

ESS – fremtidens neutronkilde

Kim Lefmann, Afd. for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø.

ESS er en forkortelse for European Spallation Source, og er en planlagt europæisk neutronkilde til forskningsformål. ESS er formentlig det kommende årtis største europæiske forskningsprojekt, et projekt der vil være til stor nytte for forskningen indenfor fagområder, der spænder fra "drug design" over materialeforskning til energi- og datalagring. Projektet har støtte fra de fleste EU lande. Styregruppen, ESS Council, består af repræsentanter for 13 institutioner i 11 europæiske lande: Belgien, Danmark, Frankrig, Holland, Italien, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tyskland og Østrig. Man er i gang med at opføre to tilsvarende kilder i Verden: en i USA og en i Japan, men behovet for sådanne kilder er langt fra udtømt. ESS er da også projekteret til at blive 3 gange kraftigere end sine "konkurrenter".

ESS-projektet blev påbegyndt i 1993, og befinder sig nu i den sidste del af designfasen. Opførelsen af ESS er endnu ikke bevilget, men ESS Council forventer, at dette vil ske i løbet af 2003. Efter tidsplanen vil ESS stå færdig i 2010 [1]. Dette er virkelig et projekt for fremtidens forskere. Jeg vil i det følgende fortælle, hvorfor ESS bør bygges, hvordan spallationsprocessen virker, og om mulighederne for dansk deltagelse i projektet – herunder om chancerne for, at ESS faktisk bliver opført i Danmark.

Hvad skal ESS bruges til?

Neutronerne fra ESS skal først og fremmest bruges til neutronspreddning. Ved denne teknik sender man neutroner ind på et materiale, hvorfra de spredes, således at man kan måle deres spredningsvinkel og intensitet. Derved får man information om stoffets atomare struktur (Bragg spredning) – eller om store molekylers rumlige form (småvinkelspredning). Endvidere kan man måle neutronernes ændring i energi og derved få information om dynamikken i materialet. F.eks. er sammenhængen mellem impuls og energi af krystallers gittersvingninger (fononer) kortlagt på denne måde.

Neutronspreddning er en meget kraftfuld teknik, som hidtil har været begrænset af mangel på neutronintensitet. På en måde har dette svaret til, at man har forsøgt at male sin lejlighed ved lyset fra en 15 W glødelampe. Det bliver ikke særligt præcist, men bruger man i stedet en 500 W halogenlampe, er det en anden sag. Omtrent sådan er forholdet mellem de bedste nuværende neutronkilder og ESS.

Figuren på Kvants bagside viser "neutronviften" [2]. Billedet illustrerer, hvordan neutronspreddning er blevet udbredt indenfor forskellige videnskabelige områder og problemstillinger igennem de seneste fire årtier, star-

tende med antiferromagnetisme i 1960'erne til proteiner, polymerer osv. i 1990'erne. Ude i "horisonten" kan man ane de nye forskningsområder, der vil kunne studeres med neutronspreddning i fremtiden. Generelt kan man sige, at neutronspreddning nu anvendes indenfor dele af fysik, biofysik, kemi, biokemi og en række ingeniørdiscipliner – men i fremtiden vil det også få stor betydning indenfor geologi, biologi og medicin. Endvidere kan neutrongennemlysning (skyggebilleder) anvendes til industrielle formål og til arkæologisk forskning.

Som modargument mod de nye, kostbare neutronkilder nævnes det ofte, at materialer lige så vel kan studeres med de nye, kraftige røntgenkilder som ESRF i Grenoble. Lad mig fortælle, præcis hvad argumenterne er for overhovedet at bekymre sig om neutronspreddning i fremtiden [3].

* Neutroner kan, som antydnet ovenfor, bruges til at finde ud af, hvor atomerne er, og hvad de foretager sig. Og det indenfor mange størrelsesordener i både tid og rum.

* Neutroner vekselvirker forskelligt med forskellige isotoper af samme grundstof. Det er en af de allervigtigste egenskaber, hvis man vil studere komplicerede biologiske molekyler, fordi man kan "mærke" bestemte kemiske grupper med deuterium (tung brint), og derved vil kunne ses tydeligt i et neutronspreddningseksperiment.

