- kr
Delt 2 sengs værelse	300,- kr
Delt 3 sengs værelse	250,- kr

Registrering

Mødeafgiften er 700 kr. For overbygningsstuderende, der er medlemmer af DFS, bortfalder mødeafgiften dog. Registreringen foretages på blanketten på sidste side (eller kopi heraf). Betaling for mødeafgiften samt indkvartering indsættes på DFS's girokonto nr. 8255334. Der skal afbetalingsklart fremgå indbetalerens navn og institut. **Altså ikke noget med xxx kr. fra institut yyy.**

Abstract

Abstract udformes efter American Physical Society's retningslinier (se nedenfor). Der uddeles en pris for den bedste poster.

Frist

Sidste frist for modtagelse af registrering, abstract, mødeafgift og betaling for ophold er **Fredag den 29. april 1994.**

Financiell støtte

DFS råder over et beløb til at støtte studerende, som ikke kan få deres deltagelse i forårsmødet

dækket af hjeminstitutionen. Udstillernes bidrag går ubeskåret til dette formål. Det er en forudsætning, at man er medlem af DFS, og ansøgere med et tilmeldt bidrag vil have forrang. Ønske om støtte angives på registreringsblanketten. Støtten udbetales på mødet.

Sprog

Forårsmødets sprog er engelsk. Deltagerne bedes erindre, at hovedparten af tilhørerne er ikke—specialister i det behandlede emne og indrette deres præsentation derefter, så alle får maksimalt udbytte af mødet.

Yderligere information

Generelt:

Dan Birkedal
Mikroelektronik Centret
Bygning 345 Øst
Danmarks Tekniske Universitet
2800 Lyngby
Telefon 45 93 12 22 - 5745
Telefax 42 88 77 62
E-mail dan@mic.dth.dk

Program:

Atomfysiksektionen — Jens Jul Rasmussen, Afdelingen for optik og fluid dynamik, Forskningscenter Risø, 4000 Roskilde, tlf. 42 37 12 12
Faststoffysiksektionen — Per Hedegård, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, tlf. 35 32 04 36.
Kerne-, Partikel-, og Astrofysiksektionen — Peter Hansen, Niels Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø, tlf. 35 32 53 94.

Dansk Fysisk Selskab • Danish Physical Society

Vejledning til forfattere:

- 12 cm × 10.5 cm
- indsenderens navn, underskrift og fulde adresse angives i nederste højre hjørne.
- overhold fristen, DFS er ikke ansvarlig for postforsinkelser
- kun originaler af høj typografisk kvalitet, ingen fax
- fortløbende tekst, ingen overskrifter eller indrykninger
- ryk ind før titel
- understreg titel
- angiv foretrukken præsentationsmåde nederst til venstre
- angiv emneområde øverst til venstre

Suggested title of session
in which paper should be placed
Optical Properties of Film Structures

One-Dimensional Heterojunction Structures in Polysilvenes. N. MATSUMOTO, H. ISAKA, NTT Basic Research Labs. --- uv absorption, luminescence and excitation spectra of poly(di-n-hexylsilane) solid films have been observed at temperatures from 4 to 400 K. The uv spectrum, under the melting point (T_c), exhibits two peaks corresponding to a crystalline portion (365 nm at 4 K: Phase I) and an amorphous fraction (319 nm at 4 K: Phase II). The luminescence spectrum, on the other hand, has only one peak emitted from Phase I. Two luminescence peaks (348 and 381 nm) can be observed only near T_c and there is only one luminescence peak from Phase II above T_c . When Phase I and Phase II form a one-dimensional heterojunction structure along a chain as in the case of temperatures below T_c , electrons and holes excited in the wide-gap Phase II relax toward the narrow-gap Phase I and recombine radiatively. When two phases are spatially independent on the different chains, or when the third phase exists as a trap along a chain, the energy transfer between the two phases is disturbed. The former case corresponds to the above luminescence observation near T_c . The latter case has been confirmed by the observation of two-peak luminescence in rapidly cooled films with the third phase (uv peak: 350 nm).

- () Prefer Poster Session
() Prefer Standard Session
() No preference

Signature

Same name typewritten

Address

Kaos og periodiske baner

Per E. Rosenqvist
Niels Bohr Institutet.

Introduktion

Efter udgivelsen af Newtons Principia Mathematica i 1687 blev det hurtigt klart hvilket storslået værktøj man her havde fået i hænde. Hele universets udvikling kunne tilsyneladende beregnes deterministisk i enhver detalje i al frem- og fortid, hvis man blot havde kendskab til alle positioner og hastigheder til et enkelt tidspunkt, og kendte alle kræfters natur. Det var dog også klart, at dette kun lod sig gøre principielt, da de store mængder af data aldrig ville lade sig behandle, end ikke ved millioner af års arbejde.

Selv i det principielle er der imidlertid problemer: ethvert kendskab til begyndelsesbetingelserne er behæftet med en vis usikkerhed; men hvis systemets udvikling blot kan forudsiges med en tilsvarende nøjagtighed, må bevægelsesligningerne siges at have opfyldt deres formål. Ofte vokser fejlen imidlertid med det tidsrum, som forudsigelsen skal udstrækkes over, eksponentielt endda (uanset hvor lille fejlen er i starten); i så fald har vi systemer der er fuldstændig uforudsigelige - *kaotiske*. Dette træk kan vise sig, selv i ganske simple systemer med få partikler.

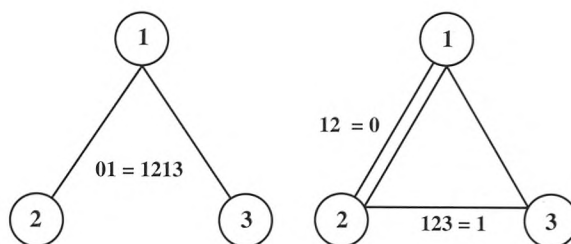
I systemer med mange partikler, såsom galakser eller gasser, bliver det umuligt at følge den enkelte partikel på langt sigt. Efterhånden er der udviklet metoder, især den statistiske mekanik, til at beregne gennemsnitsværdier af interessante størrelser som tryk og temperatur for sådanne systemer. Mange af den statistiske fysiks resultater bygger imidlertid på en antagelse, der til tider er lidt tvivlsom, og vi skal i denne artikel kigge lidt på hvordan man med den nyligt udviklede *periodiske baneteori* kan udregne sådanne termodynamiske gennemsnit eksakt for kaotiske dynamiske systemer.

