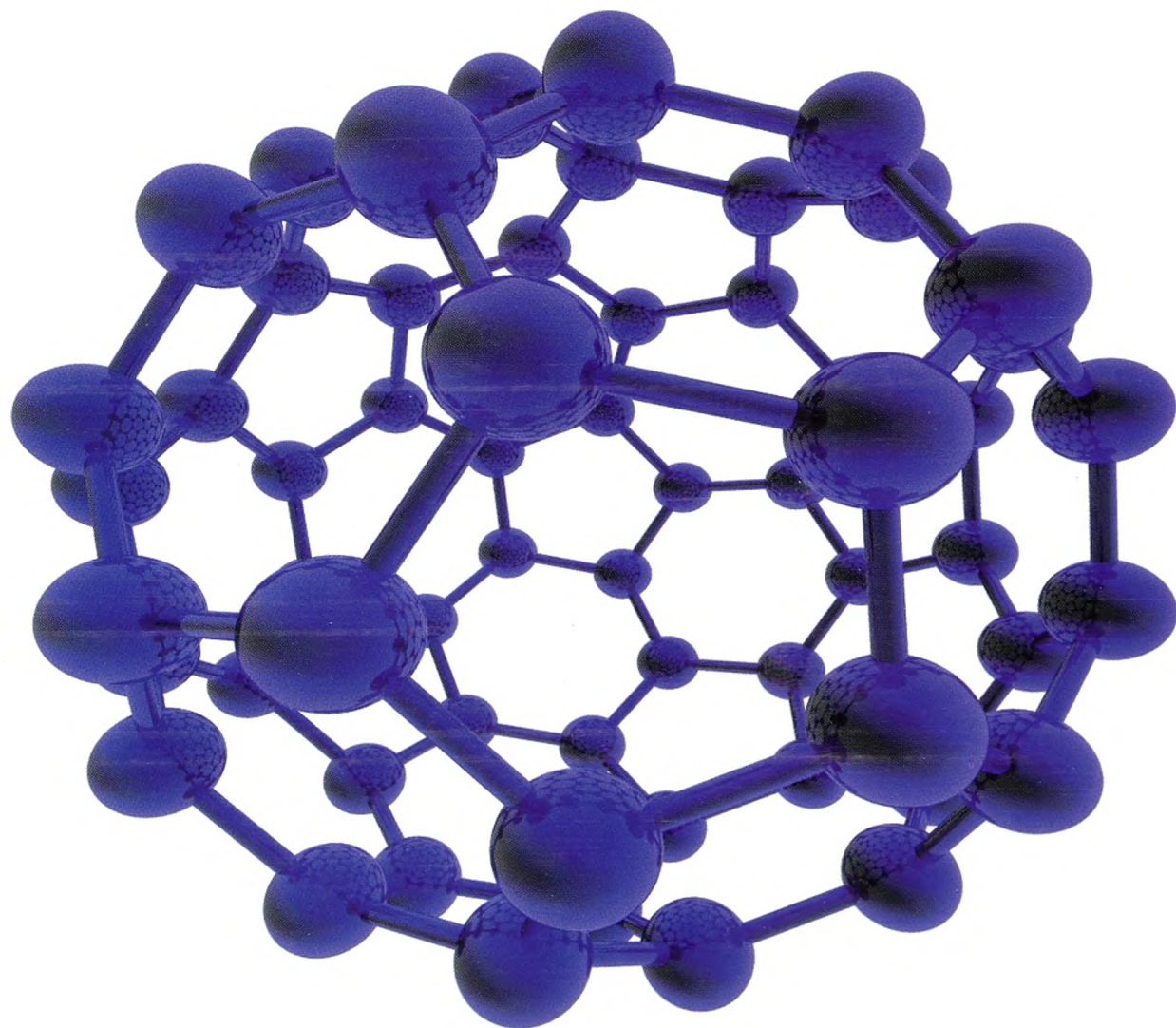


KVANT Oktober 2003 2

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 14. årgang



- FRAGMENTERING AF FULLERENER ●
- KVANTISERET WOBBLING I ATOMKERNEN ●
- DANSK ASTRONOMIS FREMTID ● HOVEDREGNING ●

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

Ørsted Laboratoriet, Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk

Udgives af
Astronomisk Selskab
Dansk Fysisk Selskab
Dansk Geofysisk Forening
Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Redaktion
Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.)
Dansk Rumforskningsinstitut
Michael Cramer Andersen (nyhedsred.)
Astronomisk Observatorium, KU
Camilla Bacher
Kemisk Institut, KU
Jørgen Friis Bak
Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christensen
Torsten Freltoft
Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Svend E. Rugh
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år.

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

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale. Henv. om annoncer til redaktøren, tlf. 35 32 57 32 eller 28 91 87 74. Henv. vedr. abonnement til forretningsfører Lene Kørner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Oplag: 3.000. Tryk: P. J. Schmidt A/S,
Vojens. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 3-03 udkommer ca. 15. november
Nr. 4-03 udkommer ca. 15. december
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Fragmentering af fullerener

Lene B. Oddershede, Ryan T. Chancey, Frank E. Harris og John R. Sabin 3

Kvant-nyheder

Michael Cramer Andersen 7

12" teleskopet från Kristianstad

Jonas Persson 9

Dansk astronomis fremtid – En rapport fra Astronomisk Udvalg

Jes Madsen 10

Hovedregning

Mogens Esrom Larsen 12

Horisontens afstand og skatteprocenter – Læseropgaver

Jens Højgaard Jensen 17

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

18

Nyt fra Astronomisk Selskab

19

Kvantiseret wobbling i atomkernen

Gudrun B. Hagemann og Ikuko Hamamoto 20

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

27

Præsentation: Dansk Meteorologisk Selskab

Jens Hesselbjerg Christensen 27

Geofysikdag Bagsiden

Henvendelser vedrørende abonnement og adresseændring bedes ske til Lene Kørner (koerner@math.ku.dk, telefon 35 32 07 62). Kvant udsendes gratis til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler, seminarier m.fl. Hvis du er lærer et af disse steder og din arbejdsplads ikke modtager Kvant opfordres du også til at rette henvendelse til Lene Kørner. Bestilling af klassesæt og ældre numre af bladet (20 kr. / stk.) kan ske på kvant@nbi.dk.

Forsiden:

FULLERENER

Fullerenerne, og specielt den smukke, symmetriske C_{60} , som er vist på forsiden, forekommer naturligt både på jordkloden og i verdensrummet, og kan desuden fremstilles kunstigt i laboratoriet. I artiklen på side 3 skriver Lene Oddershede m.fl. om fullerenernes stabilitet.

Fragmentering af fullerener

Lene B. Oddershede, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, Ryan T. Chancey, University of Florida, Frank E. Harris, University of Florida og University of Utah, og John R. Sabin, University of Florida og Kemisk Institut, Syddansk Universitet, Odense.

Fullerenerne, og specielt den smukke, symmetriske C_{60} , har siden deres opdagelse fået megen opmærksomhed, også uden for forskningsverdenen. C_{60} forekommer naturligt både på jordkloden og i verdensrummet, og kan desuden fremstilles kunstigt i forskningslaboratorier. Det er dog ikke kun fullerenernes skønhed, der har forårsaget overskrifter i de mest prestigefyldte tidsskrifter indenfor de sidste 20 år, nej, man har også fundet ud af, at disse særprægede fullerener har helt specielle fysiske og kemiske egenskaber, som gør dem specielt egnede som komponenter i molekylær elektronik. F.eks. har man med succes målt modstanden af et enkelt C_{60} -molekyle, og også vist, at hvis et C_{60} -molekyle placeres mellem guldkontakter, fungerer den som en transistor. En relateret struktur er kulstof-nano-rør, som man arbejder i Nano-science centret ved Københavns Universitet og hvis funktionalitet man forventer sig meget af, f.eks. som ledninger i molekylære elektriske kredsløb. I denne artikel beskrives en undersøgelse af fullerenernes stabilitet, og de undersøgte fullerener er C_{24} , C_{60} , C_{100} og C_{240} , hvis struktur er forklaret og afbildet i boks 1.

Hvordan går ting i stykker?

Store ting, såsom meteoritter, gips kugler, glas og porcelæn, der fragmenteres mod en overflade giver typisk en massefordeling af fragmenterne, der beskrives godt med en potenslov. Faktisk gælder denne potenslov-beskrivelse også for massefordelingen af fragmenter fra atomare metalliske klynger bestående af tusindvis af atomer, der fragmenteres mod en overflade. Men man har observeret, at når C_{60} -molekyler fragmenteres i laboratoriet findes en anden type massefordeling. F.eks. har Preben Hvelplund fra Aarhus Universitet og hans samarbejdspartnere eksperimentelt undersøgt fragmenteringen af C_{60} ved at skyde ioniserede C_{60} -molekyler ind i en gas af hhv. He og H_2 . C_{60} -molekylet går derved i stykker, og massefordelingen af ionerne bestemmes vha. massespektrometri [1], hvorved en eksponentiel massefordeling observeres. Andre forskningsgrupper har også observeret eksponentielle fordelinger efter opbrud af C_{60} , men tilsyneladende beskrives de eksponentielle fordelinger med forskellige eksponenter. Fra et enkelt laboratorium er også rapporteret en potens-lov-fordeling af C_{60} -fragmenterne. Det lader altså til, at fragmenteringsmekanismen på det mesoskopiske niveau er fundamentalt anderledes end på større niveau. Går vi endnu længere ned i størrelse og ser på, hvorledes atomkerner

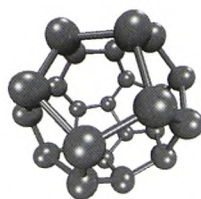
Boks 1: Fullerener

Der findes fire allotroper af ren kulstof: Diamant, grafit, amorf (sod), og fullerener. Kulstofs fysiske og kemiske egenskaber afhænger meget af hvilken allotrop det er. Den senest opdagede form for kulstof er fullerenerne, der blev opdaget i 1985 af Smalley, Curl og Kroto [2], som fik Nobelprisen for opdagelsen i 1996.

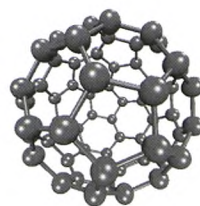
Fullerener er sfæriske skaller opbygget af præcis tolv femkanter og en arbitrær mængde sekskanter. Hver fulleren er opbygget af N kulstofatomer og det gælder at

$$N = 20 + 2H \quad (1)$$

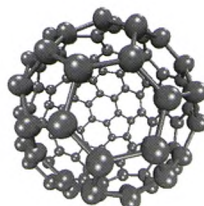
hvor H er tallet af sekskanter. Derfor består den mindste fulleren af tyve kulstofatomer, og alle lige tal større end tyve er mulige. Fullerenerne, der beskrives i denne artikel er: C_{24} (se figur A1), C_{60} (figur A2), C_{100} (figur A3), og C_{240} (figur A4). C_{60} , som også kaldes Buckminster Fullers "Geodesic Dome" – *bucky ball* –, er rund og ligner en fodbold med tolv femkanter (sorte) og tyve sekskanter (hvide). Hvis vi fortsætter med fodboldanalogien svarer de 90 sømme i en fodbold til kulstof-kulstof kemiske bindinger, og de 60 punkter, hvor tre sømme mødes, er kulstofatomernes positioner. Når N vokser, bliver fullerener mere ægformede og mere bøjelige.



Figur A1. C_{24}



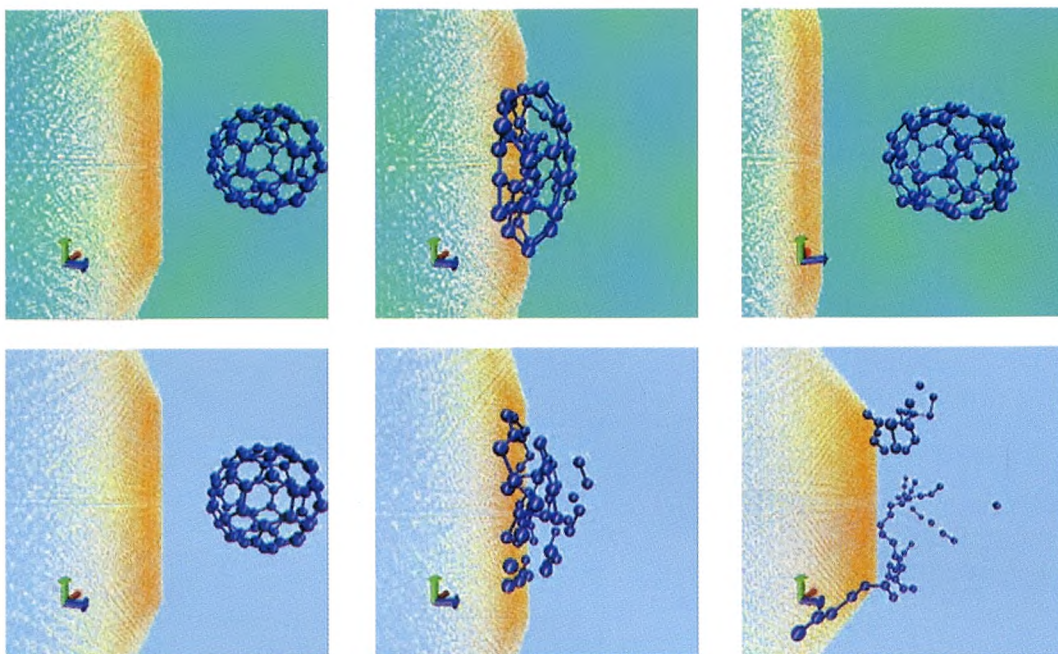
Figur A2. C_{60}



Figur A3. C_{100}



Figur A4. C_{240}



Figur 1. Simuleret fragmentering af et C_{60} -molekyle mod en overflade. I den øverste stribe billeder er impakt-energien 100 eV, og i den nederste stribe er impakt-energien 300 eV. Billederne længst til venstre er inden molekylet rammer overfladen, i midten vises sammenstødet med overfladen, og til højre vises situationen efter sammenstødet.

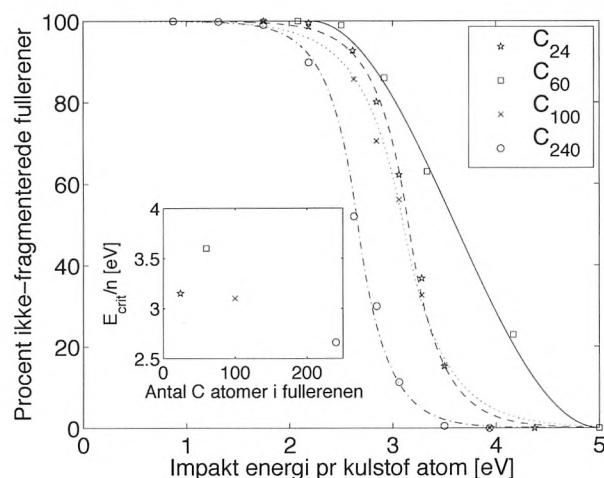
fragmenteres, er det forholdsvis godt forstået og beskrevet f.eks. af Jakob Bondorf fra Niels Bohr Institutet og hans samarbejdspartnere [3]: Ved opbrud af en atomkerne ser man kvalitativt forskellige massefordelinger afhængigt af impakt-energien; ved nogle energier ses en eksponentiel fordeling, hvor eksponenten afhænger af impakt-energien, og ved andre mere komplicerede fordelinger.

Simulering af fullerenernes fragmentering

Denne artikels forfattere har foretaget en klassisk molekylær-dynamisk simulering af hvorledes fullerenene C_{24} , C_{60} , C_{100} og C_{240} fragmenterer [4], når de rammer en væg. I forhold til "rigtige" laboratorie eksperimenter har simuleringerne den fordel, at hele energispektret er til rådighed. Impakt-energien kan derfor ændres således, at man kan studere hele fragmenteringsspektret fra intet opbrud til en total atomisering af fullerenen. Desuden kan vi simulere fragmentering af forskellige fullerentyper, også dem, der er svære at fremstille og arbejde med i laboratoriet. For at beskrive fullerenens vekselvirkninger har vi benyttet det klassiske Tersoff potentiale, der er beskrevet i boks 2. I simuleringerne er hvert tidsskridt 0,1 femto-sekund, og simuleringerne blev kørt i 20.000 tidsskridt, indtil yderligere fragmentering ikke fandt sted. I hver simulering er orienteringen af fullerenen i forhold til væggen tilfældigt valgt. Væggen, som fullerenen fragmenteres mod, er matematisk beskrevet ved potentialet:

$$V = V_0[1 - \tanh(\gamma z)] \quad (2)$$

hvor z er koordinaten opad væggen, og γ er valgt, så væggen er så stejl som en diamantoverflade.