* Neutroner har ingen ladning og vekselvirker kun svagt med stof. Dette lyder umiddelbart som en ulempe, men det gør det muligt at studere materialer, der er anbragt i tykvæggede beholdere, f.eks. beholdere, der bruges til at køle materialet ned til lave temperaturer, udsætte det for et stort tryk, høje temperaturer, eller lignende.

* Den svage vekselvirkning har endnu to fordele: Den gør det let at sammenligne de eksperimentelle resultater med teoretiske beregninger og computermødelles. Dette aspekt vil blive mere og mere vigtigt i de kommende år. Endvidere forårsager neutronstråling – i modsætning til røntgenstråling – meget ringe strålingsbeskadigelse. Dette aspekt kan få stor betydning, f.eks. hvis man ønsker at undersøge levende celler.

* Neutroner har magnetiske momenter. De kan derfor bruges til undersøgelser af magnetiske effekter i materialer. I øjeblikket er studiet af magnetiske fluktuationer i højtemperatur-superledere et særdeles aktivt felt. Disse studier kan kun udføres med neutronspreddning.

Men præcist hvad kan man gøre med ESS, som man ikke kan på de eksisterende neutronkilder? [3]

* Den større intensitet giver mulighed for langt hurtigere målinger. Derved kan man udføre "kinetiske" eksperimenter, hvor man studerer en løbende proces. Det kunne være en kemisk reaktion eller krystallisering af mineraler fra en smelte.

* Det er også muligt at foretage mange korte eksperimenter efter hinanden, hvor man systematisk varierer en række parametre. F.eks. kan man hurtigt opmåle et kemisk fasediagram som funktion af tryk, temperatur, og materialesammensætning.

* Man kan studere mindre prøver. Den store intensitet giver mulighed for at studere nanometer-tynde overfladelag og krystallinske eller biologiske prøver af mikrogram størrelse.

* Man kan studere større prøver! Dette giver mulighed for at studere restspændinger i metaldele med store godstykker, for stål adskillige cm. Dette er af stor interesse for f.eks. flyindustrien.

* Endelig giver den større intensitet mulighed for at lave eksperimenter med langt bedre opløsning, så man kan opnå mere præcise svar på sine spørgsmål.

ESS vil blive en brugerfacilitet. Dette vil sige, at forskergrupper fra Europa og resten af Verden kan ansøge om at få tid på et af de ca. 30 instrumenter ved ESS. Den typiske varighed af et eksperiment vil variere fra få dage til nogle uger. Man regner med 4000-5000 videnskabelige gæster per år, som skal betjenes af et teknisk og videnskabeligt personale på ca. 500 personer.

Hvor kommer neutronerne fra?

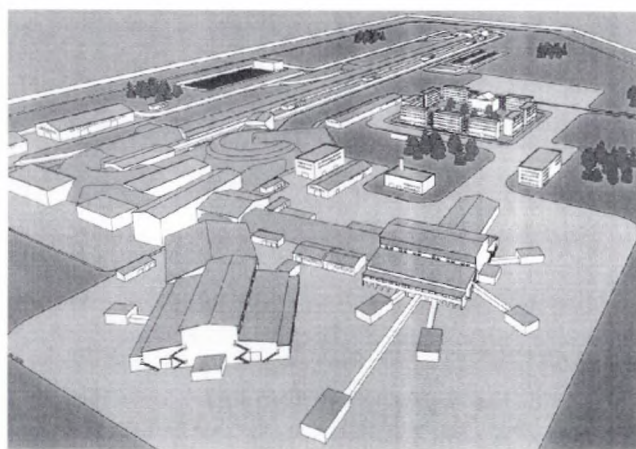
En konventionel neutronkilde er en lille kernereaktor, ombygget eller specielt designet til forskningsformål. Der findes ca. 20 af denne slags reaktorer i Verden, og yderligere to er under opførelse, men de bliver formentlig de sidste. Den "moderne" måde at producere neutroner er ved hjælp af spallation. I en spallationsproces bombarderes et tungt grundstof – "target" – med protoner med meget høj energi, ved ESS 1.3 GeV. Herved slås de tunge kerner i "target" i stykker, og kernerne neutronoverskud – 20 til 30 per atomkerne – bliver slynget ud til alle sider. For at accelerere protonerne op til disse energier vil man benytte en lineær accelerator, der er godt 750 m lang.