Statistisk mekanik

Lad os først kigge lidt på grundlaget for den klassiske statistiske mekanik. De makroskopiske (målelige) termodynamiske størrelser som tryk, temperatur og densitet udregnes teoretisk som et tidsgennemsnit ved at følge en enkelt partikelkonfigurations udvikling i uendelig lang tid. Dette tidsgennemsnit kan altid erstattes med et gennemsnit over systemets *faserum* (d.v.s. et mange-dimensionalt rum, hvor man afbilder alle partiklers sted- og impuls koordinater), hvis man blot vægter det enkelte punkt i henhold til hvor ofte det besøges.

Da en sådan fordeling sjældent kan opstilles på en overskuelig måde, er det fristende at antage, at alle punkter besøges lige ofte og altså blot beregne gennemsnitsværdien af den søgte obser-

vation med jævn vægt over hele faserummet. Systemer hvor dette skridt er lovligt, kaldes *ergodiske*.



Figur 1. 3-skivesystemet. Nogle periodiske baner er beskrevet ved den symboldynamik, som forklares i det følgende. Vist er banerne '01', '1' og '01'.

At antagelsen om ergodicitet ikke altid holder, ses let ved at betragte *3-skive systemet* (se fig. 1). Her forestiller man sig at sende en partikel ind imod tre cirkulære, reflekterende skiver og søger at følge dens videre skæbne langt ud i fremtiden. Et eksperiment med fotoner i dette system er udførligt beskrevet i artiklen "Kaotisk spredning"¹ (herefter benævnt K.S.). Det er intuitivt klart at en partikel, hvis startbetingelser ikke tillader den at ramme nogen af skiverne, før den undslipper, ikke kan bidrage til langtidsgennemsnit (som f.eks. partikeltætheden i systemet) i samme grad som en partikel, hvis bane ligger ganske tæt på en periodisk bane, og som derfor bliver i systemet i lang tid. Følgelig vil en jævnt vægtet middelværdiberegning ikke være særlig hensigtsmæssig i dette tilfælde.

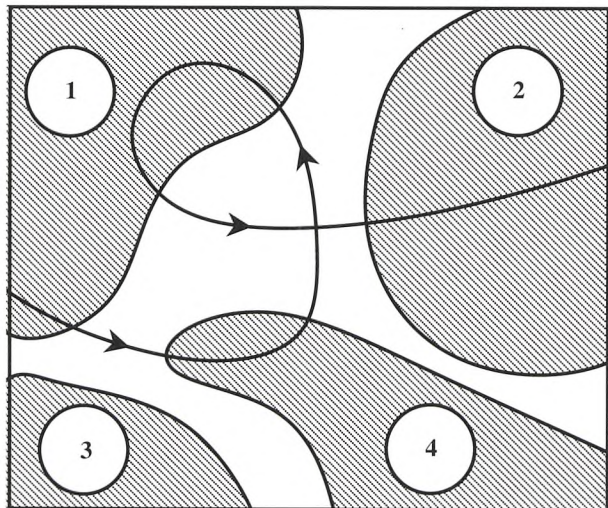
Ideen i den nye periodisk-bane-teori er derfor netop at vægte punkterne i faserummet efter fortjeneste. De periodiske baner udgør her et grundlæggende skelet for dynamikken og vægtes efter deres stabilitet. En bane der ikke er periodisk, men som alligevel aldrig forlader systemet (en kaotisk bane), vægtes indirekte ved at medtage vægten på den periodiske bane den til et givet tidspunkt ligger tættest på.

På denne måde kan termodynamiske gennemsnit nu udregnes deterministisk og uden antagelse om ergodicitet. Hjørnестenen i vores udregning udgøres af systemets periodiske baner eller, som vi også vil kalde dem, systemets *cykler*.

Symbolisk dynamik

Da vores teori baserer sig på cyklerne er det meget vigtigt at erhverve sig et værktøj der sikrer at alle disse kan findes. Blot en enkelt manglende cykel vil jo medføre, at

man totalt udelader alle de baner den skulle approksimere. Et sådant redskab til beskrivelse af et systems baner er den såkaldte *symboldynamik*. Ideen her er at inddele faserummet i adskilte regioner med forskellige dynamiske egenskaber. Disse regioner navngives med symboler fra et alfabet, og partiklens bane kan nu groft beskrives ved at opremse følgen af symboler der svarer til de regioner den passerer igennem på sin rejse (se fig. 2).



Figur 2. Princippet i symboldynamik: de forskellige regioner i faserummet repræsenterer forskellige egenskaber ved partiklens bane. Partiklens rejse kan her beskrives med sekvensen ..1412... Tegningen er meget skematisk. I den virkelige verden er banen ikke altid helt glat, og det kan være meget svært at opstille skarpe grænser for de forskellige symbolregioner.

Et simpelt eksempel på en sådan symbolsk dynamik fås ved at nummerere de tre skiver i 3-skive systemet 1, 2 og 3. Alle baner kan dermed entydigt beskrives ved en talstreng : '...23212...'. Denne symboldynamik er imidlertid ikke den mest hensigtsmæssige, idet strenge indeholdende ..11.. , ..22.. og ..33.. ikke er fysisk realiserbare, da de svarer til at den samme skive rammes to gange i træk. Sådanne "umulige" baner siges at være *beskåret*, og fjernes derfor fra vores liste over cykler. For en given symboldynamik er det derfor vigtigt at have en *grammatik*, som fjerner de symbolstreng, der ikke svarer til en fysisk realiserbar cykel. I 3-skive eksemplet er det let at finde et alfabet, der ikke kræver beskæring. Lader vi nemlig '0' betyde en refleksion tilbage til den skive partiklen kom fra, og '1' betyde, at partiklen fortsætter til den næste skive, har vi en symbolsk dynamik, hvor alle baner også beskrives entydigt (pånær start punkt og begyndelsesretning). For at erkende hvilke periodiske baner, der hører til vores system, kan vi nu blot generere endelige binære talstreng som så umiddelbart kan oversættes til en cykel i vores 3-skive system (se fig. 1).

Zetafunktionen

Lad os antage, at vi til et bestemt tidspunkt skyder en masse partikler ind i vores 3-skivesystem. Nogle af disse forsvinder straks, mens andre springer frem og tilbage mellem de

tre skiver et stykke tid, før de undslipper. Hvordan sker henfaldet af partikler i 3-skive systemet, og til hvilket "termodynamisk" gennemsnit kan vi relatere dette?