Figur 2. Procentdel af fullenerer, som ikke fragmenteres, som funktion af impakt-energi per kulstofatom. Den indsatte figur viser E_{crit} , dvs. den energi, hvor halvdelen af fullenererne er intakte, som funktion af antal kulstofatomer i fullerenen.

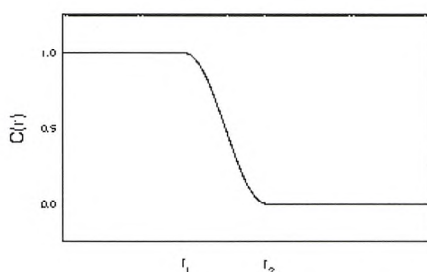
Figur 1 viser billeder af en C_{60} -fragmenteringsbegivenhed. Den øverste serie billeder er fra et forsøg, hvor impakt-energien var 100 eV, hvilket ikke er nok til at slå C_{60} i stykker, men blot gør, at fullerenen deformeres ved sammenstødet og efter sammenstødet oscillerer frem og tilbage (se film [6]). Ved impakt-energier under 150 eV exciteres en vibrationel tilstand af C_{60} uden at dette medfører en topologisk ændring af skallen. Den nederste serie af billeder viser en fragmen-

Boks 2: Tersoff potentialet

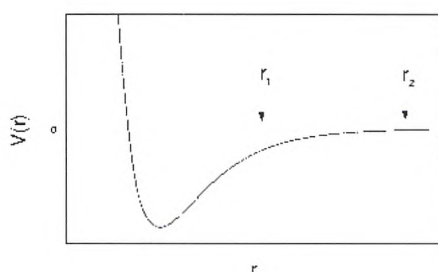
For at holde beregninger på systemer med mange atomer på en rimelig størrelse, er det fordelagtigt at benytte en semi-empirisk metode i stedet for den fulde kvantemekaniske beskrivelse. J. Tersoff foreslog i 1988 [5] følgende potentiale til at beskrive vekselvirkningen mellem to atomer adskilt af en afstand r :

$$V(r) = C(r)[A(r) - gB(r)] \quad (3)$$

hvor $A(r)$ er en frastødende faktor, som forhindrer atomerne i at komme for tæt på hinanden, $gB(r)$ er en tiltrækkende faktor, som efterligner kemiske bindinger, og $C(r)$ er en funktion, som eliminerer langrækkende vekselvirkninger idet den falder jævnt fra 1 til 0 mens r går fra r_1 til r_2 , som vist i denne figur:



$A(r)$ og $B(r)$ er normalt faldende eksponentielle funktioner, hvor $A(r)$ falder hurtigere end $B(r)$. Hvis der ses bort fra g , giver kombinationen af $A(r)$, $B(r)$, og $C(r)$ en kurve som i figur herunder, hvor det ene atom sidder i nulpunktet og det andet i ligevægtstilstanden i $V(r)$'s minimum.



teringsbegivenhed med en impakt energi på 300 eV, hvilket er nok til at medføre et opbrud af C_{60} fullerenen.

Stabilitet af fullerenes

Figur 2 viser hvor mange procent af fullerenes, der ikke fragmenteredes, som funktion af impakt-energien per kulstofatom. Hvert punkt på kurverne er et resultat af 1000 eller flere simuleringer. Hvis man f.eks. følger kurven for C_{60} (firkanten i figur 2) ses, at C_{60} først be-

Boks 2: (fortsat)

Faktoren g indholder termer som beskriver tre atom vekselvirkninger, hvilke kun har betydning, hvis et tredje atom befinder sig indenfor afstanden r_2 fra et atompar. g er størst når de tre kulstofatomer befinder sig i en tetraederisk binding, som i en diamant krystal:



I simuleringen er den totale kraft på et givet atom udregnet ud fra summen af alle to-partikel potentialer, som involverer dette atom. Parametrene er valgt således, at strukturen af krystallinsk og amorf kulstof er tættest muligt på den eksperimentelt bestemte.

gynder at gå i stykker ved impakt-energi over 2 eV per kulstofatom. Ved 3.6 eV per kulstofatom er halvdelen af fullerenes gået i stykker, og denne impakt-energi kaldes E_{crit} . Ved energier på over 5 eV per kulstofatom er stort set alle C_{60} -fullerenes fragmenterede. I figur 2 er også vist E_{crit} for de forskellige fullerenes, og heraf ses, at C_{60} er mere stabil overfor fragmentering end de øvrige undersøgte fullerenes. Den gennemsnitlige bindingsstyrke for kulstof-kulstof bindinger i fullerenes er omkring 4–5 eV. Da der ved en impakt-energi på 2 eV per kulstofatom, svarende til 120 eV for et C_{60} -molekyle, ikke sker nogen fragmentering, betyder det, at ved et typisk impakt fordeles energien jævnt over hele fullerenen i stedet for lokalt at føre til brudte bånd.

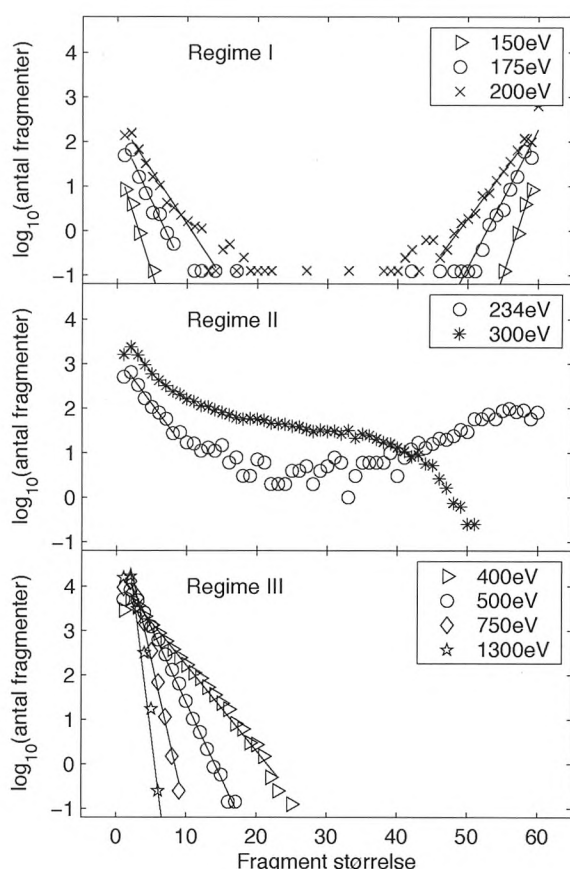
Fragmentfordeling

Figur 3 viser størrelsesfordelingen af fragmenter fra opbrud af C_{60} -fullerenes ved impakt-energi fra den laveste energi, hvor fragmentering observeres (150 eV) til den højeste energi inden en total atomisering af fullerenen (1300 eV). I figur 3 afbildes antallet af fragmenter af en given størrelse på enkelt-logaritmiske akser. Hvert datapunkt på figuren svarer til et gennemsnit af 8 gange 1000 fragmenteringsbegivenheder. For ikke at få for kompakte figurer vises kun et par

repræsentative impakt-energier, men det fulde datamateriale er til rådighed ved henvendelse til forfatterne af denne artikel. De rette linier i figur 3 er en eksponentiel funktion, der er fittet til data:

$$N(s) = C \exp(-\alpha s), \quad (4)$$

hvor $N(s)$ er antallet af fragmenter med størrelse s , n er antallet af kulstofatomer i fullerenen og α og C er konstanter. Fitte-funktionen fra ligning ?? er valgt dels fordi lignende funktioner har vist sig at fitte eksperimentelle data godt [1], og dels fordi denne funktionsform teoretisk er forudsagt til at fitte et opbrud af atomare kerner i visse impakt-energi intervaller [3]. De andre undersøgte fullerenener, C_{24} , C_{100} og C_{240} har fragmentfordelinger, der kvalitativt er magen til C_{60} , og de præcise fordelinger kan ses i [4].



Figur 3. Fragment-størrelsesfordelinger per 1000 C_{60} -fragmenteringsbegivenheder.

Når man betragter figur 3 springer det straks i øjnene, at fordelingerne ikke blot kvantitativt men også kvalitativt afhænger af impakt-energien. Derfor har vi inddelt fordelingerne i tre regimer efter kvalitative egenskaber:

Regime I: Lave impakt-energier medfører ganske lidt fragmentation af fullerenen. Faktisk er fordelingen af store og små stykker symmetrisk (bortset fra de

ufragmenterede fullerenener af størrelse 60 atomare enheder), hvilket tyder på, at der typisk går eet hjørne af fullerenen ved disse energier og yderligere fragmentation ikke finder sted. I panelet med Regime I i figur 3 er linien til højre en spejling af linien til venstre, som er den eksponentielle funktion fra ligning ?? fittet til data. Den numeriske værdi af eksponenten α fra ligning ?? falder som funktion af impakt-energien, hvilket er konsistent med, at mere energi fører til yderligere fragmentering.

Regime II: Når impakt-energien forøges yderligere, ophører fragmentfordelingen med at være symmetrisk, og multiple opbrud af en enkelt fulleren finder sted. I dette regime er en eksponentialfunktion ikke et specielt godt fit til data, og en potenslov fitter lige så godt til fordelingen af de mindste stykker.

Regime III: Ved højere impakt-energier fittes hele fragmentfordelingen fint af funktionen fra ligning 2, hvilket betyder, at fullerenens fordeling er eksponentiel. Dermed er α^{-1} gennemsnitsstørrelsen af fragmenterne og C normaliseringsfaktoren. I dette regime vokser α med impakt-energien, hvilket er konsistent med, at den gennemsnitlige størrelse af stykkerne bliver mindre når impakt-energien forøges.

Ny information om fullerenener

Simuleringerne viser, at fragment fordelingerne kvalitativt afhænger af impakt-energien, hvilket forklarer, at der i laboratorie-eksperimenter er observeret ret forskellige typer fordelinger ved fragmentationsforsøg med C_{60} . I simuleringerne reproducere også de eksperimentelt observerede værdier af α , selvom om laboratorieforsøgene typisk er udført under meget forskellige omstændigheder. Fragmentfordelingens kvalitative afhængighed af impakt-energien ligner uhyre meget den sammenhæng, der er teoretisk forudsagt og eksperimentelt observeret for opbrud af atomkerner; ja sågar kurvernes former er identiske. Det er ikke trivielt, at en sådan lighed er gældende, og til dato eksisterer der ikke teoretiske udledninger for fullerenener, i analogi med teorien omkring atomkernernes opbrud [3], som er baseret på en statistisk ensemble-beskrivelse af systemets entropi og fri energi ved forskellige temperaturer. Men det lader helt klart til, at fragmenteringsmønsteret for en fulleren mere ligner mønsteret for en atomkerne end f.eks. mønsteret for en gipskugle.

Ved fragmenteringen af C_{240} , som i denne sammenhæng betragtes som en stor fulleren ses ingen præferencer for dannelse af andre, mindre, fullerenener under fragmenteringen. C_{60} er mere stabil overfor fragmentering end de andre undersøgte fullerenener C_{24} , C_{100} og C_{240} , hvilket gør C_{60} til den mest oplagte kandidat blandt de undersøgte fullerenener til f.eks. at indgå i molekulære elektroniske kredsløb, hvor der kræves en stor stabilitet af molekylet.

Referencer:

- [1] P. Hvelplund, L. H. Andersen, H. K. Haugen, J. Lindhard, D. C. Lorents, R. Malhotra og R. Ruoff (1992) "Dynamical Fragmentation of C_{60} Ions", *Physical Review Letters*, bind **69**, side 1915–1918.
- [2] H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl og R. E. Smalley (1985) " C_{60} : Buckminsterfullerene", *Nature*, bind **318**, side 162–163.
- [3] J. P. Bondorf, A. S. Botvina, A. S. Iljinov, I. N. Mishustin og K. Sneppen (1995) "Statistical multifragmentation of nuclei", *Physics Reports*, bind **257**, side 133–221.
- [4] R. Chancey, L. Oddershede, F. E. Harris og J. R. Sabin (2003) "Fragmentation of Fullerenes", *Physical Review A*, bind **67**, artikel 043203 (7 sider).
- [5] J. Tersoff (1998) "New empirical approach for the structure and energy of covalent systems", *Phys. Rev. B*, bind **37**, side 6991–7000.
- [6] Film af C_{60} -fragmentering ved hhv. 100 eV og 300 eV er tilgængelige på hjemmesiden www.qtp.ufl.edu/~chancey/WWW1/C60/.



Forfatterne fejrer, at deres artikel er optaget i Kvant. Fra venstre ses *Frank E. Harris*, der er professor i teoretisk kvantefysik ved University of Utah, Salt Lake City, samt adjungeret professor ved University of Florida, Gainesville, *Lene B. Oddershede*, der er lektor i eksperimentel fysik ved Niels Bohr Institutet, *John R. Sabin*, der er professor i teoretisk kvantefysik ved University of Florida, Gainesville, samt adjungeret professor ved Kemisk Institut, Syddansk Universitet, Odense, og *Ryan T. Chancey*, der er fysik- og ingeniør-studerende ved University of Florida, Gainesville.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Støtte til teorien om mørkt stof

En af de vigtigste grunde til at tro på eksistensen af ikke-lysende mørkt stof, oprindeligt foreslået af Fritz Zwicky i 1933 er, at bevægelsen af galakser indenfor en galaksehob ikke adlyder lovene i sædvanlig celest-mekanik, hvis man kun tager hensyn til det observerbare lysende stof. Samme resultat har man indenfor enkelte galakser, f.eks. Mælkevejen, og afvigelserne ses helt ned til dværggalakser hvor det er meget tydeligt at et eller andet mangler. Enten gemmer der sig store mængder ukonventionelt stof i udkanten af galakserne (teorien om mørkt stof) eller også er de kendte love for tyngdekraften utilstrækkelige (teorien kendt som MODificeret Newtonsk Dynmaik, eller MOND). Ved et møde på De kanariske Øer i slutningen af maj rapporterede astronomer fra Sloan Digital Sky Survey (SDSS) resultater, der støtter teorien om mørkt stof og diskrediterer MOND-idéen som skulle betyde et ekstra

led i bevægelsesligningerne ved meget små accelerationer. Astronomerne undersøgte hastighedsprofilen af 3000 galakser udvalgt fra SLOAN-projektets 250.000 galakser. Hvis de 3000 galakser er repræsentative kan vi fremover stadig holde os til Newtons og Einsteins teorier for tyngdekraften. Naturen af det mørke stof er stadig ukendt.

Kilde: AIP Physics News 638, 22. maj 2003, Sloan Digital Sky Survey, www.sdss.org

Sonder på vej til Mars

To Mars-missioner med hver sin geologiske robotbil, "Mars Exploration Rovers" (MER) 1 og 2 er blevet opsendt henholdsvis den 10. juni og 7. juli med amerikanske Delta-raketter fra Cape Canaveral i Florida, begge to efter nogle dages forsinkelser.

Den europæiske "Mars Express" blev allerede opsendt den 2. juni med en russisk Soyuz-raket fra

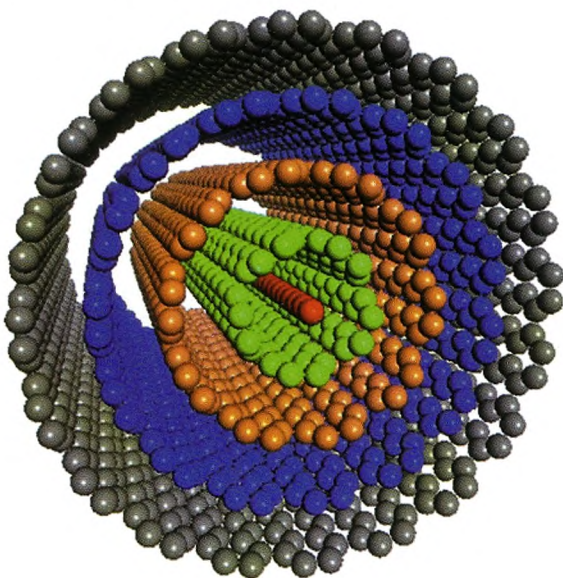
Baikonur i Kasakhstan og har således et lille forspring, så den vil nå frem i december mens MER 1 og 2 forventes at nå frem i januar 2004.