Efter produktionen skal neutronerne bremses ned til lave energier, fra 1 eV til 1 meV, for at være nyttige til neutronspreddning. Dette gøres ved at lade neutronerne passere såkaldte moderators, der f.eks. kan bestå af vand eller flydende brint. Neutronerne får herefter en energifordeling, der kan tilnærmes med en Maxwell fordeling i ligevægt med moderatorens temperatur. Til sidst ledes neutronerne ud til de eksperimentelle opstillinger gennem strålerør, hvis overflader kan reflektere neutronerne ved lille indfaldsvinkel.

En meget vigtig fordel ved ESS og tilsvarende spallationskilder er flyvetidsaspektet. På vej fra acceleratoren til "target" bliver protonerne gemt i en lagring.

Herfra bliver de lukket ud i ganske korte pulser, så neutronerne bliver produceret i korte pulser. Ved at måle den tid, der går fra pulsen slippes løs indtil neutronerne rammer detektoren, kan man altså bestemme neutronens energi. Dette er i klar kontrast til kontinuerle kilder, som reaktorer, hvor man må udvælge neutroner med en bestemt energi for at kunne fortolke spredningseksperimenterne. Ved denne udvælgelse mister man imidlertid omkring 99% af de oprindelige neutroner. Dette tab har man ikke i pulsedede spallationskilder.

En foreløbig skitse af ESS kan ses på figur 1, hvor anlægget er vist i sin helhed med accelerator, lagring, 2 "target-stations", med strålerør og instrumenter samt kontorer og gæstebygning.



Figur 1. Skitse af ESS.

Dansk deltagelse i projektet

Den mest synlige danske deltager i planlægningen af ESS er utvivlsomt projektets direktør Kurt N. Clausen, der tidligere har været programleder for neutronspreddning på Risø. Han tiltrådte stillingen ved ESS-projektet i august 2000, og har både før og siden været en yderst flittig fortaler for opførelsen af ESS-faciliteten. Kurt har også deltaget i det indledende arbejde med design af ESS-instrumenter.

Også andre danskere bidrager til projektet. Bente Lebech (Risø) er med til at udvikle germanium analysatorer, som skal bruges til at udvælge neutroner med en bestemt energi. Endvidere er Bente som formand for den danske forening af neutronspreddere, DANSSK [4], med til at bakke op om dansk tilknytning til ESS (se også afsnit 5). Torben Lorentzen (DanStir ApS) og Kell Mortensen (Risø) er med i den arbejdsgruppe, der skal planlægge og designe den første serie af neutroninstrumenter til ESS. Endvidere er en række personer med til at udvikle og bruge et computerprogram [5], der skal simulere – og derved optimere – de planlagte instrumenter. De vigtigste personer er, som sædvanlig når der skal arbejdes, studenter: Stine N. Klausen (Ph.D. DTU og Risø), og Henrik

Edwards (speciale KU), mens Bente Lebech, Per-Olof Åstrand (KU og Risø) og undertegnede også bidrager. Endvidere har Risøs direktør Jørgen Kjems indtil 1999 været formand for ESS Council.

Efterhånden som ESS projektet skrider frem vil det kræve mere og mere videnskabelig arbejdskraft. Fra dansk side forventer vi at fortsætte vores indsats inden for instrumentdesign og -simulering. Endvidere bliver udvikling af software til at fremvise og tolke de enorme datamængder fra et typisk ESS eksperiment, en af de helt store udfordringer for fremtidens neutronsprede. Der kan her være tale om datamængder fra adskillige Gigabytes til nogle få Terabytes. Her kan Danmark komme til at spille en ikke ubetydelig rolle, men denne opgave skal ikke varetages alene af Forskningscenter Risø, hvis strategi ikke sigter mod en massiv indsats med en tidshorisont på 10 år eller mere. Indenfor få år må den danske deltagelse i ESS blive en national opgave på linie med vores engagement i CERN, ESA m.fl.

Skal ESS opføres i Øresundsregionen?