Når systemet sættes i gang er der for en given begyndelsesbetingelse to muligheder : enten undslipper partiklen systemet uden at ramme nogen af skiverne, eller også rammer den mindst én skive. Vi interesserer os nu mest for partikler, der forbliver i systemet i nogen tid (eventuelt uendeligt lang tid). En sådan partikel, der f. eks. først rammer skive 1, har efter første stød igen to muligheder: den reflekteres enten imod skive 2 eller imod skive 3. Dette betyder, at faserummet for en enkelt partikel ved første stød med en skive splitter op i to striber - svarende til at hver af de to andre skiver rammes lidt efter. Ved næste stød splitter hver af disse striber op i to nye, svarende til at partiklen reflekteres tilbage hvor den kom fra, eller at den fortsætter til næste skive. Hvis partiklen på et tidspunkt ikke rammer en af disse striber, betyder det at den undslipper fra systemet.

Striberne kan direkte navngives ved hjælp af vores binære symboldynamik, idet hver stribe svarer til en serie af valg om at reflekteres eller at fortsætte svarende til '0' og '1'. Efter n stød er der således 2^n striber navngivet ved en endelig binær symbolstreng. Processen er illustreret på fig. 15 og 17 i KS.

Da "udtyndings-processen" er den samme ved hvert stød, vil der fra en jævn begyndelsesfordeling af mange partikler omtrentligt fjernes den samme brøkdel af partikler ved hvert beregningsskridt. Vi forventer derfor at antallet $N(t)$ af resterende partikler vil være en aftagende eksponentialfunktion af tiden t :

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\gamma t}. \quad (1)$$

γ kaldes systemets *escape rate*.

Escape raten er et eksempel på et langtids-gennemsnit for systemet, som det kan være interessant at beregne. Via symboldynamikken har man udviklet en systematisk beregningsmetode, der betjener sig af den dynamiske *zeta-funktion*. Zetafunktionen er første gang benyttet af Euler i forbindelse med talteori. Zetafunktionen er givet som et uendeligt produkt hvortil hver cykel bidrager med en faktor svarende til sin betydning for det pågældende gennemsnit. Zetafunktionen er således udgangspunktet for det søgte alternativ til den ordinære statistiske fysik. Udledningen af zetafunktionen er ikke vanskelig men pladskrævende. En nogenlunde tilgængelig udledning kan f.eks. findes i reference 2,3 og 5.

Zetafunktionen (2) er et af de vigtigste resultater i den nye periodisk-bane-teori. For et system med en given symboldynamik beregnes et vilkårligt gennemsnit med den *samme* zetafunktion - kun *vægtfunktionen* t_p skal udskiftes.

Box: Zetafunktionen.

Zetafunktionen har det generelle udseende:

$$\zeta(z) \equiv \prod_p (1 - t_p), \quad (2)$$

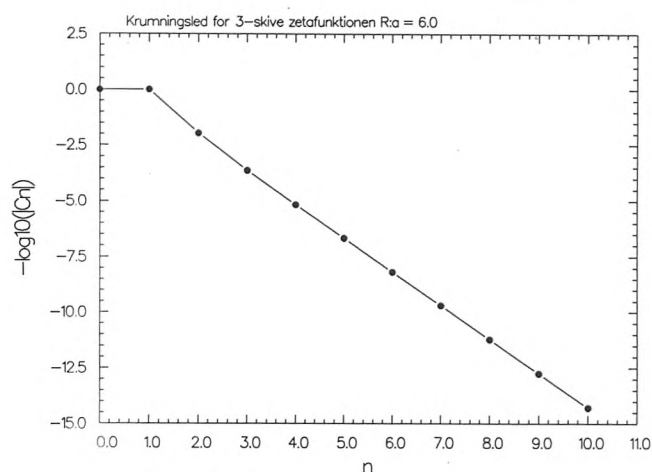
hvor produktet er over alle forskellige cykler p . Vægten $t_p = t_p(z)$ er en funktion af den løbende variabel z . Dens grundform afhænger af den middelværdi der skal beregnes. F.eks. er vægtfunktionen svarende til udregning af escape raten givet ved: $t_p = z^{T_p} \cdot |\lambda_p|$, hvor T_p er banens længde, og λ_p er cyklens stabilitet. Stabiliteten er et mål for hvor godt partiklen holder sig til sin bane, selv om den udsættes for små forstyrrelser. Er stabiliteten f.eks. stor, betyder det at et lille skub kun får partiklen til at gå væk fra sin oprindelige bane meget langsomt.

Zetafunktionen har nu den bemærkelsesværdige egenskab, at det eftertragtede gennemsnit γ kan findes ved at sætte $\zeta(z)$ lig med nul og finde den mindste, positive løsning z_0 til den fremkomne ligning. γ er så lig med logaritmen til z_0 .

Udregnes det uendelige produkt i (2) fremkommer to væsentlige generelle træk ved zetafunktionen:

$$\begin{aligned} \zeta &= 1 - t_0 - t_1 - [t_{10} - t_1 t_0] \\ &\quad - [(t_{100} - t_{10} t_0) + (t_{110} - t_1 t_{10})] - \dots \\ &= 1 - \sum_f t_f - \sum_n c_n. \end{aligned} \quad (3)$$

I nederste linie tages den første sum over de *fundamentale* cykler '0' og '1', der "fanger" systemets essentielle egenskaber. Den anden sum omfatter *krumningsleddene* c_n , hvor hvert c_n er summen af alle led med samme totale potens af z (c_n samler altså alle produkter af vægtfaktorer hørende til samme totale banelængde). I (3) er de første to krumningsled omkranset af firkant-parenteser. Krumningsleddene er af formen $t_{ab} - t_a t_b$, og symboldynamikken er valgt således, at cyklen 'ab' først ligger tæt på 'a' og dernæst er godt approksimeret med cyklen 'b'. Dermed forventer vi også at vægtene opfylder: $t_{ab} \simeq t_a \cdot t_b$, og ideen er altså, at krumningsleddene derfor aftager eksponentielt med n . Denne effekt benævnes *skygning*. Skygning medfører meget gode konvergenssegenskaber for zetafunktionen, og krumningsleddene bidrager således kun med dynamikkens forfinede træk. At skygning faktisk finder sted i vores 3-skive dynamik er eksemplifieret ved fig. 1: den V-formede cykel '01' udfører skiftesvis et '0'-agtigt stød vinkelret på en skive, og et stød af '1'-agtig karakter ved overgangen til den tredje skive. Banerne '0' og '1' vil derfor tilsammen danne en god approksimation af cyklen '01'.



Figur 3. $\log_{10}(|c_n|)$ versus n . Den maksimale symbol længde af cykler inkluderet i beregningen er n .