Alle missioner er videnskabeligt meget interessante. Mars Express har en lander, "Beagle 2", med exobiologiske eksperimenter som skal tage tråden op hvor Viking-sonderne slap i 1970'erne. MER 1 og 2 har danske magneteksperimenter med ombord. Magneteterne er udviklet af Mars-gruppen på Niels Bohr Institutet. Eksperimenterne skal studere de magnetiske egenskaber af luftbåren støv og af materiale der bliver udboret fra klipper. Aktionsradius af robotbilerne er over en km og de er udstyret med en række instrumenter der bl.a. kan analysere grundstofsammensætningen af klippeprøver.

Links: www.esa.int/export/SPECIALS/Mars_Express/;
mars.jpl.nasa.gov/mer/; www.presse.nbi.dk

Perlekæder af kulstofatomer indeni kulstof nanorør

En éndimensional streng af kulstofatomer indeni i et kulstofnanorør er blevet observeret for første gang. Kulstofkæder er blevet observeret før men aldrig indeni et nanorør. Kulstofnanorør er opbygget på lignende måde som "Fodbold-molekylet" kulstof-60 (se også artiklen side 3), og man kan tænke på strukturen som et sammenrullet hønsenet. En japansk forskergruppe, under ledelse af Yosinori Ando ved Nagoya Universitetet, producerede kulstofnanorør-trådene ved at skabe en elektrisk bue mellem to kulstof elektroder i en atmosfære af brint i modsætning til helium, som er brugt tidligere. Den samme gruppe har også dannet det mindste nanorør, som kun er 0,4 nanometer i diameter og flervæggede nanorør med den mindste indre diameter på 1 nanometer.



Figur 1. Kulstofnanorør med forskellige diameterer indeni i hinanden. Det inderste rør har en diameter på 1 nanometer. Fra AIP, www.aip.org/mgr/png.

Kulstofnanorør har interessante mekaniske egenskaber f.eks. kan de som ultrastærke fibre anvendes i rumfærgens næsespids eller som friktionsløse lejer i nanomaskiner. Kemien i kulstofnanorør er også ny. Kulstof findes som bekendt i forskellige former der klassificeres efter arten af de kemiske bindinger hvor "s" typen refererer til at elektronen sidder i en sfærisk sky og "p" typen hvor elektronen sidder i en håndvægtsformet sky. De tre kendte kulstofbindinger er sp^3 (diamant), sp^2 (grafit, fullerener og nanorør) og sp (kulstofkæder). Kulstof nanorør trådene indeholder imidlertid både sp og sp^2 bindinger.

Ved elektriske anvendelser kan kulstof nanorør-trådene udgøre den mindste mulige metal-metal kontakt eller fungere som punktkilder for meget kohærente elektronstråler med veldefineret energi. Endelig kan kulstof nanorør-trådene måske forklare nogle hidtil uforklarede emissionslinjer fra det interstellare rum, hvor der allerede er identificeret kulstof-60 molekyler.

Kilder: AIP Physics News 635, 1. maj 2003

Skarpeste billede af planetarisk tåge



Figur 2. Den planetariske tåge "Helix-tågen" fotograferet med rumteleskopets nye kamera.

Kilde: Hubble European Space Telescope Information Centre pressemeddelelse den 9. maj,
hubble.esa.int/hubble/news/newsarchive.cfm

Ladningssymmetribrud afslører intime detaljer om nukleonerne

Ladningssymmetribrud er observeret for første gang i to eksperimenter og fremlagt på et møde i the American Physical Society i Philadelphia. I 1930'erne foreslog fysikeren Werner Heisenberg, at protonen og neutronen er lidt forskellige manifestationer af den samme partikel kaldet "nukleonen". I kernefysik bruges ordet nukleon som fællesbetegnelse for de to partikler. Moderne

kernefysik støtter Heisenbergs opfattelse idet mange vekselvirkninger forløber identisk hvis en proton erstatter en neutron eller omvendt. I nogle tilfælde bryder denne lighed sammen og leder til fænomenet ladningssymmetribrud (Charge Symmetry Break, CSB). I to uafhængige eksperimenter ved cyklotron faciliteten på Indiana Universitetet og TRIUMF cyklotronen i Canada har forskere lavet nye målinger af CSB som ikke må forveksles med ladningskonjugering i partikelfysikken. CSB-målingerne kan give dyb indsigt i hvorfor naturen gav neutronen og protonen lidt forskellige masser og give en mere præcis bestemmelse af forskellen mellem massen af op-kvarken og ned-kvarken, som både protoner og neutroner består af. Kernefysikerne er travlt optaget af at analysere resultaterne for at sætte mere stramme bånd på op-ned masseforskellen. Over en to-måneders periode fandt forskerne dusinvis af begivenheder hvor fusion af to deuteriumkerner (tung brint) til helium også resulterede i en neutral pi-meson (π^0), en reaktion der kun kan lade sig gøre hvis naturen tillader svagt brud på ladningssymmetrien. Der er data nok til at teste teorier for ladningssymmetribrud og altså give en bedre bestemmelse af masseforskellen mellem de to kvarker, der sammen med elektronen opbygger alt baryonisk stof.

TRIUMF-holdet studerede reaktioner hvor protoner og neutroner fusionerede og bl.a. gav en ladet pi-meson (π^+ eller π^-) som resultat. Der var et lille overskud på 0,17% af de ladede pi-mesoner, som fortsatte i en foretrukken retning i forhold til det referencesystem, hvor protonen og neutronen mødes i centrum. En sådan asymmetri er som et vandmærke, der bekræfter ladningssymmetribrud. Eksperimenterne giver ny viden om de elektromagnetiske felter indeni nukleonerne og hvor meget energi (og dermed masse), de bidrager med til masseforskellen mellem protonen og neutronen.

Kilder: AIP Physics News 633, 16. april 2003

Første videnskabelige resultater fra LIGO

Tyngdebølgeobservatoriet LIGO har annonceret de første videnskabelige resultater som sætter nye strammere bånd på hyppigheden af kilder der kan udsende gravitationelle bølger i Mælkevejen. LIGO, der står for "Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory", ligger i den amerikanske stat Louisiana og observatoriet består af to 4 km lange vakuumrør vinkelret på hinanden hvori laserlys konstant reflekteres frem og tilbage. Hvis gravitationel stråling, også kaldet tyngdebølger, passerer detektoren vil rumtiden lokalt blive klempt sammen i den ene retning og trukket ud i retningen vinkelret på. LIGO er designet til at måle sådanne forstyrrelser i interferensmønstret, der opstår mellem de to laserstråler. Men udfordringen for ingeniørerne har været ganske enorm. En typisk kilde til gravitationel stråling er to neutronstjerner som spi-

ralerer ind mod hinanden, og sådanne systemer ved man findes i Mælkevejen, bl.a. dobbeltpulsaren der gav Hulse og Taylor nobelprisen i 1974. Et sådant system vil typisk forårsage et stræk i LIGO apparaturet på $1:10^{20}$ svarende til en tusindedel af udstrækningen af en proton i forhold til længden på 4 km!

Forskerholdet målte i 17 dage i september 2002 men detekterede ingen begivenheder. Til gengæld giver et sådant nulresultat strammere bånd på hyppigheden af forskellige kilder: Eksplosioner af supernovaer eller gammaglimt, bølger fra kompakte dobbeltstjerner, der spiralerer mod hinanden, periodiske signaler fra f.eks. asymmetriske pulsarer og en tilfældig baggrund stammende fra tyngdebølger produceret ved Big Bang. Tre af disse typer begivenheder har fået nye strammere bånd på hyppigheden, f.eks. udelukker målingerne, at der kan være mere end 164 begivenheder med gravitationel stråling fra spiralerende dobbeltstjerner i Mælkevejen, en øvre grænse der er forbedret med en faktor 26 i forhold til tidligere målinger. Følsomheden med hensyn til periodiske signaler fra asymmetriske pulsarer var så god som $1:10^{22}$, så de er heller ikke så hyppige i Mælkevejen, at de dukkede op indenfor de 17 dage målingerne varede.

Detektoren er i mellemtiden blevet forbedret til ti gange højere følsomhed, hvorved rækkevidden kommer op på ca. 15 mio. lysår, hvorved f.eks. Andromeda galaksen i en afstand af godt 2 mio. lysår og flere andre galakser kommer inden for rækkevidde.

LIGO-teamet består af ca. 440 forskere og de samarbejder også med andre interferometre til detektion af tyngdebølger som GEO i Tyskland og TAMA i Japan. Kilde: AIP Physics News 632, 9. april 2003; LIGO, www.ligo.caltech.edu; GEO, www.geo600.uni-hannover.de

KVANT-nyheder på nettet: www.nbi.dk/dfs/ny/

12" teleskopet från Kristianstad

Jonas Persson, Högsolan Kristianstad

Vi har fortfarande inte fått tillbaka teleskopet (se KVANT nr. 1, april 2003 s. 19), men spaningsarbete som polisen gjort i samarbete med oss och den astronomiska föreningen i Kristianstad, har gjort att vi har en mycket klar bild av vilka som är inblandade (vi har två namn). Problemet är att det inte finns tillräckliga bevis som skulle hålla i en domstol. Varför vi väntar på att teleskopet kan hittas och knytas till gärningsmännen. Vi tror inte att dom har gjort sig av med teleskopet än utan att det ligger i ett förråd i väntan på att dom kan avyttra det, så varningen om att köpa ett 12" teleskop från någon i nordöstra Skåne gäller fortfarande.

Dansk astronomis fremtid – En rapport fra Astronomisk Udvalg

Jes Madsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Hvis dansk astronomi skal have en fremtid, må der straks handling til på en række områder. Det var udgangspunktet for arbejdet i Astronomisk Udvalg, der blev nedsat i foråret 2002 af de naturvidenskabelige fakulteter og fysikinstitutter (IFA og NBIfAFG) i Århus og København samt Dansk Rumforskningsinstitut (DRI). I starten af juli i år afleverede Astronomisk Udvalg en rapport med en række forslag og anbefalinger. I det følgende vil udvalgets anbefalinger blive gennemgået og perspektiverne for dansk astronomis fremtid blive skitseret.

Astronomisk Udvalg består af tre medlemmer fra NBIfAFG (Johannes Andersen, Jens Hjorth (næstformand) og Åke Nordlund), to fra IFA (Jørgen Christensen-Dalsgaard og Jes Madsen (formand)), samt to fra DRI (Allan Hornstrup og Niels Lund). Udvalget har holdt en række møder, lagt et rapportudkast frem til bred debat på "town-meetings" i København og Århus, indhentet kommentarer fra internationale eksperter, og afholdt en debat om et revideret rapportudkast på Dansk Fysisk Selskabs årsmøde i juni. Selve processen har været præget af åbenhed og stort engagement, ikke bare fra udvalgets medlemmer, men sandelig også fra såvel medarbejdere som studerende med tilknytning til det danske astronomimiljø, der har bidraget med mange forslag og kommentarer undervejs. Denne proces, der set med udvalgets øjne har ledt til en stor grad af konsensus om resultatet, har været en positiv oplevelse, der utvivlsomt vil gøre det nemmere at implementere anbefalingerne i praksis. Dermed ikke sagt, at alle danske astronomer er enige om alt – det ville også være unaturligt – men på en række afgørende punkter spores en bred enighed.

Pensioneringsbølge om få år

Dansk astronomi gør det på mange måder glimrende set i internationalt perspektiv. Forskningsresultater, der giver international genlyd, en uddannelse, der også uden for landets grænser anerkendes som glimrende, osv. Men det meste af dette vil helt naturligt ophøre, når størsteparten af de danske astronomer pensioneres inden for få år. Dette sker i en periode, hvor astronomi/astrofysik internationalt gennemlever en udvikling uden sidestykke i forhistorien med hurtige gennembrud på en lang række spændende felter, lige fra gamma-ray bursts til studiet af planetdannelse omkring andre stjerner.

Djævelens advokat kunne måske her spørge, om vi da ikke bare kan overlade disse spændende felter

til udlandet og spare de penge i Danmark, men det ville utvivlsomt være en alt for snævertsynet prioritering. Sagen er, at astronomi i høj grad fungerer (og i endnu højere grad – ved en målrettet indsats – kan komme til at fungere) som løftestang for ungdommens og det omgivende samfunds interesse i naturvidenskab generelt og fysik i særdeleshed. Astronomiske emner taler til folks fantasi og interesse for det (næsten) ufattelige Univers omkring os, og interessen for astronomisk litteratur, tv-udsendelser, foredrag mv. er meget stor. Hertil kommer, at Danmark via en række internationale engagementer i bl.a. European Southern Observatory (ESO) og European Space Agency (ESA) investerer væsentlige midler i førsteklasses internationale faciliteter, som det er vigtigt at udnytte optimalt af såvel videnskabelige grunde, som for at sikre det fulde økonomiske og tekniske feedback til danske virksomheder.

Minimumsplan for dansk astronomi

På baggrund af disse (og en række andre) overvejelser har Astronomisk Udvalg fremlagt sine anbefalinger. Udvalget enedes tidligt om at koncentrere kræfterne om en "minimumsplan" forstået som: Hvad er absolut nødvendigt for at sikre en fremtid for dansk astronomi? Nogle af de internationale eksperter, som har kommenteret resultatet, har påpeget, at der kan gives mange gode argumenter for vækst snarere end status quo eller nedgang i bevillingerne. Udvalget kan bestemt tilslutte sig dette synspunkt, men med vort kendskab til de kommende års realiteter på institutterne har vi fundet det bedre at foreslå ting, som umiddelbart kan realiseres indenfor kendte økonomiske rammer, fremfor en ambitiøs, men ikke-realiserbar plan.

Astronomisk Udvalg har samlet sine anbefalinger i 6 punkter:

1. Fokusér indsatsen på tre hovedområder, hvor væsentlige gennembrud synes på vej, og hvor dansk astronomi kan yde afgørende bidrag. Rapporten beskriver og argumenterer for at satse på: Kosmologi og galaksedannelse, stjerne- og planetdannelse, samt ekstrem astrofysik (f.eks. gamma-ray bursts og andre fænomener præget af kompakte astrofysiske objekter samt ekstreme energi- og strålingsforhold). Vær samtidig opmærksom på, at forskningens fokus skifter hurtigt, og at det derfor er afgørende at sikre bredde, tilpasningsparathed og et solidt fagligt funda-

ment i såvel ansættelses- som uddannelsessammenhæng.

2. Gå straks igang med nyansættelser på lektor- og professoratsniveau ved universiteterne. Den faste stab er i hastig tilbagegang og nærmer sig det underkritiske, samtidig med at en hel generation af dygtige forskere er emigreret til udlandet eller skifter karrierevej. Udvalget foreslår et antal opslag straks (såvel KU som AU har heldigvis reageret prompte med de første af disse opslag), samt en efterfølgende takt på mindst et opslag hvert andet år ved KU og hvert tredje år ved AU. Mindst, for med de mange nært forestående pensioneringer er der stadig udsigt til et væsentligt fald i staben.
3. Fokuser den observationelle indsats omkring dansk deltagelse i ESO og ESA, men vær naturligvis åben for andre muligheder. Et nationalt center til sikring af det videnskabelige udbytte fra jord- og rumbaserede faciliteter søges etableret.
4. Lav et nationalt samarbejde om ph.d.-uddannelse og etabler et nationalt postdoc-program i teoretisk, observationel og eksperimentel astrofysik.
5. Styrk samarbejde og koordinering af astronomiuddannelserne i Danmark. Det er vigtigt for studenterrekrutteringen, at astronomistudiet findes på begge sider af Storebælt, men med de begrænsede medarbejderstabe kan man i sagens natur ikke tilbyde videregående undervisning i alle relevante discipliner alle steder. Ergo må der samarbejdes om videregående kurser, hvilket igen stiller krav til en vis koordinering af den indledende undervisning. Styrk samarbejde og koordinering af astronomiske outreachaktiviteter. Astronomi har et kæmpestort potentiale som "blikfang" for fysik og naturvidenskaberne generelt, og selv om der allerede gøres meget på dette felt, er der klart behov for en mere koordineret og professionel indsats.
6. Astronomisk Udvalg skal følge implementeringen af sine planer og anbefalinger tæt og opdatere planerne på årlig basis i samråd med fagets udøvere.

Astronomisk Udvalgs rapport er foreløbig blevet vel modtaget, og nogle af anbefalingerne, herunder de allervigtigste, nemlig at få gang i ansættelserne, er allerede ført ud i livet. I den kommende tid nedsættes et antal arbejdsgrupper med det formål at sikre, at de øvrige anbefalinger ikke bare bliver ved snakken.

Astronomi er et spændende fag med store videnskabelige og uddannelsesmæssige muligheder. Gennemføres de her skitserede initiativer vil faget også

fremover være med til at sikre Danmark en stærk international position i traditionen fra Brahe, Rømer, Strömghren, m.fl.