Det er endnu ikke afgjort, hvor ESS skal opføres. Denne beslutning tages først i 2003. Der er allerede stillet forslag om ISIS (ved Oxford, England), Jlich (ved Aachen, Tyskland), og et sted i Frankrig. Imidlertid er der for nylig stiftet en forening af nordiske forskere, ESS-Scandinavia, som vil promovere Øresundsregionen som et muligt sted at placere ESS [6]. Foreningens bestyrelse består fra dansk side af Kell Mortensen (Risø), Martin Vigild (DTU), og undertegnede, og fra svensk side af Robert McGreevy (Studsvik), Lars Börjesson (Chalmers) og Börje Johansson (Uppsala).

Det bliver ikke gratis at huse ESS! Selve opførelsen er budgetteret til 10 milliarder kroner, hvilket svarer til halvdelen af Øresundsbroens pris. Heraf skal ca. 40% betales af værtslandet. Altså skal de danske og svenske statskasser hver betale 2 milliarder kroner for at placere ESS i Øresundsregionen. Dette er utroligt mange penge at give ud, men økonomisk og samfundsmæssigt vil der næsten helt sikkert komme valuta for pengene, både på grund af den store tekniske og videnskabelige betydning, anlægget vil få, og på grund af den generelle økonomiske gevinst det er at huse en så stor installation. På en måde kan det sammenlignes med, at København og Malmö ville få tildelt værtskabet for OL i 2012.

Det bliver en svær proces at få de danske og svenske regeringer overbevist om, at de skal gå med på denne ide. Fra bestyrelsen i ESS-Scandinavia arbejder vi lige nu på at informere om projektet, så det kan komme på den politiske dagsorden senest i 2002. Det er nødvendigt for at Øresundsregionen kan stå som officiel ansøger senest i januar 2003. Det bliver ikke let, men vi vil gøre alt hvad vi kan for at det skal lykkes. Dertil behøver vi selvfølgelig opbakning fra de videnskabelige miljøer i de to lande.

Selvom det ikke skulle lykkes at blive vært for ESS, vil ulejligheden ikke være spildt, for videnskab

kan jo også drives i udlandet. Det vigtigste formål med foreningen ESS-Scandinavia er da også at sikre nordiske neutronbrugeres adgang til ESS, uanset placering.

Referencer:

- [1] ESS projektets hjemmeside: www.ess-europe.de. Se også www.hmi.de/bereiche/SF/ess/ess_00_en.html
- [2] ESS: A Next Generation Neutron Source for Europe, Volume 1, ESS Council 1997, ISBN 090 237 6 500.
- [3] Listen er forfattet af R. McGreevy, Neutron Forsknings Laboratoriet, Studsvik, Sverige.
- [4] DANSSK hjemmeside: www.fys.risoe.dk/public/BenteLebech/danssk
- [5] Hjemmesiden for Risø's simuleringsprogram, McStas: neutron.risoe.dk
- [6] ESS-Scandinavia hjemmeside: www.studsvik.uu.se



Kim Lefmann,
(kim.lefmann@risoe.dk) er
seniorforsker i Afdelingen for
Materialers Fysik og Kemi på
Forskningscenter Risø.

Breddeopgave nr. 4

af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

I oktober-nummeret af KVANT blev løsningen til breddeopgave nr. 3, "Hvor hurtigt roterer en tørretumbler? Begrund svaret.", givet i form af en udfoldning af opgaven. Som et af midlerne til for de fysikstuderende på RUC at tydeliggøre, hvad det er for en slags bolde, der gås efter i en undervisning bygget på åbent formulerede breddeopgaver, har jeg som nævnt i oktober-nummeret for kontrastvirkningens skyld lavet et sæt udfoldede og formaliserede opgaver, der modsvarer 12 af breddeopgaverne. Og tørretumbleropgaven er den ene af disse 12 opgaver med modsvarende udfoldede versioner. Som breddeopgave nr. 4 bringes her en af de andre i sættet:

Hvor mange gange større er strømforbruget om vinteren af en dybfryser placeret i køkkenet fremfor i udhuset? Begrund svaret.

I næste nummer bringer vi den udfoldede version af opgaven, der findes som det afgørende skridt i løsningen af den, sammen med en kommentar.