Numeriske resultater

Lad os prøve at benytte ovenstående zetafunktions opskrift til at skitsere udregningen af escape raten for vores 3-skive system. Først fastlægger vi systemets geometri, d.v.s. forholdet mellem centerafstand R og skiveradius a . Herefter skal de periodiske baner findes. Dette er en lidt mere besværlig opgave, men da partiklerne adlyder refleksionsloven kan vi beskrive deres bevægelse med geometrisk optik (jvnfr. fotoneksperimentet i K.S.). I optikken gælder *Fermat's princip*, der udsiger, at lyset bevæger sig ad den korteste optiske vej. De periodiske baner kan derfor findes ved at minimere partiklernes banelængde, under den betingelse at de følger "rejseplanen" angivet af symboldynamikken. Cyklernes stabilitet kræver lidt mere teknik. Man indfører her en afbildning f der sender begyndelsesbetingelser på én skive over i nye begyndelsesbetingelser på den skive der rammes. Cyklernes stabilitet kan så udregnes ved en analyse af f .

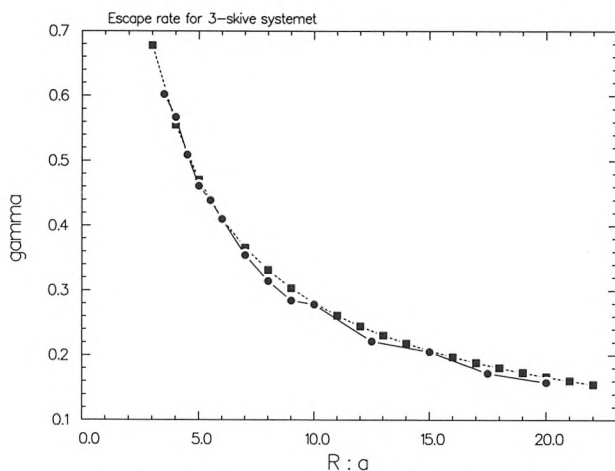
De udregnede banelængder og stabiliteter indsættes i udtrykket for zetafunktionen, og nulpunktet findes med numeriske metoder. Tabel 1 giver et indtryk af zetafunktionens konvergenssegenskaber.

n_p	N_{tot}	γ
1	2	0.4076937
2	3	0.4102804
3	5	0.4103367
4	8	0.4103383
5	14	0.4103384
6	23	0.4103384

Tabel 1. De tre kolonner angiver h.h.v. den maksimale symbol længde medtaget i zetafunktionen, det totale antal cykler medtaget i beregningen og den estimerede escape rate.

Som det ses er der tale om en imponerende konvergens. Blot de 8 korteste cykler estimerer γ med 6 betydende cifre! I dette tilfælde fremgår det tydeligt, at skygningen har en meget effektiv virkning. Kigger vi på krumningsleddene evalueret i det fundne nulpunkt, ser vi da også at disse går eksponentielt ned, som illustreret på fig. 3. Escape raten er derfor hurtigt bestemt med al tænkelig nøjagtighed.

Som en kontrol af zetafunktionens resultater kan vi sammenligne vores resultater med computer simulationer⁴ af typen beskrevet i K.S. Vi har beregnet γ ved hjælp af de 8 korteste cykler, mens simulationerne er foretaget med $10^5 - 10^6$ partikler! Resultatet er vist på fig. 4, og som det ses er der god overensstemmelse. Fordelen ved zetafunktionen er blot, at resultaterne beregnes 100 gange hurtigere end ved en simulation.



Figur 4. Escape raten som funktion af R/a . Cirkler/kvadrater angiver escape rate fra h.h.v. simulationen og zetafunktionens beregningerne.

Kvantekaos

Hvordan forholder det sig nu med kvantesystemer i relation til periodiske baner og kaos? Oprindeligt brugte vi karakteriseringen "kaotisk" om systemer, hvis udvikling på langt sigt ikke kunne forudsiges, selv om de var klassiske systemer, hvor det giver god mening at tale om sted og bevægelsesmængde for en partikel til et vilkårligt (begyndelses-)tidspunkt. Men i kvantemekanikken ved vi, at det er principielt umuligt at tillægge en partikel bestemte, samtidige værdier af både sted og bevægelsesmængde. Så i den sammenhæng er kaos slet ikke defineret. Det man snarere kan spørge om er, hvordan systemer, der klassisk betragtes som kaotiske, opfører sig ved overgangen til kvantemekanikken. Det er undersøgelsen af denne overgang der lægges i ordet "kvantekaos".

Hvis man f.eks. forestiller sig vores kaotiske 3-skive system skrumpet ind i størrelse, vil vi efterhånden blive nødt til at inddrage træk af kvantemekanikken for at få en konsistent beskrivelse. I første omgang er det måske ikke nødvendigt at inddrage hele kvantemekanikkens formalisme, men i sidste ende bliver det nødvendigt at gen-

nemføre den fuldstændige kvantisering, d.v.s. opstille potentialfunktionen, løse Schrödingerligningen etc.

Rent intuitivt er det imidlertid ikke så svært at forstå karakteren af kvantemekanikkens bølgeløsninger for 3-skive systemet. De svarer nemlig til stående lydølger mellem tre telefonpæle opstillet i trekantformation på en øde mark: på pælernes overflader må der være svingningsknuder, og en given løsning er karakteriseret ved antallet af knudepunkter mellem pælene. Ligesom lydølgerne mellem pælene hurtigt vil dø ud, vil amplituden af den kvantemekaniske bølgeløsning hurtigt aftage, da systemet ikke er lukket. Dette svarer til en med tiden aftagende sandsynlighed for, at en partikel befinder sig indenfor systemet (ligesom for klassiske partikler mellem de tre skiver).

En anden analogi er, at da lydølgerne adlyder refleksionsloven, må også de klassiske bølgeløsninger følge de periodiske baner. F.eks. vil der være en stående bølge, der fortrinsvis følger den trekantformede bane givet ved symbolstrengen '1', samt en løsning svarende banen '0' (se fig. 1). Det vil være naturligt at forvente, at de to løsninger har (lidt) forskellige egenfrekvenser, f_0 og f_1 .

Box Komplekse tal.

Mange fysiske fænomener beskrives lettest ved benyttelse af komplekse tal. Et komplekst tal har to reelle komponenter, a og b , og skrives $a + ib$, hvor i betyder $\sqrt{-1}$. Komplekse tal adderes, subtraheres og multipliceres efter den sædvanlige algebraes regler, blot skal man hele tiden benytte sig af, at $i^2 = -1$. Indenfor de komplekse tal kan man altså uddrage kvadratroden af negative tal. Det bevirker f. eks. at enhver andengradsligning her kan løses. Et komplekst tal $k = a + ib$ kan afbildes som et punkt $(x, y) = (a, b)$ i et almindeligt retvinklet koordinatsystem. De reelle tal (som har $b = 0$) afbildes i punkter på x -aksen. Punkterne på y -aksen symboliserer *de rent imaginære tal* $k = ib$. Til at skelne mellem de to komponenter af det komplekse tal k bruger man hyppigt skrivemåderne $\text{Re } k$ (om a) og $\text{Im } k$ (om b); se f.eks. artiklens sidste figurer.