Referencer:

Rapportens fulde tekst kan findes på
www.phys.au.dk/~jesm/AU.html.



Jes Madsen er formand for Astronomisk Udvalg og lektor i teoretisk astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han er endvidere leder af ph.d.-uddannelsen ved Det Naturvidenskabelige Fakultet i Århus. (Foto: Rigmor Mydtskov.)

PFEIFFER  **VACUUM**

Totalleverandør

VACUUMKOMPONENTER

Pumpesystemer
Ventiler og fittings
Specialkamre
Massespectrometri

Alt til systemopbygning
i laboratoriet
for
NANO FORSKNING

Hovedregning

Mogens Esrom Larsen, Matematisk Institut, Københavns Universitet.

Kan man regne i hovedet, hvis man skal? Eller er det kun Dustin Hoffman som *Rainman*, der er skruet så akavet sammen, at tallene uafsladelig ryster ud af ærmerne på ham. Scenen, hvor han ser en æske tændstikker tabt på gulvet straks siger "246" (eller hvad det nu var), minder om Alice i "Through the Looking Glass and What Alice Found There", Chapter IX, Queen Alice, (Lewis Carroll, 1871).

"Can you do Addition?" the White Queen asked.

"What's one and one and one and one and one and one and one and one and one and one and one?"

"I don't know," said Alice, "I lost count."

"She can't do Addition," the Red Queen interrupted.

De fleste af os har det nok lidt som Alice.

Det er nu nok ikke, fordi autister har særlige evner for talbehandling. Det er snarere en tendens til monomani, der får dem, der interesserer sig for tal, til at lege med dem døgnet rundt. Og så bliver de ens fortrolige, så man som den berømte indiske matematiker, S. Ramanujan (1887–1920), der ifølge anekdoten til G. H. Hardy's (1877–1947) bemærkning:

"I thought the number of my taxicab was 1729, it seemed to me a rather dull number." svarede,

"No, Hardy! It is a very interesting number. It is the smallest number expressible as the sum of two cubes in two different ways."

$$1729 = 10^3 + 9^3 = 12^3 + 1^3$$

Regner man meget, lægger man mærke til den slags overensstemmelser.

For 40 år siden var det interessante spørgsmål, om man kunne regne uden hoved, mens enhver havde nogen øvelse i at regne med hovedet. Det siges, at moderne mennesker bruger lommeregneren til at gange med 10 eller sågar 1. Nu er disse færdigheder gået i glemmebogen, hvorfra jeg har hentet et par tricks.

Den lille tabel

Når man regner i hovedet, er det nærmest nødvendigt at kunne nogle produkter – og summer – udenad. Man må kunne f.eks. at $2 + 3 = 5$ og at $2 \times 3 = 6$. Det er ikke fordi, der er så meget at huske, vel 45 summer og 36 produkter eller 31 primopløsninger.

Der er vi faktisk heldige. I oldtidens Assyrien og Babylon et par tusinde år før vor tidsregning havde man et positionssystem med grundtallet 60, – vi bruger stadig de første to hexagesimaler i tidsregningen kaldet minutter og sekunder. Så den lille tabel for 4000 år

siden gik fra $2 \times 2 = 4$ til $59 \times 59 = 3481$ ialt – ja

$$\frac{58 \times 59}{2} = (30 - 1) \times (60 - 1) = 1801 - 90 = 1711$$

produkter at huske.

Den store tabel

At gange et tiertal med et enertal, f.eks. 7×17 , er det svært at gøre meget lettere. Resultatet som $70 + 49 = 119$ er det lidt svært at nå nemmere. Men med primopløsning er der lejlighedsvis genveje, $9 \times 18 = 9 \times 9 \times 2 = 81 \times 2 = 162$. Så snart vi når op på to af tierne, er der lidt hjælp at hente. Den lille omskrivning

$$(10 + x)(10 + y) = (10 + x + y)10 + xy$$

gør stor nytte. F.eks.

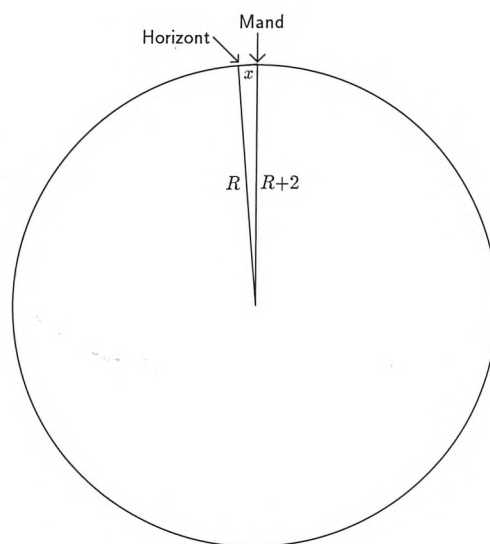
$$13 \times 19 = (13 + 9)10 + 3 \times 9 = 220 + 27 = 247$$

$$17 \times 19 = (17 + 9)10 + 7 \times 9 = 260 + 63 = 323$$

Så den store tabel behøver man ikke at anstrenge sig for at lære.

Uden lommeregner

Lad os tænke os en mand på stranden i badebukser og derfor uden lommer til lommeregneren eller mobiltelefonen. Han står nu og funderer over, hvor langt horisonten mon er væk. Det kan han da sagtens regne ud i hovedet!



Figur 1.

Det første problem er, at han ikke kan huske Jordens radius.

Det er der råd for, for den gamle definition af en meter er ikke helt skæv: En ti milliontedel af afstanden fra ækvator til nordpolen. Med andre ord: Jordens omkreds er 40000 km – pr. definition! Og vi kan godt bruge $\pi = \frac{22}{7}$ i en snæver vending, så Jordens radius er sådan cirka

$$R = \frac{7 \times 20000}{22} = \frac{70000}{11} = 6363$$

i hele km. Pythagoras på trekanten giver en ligning med x som afstanden til horisonten, idet vi regner mandens højde til ca. 2 m:

$$R^2 + x^2 = \left(R + \frac{2}{1000}\right)^2 = R^2 + \frac{4R}{1000} + \frac{4}{1000000}$$

Nu regner vi med, at kvadratet $\frac{4}{1000000}$ er nærmest ingenting, og da de to kvadrater på R går ud, får vi:

$$x^2 = \frac{4R}{1000} = \frac{4 \times 6363}{1000} = 25.4 \dots$$

Så vi må finde afstanden til lidt større end 5 km. Hvor meget? Jo, vi kan godt komme nærmere, hvis vi lægger lidt til 5, får vi jo kvadratet

$$(5 + \epsilon)^2 = 25 + 10 \times \epsilon + \epsilon^2$$

så hvis det sidste kvadrat er meget lille, kan vi sætte $\epsilon = 0.04$ og dermed afstanden til horisonten i km til

$$5.04$$

Hvad har vi egentlig regnet? Delt 70 med 11 og ganget 636 med 4.

Nogle nyttige formler

Et par algebraiske formler er uhyre anvendelige. Den ene er kvadratet på en toleddet størrelse, som vi lige har brugt ovenfor, den anden er produktet af sum og differens af de samme to tal. Formlerne:

$$\begin{aligned}(x + y)^2 &= x^2 + 2xy + y^2 \\ (x + y)(x - y) &= x^2 - y^2\end{aligned}\quad (1)$$

Eksempel:

$$7 \times 13 = (10 - 3)(10 + 3) = 100 - 9 = 91$$

Den anden formel gør også nytte til beregning af kvadrater, derfor skriver vi den også på formen:

$$x^2 = y^2 + (x + y)(x - y)$$

Eksempler:

$$\begin{aligned}23^2 &= 3^2 + (23 - 3)(23 + 3) = 9 + 20 \times 26 \\ &= 9 + 520 = 529 \\ &= 60^2 + (59 + 60)(59 - 60) = 3600 - 119 \\ &= 3481\end{aligned}$$

For $y = 1$ kan man specielt bemærke formen

$$(x + 1)^2 = x^2 + 2x + 1 = x^2 + x + (x + 1)$$

der også fås ved at sætte $x = y + 1$ i den anden formel.

Eksempler:

$$21^2 = 20^2 + 20 + 21 = 400 + 41 = 441$$

$$22^2 = 21^2 + 21 + 22 = 441 + 43 = 484$$

Kvadrattal

Tal, der ender på 5, er særlig nemme at kvadrere,

$$\begin{aligned}(10x + 5)^2 &= 5^2 + (10x + 5 - 5)(10x + 5 + 5) \\ &= 25 + x(x + 1)100\end{aligned}$$

F.eks. er

$$25^2 = 25 + 2 \times 3 \times 100 = 625$$

$$85^2 = 25 + 8 \times 9 \times 100 = 7225$$

$$125^2 = 25 + 12 \times 13 \times 100 = 15625$$

Kvadrattallene kan ellers nemt udregnes ved at relatere dem til 50 eller 100. Formlerne

$$\begin{aligned}(50 + x)^2 &= 2500 + x \times 100 + x^2 \\ &= (25 + x) \times 100 + x^2 \\ (100 + x)^2 &= 10000 + 2x \times 100 + x^2 \\ &= (100 + 2x) \times 100 + x^2\end{aligned}$$

kan bruges, hvis man først har udregnet de små kvadrater. Men dem finder man jo særlig let som i den store tabel, f.eks.

$$18^2 = 260 + 64 = 324$$

eller ved at gå ud fra 20 som ovenfor eller 25, f.eks.

$$23^2 = (25 - 2)^2 = 625 - 100 + 4 = 529$$

$$23^2 = (25 - 2)^2 = 625 - 100 + 4 = 529$$

$$9^3 = 27^2 = (25 + 2)^2 = 625 + 100 + 4 = 729$$

Formlerne ovenfor giver f.eks.

$$54^2 = (25 + 4) \times 100 + 4^2 = 2916$$

$$26^2 = (25 - 24) \times 100 + 24^2 = 100 + 576 = 676$$

$$37^2 = (25 - 13) \times 100 + 13^2 = 1200 + 169 = 1369$$

$$92^2 = (100 - 16) \times 100 + 8^2 = 8464$$

$$86^2 = (100 - 28) \times 100 + 14^2 = 7200 + 196 = 7396$$

$$\begin{aligned}117^2 &= (100 + 34) \times 100 + 17^2 = 13400 + 289 \\ &= 13689\end{aligned}$$

Mere generel formel

Formlerne ovenfor kan generaliseres til følgende nyttige omregning, der allerede er benyttet til den store tabel:

$$(a+b)(a+c) = (a+b+c)a + bc$$

Det er klart, at for $b = c$ og $b = -c$ får vi de i (1) nævnte. Denne formel bruges med et godt valg for a , f.eks. et multiplum af 10 eller 100.

$$23 \times 29 = 32 \times 20 + 3 \times 9 = 640 + 27 = 667$$

$$23 \times 29 = 22 \times 30 + (-7)(-1) = 660 + 7 = 667$$

$$37 \times 34 = 41 \times 30 + 7 \times 4 = 1230 + 28 = 1258$$

$$37 \times 34 = 31 \times 40 + (-3)(-6) \\ = 1240 + 18 = 1258$$

$$106 \times 97 = (100 + 6 - 3) \times 100 + 6 \times (-3) \\ = 10300 - 18 = 10282$$

$$705 \times 694 = (700 + 5)(700 - 6) = 699 \times 700 - 30 \\ = 490000 - 700 - 30 = 489270$$

$$12^3 = 36 \times 48 = (40 - 4)(40 + 8) \\ = 44 \times 40 - 4 \times 8 = 1760 - 32 = 1728$$

Krydsproduktet

Det almindelige tilfælde kan lettes ved det såkaldte krydsprodukt. Tallene tænkes stillet op det ene under det andet:

$$\begin{array}{ccc} x & & y \\ | & \times & | \\ z & & w \end{array}$$

Man danner nu produkterne $xz \times 100$ og yw , der tænkes som et 4-cifret tal. Derefter dannes summen $xw + yz$, der ganges med 10 og lægges til. F.eks.

$$63 \times 46 = 2418 + (6 \times 6 + 3 \times 4)10 \\ = 2418 + (36 + 12)10 = 2418 + 480 = 2898$$

$$36 \times 48 = 1248 + (3 \times 8 + 6 \times 4)10 \\ = 1248 + 480 = 1728$$

Hvis $x = z$ eller $y = w$, er det lettere at udregne.

$$34 \times 37 = (900 + 28) + 3(4 + 7)10 \\ = 928 + 330 = 1258$$

$$63 \times 43 = (2400 + 9) + 3(6 + 4)10 \\ = 2409 + 300 = 2709$$

At jonglere med mange tal

Det fortælles om den senere så berømte matematiker Carl Friedrich Gauß (1777–1855), at hans lærer i første klasse for at beskæftige ham bad ham lægge tallene fra 1 til 100 sammen. Gauß gav straks summen 5050.

Han så dem for sig, forfra og bagfra:

$$\begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & \dots & 99 & 100 \\ 100 & 99 & 98 & \dots & 2 & 1 \end{array}$$

Vi ser, at der er 100 summer af hver 2 tal, der alle giver 101. Så det dobbelte af den søgte sum er 10100. Den almindelige formel er

$$1 + 2 + \dots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

Hvis vi nu tilsvarende ser på summer af kun ulige tal, så er jo

$$1 + 3 = 4, \quad 4 + 5 = 9, \quad 9 + 7 = 16, \quad 16 + 9 = 25$$

altså lutter kvadrattal. Er det altid rigtigt?

Gør vi som Gauß, kan vi jo skrive summen af de første n ulige tal forfra og bagfra

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 3 & 5 & \dots & 2n-3 & 2n-1 \\ 2n-1 & 2n-3 & 2n-5 & \dots & 3 & 1 \end{array}$$

og se, at der er n summer af hver to tal, med summen $2n$. Den dobbelte sum er altså $2n^2$.

Man kender formler af den art for alle potenssummerne. For summen af kvadraterne gælder formelen

$$1 + 2^2 + 3^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

F.eks. er

$$1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36 = \frac{6 \times 7 \times 13}{6} = 91$$

og for kubiksummerne gælder en sjov formel; da jo

$$1 + 8 = 9, \quad 9 + 27 = 36, \quad 36 + 64 = 100,$$

$$100 + 125 = 225, \quad \dots$$

alle er kvadrattal, kan man spørge, om det er et tilfælde. Men formelen er

$$1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3 = \left(\frac{n(n+1)}{2} \right)^2$$

For $n = 6$ får vi altså, idet $6^3 = 12 \times 18 = 216$, $225 + 216 = 441 = 21^2$.

Bemærk den skøre formel,

$$(1 + 2 + \dots + n)^2 = 1^3 + 2^3 + 3^3 + \dots + n^3$$

Produktet af de 10 mindste primtal

Det er hovedregning at beregne produktet af de 10 mindste primtal. Altså:

$$2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 \times 17 \times 19 \times 23 \times 29$$

Lad os dele problemet op i små bekvemme grupper:

$$\begin{aligned}2 \times 5 \\ 7 \times 11 \times 13 \\ 17 \times 19 \\ 23 \times 29 \times 3\end{aligned}$$

Den første er inden for den lille tabel, $2 \times 5 = 10$. Lad os benytte vores metoder til de andre. Først er jo $7 \times 13 = 91$. Derefter er $91 \times 11 = 901 + 100 = 1001$. De næste husker vi $17 \times 19 = 323$ og $23 \times 29 = 667$.

Med andre ord, vi har uden større besvær

$$\begin{aligned}2 \times 5 &= 10 \\ 7 \times 11 \times 13 &= 1001 \\ 17 \times 19 &= 323 \\ 23 \times 29 \times 3 &= 667 \times 3\end{aligned}$$

Så vore produkt er blevet til

$$10 \times 1001 \times 323 \times (667 \times 3)$$

Disse 4 tal må man have i hovedet, men det er nok muligt. Vi kan jo tænke på det sidste tal som ca. to trediedele af 1000. Det er uhyre bekvemt, vi finder simpelthen

$$3 \times 667 = 3 \times \left(\frac{2}{3} \times 1000 + \frac{1}{3} \right) = 2 \times 1000 + 1 = 2001$$

Med andre ord en lige så nem faktor som de 1001. Produktet af disse to er også til at holde i hovedet, det er jo

$$1001 \times 2001 = 2003001$$

Når vi nu ganger med faktoren, 323, er vi særlig heldige, at cifrene er små og deres antal kun tre. Så vi får simpelthen

$$323 \times 2003001 \times 10 = 6469693230$$

Altså siger vi seks milliarder, fire hundrede og ni og tres millioner, seks hundrede og tre og halvfems tusinde, to hundrede og tredive.

Delelighed med primtal

Det første delelighedsproblem er deling med 7. Tallene 2, 3 og 5 går ved endelse eller tværsum. Men hvad med 7?

Sætningen siger, at et tal af formen $a \times 10 + b$ er deleligt med 7, netop når tallet $a - 2 \times b$ er deleligt med 7.

Det trick, vi benytter, virker for alle primtal. Vi søger for 7, 11, 13, 17, 19 osv. et multiplum, der er 1

fra et tal, der er deleligt med 10. Vi finder uden videre:

$$\begin{aligned}3 \times 7 &= 21 \\ 1 \times 11 &= 11 \\ 3 \times 13 &= 39 \\ 3 \times 17 &= 51 \\ 1 \times 19 &= 19 \\ 3 \times 23 &= 69 \\ 1 \times 29 &= 29\end{aligned}$$

Vi kan trække fra og lægge til uden at ændre på, om primtallet går op, og bemærker, at faktoren 10 hverken kan gøre fra eller til, når det drejer sig om, at et primtal forskelligt fra 2 og 5 skal gå op. Så hvert af tallene er delelige med det betragtede primtal, netop når den sidste parentes er det:

$$\begin{aligned}10a + b - 21b &= 10a - 20b = 10(a - 2b) \\ 10 + b - 11b &= 10a - 10b = 10(a - b) \\ 10a + b + 39b &= 10a + 40b = 10(a + 4b) \\ 10a + b - 51b &= 10a - 50b = 10(a - 5b) \\ 10a + b + 19b &= 10a + 20b = 10(a + 2b) \\ 10a + b + 69b &= 10a + 70b = 10(a + 7b) \\ 10a + b + 29b &= 10a + 30b = 10(a + 3b)\end{aligned}$$

Eksempler:

7 :	(-2)	1001	$100 - 2 = 98$	$9 - 16 = -7$
11 :	(-1)	1001	$100 - 1 = 99$	$9 - 9 = 0$
13 :	(+4)	1001	$100 + 4 = 104$	$10 + 16 = 26$
17 :	(-5)	323	$32 - 15 = 17$	
19 :	(+2)	323	$32 + 6 = 38$	$3 + 16 = 19$
23 :	(+7)	667	$66 + 49 = 115$	$11 + 35 = 46$
29 :	(+3)	667	$66 + 21 = 87$	$8 + 21 = 29$

For 11 fører det til den generelle regel, at 11 går op, når det går op i den alternerende tværsum, altså summen af hvert andet ciffer minus summen af de øvrige cifre.

Nim

I dette tændstikspil går det ud på at være den sidste, der trækker. Man har forelagt nogle bunker med tændstikker, og man må så fjerne mindst én fra én bunke. Man må gerne fjerne hele bunken. Bunkerne med 27, 23, 22 og 15 tændstikker ordnes som:

Figur 2.

Da der er et ulige antal 16-grupper, vælger vi en af de bunker, der er større end 16. Da der er et ulige antal 4-grupper, må vi fjerne 4, hvis der er 4, eller tilføje 4, hvis der mangler 4. Tilsvarende for 1-grupperne. Det giver os de tre mulige vindende træk fra denne position i spillet nim.

Her er regnestykket for at vinde at skrive antallet af tændstikker i hver bunke i 2-talsystemet og lægge disse tal sammen med den specielle regel, at $1 + 1 = 0$. Hvis summen er 0, kan man kun vinde, hvis modspilleren gør en fejl. Hvis summen er forskellig fra 0, kan man vinde ved at gøre et træk, der får summen til at blive 0. Denne strategi virker, fordi det aldrig er muligt at føre en sum på 0 til en anden sum på 0 i et træk.

27	=	1	1	0	1	1
23	=	1	0	1	1	1
22	=	1	0	1	1	0
15	=	0	1	1	1	1
sum	=	1	0	1	0	1

Vi finder summen $16 + 4 + 1 = 21$. Vi kan altså vinde ved at fjerne 21 tændstikker fra anden bunke, der har 23. Men det nytter ikke at fjerne 21 fra første eller tredje bunke! Hvis vi skal fjerne nogen fra første bunkes 27, skal vi fjerne 16, tilføje 4 og fjerne 1, altså fjerne ialt 13! Og skal vi fjerne nogen fra den tredje bunke, skal det være 16 og 4, men vi skal tilføje 1, så vi skal ialt fjerne 19.

En måde at regne på, er at lægge 3 af bunkerne sammen for at se, hvor stor den fjerde skal være for at give sum 0. Summen af de 3 nederste er $1110 = 8 + 4 + 2 = 14$, så vi skal reducere første bunke til 14 dvs. fjerne $27 - 14 = 13$. Summen af første og de to sidste er $10 = 2$, så vi skal reducere anden bunke til 2, altså fjerne $23 - 2 = 21$. Summen af de to første og den sidste er $11 = 2 + 1 = 3$, så vi skal reducere tredje bunke til 3, altså fjerne $22 - 3 = 19$ fra tredje bunke. Men

summen af de tre første er $11010 = 16 + 8 + 4 = 28$ og det er flere, end der er i fjerde bunke. Så den kan vi ikke bruge.

Josephus problemet

Det fortælles, at efter Jerusalems ødelæggelse i år 70 e. v. t. havde den jødiske forfatter Josephus sammen med 40 andre jøder søgt tilflugt i en kælder. Alle undtagen Josephus selv og en af hans venner ville ved den lejlighed begå selvmord, fordi de hellere ville dø end falde i romernes hænder. Josephus, som vægrede sig ved åbenlyst at indrømme, at han ikke ønskede at dø, foreslog, at man stillede sig på en lang række, og at hver anden, som derefter blev talt ud, skulle gå i døden frivilligt. Forslaget blev vedtaget, og Josephus og hans ven reddede sig ved at blive de to sidste, der blev talt ud. Her havde Josephus virkelig brug for hovedregning!

Nu er det jo nemt nok at tælle sig frem til, på hvilke pladser de to skulle stille sig, hvilke er det for resten? Svaret er 19 og 35.

Men hvad er den almindelige formel, hvis der er n personer på række der tæller 1–2 og lader hver anden gå ud af legen, hvem er da den sidste i spil?

Hvis antallet af deltagere er en potens af 2, altså $n = 2^m$, så vil nr. 1 være den sidste. For efter at man er løbet rækken en gang igennem, står nr. 1 stadig som nr. 1, mens der nu er 2^{m-1} deltagere tilbage, så situationen er som før, blot med halvt så mange deltagere.

Hvis antallet af deltagere er $k < 2^m$ større end 2^m , altså $n = 2^m + k$, så vil den, der har nr. $2k + 1$ være den sidste. Thi, når vi har talt til to og udeladt nr. 2, så er der jo $k - 1$ flere end 2^m , mens den udvalgte nu har fået nyt nummer $2k + 1 - 2 = 2(k - 1) + 1$. Det går, indtil vi har udskilt k af deltagerne. Så er vi i den situation, at der er 2^m deltagere og vor udvalgte er på plads nr. 1 som ovenfor. F. eks. Josephus oprindelige problem med 41 deltagere. Da $41 = 32 + 9$, er vort $k = 9$, så den sidste bliver nr. $19 = 2 \times 9 + 1$. Den næstsidste er forskudt 16 pladser fra den sidste.



Mogens Esrom Larsen, er lektor ved Matematisk Institut, Københavns Universitet og medlem af Kvants redaktion.

Horisontens afstand og skatteprocenter

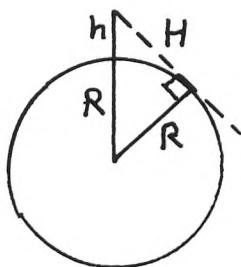
Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

I sidste nummer af KVANT bragte vi opgaverne (nr. 12 og 13):

Hvor langt væk er horisonten? – og

Hvordan afhænger den samlede beskatningsprocent af arbejdsmarkedsbidraget, indkomstskatteprocenten og størrelsen af momsen?

Den første opgave kan regnes ved at betragte figuren nedenfor.



Vi lader H være afstanden til horisonten, R er Jordens radius og h udsigtspunktets højde over jordoverfladen. Ved brug af Pythagoras sætning fås nu:

$$H = \sqrt{(h + R)^2 - R^2} \approx \sqrt{2Rh} \quad (1)$$

Indsættes $R = 6000$ km og $h = 2$ m i denne horisontformel fås f.eks. at horisonten er ca. 5 km væk. Medens horisonten for $h = 32$ m (dvs. set fra f.eks. toppen af Rundetårn fremfor set fra strandbredden) er 4 gange længere væk. Altså ca. 20 km væk. I artiklen side XXX vises i øvrigt, hvordan man kan regne opgaven uden at kende R og uden brug af lommeregner.

I den anden opgave kalder vi procenten, der betales i arbejdsmarkedsbidrag, for a . Dermed er der af en indtægt I beløbet $I(1 - a/100)$ tilbage, når arbejdsmarkedsbidraget er betalt. Med indkomstskatteprocenten i er der herefter beløbet $I(1 - a/100)(1 - i/100)$ tilbage, når indkomstkatten også er betalt. For dette beløb kan der med en momsprocent på m købes varer til en værdi før moms, V , givet ved:

$$I(1 - a/100)(1 - i/100) = V(1 + m/100) \quad (2)$$

Den samlede beskatningsprocent, s , må per definition være:

$$s = ((I - V)/I)100 \quad (3)$$

Kombineres de to ligninger fås:

$$s = (a(1 - i/100) + i + m)(100/(100 + m)) \quad (4)$$

som formelen for den samlede beskatningsprocent som funktion af arbejdsmarkedsbidragsprocent, indkomstskatteprocent og momsprocent. Af formelen kan f.eks. udregnes, at $s = 64$ for $a = 10$, $i = 50$ og $m = 25$ (og ikke f.eks. $85 = a + i + m$).

Kommentar

Hvis undervisning afsluttes med en krævende eksamen, som det er tilfældet med breddekurset på RUC, er det velkendt, at de studerendes læringsstrategi typisk vil rette sig imod at bestå eksamen på tværs af undervisningsafholdelsen og dens erklærede mål. F.eks. har Arne Jacobsen i samarbejde med forskellige kursusholdere på DTU undersøgt sammenhængen mellem, på den ene side de studerendes præstationer ved de sædvanlige skriftlige kursusprøver, og på den anden side nogle efterfølgende skriftlige prøver alene tilrettelagt med henblik på at undersøge de studerendes forståelser og kompetencer, svarende til undervisernes opfattelser af målene med undervisningen. Resultatet var, at de, der klarede sig dårligt i første omgang også klarede sig dårligt i anden omgang. Men der var også en meget stor gruppe, der klarede sig dårligt ved de kompetenceorienterede prøver i anden omgang, selvom de havde klaret sig godt ved de mere pensumbeherskelsesorienterede prøver i første omgang. Undersøgelsen dokumenterede således, at en meget stor andel af de studerende evnede at lære at bestå de sædvanlige eksaminer uden at leve op til hensigten med undervisningen. Og at det er illusorisk ikke at tage højde for eksaminernes helt afgørende tilbagevirkning på undervisningsudbyttet.

På fysikuddannelsen på RUC har vi – ved de såkaldte dybdekurser – også det, jeg her har kaldt sædvanlige pensumbeherskelsesorienterede skriftlige eksaminer. Men på breddekurset har vi vovet at lægge eftertrykket på afprøvning af kompetencer frem for på pensumbeherskelse ved den skriftlige eksamen. Og vi har indrettet undervisningen, således at der er en tæt sammenhæng mellem eksamen, undervisning og undervisningsmål. Kursets mål annonceres primært at være “at lære at tænke som fysikere”, sekundært “at lære noget fysik i bredden”. “Pensum” er i højere grad samlingen af opgaver fra tidligere eksaminer end det er en emneliste eller en bogopgivelse, således at lærebogen er et blandt flere mulige hjælpemidler. Og vi har gode erfaringer med både de studerendes udbytte af kurset og deres tilfredshed med det gennem mere end 20 år. Kurset anses for svært, men det har et godt omdømme, fordi vanskelighederne i det regnes for relevante. Og fordi der er god lærerstøtte på de små kursushold med typisk mellem 10 og 20 deltagere.

For at sikre de studerendes oplevelse af både kurset og eksamen som relevant fra starten har det ved hver kursusafholdelse fra starten været afgørende at gå i dialog med deltagerne om, hvad der er kursets sigte. Det er ikke uden videre nemt. Det er selvfølgelig nemt nok at fortælle, at det går ud på at lære dem "at tænke som fysikere". Lige så nemt som det f.eks. er at sige, at et kursus drejer sig om at lære "elektrodynamik". Men hvis det ikke skal lyde som en tom frase, stiller "at tænke som fysikere" som programmerklæring større krav til uddybning af, hvad der menes, end f.eks. programmerklæringen "elektrodynamik". Uddybningen er da, at de studerende har "lært at tænke som fysikere", når de kan regne eksamensopgaverne. Og at eksamensopgaverne efter bedste evne løbende udarbejdes i overensstemmelse hermed. Hvilket bl.a. er forsøgt tydeliggjort ved kontrasten til mere sædvanlige skriftlige fysikeksamensopgaver gennem et sæt udfoldede og formaliserede opgaver, der modsvarer 12 af de åbent formulerede breddeopgaver. To eksempler på breddeopgaver med modsvarende udfoldninger har været trykt i henholdsvis KVANT nr. 3, oktober 2000, og KVANT nr. 1, april 2001.

De to opgaver, der her er præsenteret som bredde-modulopgave 12 og 13 i serien her i KVANT, er som sagt ikke tidligere eksamensopgaver. De er to ud af en halv snes tilsvarende opgaver, som jeg, når det er mig, der har holdt kurset, har konfronteret kursusedtagerne med den første kursusgang som endnu et bidrag til dialogen om hensigten med kurset (udover sættet af

udfoldede opgaver og selve breddeopgavesamlingen). Denne halve snes opgaver er mindre teknisk forudsætningskrævende end de typiske breddeopgaver. Samtidig rækker de emnemæssigt ud over fysik, som de to her, hvor det jo drejer sig om geometri og økonomi. Meningen er for det første at signalere, at kompetencen "at kunne tænke som fysikere" som en afgørende ingrediens involverer evnen til gennem idealisering og formalisering at transformere åbne problemer til matematiske beregningsproblemer. For det andet skal opgaverne signalere, at en sådan matematificeringskompetence, som vil være påkrævet for at bestå eksamen, har et bredere anvendelsesperspektiv end fysik, selvom fysik er et af de bedre øvelsesterræner til at opøve matematificeringskompetencen i.

Magnetiske dipoler og monopoler

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne overveje løsningen til denne opgave (nr. 14):

Når et stof med permanente atomare magnetiske dipolmomenter anbringes i feltet mellem polerne i en elektromagnet, forstærker ensretningen af dipolerne feltet. Hvad skulle vi forvente, hvis de atomare magnetiske dipoler skyldtes par af henholdsvis nordpols- og sydpols- magnetiske monopoler og ikke kredsende ladninger? Begrund svaret.

Løsning og kommentarer til opgaven bringes i næste nummer af bladet.

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening

Hjemmeside: www.dgf.gfy.ku.dk

Geofysisk Afdeling
Juliane Maries Vej 30
2100 København Ø
E-mail: dgf@gfy.ku.dk

Karen Guldbæk Schmidt (formand) (kgs@gfy.ku.dk)
Tlf: 35 32 05 22

Kristian Keller (formand) (krk@kms.dk)

Lennart Sorth (Lennart.Sorth@uni-c.dk)

Lars Stenseng (las@kms.dk)

Anders Svensson (kasserer) (as@gfy.ku.dk)

Geofysikdagen afholdes fredag den 31. oktober 2003 kl. 10–23. Se annoncen på bagsiden.

Magnetometri for riddere og vikinger

Ved DGF's juleafslutning, tirsdag den 2. december 2003 kl. 19.00, vil Ulrich Schnell fra Alfheim Arkæometri holde en forelæsning om "Magnetometri for riddere og vikinger".

Gennem de senere år har geofysiske metoder vundet mere og mere indpas i de arkæologisk forundersøgelser. Særligt magnetometri har vist sig anvendelig. Spektakulære eksempler fra de senere år vil blive vist. Et samarbejde mellem kulturarvsstyrelsen, Nationalmuseet og Alfheim Arkæometri har haft til formål at kortlægge muligheder og begrænsninger på feltet. Borge, slotte, vikingehandelspladser, bopladser, grave og meget mere er blevet brugt og misbrugt til at finde metodens problemer og forsøge at løse dem.