Lydølger kan overlejres ved simpel addition (superpositionsprincippet). Med næsten ens frekvenser f_0 og f_1 i de to fundamentale baner vil man derfor kunne observere stødtoner. Samme princip gælder for de kvantemekaniske bølger, og man kan da vente at se analoge interferensfænomener. Man skal dog passe på ikke at lade denne analogi gå for vidt. Kvantesystemet indeholder et uendeligt antal frekvenser svarende til hver af de klassiske periodiske baner, og på grund af de klassiske baners kaotiske natur er det ikke umiddelbart indlysende, hvordan den resulterende superposition vil opføre sig.

I kvantemekanikken er bølgefunktionerne komplekse størrelser. Derfor antager den tilsvarende kvantezetafunktion ligeledes komplekse værdier. I kvanteanalo-

Varian
Absolut
Central
Utrættelig
Uovervindelig
Mega

Producent af
UHV og HV pumper
Meget bredt udvalg af UHV og HV fittings
Præcisions vacuum måleinstrumenter
En seriøs samarbejds partner
Rekvirer brochure hos:

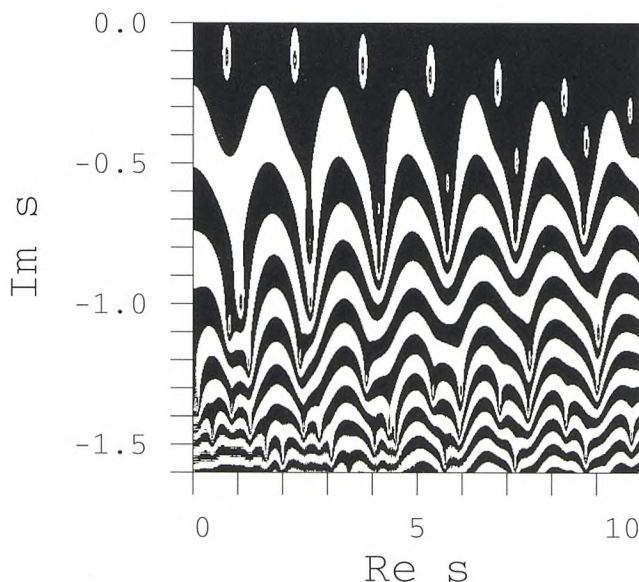


AAGE CHRISTENSEN A/S
SKELMOSEVEJ 10
2500 VALBY

TELEFON 36 44 24 44
TELEFAX 36 44 20 24

varian

gien til escape raten benyttes ikke blot én, men et uendeligt produkt af almindelige zetafunktioner, det såkaldte *Selberg* produkt. Vægten der benyttes i dette produkt er: $t_p \propto e^{-izT_p}$, og zetafunktionen får dermed pludselig et uendeligt system af komplekse nulpunkter i stedet for blot en enkelt escape rate ! Hvordan skal nu dette enorme system af nulpunkter tolkes ? I den kvantemekaniske beskrivelse af 3-skive systemet vil amplituden af den udsendte bølgefunktion stort set kun være en funktion af afstanden r til dette samt af spredningsvinklen θ . I visse ganske bestemte retninger vil amplituden imidlertid være særligt kraftig, svarende til en særligt stor sandsynlighedsflux, og man taler om *spredningsresonanser*. Det viser sig nu at disse spredningsresonanser er funktioner af zetafunktionens nulpunkter, og man har hermed den kvantemekaniske analog til escape raten.



Figur 5. Niveauplot af kvante-Selberg-zetafunktionen som funktion af $z = x + iy$. Symbolerne Re og Im er forklaret i boksen om komplekse tal. Nulpunkterne findes i centrum af ringsystemerne, og lokaliseres v.h.j.a. numeriske metoder.

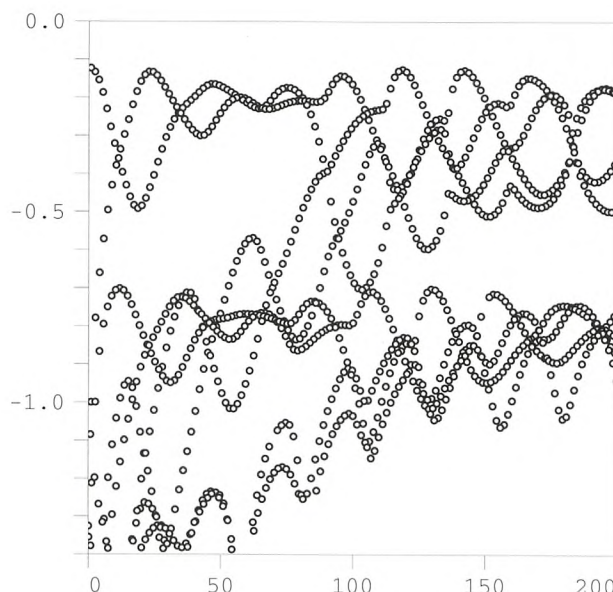
Selv om vore nulpunkts-algoritmer også virker for komplekse funktioner, må man på grund af det enorme rodsystem danne sig et overblik over beliggenheden af de vigtigste resonanser, for at få dem alle med i sin nulpunktssøgning. Dette kan f.eks. gøres ved at lave et niveauplot af absolutværdien af Selbergproduktet som funktion af den nu *komplekse* variabel z . Da absolutværdien af zetafunktionen vokser i alle retninger ud fra et nulpunkt, vil nulpunkterne være omkranset af cirkel- eller ellipseformede konturer, der kan markeres som sort/hvide områder. Et sådant plot er vist på fig. 5.

Læg mærke til hvor kompliceret en struktur der kan genereres af det tilsyneladende meget simple system.

Med udgangspunkt i de lokale minima fundet ved denne skanning, kan man så køre sine nulpunktsrutiner. Det endelige nulpunktssystem (eller rettere en del af det) er vist på fig. 6.

Det ses at systemet besidder en ret tydelig struktur, der minder om førømtalte stødtonefænomen. Denne struktur, som altså her er beregnet ud fra *klassiske baner* findes også ved en eksakt kvanteberegning !

I de seneste år har man mange steder opnået gode kvantemekaniske resultater ud fra disse betragtninger af klassiske baner. F.eks. er det for nyligt⁶ lykkedes at beregne heliums energiniveauer for høje hovedkvantetal v.h.j.a. systemets klassiske (og kaotiske) "planetbaner". Udregningerne (der er relativt simple sammenlignet med at løse Schrödingerligningen eksakt) giver resultater af en nøjagtighed på en procent eller bedre !