Begge arrangementer foregår i Auditoriet på Geofysisk Afdeling, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø, og alle er velkomne (til Geofysikdagen kræves tilmelding).

Geofysikdag 2003

Heldagsarrangement med studenterpræsentationer, postersession, virksomhedsmesse, fredagsbar og festforedrag ved Henning Haack, Geologisk Museum.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab

Hjemmeside: AS.dsri.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre

E-mail: mq@dsri.dk
Tlf. 36 72 36 34 (priv.) / 43 58 69 47 (arb.)

Hans Sørensen (kasserer)
Stavsholtvej 32
3520 Farum

E-mail: hans-soh@post1.tele.dk
Tlf. 44 95 11 79



Fem år med *Very Large Telescope*

I maj 1998 blev det første af VLT's fire kæmpeteleskoper taget i brug. Siden er der de tre søsterteleskoper og en række højt avancerede måleinstrumenter også kommet på banen. I efterårets foredragssække vil danske astronomer fortælle om VLT's udvikling fra idé til storproducent af ny viden, belyst gennem deres egne projekter på det europæiske superteleskop. Johannes Andersen har holdt det første foredrag om "Kæmpeteleskoper i dag og i morgen" og de efterfølgende foredrag er:

- Michael Andersen:
Observationerne af gamma-glimt
København 6. oktober
Århus 20. oktober
- Birgitta Nordström:
Radioaktiv datering af stjerner
København 27. oktober
Århus 3. november
- Johan Fynbo:
Fjerne galakser, Ly_α -systemer
København 17. november
Århus 24. november
- Lisbeth Fogh Olsen:
Fjerne galaksehobe
København 8. december
Århus 15. december

I København holdes foredragene på Tycho Brahe Planetarium, Gammel Kongevej 10, 1610 København V. I Århus holdes foredragene på Matematisk Institut, Aarhus Universitet, Bygning 530, 8000 Århus C. Begge steder holdes foredragene mandage kl. 19:15.

Foredragene er arrangeret af en arbejdsgruppe bestående af Michael Linden-Vørnle, Michael Quaade,

Kristian Pedersen og Bjarne Thomsen. Gruppens arbejde fortsætter med en langsigtet planlægning af foredragsserierne for de kommende år.

Som hidtil afholdes foredragene i samarbejde med Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet. Der er gratis adgang for Astronomisk Selskabs og Tycho Brahe Planetariums medlemmer.

Solteleskop ved Wieth-Knudsen Observatoriet

Astronomisk Selskabs dobbelte solteleskop har fået ny permanent opstilling ved Wieth-Knudsen Observatoriet.

Solteleskopet består af to 60mm Unitron linsekikkerter på en fælles opstilling. De to teleskoper er forsynet med hver sit filter til solobservation. Filtrene er et traditionelt fuldspektrum filter, der blot dæmper sollyset og et H_α smalbandsfilter. Sidstnævnte lader kun lys indenfor et ganske smalt bølglængdeinterval passere. Det gør det muligt at se detaljerede strukturer på soloverfladen, som ikke kan ses på anden måde. Ved solranden ses ofte protuberanser på baggrund af himlen, der er helt mørk i H_α lys.

HA filtret er et *Coronado Solar Max* filter. Det består af tre dele. Forrest er anbragt et filter til at fjerne det meste af energien i solstrålingen. Herfter er der et Fabry-Perot etalon interferensfilter, der slipper et stort antal meget snævre bølglængdeintervaller igennem. Hver af disse intervaller er kun 0,07 nm brede og de optræder spredt over hele spektret. Filteret er konstrueret, så et af disse intervaller ligger ved H_α spektralliniens bølglængde på 656,3 nm. Begge disse filtre er anbragt foran objektivet. Det tredje filter blokerer for alle etalon filtrets intervaller undtagen det ved H_α spektrallinien. Det er anbragt i en diagonal lige foran okularet.

Dobbeltteleskopet er placeret på en fyrrestub ved hjælp af en stålplatform, som er fremstillet til det 20cm Meade LX3 teleskop, som stod under observatoriets kuppel indtil vi fik 40cm teleskopet leveret i november 2002. Når teleskopet ikke er i brug, opbevares det i et nyindrettet computer- og depotrum i observatoriebygningen. Det monteres i løbet af få minutter på platformen ved hjælp af nogle få bolte.

Der er udsigt til Solen fra fyrrestubben hele eftermiddagen. Solteleskopet kan også placeres på en Meade trefod, hvis det skal opstilles andre steder.

Vi har i skrivende stund ikke fastlagt tidspunkter for alment tilgængelige solobservationer, men interesserede kan henvende sig til en af kontaktpersonerne:

George Callum Crichton, tlf. 4870 2636 (clan@privat.dk), Michael Quaade, tlf. 3672 3634 (mq@dsri.dk) eller Paul Elmo Pedersen, tlf. 3967 9760 (paul.elmo.pedersen@skolekom.dk).

Kvantiseret wobbling i atomkernen

Gudrun B. Hagemann og Ikuko Hamamoto, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Afhængig af antallet af protoner og neutroner vil nogle atomkerner være sfæriske (kugleformede) i deres grundtilstand, mens andre er deformerede. Formen har at gøre med kernernes skalstruktur. Kernernes deformation er en nødvendig betingelse for, at man kan beskrive dem som et kvantemekanisk mangepartikelsystem med kollektiv rotation, mens symmetrien i deformationen bestemmer kvantetallene hørende til rotationens struktur. Denne artikel omhandler påvisning af kvantiseret wobbling, en unik bevægelsesform med excitation af den fulde frihedsgrad for rotation af en triaksial kerne. Hermed er der nu et klart bevis for, at kerner kan have en form, hvor også den aksiale symmetri er brudt.

Rotation

Rotation spiller en rolle på mange skalaer i naturen, fra galakser til molekyler – og atomkerner. Eksistensen af mørkt stof i universet blev f.eks. først foreslået grundet i manglende forståelse af sammenhængen mellem galaksers rotationshastighed og afstand til galaksens centrum. Et aktuelt eksempel er nogle binære galaktiske røntgenkilder, hvor energien til Røntgenemissionen tages fra rotationsenergien af den hurtigt snurrende og stærkt magnetiserede neutronstjerne [1]. I molekyler kendes kollektive excitationer som både rotation og vibration, og de har grundlæggende betydning for stoffernes termiske egenskaber. Det er dog ikke alle kvantemekaniske systemer, som kan udvise rotation.

Atomkernen

Atomkerner er vores materielle verdens og også vores (menneskenes) byggesten. De er opbygget af et antal nukleoner, neutroner og protoner, som har næsten identiske masser. Protoner har en positiv ladning af samme størrelse som elektronens negative ladning. Neutronen har ingen ladning, den er neutral. Kernens ladning er givet af antallet af protoner, og i det neutrale atom er den omgivet af et lige så stort antal elektroner. Antallet af protoner i en atomkerne bestemmer dens atomnummer og dermed dens plads i det periodiske system, som ordner alle atomkerner efter stigende atomnummer. Kerner med samme prototal, Z , kan findes med forskellige antal neutroner og dermed danne forskellige isotoper af samme grundstof. Sådanne isotoper er identiske i deres kemiske egenskaber, som bestemmes af de omgivende elektroner, hvorimod de fysiske egenskaber, der har at gøre med kernens indre struktur, kan udvise markante forskelle.

I naturen findes alle de stabile isotoper af grundstofferne, fra den letteste kerne, brint, med $Z = 1$ op til uran med $Z = 92$. Herudover kendes et stort antal af

ustabile isotoper, med middellevetider, som bliver kortere og kortere, jo mere neutrontallet fjerner sig fra de stabile isotoper. Kerner med $Z > 92$ er ustabile på grund af konkurrencen mellem de korttrækkende kernekræfter og den stigende elektrostatiske frastødning mellem de mange protoner.

En særlig parkraft har betydning for bindingsenergien i lige og ulige proton- eller neutronsystemer. Der findes færre stabile kerner med ulige-lige og lige-ulige end lige-lige proton-neutron antal, og yderst få som har et ulige antal af både protoner og neutroner.

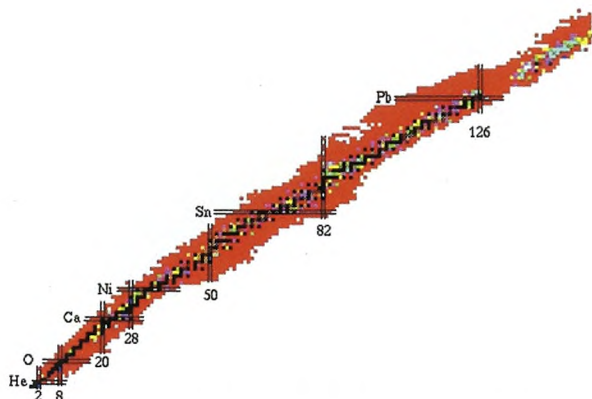
Stabilitet – skalstruktur – symmetrier

Nukleonerne er små partikler, fermioner. De kan betragtes som små snurretoppe med et såkaldt spin af størrelsen $1/2$ i enheder af $\hbar = h/2\pi$, hvor h er Plancks konstant.

Mellem nukleonerne virker de stærke tiltrækkende kernekræfter over meget korte afstande, nogle få fermi, (10^{-15}m), som omtrent er nukleonernes udstrækning, og nukleonerne bindes sammen i kernerne, styret af kvantemekanikkens love. At kernerne ikke kolliderer skyldes, at de stærke kernekræfter ved endnu kortere afstande ($< 1/2$ fermi) er stærkt frastødende. Kernestoffet er fordelt jævnt over kernen. Dette gælder for alle kerner udover de allerletteste, hvor kernens overflade er stor i forhold til dens volumen, samt for kerner med et stort overskud af neutroner eller protoner. Den meget korte rækkevidde af den stærke kernekræft sammenlignet med middelfaststanden mellem nukleonerne får kernestoffet til at opføre sig nærmest som en kvantevæske. Dette er baggrunden for, at nukleonerne i mange sammenhænge bevæger sig som uafhængige partikler, selv om de er sammenholdt af den stærke kernekræft.

Som det også kendes fra organiseringen i forskellige skaller af elektronerne, der omgiver kernen, udviser kernens neutroner og protoner en skalstruktur, hvor enkelt-partikel energi-niveauerne danner bundter afhængigt af antallet af partikler. Dette medfører en særlig stabilitet ved bestemte antal af protoner og neutroner, som har fået benævnelsen “magiske tal”. I sådanne antal organiseres nukleonerne i en kugleformet skalstruktur, hvilket giver størst mulig bindingsenergi og dermed stabilitet. Dette kan ses som en analogi til kemiens “ædle gasser”, med den forskel at elektronerne er bundet i atomerne af den positive ladning fra kernen, hvorimod nukleonernes bevægelsesmønster i kernen styres af et middelfelt dannet af alle nukleonerne tilsammen igennem deres indbyrdes vekselvirkning. Mens bindingsenergieerne for atomer er af størrelsesorden elektronvolt, eV, måles kernernes bind-

ingsenergier i MeV (10^6 eV), svarende til at der mellem størrelserne af de to systemer også er en tilsvarende skalerings-faktor. Nukleonerne har selv et impulsmoment, $\mathbf{l}$, i deres egne baner. Koblingen af dette $\mathbf{l}$ med spinnets, $\mathbf{s}$, bestemmer sammen med middelpotentialet de magiske tal.

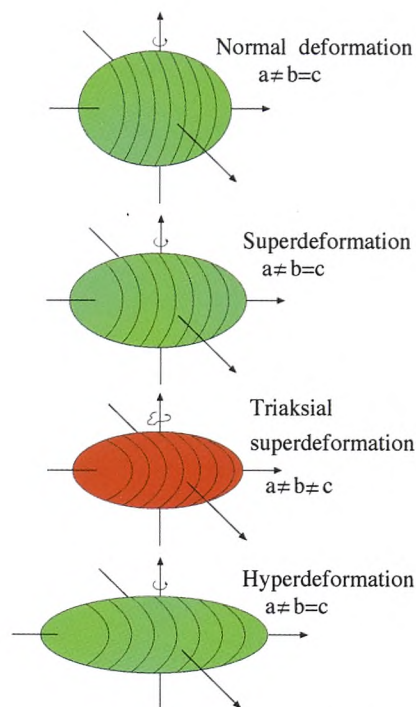


Figur 1. Isotopkort med de magiske tal indikeret. Sorte og farvede felter repræsenterer respektivt kendte stabile og ustabile kerner. Området med protonantal, $Z \sim 71$, og neutronantal, $N \sim 94$, hvor wobbling er påvist, er markeret.

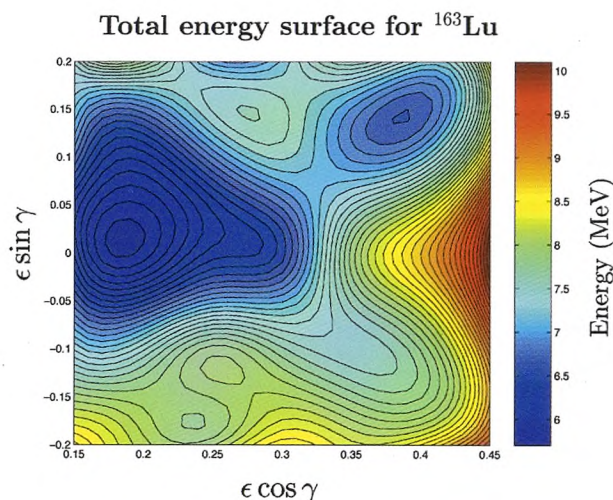
Opbygningen af den indre struktur af kerner, hvis neutron og protonantal afviger fra de lukkede skaller, medfører muligheden for afvigelse fra kuglesymmetrien. Dette skyldes igen den stærke tiltrækkende kernekraft, sammen med de kvantemekaniske koblingsregler for fermioner. Med færre eller flere nukleoner end der er plads til i en skal, opnås den laveste energi, ved at nukleon orbitaler med bølgefunktioner, som er rumligt tæt ved hinanden, befolkes først, hvilket bryder den sfæriske symmetri af den fyldte skal. Hermed bliver den laveste tilstand i kernen, grundtilstanden, deformeret i forhold til kuglesymmetrien. Der er dog en vis konkurrence mellem tendensen til deformation og parkraftens præference for den sfæriske form.

Den vigtigste deformation af kernen i sin grundtilstand, er den aksialsymmetriske kvadrupol deformation svarende til en sfæroide (cigar eller pandekage). Der er som hovedregel tale om en form som en prolat omdrejningsellipsoide, hvor forskellen mellem den mindste og største akse er af størrelsesorden 20-30% af middelværdien af dem.

Eksistensen af andre kerneformer er forudsagt teoretisk som lokale energiminima hørende til tilstande exciteret over grundtilstanden. Superdeformation, defineret ved et akseforhold på $\sim 2:1$ af cigarform er observeret eksperimentelt i nogle aktinider ($Z=92-97$) siden tresserne som tilstande nogle få MeV over grundtilstanden, der henfalder ved fission. Hvis en kerne roterer meget hurtigt, og dermed har et højt im-



Figur 2. Skematiske kerneformer, normal-, super-, triaksial og hyperdeformation. Triaksialiteten er indikeret ved en vis grad af "fladtrykning". Med a , b og c refereres til udstrækningen langs de principale akser



Figur 3. Potentiel energiflade for ^{163}Lu ved $I = 57/2$. Parameterværdierne $(\epsilon, \gamma) \approx (0.4, +20^\circ)$ (dvs $(\epsilon \cos \gamma, \epsilon \sin \gamma) \sim (0.38, 0.15)$) for det lokale triaksiale minimum svarer til størrelsesforhold for de 3 akser på $\sim 1.6:1.2:1$.

pulsmoment, kan den indre skalstruktur nemlig i visse tilfælde stabilisere større deformationer. Superdeformation ved højt impulsmoment blev observeret eksperimentelt for 15 år siden, og kendes nu i mange områder af det periodiske system. En endnu mere udstrakt aksialsymmetrisk form, hvor akseforholdet nærmer sig $3:1$, er teoretisk forventet ved endnu større impuls-

ment. Vanskeligheden ved at påvise denne såkaldte hyperdeformation er, at kernen ved så høje impulsmomenter vil gå i stykker ved fission. Hyperdeformation er endnu ikke påvist med sikkerhed, men der forskes for tiden intenst i denne mulighed.

Ved specielle neutron-proton antal forventes også muligheden for en stabil kerneform med afvigelse fra aksial symmetri, når kernen roterer. Det har længe været en stor udfordring at påvise den forudsagte aksial-asymmetriske (triaksiale) deformation af kerner. Det er her vigtigt at pointere, at der er tale om en form, som holder sig stabilt over et tilstrækkelig stort område i impulsmoment, til at denne struktur kan fastlægges med sikkerhed.

Figur 3 viser et eksempel på en beregnet potentiel energiflade, hvor et lokalt minimum findes ved en kombination af parametrene ε , γ for kernens form svarende til udpræget triaxialitet. Kernens deformation er proportional med ε , og γ udtrykker graden af triaxialitet.

Kvantemekanisk rotation

En sfærisk kerne kan ifølge kvantemekanikkens love ikke rotere kollektivt, som vi kender det for en makroskopisk kugle. Der findes dog mulighed for excitationer i form af kollektiv vibration, som giver en dynamisk afvigelse fra kuglesymmetrien. Med en statisk – stabil – afvigelse fra sfærisk symmetri opstår imidlertid muligheden for kollektiv rotation af kernens nukleoner. Rotationsbevægelsen afspejler kernens indre symmetriegenskaber, som for eksempel reflektions-symmetri og spejling i origo (paritet). Aksialsymmetriske kerner kan, i lighed med hvad der kendes fra lineære molekyler med analog fordeling af inertimomenterne, ikke rotere kollektivt omkring symmetriaksen, men roterer omkring en (vilkårlig) akse vinkelret på denne. Rotationsenergien udtrykkes ved et inertimoment som beskriver massetransporten af kernestof hørende til rotation om denne akse som den dynamiske sammenhæng mellem rotationsfrekvens og impulsmoment. (Se boks 1) Ved rotation af den aksialsymmetrisk deformerede kerne optræder således kun ét inertimoment. For kollektiv rotation med lav – til moderat – rotationshastighed har de målte inertimomenter en størrelse på under halvdelen af det beregnede inertimoment for stiv rotation, en effekt som forklares ved den førnævnte parkraft.

Kerner med en triaksial form kan rotere omkring en hvilken som helst af de principale akser og forventes derfor at udvise rige spektre af kollektiv rotation. Rotation omkring aksen med det største inertimoment er energimæssigt mest favorabel. Med den indre struktur fastholdt kan der herpå i visse tilfælde opbygges en serie af rotationsbånd, hvor noget af det kollektive impulsmoment successivt overføres til de to andre akser. En sådan familie af rotationsbånd kan beskrives som wobbling fonon-excitationer. Den klassiske analogi

hertil er den snurrende bevægelse af en asymmetrisk top, men bevægelsen i kernesystemet er kvantiseret og udtrykt ved wobbling fonontallet. Fonon excitationen beskrives som en harmonisk vibration, som giver simple sammenhænge mellem energi af excitationerne med stigende wobbling fonon kvantetal. For den elektromagnetiske styrke af overgange mellem de exciterede wobbling fononer findes enkle og karakteristiske regler, som dog også afhænger af den indre struktur samt af graden af triaxialitet. Dette kvantiserede wobbling fonon billede blev først foreslået for mere end 25 år siden af A. Bohr og B. Mottelsen [2].

Boks 1. Rotationsbånd:

I klassisk mekanik udtrykkes sammenhængen mellem rotationsenergien E , impulsmomentet L , rotationsfrekvensen ω og inertimomentet $\mathcal{J}$ for stiv rotation om en af de principale akser ved

$$\begin{aligned} L &= \mathcal{J}\omega \\ E &= \frac{\mathcal{J}}{2}\omega^2 = \frac{1}{2\mathcal{J}}L^2 \end{aligned}$$

hvor L og $\mathcal{J}$ refererer til samme principale akse. For kvantiseret rotation af en aksialsymmetrisk kerne om en akse vinkelret på symmetriaksen fås tilsvarende

$$E(I) = \frac{\hbar^2}{2\mathcal{J}}I(I+1)$$

For γ -overgange af elektrisk kvadrupol type mellem kvantetilstande med impulsmoment, $I\hbar$ og $(I-2)\hbar$ i et rotationsbånd gælder

$$E_\gamma = \frac{\hbar^2}{2\mathcal{J}}(4I-2)$$

med rotationsfrekvensen

$$\hbar\omega_{rot} \equiv \frac{dE}{dI} \approx \frac{E_\gamma}{2}$$

Excitationsenergiene af rotationstilstandene med stigende wobbling fonontal er givet ved en wobbling frekvens, $\hbar\omega_w$, der afhænger af de 3 individuelle inertimomenter (om de 3 principale akser), samt af fonontallet, n_w , hvortil nulpunktsenergien $1/2 \hbar\omega_w$ er adderet. At der i dette udtryk optræder $1/2$ og ikke $3/2$ viser, at bevægelsen, selv om den har fordelt det kollektive impulsmoment på alle 3 akser, hidrører fra frihedsgraden for rotation af den triaksiale kerne, hvilket kan udtrykkes som en vibration med kun én variabel.

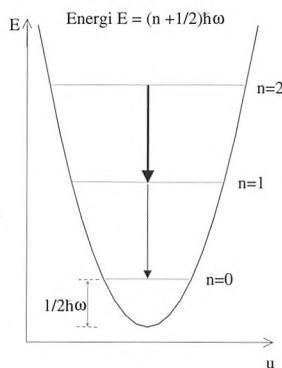
Sammenhæng mellem rotationsenergi, rotationsfrekvens, wobblingfrekvens, spin og inertimomenterne

om de 3 akser er udtrykt ved

$$E_{rot} = \sum_k \frac{\hbar^2}{2\mathcal{J}_k} I_k^2 \approx \frac{\hbar^2}{2\mathcal{J}_x} I(I+1) + \hbar\omega_w(n_w + 1/2)$$

for $\mathcal{J}_x \gg \mathcal{J}_y, \mathcal{J}_z$, hvor $I(I+1) = I_x^2 + I_y^2 + I_z^2$
og $\hbar\omega_w = \hbar\omega_{rot}\sqrt{(\mathcal{J}_x - \mathcal{J}_y)(\mathcal{J}_x - \mathcal{J}_z)/(\mathcal{J}_y \cdot \mathcal{J}_z)}$,
med $\hbar\omega_{rot} = I\hbar^2/\mathcal{J}_x$.

Boks 2. Fonon excitationer – approksimeret ved harmonisk vibration.



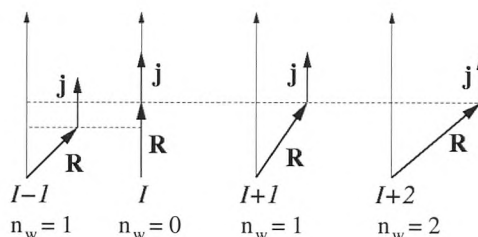
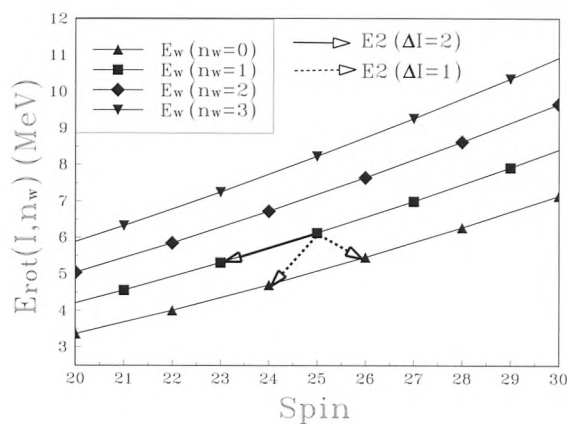
Her er ω oscillatorens egenfrekvens, $\hbar\omega$ er fononenergien og variabelen, u , proportional med wobbling amplituden.

For γ -overgangs styrkerne gælder:

$$T_\gamma(n = 2 \rightarrow n = 1) = 2 \cdot T_\gamma(n = 1 \rightarrow n = 0)$$

og $T_\gamma(n = 2 \rightarrow n = 0) = 0$.

I nye teoretiske beregninger er de indre frihedsgrader af rotationsbåndene i $^{163}_{71}\text{Lu}$ (massetal $A=163$ og atomnummer $Z=71$ for Lutetium) repræsenteret af en "highly aligned quasiproton" dvs. den sidste, ulige og derfor uparrede proton er placeret i $i_{13/2}$ skallen med $j = l + s = 6 + 1/2 = 13/2$ [3]. Denne er koblet til en triaxial rotor med en form svarende til det beregnede minimum i figur 3. For den triaksiale form af ^{163}Lu er protonen i $i_{13/2}$ orbitalen med impulsmomentet orienteret – aligned – parallelt med akseren med det største inertimoment så favoriseret, at de laveste excitationer konstrueres ved at holde orienteringen af $i_{13/2}$ protonen fast og lade det kollektive impulsmoment hørende til rotationen af resten af partiklerne (benævnt $\vec{R}$ i figur 4) udføre wobbling bevægelsen. Beregningerne viser, at elektriske kvadrupol overgange mellem bånd, der adskiller sig med $\Delta n_w = 1$, er overraskende store i forhold til hvad man ville forvente for overgange mellem bånd bygget på andre mulige (multi-)partikel excitationer. Resultaterne er med en rimelig god approksimation beskrevet ved fonon reglen (se boks 2). De beregnede overgangsstyrker bestemmes næsten udelukkende af den (triaksiale) form, hvorimod excitationens energierne, og dermed wobbling frekvensen, $\hbar\omega_w$ afhænger af de anvendte inertimomenter.



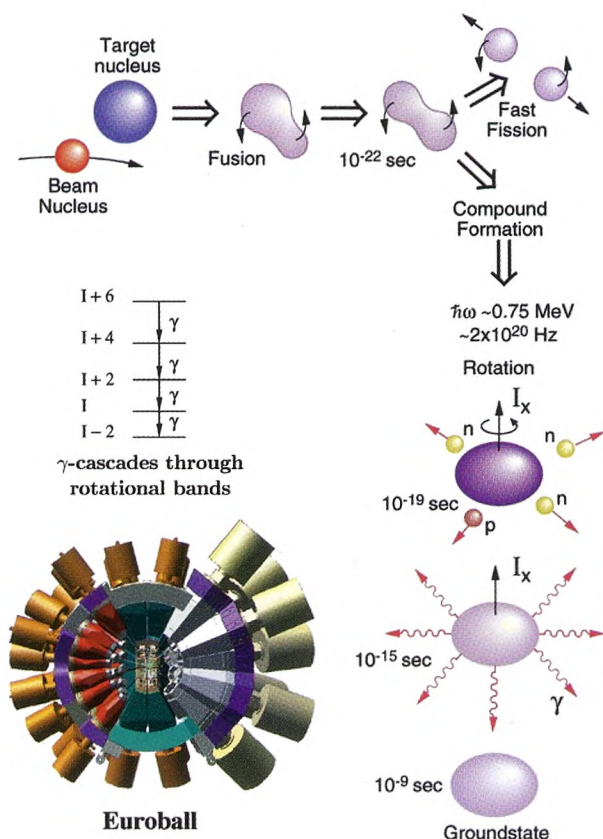
Figur 4. Øverst: Grafisk illustration af rotationsbånd med stigende wobbling-fonontal, hvor mulige γ -overgange er indikeret. Nederst: Skematisk vektorkobling hvor den kollektive del, $\vec{R}$ af det totale impulsmoment $\vec{I} = \vec{R} + \vec{j}$ udfører wobblingen, mens protonens impulsmoment $\vec{j}$ holder sin orientering langs x-aksen.

Eksperimenter

Udforskningen af atomkernens indre struktur kræver stort acceleratorudstyr og avanceret detektorudstyr for registrering og identificering af den udsendte γ -stråling, som bærer informationen om kernens kvantiserede energitilstande. Derudover kræves avanceret computerudstyr og programmer til analysen af store komplekse datasæt. Forskningen foregår som internationalt samarbejde, hvor grupper fra adskillige lande medvirker. For de forsøg, som førte til påvisning af wobbling excitationer, er initiativtagere og hovedansvarlig fra Niels Bohr Institutet.

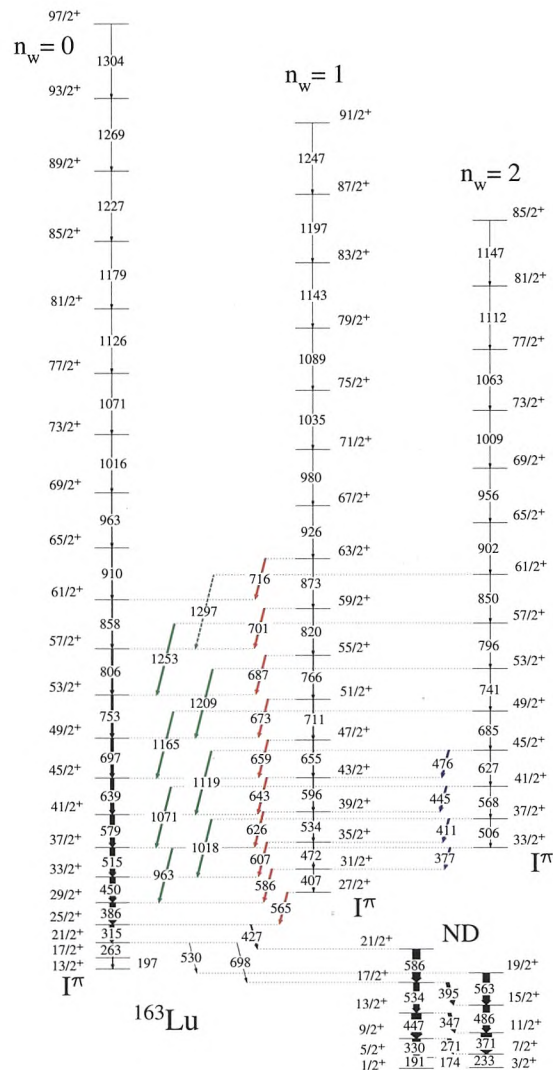
Hurtigt roterende kerner produceres i reaktioner, hvor en stråle af accelererede ioner – projektilkerner – skydes ind imod et fast mål af "targetkerner", sædvanligvis i form af et meget tyndt folie ($0.5-1 \text{ mg/cm}^2$). Med tilstrækkelig høj energi til at overvinde Coulomb-frastødningen mellem de to ladede kerner vil projektilkernen og targetkernen fusionere til en stærkt exciteret sammensat kerne, "compoundkernen". Med voksende bombarderingsenergi kan der ved reaktioner mellem forholdsvis tunge kerner tilføres impulsmoment til compoundkernen indtil grænsen, hvor compoundkernen vil gå i stykker ved fission. En del af den højt exciterede compoundkernes energi vil være

bundet i rotation, svarende til frekvenser på op til $\sim 10^{20}$ Hz. Den henfalder først gennem udsendelse af nogle få nukleoner – fortrinsvis neutroner, som ikke skal overskride en Coulomb-barriere – og senere, når excitationsenergien er blevet mindre end bindings-energien af en neutron, udsender den residuale kerne kaskader af γ -stråler, der afkøler kernen og successivt bremser rotationen, indtil grundtilstanden nås. Denne kan dog være ustabil med udsendelse af beta-stråling, sædvanligvis med en karakteristisk henfaldstid mange størrelsesordener længere end γ -stråle-henfaldene i kaskaderne i den residuale kerne (Se figur 5). Disse γ -stråler signalerer værdifuld information om kernens struktur.



Figur 5. Skematisk oversigt over fusionsreaktionen. Kaskader af γ -stråler detekteres i detektorsystemet Euroball.

For at studere kernens karakteristiske henfaldsmønster gennem rotationsbånd, og ikke mindst de svagere overgange mellem rotationsbånd, kræves avancerede detektorsystemer med høj opløsningsevne og effektivitet. Det gælder om at registrere flest mulige af de samtidige (coincidente) γ -stråler, for at kortlægge kaskaderne. Hertil er udviklet multi-detektorer bestående af ultrarene Germanium-krystaller, der monteres så størst mulig rumvinkel omkring target opnås.



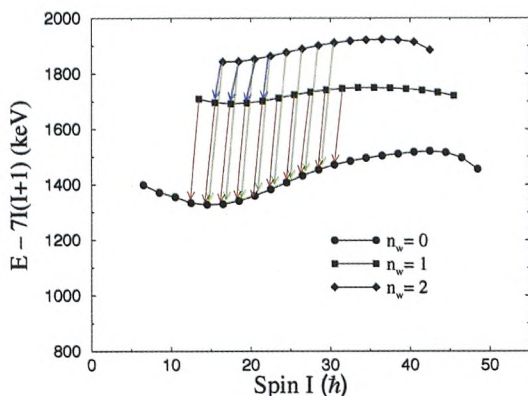
Figur 6. Del af niveauskema for ^{163}Lu med de relevante båndstrukturer og overgange markeret. Tallene angiver γ -energi i keV. Det totale fastlagte niveauskema omfatter yderligere ca. 20 rotationsbånd hørende til normal aksial deformation (ND), svarende til det globale minimum vist på figur 3, samt tre svagere befolkede bånd som også har triaksial deformation, men ikke relation til den observerede wobbling.