Figur 6. Selbergproduktets nulpunktsystem for den kvantemekaniske version af 3-skivesystemet. Første- og andenaksen er h.h.v. real- og imaginærdelen af den komplekse variabel z .

I den "gamle" (Bohr-Sommerfeld) kvanteteori gik man ud fra, at elektronerne i et atom bevægede sig i baner, der lignede klassiske planetbaner. Trods mange indledende succes'er spillede denne betragtningsmåde fallit ved beregningen af de ovennævnte niveauer i heliumatomet, og man skulle altså udvikle symbolodynamik og kaosteori, førend der kunne skabes orden ad denne vej. Men det var vanskelighederne den gang, der ledte til udviklingen af den kvantemekanik, som vi kender idag, og som ligger bagved al moderne teknologi.



Per Rosenqvist er Ph. D. studerende ved Niels Bohr Institutets kaosgruppe, hvor han beskæftiger sig med bl. a. kvantekaos, samt kaos i klassiske spredningssystemer som f.eks. 3-skivesystemet.

Referencer:

- 1) K. Lindemann, H. Lorensen og J. Nygård, "Kaotisk spredning", *KVANT* 3, 1993
- 2) P. Cvitanović, *The Power of Chaos*, in J.H. Kim and J. Stringer, eds., *Applied Chaos, EPRI workshop*, (John Wiley & Sons, New York 1992)
- 3) P. Rosenqvist, "Dynamical Chaos and Periodic Orbits", Master thesis, *NBI*, July 1992
- 4) P. Gaspard and S.A. Rice, *J. Chem. Phys.* **90**, 2225 (1989); **90**, 2242 (1989); **90**, 2255 (1989)
- 5) F. Christiansen, "Kaos for cyklister", *Gamma* 78, *NBI*, 1989
- 6) D. Wintgen, K. Richter and G. Tanner, *The semiclassical Helium atom*, *CHAOS* 2, 19 (1992)

Sorøddage 94

19. - 27. juni 1994.

Takket være støtte fra Novo Nordisk og universiteterne i Aarhus, Odense og København, er det lykkedes at skabe økonomisk grundlag for fortsat afholdelse af fysik sommerkurserne i serien af tilbud, der indledtes i 1988 i et samarbejde mellem dansk Fysisk Selskab og Fysiklærerforeningen. I lighed med tidligere afholdes kurset på Sorø Akademi i den første uge af skoleferien, i år i dagene 19. - 27. juni. Deltagerantallet begrænses til 24, og tilbuddet gælder alle elever, som til sommer afslutter 2.g.

Sommerens to hovedemner bliver "KAOS og andre uregelmæssigheder" (ved Tomas Bohr) og "DEN LEVENDE JORD" (ved Dorthe Dahl-Jensen og Klaus Mosegaard), som suppleres med aktuelle indslag indenfor områderne astronomi, fysik og geofysik. Tilmeldingsfristen er 10. maj og prisen 950 kr. Et mindre antal fripladser er til rådighed. Foldere med indbydelse og tilmeldingsblanketter udsendes omkring påske til alle gymnasier via Fysiklærerforeningens kontaktpersoner. De kan også bestilles ved at skrive til Nils O. Andersen, Niels Bohr Institutet, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, eller ved henvendelse på telefon 35 32 04 69 eller 35 32 04 00.

Anmeldelse: Politiken Atlas

N.O. Lassen

Politiken Atlas: På opdagelse i Rummet. af Heather Couper og Nigel Henbest. På dansk ved Jan Teuber. Politikens Forlag 1993.

Denne flotte bog har et ubekvent format (25×35 cm), både ved lænestolslæsning og ved boghyldeopbevaring. Men formatet muliggør store, instruktive figurer, og der er mange af, garneret med omliggende billeder og korte, præcise tekster. Der er et væld af oplysninger om solsystemet og dets udforskning, såvel som om stjerner og galakser.

Der begyndes med nogle sider om raketter og rumfartøjer. European Space Agency, ESA, benytter Ariane-raketter, der først løftes i gang af to løfteraketter med fast brændstof - hvad og hvor meget mon det er? - dernæst af to løfteraketter med flydende brændstof - samme spørgsmål - inden den egentlige rakets første trin med flydende brændstof og nitrogentetroxid til fire motorer startes. Løfteraketterne dumpes i Atlanterhavet, første og andet trins tanke brænder op ved faldet i atmosfæren. Tredie trin med flydende brændstof og flydende ilt bringer raketten i bane omkring Jorden, og den kan sætte satellitter i kredsløb. Ariane er en engangsrakiet i modsætning til de amerikanske rumfærger, som kan have en nyttelast på 29,5 tons foruden en otte mands besætning. Rumfærgeren startes af to store faststof løfteraketter, der udvikler en kraft svarende til 140 jumbojets og derefter falder ned med faldskærm og genbruges. Rumfærgens egen brændstoftank og motor går tabt, men selve rumfærgeren lander som bekendt i glideflugt gennem atmosfæren.

Men størstedelen af bogen handler om naturen. Der er kort over Månens forside med angivelse af "havene" og kraterne og mere end tyve landingssteder for rumfartøjer, og af bagsiden, som først blev fotograferet af den russiske sonde Luna 2 i 1959, men siden er blevet studeret langt mere detaljeret. Foruden de få "have" vises snesevis af kratere: Mare Moskoviensis, kraterne Mendelev,

Gagarin, Hertzsprung, Michelson, Jules Verne m.fl. To sider viser solsystemets planetbaner, to sider viser banerne for en række satellitter på besøg ved planeterne: Viking 1 og 2, Pioneer 10 og 11, Mariner 10, Voyager 1 og 2, Ulysses. Der er to sider om Merkur, med kort over kraterne Beethoven, Bartok, Händel, Homer, Kuang-Han-Ching, Praxiteles og snesevis andre. Det fortælles, at 1 merkurdøgn = 2 merkursoldøgn = 2 merkurår = 3 merkurstjernerløb = 176 jorddøgn. To sider om Venus, hvis atmosfære af kuldioxid, kvælstof- og svovlforbindelser har et tryk på 90 gange atmosfæretrykket på Jorden. Venus' overflade har en temperatur på 465 °C og er "det sted i solsystemet der kommer nærmest til helvede". men der er kort over Venus udmålt med radar fra landsatte sovjetiske Venera-sonder og især fra den amerikanske Magellan-satellit, der kredser om Venus. To sider om Jorden - for lidt? - og om hver af de følgende planeter, om kometer og om Solen.