Et sådant detektorsystem er Euroball IV [4] med over 200 enkelt-krystal-elementer, fremstillet som et europæisk samarbejde mellem forskere fra mange grupper i Europa. (Den danske investering i Euroball er på ca. 7 mio. kr.). Et detektorsystem (Gammasphere) af lignende kvalitet og kompleksitet findes i USA [5], og der arbejdes både i USA (GRETA [6]) og Europa (AGATHA [7]) på næste generation af avancerede γ -stråledetektorer, hvor γ -strålens gradvise afgivelse af energi i germanium-krystallen registreres og udnyttes i databehandlingen (tracking). Man må dog forvente en tidsskala på 4–5 år for disse projekter. Til gengæld vil der være stor interdisciplinær interesse for brugen af sådanne tracking-detektorer (astrofysik, rumforskning, medicin). Fremtidige acceleratorprojekter som f.eks. ved GSI i Tyskland [8] og RIA-projektet [9] i USA fokuserer især på anvendelsen af ustabile isotoper

som projektiler med tilstrækkelig intensitet. Herved åbnes mulighed for at ekspandere vores forståelse af kernernes struktur længere væk fra de stabile kerner, hvilket blandt andet har stor astrofysisk betydning idet nukleosyntesen af de tungere grundstoffer foregår gennem den såkaldte r-proces langt fra stabilitet.

Resultaterne

For knap to år siden blev et wobbling-bånd, en én-fonon wobbling-excitation, opdaget i kernen ^{163}Lu [10]. For nylig blev den næste wobbling excitation, et to-fonon rotationsbånd opdaget i den samme kerne [11]. I disse eksperimenter blev højspintilstandene i ^{163}Lu befolket gennem en reaktion med $^{29}_{14}\text{Si}$ kerner som projektiler mod et target af $^{139}_{57}\text{La}$ kerner, efter successiv udsendelse af 5 neutroner fra compoundkerner af ^{168}Lu . Der blev anvendt energier på henholdsvis 152 og 157 MeV, idet man i det sidste af forsøgene fokuserede mere direkte på residualkernen ^{163}Lu ved de højeste impulsmomenter, med den ulempe at reaktionen ved højere energi med flere åbne reaktionskanaler er mindre ren. De udsendte γ -stråler blev målt med Euroball detektorsystemet ved IReS i Strasbourg i Frankrig, hvor man råder over en specialiseret elektrostatisk accelerator, Vivitronen [12], som kan producere et bredt spektrum af projektilkerner ved relevante energier.

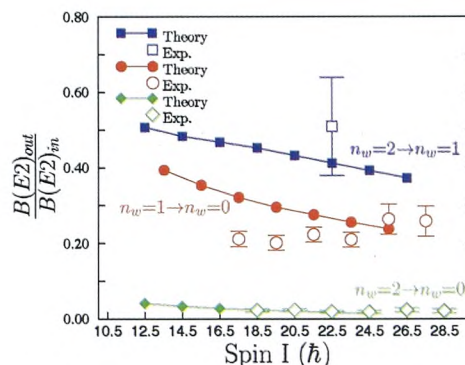


Figur 7. Målte energier relativt til stiv rotation for wobbling-excitationerne i ^{163}Lu .

Data består af coincidens-begivenheder, opsamlet på magnetbånd. I de to eksperimenter produceres henholdsvis ~ 2 og $\sim 6 \cdot 10^9$ begivenheder i løbet af 6–8 dage som er typisk for varigheden af denne type eksperimenter. Hver begivenhed indeholder energi, relativ tid, detektoridentitet samt multiplicitet (antal detektorhits) for de målte coincidente γ -stråler fra reaktionen. Et multiplicitetsfilter bestående af ca. 500 BGO (Bismuth-Germanat) krystaller monteret sammen med Euroball giver mulighed for at udvælge coincidens-events hørende til særligt lange kaskader, så der fokuseres på henfald fra høje impulsmomenter. Opbygningen af kvantetilstandene i ^{163}Lu og sammen-

sætningen af dem i rotationsbånd foretages ved analyse af data ordnet i en 3-D matrix (kubus). Her optræder coincidens-relationer mellem de forskellige γ -energier som intensitet i kubens gitterpunkter. (Multidimensional coincidens analyse med en tidsopløsning på $\sim 10^{-8}$ sek.) De elektromagnetiske egenskaber af γ -strålerne kan bestemmes af deres indbyrdes retningskorrelationer, samt lineær polarisation ved spredning mellem detektorelementer, hvilket er en forudsætning for fastlæggelse af niveauernes spin og paritet.

De tre rotationsbånd forbundet med γ -henfald i ^{163}Lu , som blev fastlagt ved de to forsøg er vist på figur 6. Benævnelserne $n_w = 1, 2$ indikerer deres natur som én- og to-fonon-excitationer bygget på $n_w = 0$ båndet, hvis konfiguration svarer til den laveste protonorbital i det triaksiale minimum $(\epsilon, \gamma) \sim (0.4, 20^\circ)$ med et indre impulsmomentkvantetal $J = l + s = 6 + 1/2 = 13/2$. Dette er i denne konfiguration orienteret parallelt med x-aksen, som har det største inertimoment. I overensstemmelse hermed ses det, at båndet har $I = 13/2$ som laveste spin. Excitationsenergier vs. spin, relativt til energien af en stift roterende kerne med $\hbar^2/2J = 7$ keV som reference, er vist for de tre bånd i figur 7, der illustrerer båndstrukturen med de observerede overgange mere overskueligt. Befolkningerne af de tre bånd aftager stærkt med excitationsenergien for fast spin, således at der er en reduktion på omkring en faktor 3–4 successivt imellem dem.



Figur 8. Relative overgangsstyrker sammenlignet med teoretiske beregninger for ^{163}Lu .

For de fleste af overgangene fra $n_w = 1$ til $n_w = 0$ har det været muligt at bestemme den elektromagnetiske sammensætning af magnetisk dipol- og elektrisk kvadrupolstråling med rimelig nøjagtighed, hvorimod man for de svage overgange fra $n_w = 2$ til $n_w = 1$ båndet kun har kunnet bestemme sammensætningen for en enkelt af dem. Det er hermed muligt at bestemme de relative styrker af elektrisk kvadrupolstråling for $\Delta n_w = 1$ og $\Delta n_w = 0$ overgange fra de relative intensiteter af henfald mellem bånd i forhold til henfaldsintensiteten inden for båndet for en del tilstande i området $\sim 15 < I < 30$.

De elektromagnetiske egenskaber af overgangene

i henfaldene fra disse bånd viser klart mønstret fra både én- og to-fonon wobbling-bevægelsen i god overensstemmelse med beregninger. Fonon billedet er overbevisende realiseret i forholdet mellem de relative styrker af $n_w = 2 \rightarrow n_w = 1$ og $n_w = 1 \rightarrow n_w = 0$ overgangene. Figur 8 inkluderer også relative styrker af de rene $\Delta I = 2$ overgange fra $n_w = 2$ til $n_w = 0$. Disse er i det rene fononbillede forbudte, men kan opnå små værdier gennem anharmonicitet i oscillatorbeskrivelsen. De beregnede værdier stemmer også her fint med de målte.

Det fremgår af figur 7, at den observerede wobblingfrekvens ikke stemmer med det simple harmoniske fononbillede. Afstanden i energi mellem $n_w = 2$ og $n_w = 1$ båndene er væsentlig mindre end afstanden mellem $n_w = 1$ og $n_w = 0$ båndene, hvilket antyder en ikke ubetydelig anharmonicitet. Det er muligt at reproducere wobblingfrekvensen i middel for den første fononexcitation ved en kombination af de tre inertimomenter, der ikke afviger alt for meget fra, hvad man forventer for stiv rotation. Spinafhængigheden kan derimod kun opnås ved at introducere en spinafhængighed i de tre inertimomenter, hvis differencer indgår i udtrykket for wobblingfrekvensen [13].

Perspektiver

To-fonon wobblingexcitationen observeret i kernen ^{163}Lu er en af de mest eksotiske egenskaber ved roterende kerner. Dette har været muligt ved hjælp af øget effektivitet og følsomhed i detektionen af γ -stråler med et avanceret detektorarray, hvorved svagt befolkede strukturer i en baggrund af tusinder af andre γ -henfald har kunnet isoleres og studeres. Lignende eksperimenter har siden afsløret båndstrukturer med samme karakteristika i de nærmeste naboer, ^{165}Lu og ^{167}Lu , og dermed er wobblingen i ^{163}Lu ikke et isoleret fænomen.

Eksistensen af kvantemekanisk wobbling viser, at kernen kan eksistere i en stabil triaxial form over et stort spinområde. Dermed er både den sfæriske og aksiale symmetri brudt og rotationsbåndenes egenskaber afhænger af et samspil mellem alle tre inertimomenter. Kollektiv rotation som er den klareste manifestation af kollektiv bevægelse af kernen – et mangelegeme-system af fermioner – har fået en ny dimension.

Referencer:

- [1] Niels Lund (2002) "Nobelpris for opdagelsen af kosmiske Røntgenkilder", *Kvant*, bind 13, nr. 4, side 3.
- [2] A. Bohr og B. R. Mottelson (1975) "Nuclear Structure, vol. II", Benjamin, Reading, MA.
- [3] I. Hamamoto (2002) "Wobbling excitations in

odd-A nuclei with high-j aligned particles", *Phys.Rev.C*, bind 65, side 044305.

- [4] <http://eballwww.in2p3.fr/EB/>
- [5] <http://www.phy.anl.gov/gammasphere/>
- [6] <http://greta.lbl.gov/>
- [7] <http://www-gsi-vms.gsi.de/eb/html/agata.htm>
- [8] <http://www.gsi.de/gsi.html>
- [9] <http://www.phy.anl.gov/ria/>
- [10] S. W. Ødegaard, G. B. Hagemann, D. R. Jensen, B. Herskind, G. Sletten, I. Hamamoto m.fl. (2001) "Evidence for the wobbling mode in nuclei", *Phys.Rev.Lett.*, bind 86, side 5866.
- [11] D. R. Jensen, G. B. Hagemann, I. Hamamoto, S. W. Ødegaard, B. Herskind, G. Sletten m.fl. (2002) "Evidence for second-phonon nuclear wobbling", *Phys.Rev.Lett.*, bind 89, side 142503.
- [12] <http://eballwww.in2p3.fr.vivitron/fr/>
- [13] I. Hamamoto og G. B. Hagemann (2003) "Quantized wobbling excitations with alignments", *Phys.Rev.C*, bind 67, side 014319.



Gudrun B. Hagemann er lektor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.



Ikuko Hamamoto er adjungeret professor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, og professor emeritus ved Lunds Universitet.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)

UNI-C

Vermundsgade 5

2100 København Ø

E-mail: bente.egaa@uni-c.dk

Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Direktør, Ph.D. Søren Damgaard

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen



Efterårets program i SNU

Efterårets tema er "Helsekost – fup eller fakta". Alle foredrag – undtagen arrangementet den 13. oktober – holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5–7, København. Flere detaljer vil kunne læses på SNU's hjemmeside.

13. oktober 2003 kl. 19.30:

Prisuddeling på Experimentarium.

10. november 2003 kl. 19.30

Foredrag om naturlægemidler og kosttilskud

v/ lektor Per Møllgaard, Danmarks Farmaceutiske Højskole.

Foredraget holdes på Geologisk Museum

24. november 2003 kl. 19.30

Foredrag om mobiltelefoni og stråling/magnetfelter

v/ professor Jørgen Bach Andersen, Ålborg Universitet.

Foredraget holdes på Geologisk Museum

Præsentation: Dansk Meteorologisk Selskab

Jens Hesselbjerg Christensen, formand for DaMS

Dansk Meteorologisk Selskab (DaMS) blev stiftet den 14. maj 1979. Foreningen arbejder for at fremme kendskabet til meteorologi og henvender sig til alle med interesse for vejrforhold eller meteorologi i bredere forstand. Foreningens to hovedaktiviteter er medlemsbladet *Vejret* og foredrag om meteorologiske emner, der er oppe i tiden. Enhver, som støtter selskabets formål, kan blive medlem af DaMS.

DaMS har ca. 500 medlemmer, og medlemsskaren tæller både professionelle og amatører. Hvert kvartal modtager alle medlemmer af DaMS et nyt nummer af bladet *Vejret*. Artiklerne i bladet spænder vidt. Der er faste rubrikker, f.eks. *vejret i sidste sæson*, *læserbreve* og en oversigt over kommende foredrag og møder; men hovedparten af bladet indeholder artikler fra foreningens medlemmer. Disse artikler spænder meget vidt. I et af de seneste numre af *Vejret* (nr. 94) gennemfører professor Peter Laut fra DTU f.eks. en kritisk analyse af en række artikler om sammenhænge mellem Solens aktivitet og Jordens klima. Han når frem til at en række postulerede sammenhænge ikke holder ved et nærmere eftersyn. Men også artikler, der beskriver specifikke vejr-situationer forekommer jævnligt. Et ek-

sempel herpå stammer fra *Vejret* nr. 91, hvor december højtrykket 2001 diskuteres ud fra en Grønlandsk vinkel af Leif Rasmussen fra DMI. *Vejret* er udgivet lige siden DaMS blev stiftet i 1979.



På DaMS's hjemmeside, www.dams.dk, kan du hente yderligere information om selskabet. På siden "Det nyeste nr. af *Vejret*" kan du læse nærmere om indholdet i det seneste nummer af *Vejret* – eller om indholdet i det kommende nummer, et par uger før det kommer på gaden. Så kan du selvfølgelig også finde den nødvendige information om hvordan du evt. melder dig ind i selskabet. Dette kan også ske ved henvendelse til foreningens kasserer: Brian Riget Broe, Sjælør Boulevard 10 st.th., 2450 København SV, tlf. 36 45 71 90 (brianbro@worldonline.dk eller brobr@gfy.ku.dk).

Har dansk astronomi en fremtid?

Hvis dansk astronomi skal have en fremtid, må der straks handling til. Det var udgangspunktet for arbejdet i "Astronomisk Udvalg", der blev nedsat i foråret 2002 af de naturvidenskabelige fakulteter og fysikinstitutter i Århus og København samt Dansk Rumforskningsinstitut.

Udvalget har nu afleveret sin rapport, hvori den anbefaler, at indsatsen fokuseres på tre hovedområder, hvor væsentlige gennembrud synes på vej, og hvor dansk astronomi kan yde afgørende bidrag: Kosmologi og galaksedannelse, stjerne- og planetdannelse, samt ekstrem astrofysik (det er f.eks. gamma-ray bursts

og andre fænomener præget af kompakte astrofysiske objekter samt ekstreme energi- og strålingsforhold).

Udvalget anbefaler også, at den observationelle indsats fokuseres omkring dansk deltagelse i ESO og ESA. Endelig anbefaler udvalget, at der straks påbegyndes nyansættelser på lektor- og professoratsniveau ved universiteterne, at der etableres et nationalt postdoc-program i teoretisk, observationel og eksperimentel astrofysik, og at der samarbejdes om astronomiuddannelserne i Danmark.

På side 10 kan du læse mere om dansk astronomis fremtid.

GEOFYSIKDAG 2003

Fredag den 31. Oktober 2003

Dansk Geofysisk Forening arrangerer i samarbejde med Geofysisk Afdeling, KU og Geofysisk Studenter Forening, KU, **Geofysikdag 2003** for alle studerende med interesse for geofysik. Deltagelse i hele Geofysikdagen er gratis og tilmelding nødvendig.

Der vil være studenterpræsentationer, virksomhedsmesse samt et festforedrag ved Henning Haack fra Geologisk Museum. Bagefter arrangerer Geofysisk Studenter Forening fredagsbar for alle.

Alle er velkomne til aftenens festforedrag kl. 20.00 i Auditoriet i Rockefellerbygningen, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø. Deltagelse i foredraget er gratis og tilmelding ikke nødvendig.

Tilmelding for tilhørere til Geofysikdag 2003:

Alle studerende med interesse for geofysik samt videnskabeligt personale kan melde sig som tilhørere til Geofysikdagens program med frokost og middag.

Frist for tilmelding som tilhører: Fredag den 17. oktober 2003.

Tilmelding sker via hjemmesiden: www.dgf.gfy.ku.dk