Der er store, flotte stjernekort over den nordlige og over den sydlige himmel. Der er to sider om de nære stjerner med en 3-koordinatafbildning - hvilke koordinater? - af positioner for de 34 nærmeste. I det følgende fortælles om stjerners fødsel og liv, deres alderdom og død. Så er der otte sider om galakser, galaksehobe og superhobe.

Der er trykfejl i bogen, både trivielle og ikke-trivielle. Om Apollo-raketterne Saturn 5 siges, at første trins tanke rummer petroleum og flydende brint! Og lige så forbavsende, at andet trin drives af flydende kvælstof og flydende brint. Jeg styrtede hen til min boghylde og fandt den gamle spændende bog om Apollo 11 (Peter Ryan: Første mand på Månen, Winters forlag/Branner og Korch). Her fremgår det, at første trin var lastet med kerosen (=petroleum) og flydende ilt; andet trin med flydende brint og flydende ilt.

Men det er en god bog. Og hvor er der sket meget, siden den første Sputnik i 1957 kredsede om Jorden, og siden Apollo 11 i 1969 landede i Stillehavet!



LASERE • ELEKTROOPTIK • FIBER OPTIK • TESTUDSTYR • LASER TEKNIK

AGENTUR

ANDO
ATCOR
BIT
BURLEIGH
CYONICS
EG & G BERTHOLD
EG & G FIBER OPTICS
EG & G GAMMA SCIENTIFIC
EG & G OPTO-/JUDSON
EG & G ORTEC
EG & G PAR ECH. DIV.
EG & G SCIENTIFIC. DIV.
EXCITON
EXFO
GENTEC
GOULD FIBER OPTICS
GRASEBY OPTRONICS (UDT)
ILEE
ILX LIGHTWAVE
JOBIN YVON
SPEX
KLINGER SCIENTIFIC
LASER PHOTONICS
LASER VISION
LSI
MALVERN
MICROCOATINGS
MICRO-CONTROLE
MOLECTRON
NE-TECHNOLOGY
NEWPORT
OFR
PTI
QUANTA RAY
QUANTEX
QUESTEK
SANTEC
SEASTAR OPTICS
SPECTRA DIODE LABS
SPECTRA-PHYSICS
STORM FIBER OPTICS
UDT SENSORS INC.
UNIPHASE

ANDET:

LEVERINGSPROGRAM:

Fiberoptisk måleudstyr, Datakommunikations testudstyr.
Laser partikelmåling i luft og på overflader.
Fiberoptisk splidseudstyr.
Elektrooptisk analyseudstyr, FCL-Lasere, Scanning Tunnel Mikroskoper.
Luftkølede Argon Ion lasere.
Radioaktivitetsmåleudstyr for miljø og overvågning.
Fiberoptisk testudstyr for Strain og Dispersion.
Radiometrisk/fotometrisk måleudstyr.
LED/Laserdioder - detektorer - halvleder komponenter.
Nukleart forskningsudstyr og detektorer, NIM/CAMAC-elektronik, MCA/MCS systemer.
Ilektrokemisk måleudstyr for korrosion.
Lock-In forstærkere, Optiske Multikanal Analysatorer, magnetometre.
Laser Dyes.
Fiberoptisk testudstyr for LAN-FDDI-FTTH-FTTC-CATV.
Laser powermetre, pyroelektriske detektorer.
Fiberoptiske koblere, optiske isolatorer.
Optisk måleudstyr, Positionsudstyr - PSD, radio/fotometrisk måling.
Halvleder laserdioder for VIS/IR med drivere.
Instrumenter, TEC og drivere for laserdioder.
Monochromatorer, ramansystemer, optiske gitre.
Fluorometre, monochromatorer og Ramansystemer.
Positionering for DC og steppermotorer, optomekanik.
LASERE: Ruby, Alexandrite, Co, Co₂, XEHE, Nd:YAG/GLASS/YLF, Ho:YAG, ER:YAG.
Laserbeskyttelsesbriller og gardiner.
LN₂ lasere og dye lasere.
Laserbaseret partikelanalyseudstyr for luft/væske/pulver/spray/aerosoler.
Optiske interferensfiltre.
Optomekanik, optik, optiske bænke, granitborde og positionering.
Laser powermetre.
Radioaktivitetsmåleudstyr for overvågning og radiologi.
Elektro-optik, vibrationsdæmpende borde, optomekanik og optik.
Præcisionsoptik, optiske isolatorer, beam expanders og mikroskopobjektiver.
Lampesystemer, ratio fluorescence - phosphorescence systemer.
Nd:YAG lasere og dye-systemer.
IR - detektering.
Excimer lasere.
Tunbare halvleder lasere og image process systemer.
Pig-tailed laserdioder og drivere.
Halvleder lasere, høj effekt, CW og PULS, 780-870-910-980 nm.
Ion lasere og Ti:SA lasere og systemer for CW og PULS.
Fiberoptiske samleled, konnektorer, attenuatorer og PatchCabler.
PSD - Ge og Si detektorer.
HeNe lasere 0,5 - 50 mW. Halvleder lasere med gode beam kvaliteter.

Mærk af  og udfyld:

Navn: _____

Post nr. By: _____

Firmanavn: _____

Telefon: _____

Adresse: _____

Telefax: _____

Tag kopi af hele siden og fax den til: 31 19 87 47

Communication in Physics

-Now and in the Next Millenium

*A discussion meeting arranged by
The Danish Physical Society*

Wednesday, April 20, at 2.15 p.m.
Auditorium 3, H.C. Ørsted Institute

Program:

- 2.15 **Introductory Remarks**
Professor Jakob Bohr, Solid State Physics Department, Risø,
Chairman Danish Physical Society.
- 2.20 **Publishing Strategy and Planning**
Dr. Hans Roosendaal, Deputy Director for Strategic Planning, Elsevier
Science BV.
- 2.35 **Information Storage and Retrieval**
Birgit Pedersen, Head Librarian, Risø.
- 2.50 **The Present Situation Seen from the Editors Chair.**
Professor Hans Henrik Andersen, The Niels Bohr Institute.
- 3.05 **Paper and Electronic Publishing as Seen by an Author**
Professor Peter Sigmund, Odense University.
- 3.20 **Direct Electronic Communication**
Dr. Søren Brunak, Institute of Physical Chemistry, DTH.
- 3.35 *Coffee Break.*
- 4.00 **Discussion with short presentations from the floor.**

Årsmøde i Netværk for Kvinder i Fysik

Den 1. juni 1994, Odense Universitet (den nye fløj).

Program:

11.00	Introduktion.	
11.30	Kirsten Grønbæk, KU	Kvinder i fysik set fra humanioras side.
12.30	Frokost.	
14.00	Dorthe Posselt, RUC	Faseforhold i bløde faste stoffer.
15.00	Dorthe Dahl-Jensen, KU	Isen: et dybfrossent arkiv over fortidens klima.
16.00	Kaffepause.	
16.30	Generalforsamling	(kun for Netværkets medlemmer; man kan tilmelde sig til Netværket d.1.juni).
19.00	Middag.	

Mødet er åbent for alle interesserede, men det kræver tilmelding!!

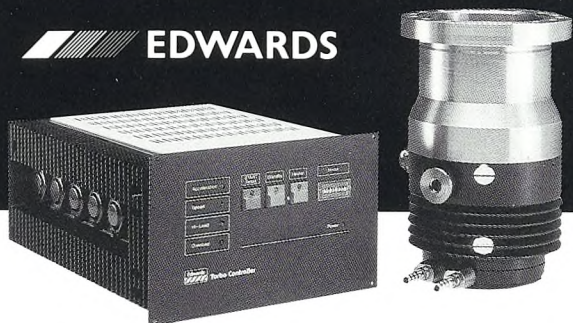
Tilmeldingsblanketter findes i næste Kvinder i Fysik nyhedsbrev eller i denne udgave af Kvant sammen med DFS tilmeldingsblanket.

Prisen for arrangementet er 300 kr, og det dækker frokost og middag. En overnatning i dobbeltværelse på Hotel H.C. Andersen, der også benyttes af deltagerne til DFS's årsmøde, koster 300 kr.

Edwards High Vacuum Turbomolekularpumper

- ★ 4 basistyper
- ★ High Power DC-motor
- ★ 40 flangevarianter
- ★ Ny EXT E økonomiversion
- ★ 17 modeller
- ★ Lavt støj- og vibrationsniveau

EDWARDS



Edwards High Vacuum er en af verdens førende producenter af vakuumpumper og -udstyr. Den nye EXT E version gør det nu muligt at anskaffe en Turbomolekular Vakuumpumpe til en fornuftig pris. Kan køles enten med luft eller vand, og kan styres af den normale EXC350 og EXC500 Turbo-kontroller. Edwards High Vacuum er også Dry Pumps, Diff. Pumps, Vakuum måleinstrumenter, Frysetøringsanlæg og Pådampningsanlæg.

Ring for yderligere oplysninger!

Marielundvej 36
2730 Herlev
4291 75 11

Buch & Holm A/S

balzers



Turbo-dragpumpe TMH/U 260

Turbopumpe og dragpumpe - en ny kombination

Større gasflow med mindre forpumpe

Oliefrit pumpesystem med membranforpumpe

Sluttryk < 10^{-10} mbar

Kapasiteter fra 60 til 1600 l/s

Max. forvakuumpumpetryk på 20 mbar

Nordiska Balzers AB
Baunegårdsvej 7 L
DK-2820 GENTOFTE
Tel: 31 68 32 61
Fax: 31 68 22 55

Box 10412
S-434 24 KUNGSBACKA
Tel: *46-300 710 80
Fax: *46-300 172 85

Vejledning for forfattere

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne artikler fra læserne. Indholdet af artiklerne bør være forståelig for personer med interesse for fysik – således at en god gymnasieelev vil få noget ud af at læse artiklen. Det gør ikke noget, at der optræder enkelte (og enkle) formler i teksten. Illustrationer til artiklerne er meget velkomne.

Det er håbet, at der vil komme en række rubrikker – der er allerede en debatside, som er åben for indlæg om alt hvad der rører sig om fysik. Bladet vil også bringe meddelelser fra Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse, ligesom omtale af arrangementer, der kan have interesse for fysikinteresserede vil blive bragt. Da der kun kommer fire numre om året skal der gives meddelelse om et givet arrangement i god tid, hvis det skal kunne komme med i bladet. Redaktionen vil også stræbe efter at kunne bringe korte notitser med friske nyheder og anmeldelser af bøger af interesse for fysikere.

Vejledning i udformning af artikler til KVANT

For at lette produktionen modtages artikler helst på elektronisk facon. Det kan enten være som elektronisk post til e-mail adressen

kvant@nbivax.nbi.dk

eller (hellere) på en DOS-formatteret diskette, der sendes til

KVANT
c/o Mads Hammerich
Gersonsvej 40
2900 Hellerup

eller afleveres til et redaktionsmedlem sammen med eventuelle figurer, og – *meget vigtigt* – et billede og en præsentation af forfatteren, i stil med de præsentationer, der findes i slutningen af hver artikel i dette nummer.

Teksten kan være skrevet i L^AT_EX, som ren ASCII fil, i WordPerfect eller Word. De første formater foretrækkes. Hvis det ikke er muligt at aflevere teksten i et af disse formater, kan en papirudgave af artiklen naturligvis anvendes.

Formler og specielle symboler kan indsættes i teksten med L^AT_EX eller T_EX. De modtages dog under alle omstændigheder også gerne på papir.

Illustrationer og billeder til artiklerne afleveres separat – det er (endnu) en kvalitetsmæssig fordel at indsætte disse i artiklen på sædvanlig facon. Undlad venligst at afsætte plads til dem i teksten, men placer figurforklaringen til sidst eller for sig selv.

Tabeller og opstillinger ønskes som simple opstillinger med tabulatorer. Brug ikke for megen energi på at lave “snedige” opstillinger med linier og lignende, men vis gerne på papir hvordan du selv ville foretrække det.

- Forfatternavne skrives med kursiv.
- Afsnitoverskrifter skrives med fed skrift.
- Der er ingen tomme linier mellem afsnit, men de indledes med en indrykning (tabulering).
- Referencer anføres i teksten med et løftet ciffer, og anføres til sidst i artiklen med nummer, forfatter, artikel (eventuelt bind-nummer med fed skrift), sidetal og årstal i parentes.
- Husk et billede og en kort præsentation af forfatteren.
- Forfattere der skriver i L^AT_EX kan rekvirere en skabelon, at skrive i, hos redaktionen.

Abonnement på KVANT

koster 135 kr for en årgang og vil blive opkrævet pr. giro. Nye abonnenter vil modtage eventuelle tidligere numre af den løbende årgang. Medlemmer af Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse vil modtage bladet som et medlemsblad.

Hvis du mener at du har abonnement, men ikke får bladet – har du nok glemt at melde flytning af bladet hos dit lokale postkontor, eller måske har du ikke betalt. Bemærk at flytning af KVANT skal meddeles postvæsenet eksplicit!

Abonnement tegnes ved at skrive til

Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø