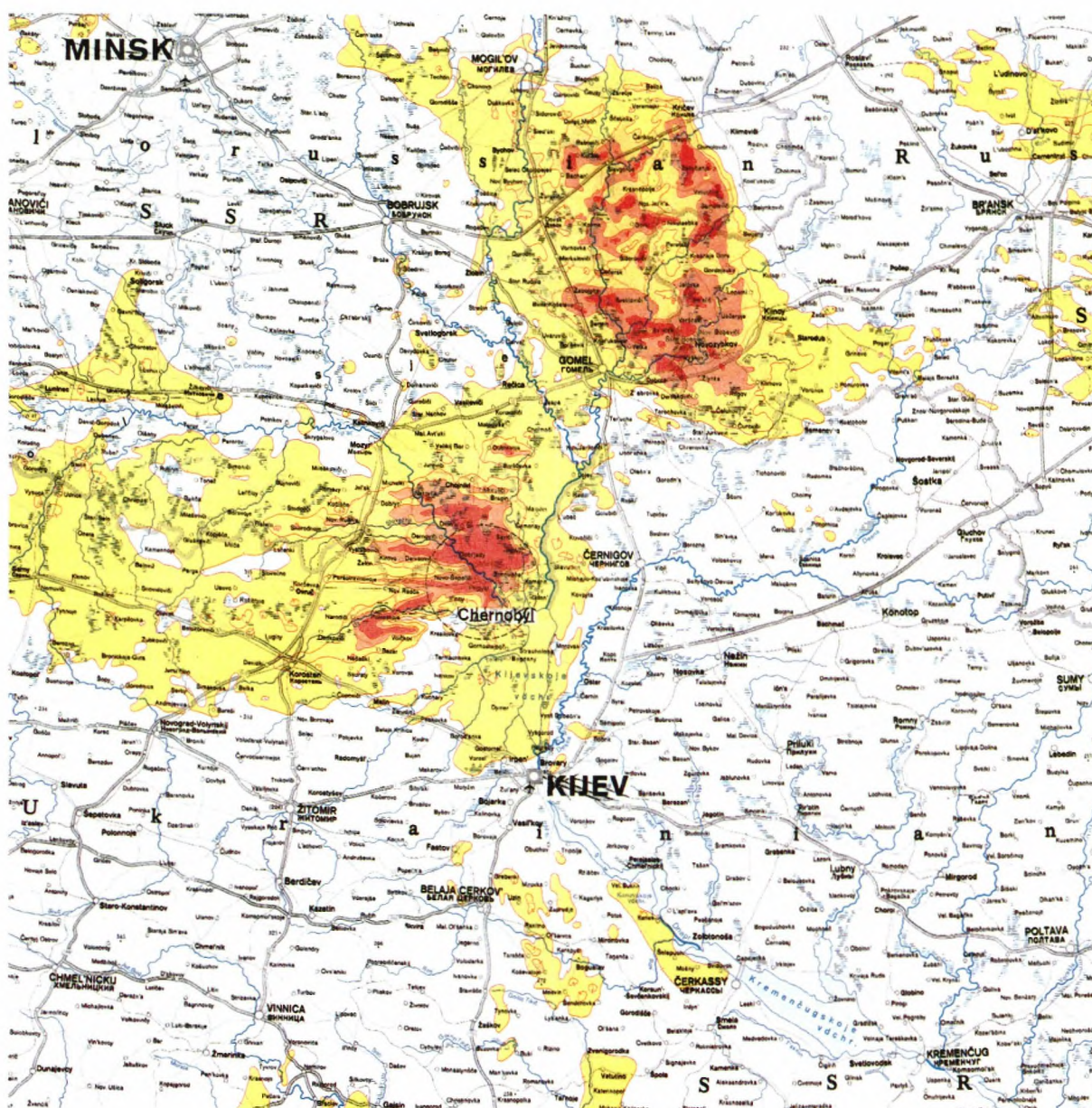




- FYSIK PÅ NETTET • TJERNOBYL ÅR 10 • REAKTORULYKKEN •
- SKYEN • TILFÆLDIGHEDSSPIL MOD NATUREN • DFS ÅRSMØDE •

KVANT

Fysisk Tidsskrift

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

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

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

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

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

Annoncepriser

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

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

Oplag: 2000

Tryk: P.J.Schmidt, Vojens

ISSN 0905-8893

Indhold:

Allan Mackintosh

Ole Krogh Andersen og Hans Bjerrum Møller 1

Fysik på nettet

Jørgen Bak 4

World Wide Web udvikler sig for tiden eksponentielt. Jørgen Bak ridser historien op og viser vejen til et par fysikressourcer

Ulykken i Tjernobyl

Peter Bille Fynbo 7

I tiåret for historiens værste reaktorulykke gennemgår Peter Fynbo uheldet og spørger om vi kan lære noget af det.

Indenfor reaktorsikkerhed er svaret: Nej.

Årsmøde i DFS

Preben Alstrøm et. al. 14

Fiskerne

Mogens Esrom Larsen 18

Vi vil helst tro på den rette vej; at ethvert problem har den optimale løsning – og hvis bare vi kunne finde strategien! Men i nogle tilfælde er den bedste løsning en tilfældig strategi.

Den radioaktive sky fra Tjernobyl - dosis og virkning

Heinz Hansen 21

Hvor meget kom der? Og hvem blev ramt? Mens Hviderusland, Ukraine og trekvart million oprydningsarbejdere blev udsat for historiske doser i fredstid, viser regnebrættet at det kun er fordi helsefysikere er så gode at det overhovedet er muligt at måle de doser vi blev udsat for.

Sorøddage 1996

. 29

Så indbydes der igen til Sorøddage

Forsiden:

Tjernobyl - som et par store vinger spænder isoaktivitetskurverne for Cs-137 sig ud over landskabet og afslører hvordan vind og vejr vaskede cæsium fra den brændende reaktor ud. De farvede zoner spænder over et aktivitetsinterval fra 37 til 1500 kBq/m². Og kortudnittet dækker ca. 600 km på hver led.

Bagsiden:

Tjernobyl - Den 26. april 1986. Sådan ser det ud når 9000·10¹⁵Bq af blandede radioaktive stoffer, sendes ud i omgivelserne.

Allan Mackintosh

Ole Krogh Andersen og Hans Bjerrum Møller.



Professor Allan Mackintosh blev dræbt ved en trafikulykke den 20. december 1995, kort før sin 60-års dag. Herved mistede dansk videnskab en af sine fremmeste udøvere. Allan Mackintosh viede størstedelen af sin karriere til studiet af elektronerne i faste stoffer, og hans forskning bidrog afgørende til forståelsen af de elektriske og magnetiske egenskaber af de sjældne jordarters metaller.

Han vil også blive husket for sin store og vellykkede indsats for at etablere moderne faststoffysik som forskningsfelt i Danmark.

Allan Mackintosh var født i 1936 i England og uddannet på Cambridge University, hvor han tog Ph.D.-graden i 1960. Her mødte han også sin kone Jette, der var i Cambridge som au pair. Efter 6 år som professor ved Iowa State University i USA, med ophold på Risø som gæsteforsker, flyttede han permanent til Danmark i 1966. Her arbejdede han først som professor ved Danmarks Tekniske Højskole og fra 1970, som professor ved Københavns Universitet. Fra 1971-76 var han direktør for Risø.

Han var medlem af Akademiet for de Tekniske Videnskaber, Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, Det Norske Videnskapsakademi og The Royal Society of London, og han var æresdoktor ved Uppsala Universitet.

Da Allan Mackintosh kom til Risø i 1963 som

gæsteforsker, bragte han med sig fra Iowa de første krys-taller af sjældne jordarter. Det var netop lykkedes at frem-stille de sjældne jordarter i ren form, og det åbnede helt nye muligheder. Specielt var magnetismen af de sjældne jordarter et spændende nyt forskningsområde, fordi mag-netismen ikke kunne forklares med de gængse mekanis-mer. Allans undersøgelser i Iowa af de sjældne jordarter havde allerede etableret ham som en anerkendt forsker på området.

På Risø havde man netop konstrueret en ny type neu-tronspektrometer, som kunne give detaljerede oplysninger om faste stoffers struktur og dynamik - oplysninger, der ikke kan opnås på anden måde. Denne kombination af et spændende og helt uudforsket forskningsområde og en ny eksperimentel teknik blev grundlaget for et mangeårigt og frugtbart samarbejde, der bidrog afgørende til forståelsen af de sjældne jordarters magnetisme. Indsatsen blev an-erkendt med tildelingen af den amerikanske *speedingpris* i 1986, og den kulminerede med udgivelsen af bogen *Rare Earth Magnetism* i 1991, en klassiker allerede nu.

Med sig fra Iowa bragte Allan også computerpro-grammer til beregning af elektronstrukturer, og da han i 1966 blev professor på DTH, startede han beregninger af overgangsmetallernes fermiflader. Kort forinden havde målinger på nikkel vist, at de magnetiske elektroner bidrager til fermifladen, og virkningen af coulomb kor-relationerne mellem de magnetiske elektroner var gen-stand for livlig debat. Allan havde en dyb forståelse af elektronernes opførsel i metaller og en sund skepsis over-for oversimplicificerede teorier, og han inspirerede sine studenter til at udvikle nye beregningsmetoder.

Men Allans betydning for dansk forskning gik langt videre. Som en af drivkræfterne bag en studiekreds i fast-stoffysik i midten af 60'erne spillede han en væsentlig rolle i etableringen af moderne faststoffysik i Danmark. Med sin dybe indsigt i faststoffysikken og brede kendskab til den nyeste udvikling, var han en inspirerende diskussions-partner for sine kolleger og en fremragende læremester for en ny generation af faststoffysikere. Også mange af de idag internationalt førende forskere var - takket være Al-lans kontakter - på et tidligt tidspunkt af deres karriere en periode i Danmark, og har været værdifulde samarbejds-partnere lige siden.

Allan Mackintosh spillede i det hele taget en vigtig rolle i det internationale samarbejde, specielt for den eu-ropeiske fysik. Han var formand for European Physi-cal Society 1980-82, for Hewlet-Packard-priskomiteen i 1986-90 og han var præsident for Dansk Fysisk Sel-skab 1976-78. Hans videnskabelige omdømme og vidt-strakte internationale kontaktnet gjorde ham også til en skattet rådgiver for Europakommissionen i Bruxelles. For Risø spillede han i de senere år en meget vigtig rolle som

bindeled til Kommissionen i forbindelse med anvendelsen af Risø's neutronspektrometre ved DR3, som en EU-støttet brugerfacilitet for europæiske forskere.

Det var ikke kun de fremragende videnskabelige kvalifikationer og kontakter til til de bedste fysikmiljøer i verden, der gjorde Allan Mackintosh værdsat. Han var i mindst lige så høj grad skattet for sine fine menneskelige egenskaber. Han var utrættelig i sine bestræbelser på at hjælpe og støtte kolleger og venner både fagligt og personligt. Og det var kendetegnende for Allan, at han var bevidst om betydningen af alle medarbejders indsats. Han gjorde et meget stort arbejde for at alle skulle få den anerkendelse de forjente.

I 1971 blev Allan, som kun 35 årig, direktør for Risø i en periode, hvor den folkelige modstand mod kernekraft var stærkt voksende. Allan deltog i den offentlige debat som varm fortaler for kernekraft. Han gjorde meget for at indføre rationelle argumenter i den stærkt følelsesladede debat. Efter 5 år som direktør valgte han at gå helt

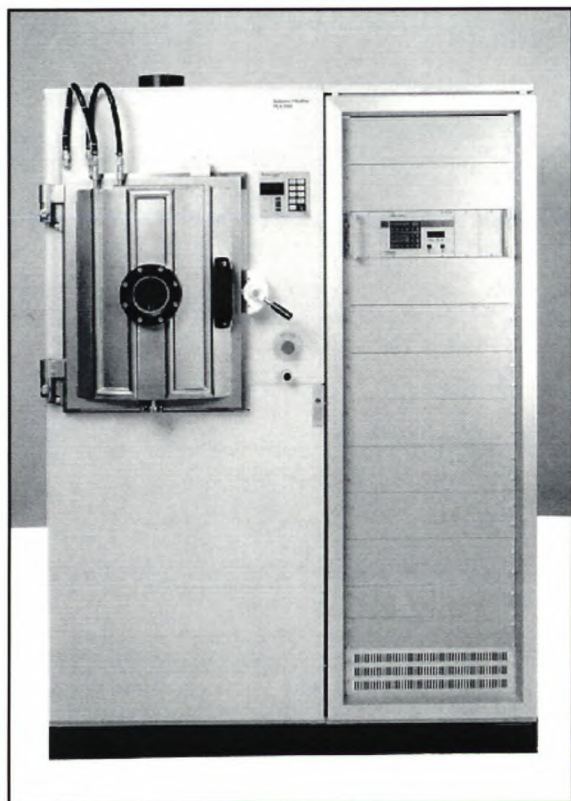
tilbage til forskningen, som også i direktørtiden var hans dybeste interesse. Han fortsatte med at bidrage til den offentlige debat, bl. a. med artikler om forskningsspørgsmål i Berlingske Tidenes gæstepanel.

I de senere år engagerede Allan sig i stigende grad i videnskabshistorie. Også på dette felt viste han sin dybde ved at påvise væsentlige bidrag til de store opdagelser fra hidtil upåagtede forskere i den meget spændende periode i første halvdel af dette århundrede.

Den sidste dag i sit liv tilbragte Allan med at udvælge eksperimenter til udførelse på DR3 under kontrakten med EU, hvorefter han gav et fremragende foredrag om opdagelsen af neutrinoen for godt 60 år siden.

Vi er mange, der vil savne Allan dybt, som en værdifuld samarbejdspartner og nær ven gennem mange år.

Ole Krogh Andersen og Hans Bjerrum Møller



Balzers PFEIFFER

Fleksible vakuumanlæg til forskning og produktion med Pfeiffer PLS-system

Udrustningsmuligheder:

*Termiske kilder
Elektronkanon
Magnetron sputtring
Ionkilder
Ion-assisteret
bedampning
Plasmaudrustning
Load Lock*

Størrelser:

*PLS 160 Table top
PLS 500
PLS 570*

Højvakuumpumpe- stand med turbo- pumpe

Balzers-Pfeiffer Scandinavia

*Baunegårdsvej 7L
2820 Gentofte*

*Tel.nr. 39 68 32 61
Fax nr. 39 68 22 55*

FRA VORT STORE PROGRAM

VARIAN

Turbopumper
Ionpumper
Oliediffusionspumper
Læksøgere
Vacuum måleudstyr
UHV & HV fittings

Oxford Applied Research

Reaktive atomkilder
Mini E-beams
Quartz micro vægte
Ioniserede doping
K-celler
Substratholdere i
UHV udførelse
Rheed Guns
Magnetronkilder
Ion cleaning Guns
Fokuserende
elektronkilder
Scanning ionkilder

DCA Instruments

Fremstilling af UHV anlæg til:
Sputterprocesser
MBE
Tyndfilm deponering
Overfladeanalyse
samt kundespecificeret UHV kamre

Leda - Mass

Quadrupoler / RGA
Windowsbaseret software
Specielt design til
sputterprocesser
ion implantering
tyndfilm
optisk coating
acceleratorer
overfladeanalyse m.m.

Lake Shore Cryotronics

Lavtemperatur kontrollere
& sensorer
Elektromagneter & strømforsyninger
Gaussmetre & Hall elementer
VSM (vibrating sample magnetometer)
AC/DC magnetometer - susceptometer

APD cryogenics

Close cycle kryostater ned til 6,5 °K
Open cycle kryostater ned til 2 °K
Cryotiger fra 80 °K til 120 °K
Kryopumper

AAGE CHRISTENSEN A/S

Skelmosevej 10, DK-2500 Valby Tlf. 36 44 24 44 Fax 36 44 20 24



Fysik på nettet

Jørgen Bak, Aarhus Universitet

Informationssamfundet er i rivende udvikling. Der er snart en PC i hvert hjem og der faldbydes Internet-abonnementer omtrent som var det mobiltelefoner. Men hvad er det egentlig for noget - og hvad er situationen for faget fysik?

Det kommer ikke som nogen overraskelse for dette blads læsere, at fysikere altid har været blandt de mest aktive brugere af computere i bredeste forstand. Data analyser og modelberegninger er baggrunden for, at der i det hele taget blev konstrueret computere tilbage i 40'erne, og da netværk begyndte at dukke op i 70'erne var fysikere igen blandt de første til at tage det i anvendelse. Til at begynde med var det en mulighed for at styre programmerne (jobafviklingen) på computere fjernt fra der, hvor man befandt sig, og endvidere muligheden for at udveksle meddelelser (elektronisk post) og filer med andre brugere af computerne. Som et informationsmedium har computere med netværk i mange år været meget primitiv. Det var stort set kun muligt at få eller aflevere informationer som ASCII-tegn på en computerskærm med 25 linier og 80 tegn i hver linie - som yderligere var pakket godt ind i forskellige operativsystemers behov for kryptiske kommandoer.

Gennembruddet med hensyn til et computer-baseret informationsmedie kom med skabelsen af World Wide Web. Samtidig er udbredelsen af Internet eksplosiv i disse år, så flere og flere får adgang til det og begynder at anvende det. Mange muligheder er fortsat løse skitser i sandet, men der er ved at tegne sig et mønster.

Lidt om Internet og WWW

Det er ikke tanken at gå i dybden med disse to begreber, men en kort baggrundsbeskrivelse vil være nyttig.

Internettet er betegnelsen for det computernetværk, der er baseret på TCP/IP-protokollen. Det har sit udspring i 60'erne og er i princippet baseret på en række parvise forbindelser uden et fælles styrende kontrolcenter. Det indebærer at hver tilknyttet bruger betaler sin del af tilslutningen til de direkte tilknyttede knuder, hvorefter nettet er frit. Dette fungerede fint så længe det udelukkende blev anvendt til forskning og udvikling, men det er uvist hvorledes det kommercielle markeds overtagelse af nettet vil påvirke denne kollegiale struktur.

I Europa var EARN (European Academic Research Network) det første net, der bandt universiteter sammen. Det blev stillet til rådighed af IBM, og anvendte en speciel protokol. Midt i firserne begyndte Internettet sit indtog i Europa[1]. Danmark var fra starten med i det fællesnordiske projekt, NORDUNET, som har været medvirkende til at Skandinavien i dag er førende hvad angår udbredelsen af Internettet. Danmark er dog den svageste partner.

World Wide Web blev født på CERN, hvor Tim Berners-Lee[1,2] i marts 1989 skrev det første udkast til hvorledes, der kunne opbygges et generelt tilgængeligt informationssystem på basis af Internettet. Kernen i systemet er at oplysningerne befinder sig på computere med et server-program, mens brugerne læser det på deres egen computer med et såkaldt browser-program. Kommunikationen mellem de to maskiner foregår over Internettet, og er baseret på en meget enkel protokol, der udnytter de allerede eksisterende standarder.

I oktober 1990 fik projektet navnet World-Wide Web og udviklingen af programmet til World-Wide Web tog fart på CERN. Den 17. maj 1991 gives der generel adgang til WWW-tjenester på CERN, og samtidig etableres den første amerikanske WWW-server på SLAC (Stanford Linear Accelerator Laboratory). I januar 1993 findes der omkring 50 WWW-servere i verden.

I marts 1993 tegner WWW sig for 0,1 højhastighedsnet, men allerede et halvt år senere er trafikken 10-doblet, og udbredelsen fortsatte i lyntempo. I oktober 93 er der over 200 kendte servere og i juni 94 er tallet over 1500. Omkring årsskiftet 1993/1994 dukkede de første danske servere op, og her som andre steder har det siden myldret frem med servere.

I sommeren '94 oprettes W3 organisationen, der nu har hjemme på MIT i USA, og i forbindelse med vedtagelsen af bygningen af den nye store accelerator, LHC, på CERN overdrages den europæiske udvikling til INRIA (Institut National pour la Recherche en Informatique et Automatique) i Frankrig.

1995 var året hvor verdenen opdagede WWW, og der er ingen tvivl om at anvendelsen i de kommende år fortsat vil vokse med kolossal styrke.

Indledningsvis er det helt klart, at der i dag er mange småforsøg, pjankede ting eller leg på WWW. Det skyldes, at det er så nyt et medium. Der kan bruges lang tid på at surfe rundt på nettet, som det hedder i jargonen, og hvis man surfer rundt på må og få, vil man uvægerligt for det meste støde på ligegyldige oplysninger. Enten er det en test-side uden indhold (eller være endnu: siden er forsvundet eller har aldrig eksisteret) eller også er det en side, der stort set kun indeholder henvisninger til forfatterens yndlingssider. På det seneste er grafik kommet stormene ind og forfatterne (mest unge mænd mellem 18 og 35 (!!!)) forsøger at overgå hinanden med effekter. I de fleste tilfælde lyser det langt væk af amatør-arbejde, og samtidig tager det en evighed at hente disse grafiske udgydelser, der fylder et stort antal bytes. Der er dog også mange gode og seriøse oplysninger tilgængelige.

Welcome to the Niels Bohr Institute (NBI)



Blegdamsvej 17, DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark ([full address](#), [on public transportation](#))

The Niels Bohr Institute is one of the four departments of the **Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics (NBIfAFG)**, [University of Copenhagen](#), [Denmark](#) ([map](#)).



Institute of Physics and Astronomy

Institut for Fysik og Astronomi (IFA)
[University of Aarhus](#), [Denmark](#)

Ny Munkegade, DK-8000 Aarhus C, Denmark
Phone: +45 8942 2899

Figur 1. fig.1: Sådan tager hjemmesiden fra Niels Bohr Institutet[5] og hjemmesiden fra Institut for Fysik og Astronomi[6] sig ud

Som det fremgår af denne lille historiske oversigt er WWW født i højeenergifysikens verden, og det er derfor helt naturligt at informationer om højeenergifysik har en meget fremtrædende plads. Det er således muligt at finde oplysninger om stort set alle igangværende højeenergiek eksperimenter[3]. Ligeledes er astronomi og rumforskning også store og seriøse udbydere af oplysninger.

Der er allerede en mængde oplysninger til stede på nettet, og det er ikke formålet her hverken at anmelde disse hver for sig eller blot at remse dem op. Hvis man har en browser med adgang til nettet kan man anvende oversigten[4] over de forskellige servere, og slå op på de sider, der vækker interesse. Denne oversigt er opdelt i tre dele, der dækker fysiske institutter, andre oversigtssider og foreninger og selskaber med tilknytning til fysik.

Stort set alle fysiske institutter har i dag en WWW-tjeneste, og de er gennemgående kommet ud over det første eksperimenterende stade. Som eksempel vises her startsiderne fra Niels Bohr Institutet[5] og Institut for Fysik og Astronomi[6] i Århus. Det er dog fortsat kun enkelte faglige områder, der virkelig går i dybden med informationer, f.eks. med elektronisk adgang

til preprints. Som generel oplysningskilde om institutternes aktiviteter og dets medarbejdere er oplysningerne allerede udmærkede over stort set hele linien. Der er endnu ikke så meget om undervisningen (kursus-beskrivelser og undervisningsplaner), men det er kun et spørgsmål om (sandsynligvis kort) tid før det også er med. Sprogligt set er det meste på engelsk, men der findes også danske beskrivelser.

Foreninger og selskaber er som hovedregel beskrevet på dansk, hvilket er fornuftigt og naturligt da det primært er af interesse for danskere. Her kan man typisk finde en beskrivelse af formålet med selskabet og hvorledes det kan kontaktes.

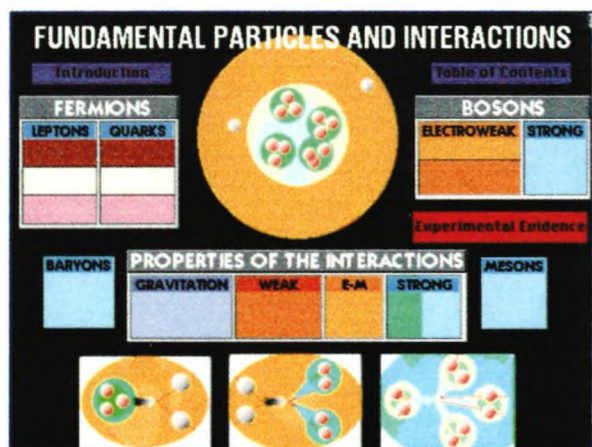
Oversigtssider er et djævelsk område, da udviklingen er så hurtig. Hvis man giver sig i kast med det, må man indstille sig på at det er et Sisufos-arbejde, idet mange endog nogenlunde officielle sider flytter elektronisk bopæl - eller ligefrem forsvinder - hvilket smitter tilbage på oversigtens troværdighed, hvis den ikke holdes vedlige. Generelt set er det bedste råd at basere sig på de store oversigts-udbydere[7], som arbejder med at strukturere og emneopdele de tilgængelige oplysninger.

Der åbner sig mange nye muligheder i at bruge net-

tet aktivt i undervisningen - måske ligefrem med web-baserede lærebøger. Det kan her anbefales at se på PhysicsEd[8], som er en meget bredt dækkende adgangskilde til oplysninger.

Standard Model of Fundamental Particles and Interactions

Click on any item on the chart or on the list of items below.



Figur 2. første side af web-bogen om Standard Modellen[12]

Det findes dog stort set kun de første spæde forsøg. Her kan i flæng nævnes muligheden for at konsultere det

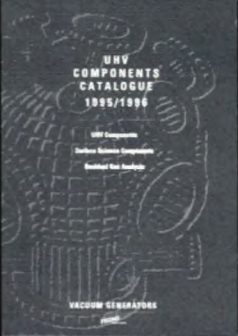
periodiske system[9], nukleidkortet[10] og Particle Data Groups oversigter over elementarpartikler[11]. Som et eksempel på hvorledes en lærebog kan opbygges, kan man studere Standard Modellen[12]. Den er på amerikansk og skal mere tages som et eksempel end som et seriøst oplæg til en lærebog. Der kan findes mere detaljerede notesamlinger rundt omkring, men de er typisk specifikt lavet til et kursus på et eller andet universitet og er som sådan snævert bundet til det pågældende universitets læseplan.

Referencerne:

Alle Referencerne ovenfor kan findes i en samlet liste på: <http://www.aau.dk/~admijfb/kvant/wwwfysik.htm>. Så får redaktøren lige plads til en annonce og man er fri for at skrive til mere end denne ene reference.



Jørgen Bak er cand.scient. i 1979 fra Aarhus Universitet. Derefter ansat på CERN. Ph.D. i fysik 1984. Arbejder i dag i administrationen på Aarhus Universitet med informationsopgaver i bredeste forstand, blandt andet som webmaster for universitetets web-server. Medlem af redaktionen af KVANT



Synchrotron Components
Pressure Measurement
Cryogenic Manipulators
High Stability Manipulators
Sample Holders and Services
Transfer and Transport Devices
Valves, Linear and Rotary Drives
Flanges, Fittings and Gaskets
Fast delivery. Excellent quality. Affordable prices.
All in our latest UHV Components Catalogue.
You'll be surprised how much we've packed in.

Vacuum Generators

Fisons Instruments Nordic AB, Gårdsfögdevägen 16, S-161 70 BROMMA, Sweden
Tel: +46-(0)8 629 24 00 Fax: +46-(0)8 627 52 20
E-Mail: kennet.joelsson@fisons-instruments.se

**Now you can
afford the best.
Your single
source in UHV.**




Ulykken i Tjernobyl

Peter Bille Fynbo

Da reaktor nummer fire i Tjernobyl sprang i luften den 26. april 1986, var der mange åbne spørgsmål. Deriblandt: Hvordan gik det til? Kan det ske igen? Hvor meget radioaktivt materiale blev spredt til omgivelserne?

Det første spørgsmål kan kun besvares, hvis man ser på den særlige sovjetiske reaktortype, der var bygget fire af i Tjernobyl.

Tjernobyl-4 var en RBMK-reaktor. RBMK er forbogstaverne på russisk for "Reaktor af høj effekt af kanal-typen". RBMK-reaktorerne blev kun bygget i Sovjetunionen og findes i dag i Rusland, Ukraine og Litauen. De er lidt specielle af kraftværksreaktorer at være. For det første er de trykrørsreaktorer til forskel fra tryktanksreaktorer, og for det andet - og af større betydning for os - har de grafit som moderator og vand som kølemiddel.

I en RBMK-reaktor er uranbrændslet fordelt i 1600-1700 lodrette kanaler i en stor blok af grafit(1), der er 8 m høj og 14 m i diameter. Numrene i parentes henviser til snittegningen af Tjernobyl-4 reaktoren på figur 2. Selve reaktorkernen er 7 m høj og 12 m i diameter; grafitten i kernen er moderator, mens grafitten ovenover, nedenunder og udenom kaldes reflektor, fordi den returnerer en stor del af de neutroner, der forlader kernen. Brændslet køles af vand, der pumpes ind forneden(7,8,9) og begynder at koge et stykke oppe i kanalerne. Damp-vand-blandingen, der har et tryk på 70 bar, samles fra alle kanalerne i fire store tromler(4) (diameter 2,3 m, længde 31 m), hvor dampen skilles fra vandet og går til turbinerne(23). Der er to generatorer på hver 500 MW og den termiske effekt er maksimalt 3200 MW. (De to RBMK-reaktorer i Ignalina i Litauen har hver en elektrisk effekt på 1500 MW, men af sikkerhedsgrunde køres de i dag på lavere effekt.)

RBMK-reaktorer kan blive ustabile, løst sagt fordi de har for megen moderator i forhold til mængden af uranbrændsel - det vil navnlig sige mængden af U-235. Man siger, at de er overmodererede. Kølemediet er vand, som både modererer og absorberer neutroner. Når vandet koger, bliver begge effekter svagere, men fordi der er rigelig grafit, påvirkes modereringen ikke mærkbart. Er der nu af en eller anden årsag lidt forøget effekt i en kanal, koger vandet kraftigere. Herved falder absorptionen af neutroner, så der kan spaltes flere urankerner, det får effekten til at stige, vandet koger stærkere osv. Det går modsat, hvis effekten i en kanal falder lidt. Reaktoren er altså ustabil.

Billedet er ikke fuldstændigt. Der er en stabiliserende effekt (dopplereffekten), som skyldes, at U-238-kernernes evne til at absorbere neutroner øges med brændslets temperatur. Denne effekt giver altid negativ tilbagekobling og virker derfor stabiliserende. Overmodereringen giver positiv tilbagekobling i RBMK-reaktorer mens undermod-

erede reaktorer, som de svenske eller tyske har negativ eller næsten ingen tilbagekobling. Størrelsen af disse effekter afhænger af temperaturen i vand eller brændsel, af brændslets sammensætning, af reaktorens effektniveau og af kølemiddeltilførslen. I RBMK-reaktorer dominerer den positive tilbagekobling ved lav effekt, og der er derfor et generelt forbud mod vedvarende drift, hvis den termiske effekt er under 700 MW.

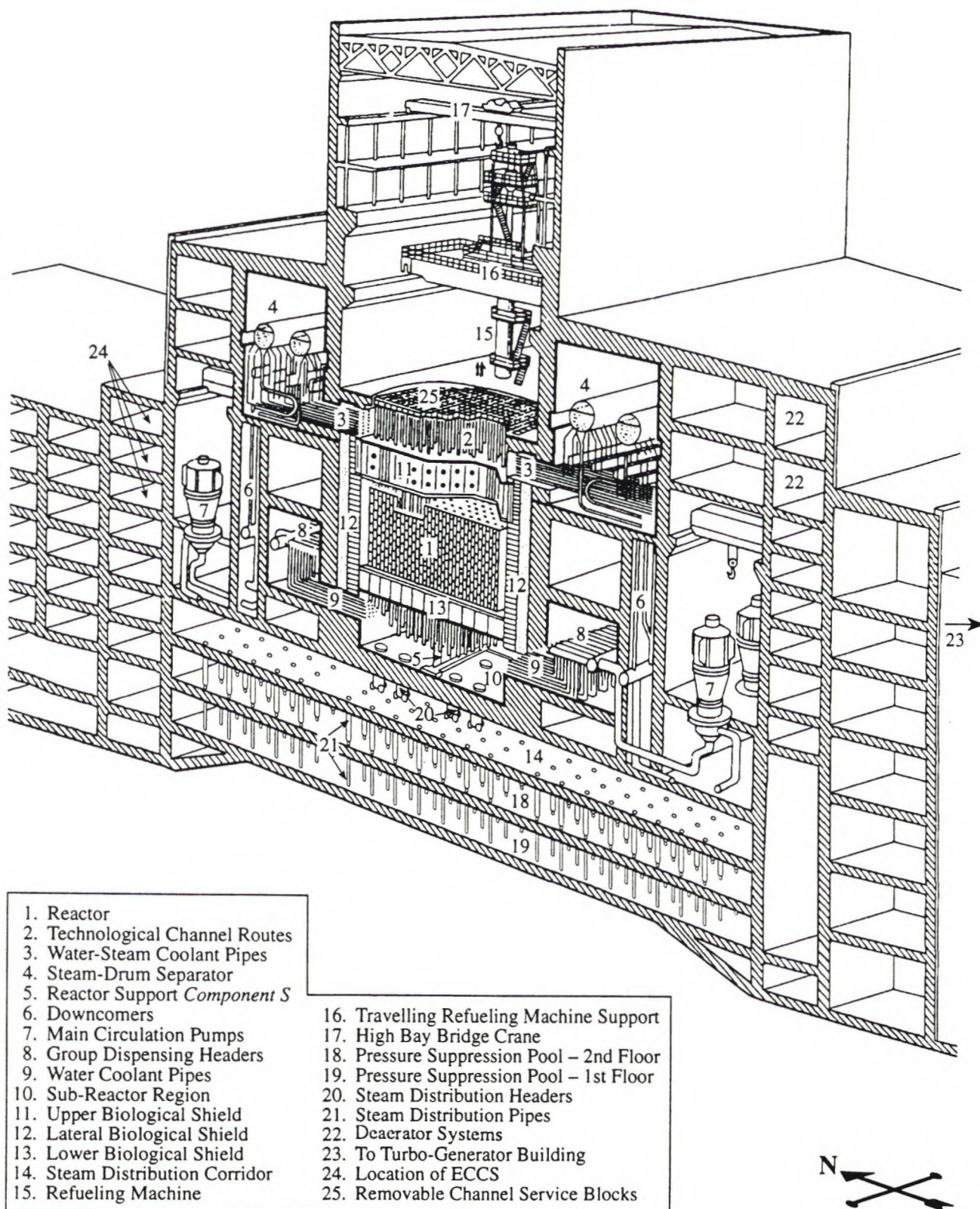
Det kan være interessant at sammenligne med den amerikanske militære N-reaktor, der blev brugt til fremstilling af våbenplutonium. Opbygningen mindede om RBMK-reaktorernes, men der var mindre grafit, så vandets evne til at moderere var væsentlig for, om reaktoren kunne virke. (Andre forskelle: trykket var så højt, at vandet ikke kogte, og brændselkanalerne var vandrette. En slægtning til N-reaktoren kan ses i Tintin-hæftet "Månen Tur-Retur". N-reaktoren blev lukket for nogle år siden i forbindelse med nedrustningsaftalerne.)

Nu er det ikke nødvendigvis på forhånd uacceptabelt, at maskiner er ustabile over for forstyrrelser. Vi har masser af den slags - biler f. eks. Det, der betyder noget for vurderingen, er dels alternativerne (herunder at give afkald på brugen), dels, hvor godt det installerede servosystem - i eksemplet altså bilist plus styretøj og bremses - der skal regulere, er i forhold til forstyrrelserne. På reaktorumrådet har de myndigheder, der fører kontrol med atomkraftværkernes sikkerhed, en udtalt skepsis til ustabile systemer. Derfor ville en reaktor med en RBMK-lignende instabilitet aldrig kunne blive godkendt i toneangivende lande som USA, Tyskland eller Sverige.

Men RBMK-reaktorerne har andre kedelige sider. En britisk studiegruppe besøgte i 1975 Sovjet og havde negative kommentarer til sikkerheden. Den manglende stabilitet er selvfølgelig med, men gruppen lagde også vægt på fraværet af et sekundært nødstopssystem, på de høje grafittemperaturer, på den utilstrækkelige mulighed for nødkøling af brændslet og på savnet af en reaktorindeslutning. De fleste vestlige reaktorer har kontrolstave til at standse kædeprocessen og et alternativt system, som typisk består i, at en såkaldt neutrongift sprøjtes ind i moderatoren, hvis kontrolstavene skulle svigte. De fleste vestlige reaktorer har også en reaktorindeslutning (også kaldt et containment), en lufttæt, trykfast bygning, som skal holde de radioaktive stoffer indeslættede i tilfælde af en alvorlig beskadigelse af reaktorkernen. At en reaktorindeslutning er en god ting, sås ved uheldet på Three Mile Island i 1979, hvor der kun var et ubetydeligt udslip.

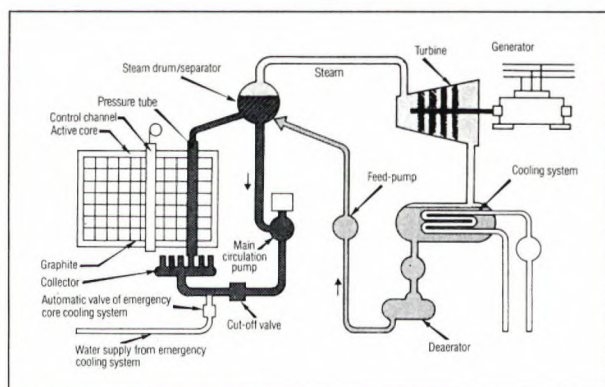
Ulykken

Ulykken skete 26. april 1986 kl. 1:24 lokal tid. Men egentlig startede det hele ca. 12 timer før. I forbindelse



Figur 1. Tværsnit af Tjernobylreaktor nr. 4. Reaktorkernen(1) er 8 m høj og 14 m i diameter. I teksten henvises til tegningens numre. Reaktoren er sikret ved samtidigt brud på nogle få af trykrørene. I dette tilfælde skal dampen ledes via fordelerrør(20,21) og fordelerkorridor(14) til vandfyldte kølebassiner(18,19). Her kondenseres dampen så trykket holdes nede, samtidigt med at reaktoren nødlukker. Dette system tåler kun et overtryk på 1 bar og kunne slet ikke følge med under ulykken.

med en rutinemæssig nedlukning skulle der udføres et eksperiment, som skulle prøve, i hvor høj grad en generator kan levere strøm til nødkølepumperne, hvis værket mister forbindelsen til højspændingsnettet og derfor ikke kan komme af med den elektriske energi. Sker det, må turbine og generator standses, og så kan værket selv komme til at mangle strøm. Under eksperimentet skulle dampstrømmen til den tilbageværende turbine afbrydes (den anden var koblet fra tidligere), og generatoren skulle så, indtil den gik i stå, levere strøm til hovedcirkulationspumperne(7) (som blev brugt ved eksperimentet i stedet for nødkølepumperne), forhåbentlig længe nok, til at dieselmotorerne kom i gang med at trække nødstrømsforsyningen. Lignende forsøg var blevet udført tidligere, men resultaterne havde været utilfredsstillende. Forsøget skulle foregå ved 700 - 1000 MW termisk effekt, svarende til 20 - 30% af den normale effekt, 3200 MW. Idet vi - indtil videre - følger den officielle sovjetiske rapport, var forløbet omtrent således:



Figur 2. Principdiagram for RBMK-reaktorer.

- 01:03, Vandstrømmen gennem reaktoren øges i
01:07, flere omgange. Da effekten er lav, kan van-
01:19 det ikke nå at fordampe. Tryk og vandstand
i de store tromler, hvor vandet skilles fra
dampen(4), falder. To beskyttelsessystemer,
der er baseret på tryk og vandstand i trom-
lerne, blokeres af operatørerne, for at ekspe-
rimentet kan gennemføres. I reaktorkernen
stiger vandet, der absorberes flere neutroner,
og de automatisk styrede kontrolstave går
oven ud. De manuelt styrede kontrolstave
trækkes også ud.
- 01:22 Operatøren mindsker strømmen af vand,
trykket falder, vandet koger igen, reakti-
viteten stiger, og de automatiske kontrol-
stave begynder at gå ind.
- 1:23 Eksperimentet begynder. Dampen ledes
uden om turbinen, som derfor taber fart. Det
burde få reaktoren til at lukke ned, men
personalet har også blokeret dette beskyt-
telsessystem, så man kan prøve igen, hvis
forsøget skulle mislykkes første gang. Nu
begynder effekten at stige langsomt. Vand-
strømmen aftager, fordi strømtilførslen til
pumperne falder. Så stiger temperaturen i
trykrørene, og instabiliteten viser sig igen.
Men denne gang kan kontrolstavene ikke
følge med.

Kl. 01:23:40 trykker operatøren på nødstopet. Der sker tilsyneladende ikke noget. Kl. 1:23:44 stiger effekten voldsomt. Sovjetiske beregninger viser, at reaktoren var prompte kritisk, og at effekten var 110 gange den normale, altså ca. 350 GW. Andre beregninger angiver 80 - 400 gange den normale effekt.

Der skete to eksplosioner, som er søgt forklaret på forskellige måder. De fleste mener dog, at det gik sådan til:

Effektstigningen skete på en brøkdels af et sekund. Det er for kort tid til, at det indre af brændselspindene (diameter ca. 1 cm) kan afgive varmen. Brændselspindenes indre smeltede og fordampede, og trykket sprængte resten af brændslet og dets indkapsling. Da brændslet kom i kontakt med vandet, kunne det hurtigt afgive varme til vandet, fordi overfladen var meget stor. En dampekspllosion var resultatet. Den ødelagde mange af trykrørene mellem vand og grafit og blæste den 1000 tons tunge klods(11), der lå, som strålingsafskærmning, oven over reaktoren, op i lodret stilling, og det rev på sin side alle de trykrør(3) over, der endnu ikke var ødelagte.

Vanddampen og den glødende grafit reagerede kemisk, og der blev dannet brint og kulilte, der kunne blande sig med luften i reaktorhallen, efter at klodsen var vippet op. Denne knalddgasblanding eksploderede. Eksplosion nummer to ødelagde bygningen og sendte dele af kernen op på nabobygningernes tage samt fissionsprodukter m.m. 1 km op i atmosfæren. Herfra spredtes de over det meste af Europa.

25. april 1986

- 01:00 Effektsænkningen indledes. Det sker langsomt for at undgå en opbygning af Xe-135.
- 13:05 Effektsænkningen standses ved 1600 MW, fordi elproduktionen ikke kan undværes. Den ene af de to generatorer kobles fra.
- 23:10 Effektsænkningen fortsættes mod 700 - 1000 MW. Sænkningen foregår nu betydeligt hurtigere end før.

26. april 1986

- 00:28 En operatørfejl får effekten til at falde langt under 700 MW, helt ned til 30 MW. Effekten er nu så lav, at reaktoren bør lukkes ned, og eksperimentet afbrydes.
- 01:00 Reaktoren stabiliseres ved 200 MW. Det er en overtrædelse. Den må ikke arbejde ved så lav effekt. På grund af xenonforgiftning, der hænger sammen med de 10 timer på halv effekt, må alle kontrolstave trækkes ud, og effekten kan ikke komme højere end 200 MW.

Udslippet

Udslippet fortsatte, så længe grafitten brændte. Efter 9 - 10 dage faldt udslipshastigheden stærkt, selvom der helt op til 25 - 30 dage efter ulykken var enkelte mindre, men ikke ubetydelige, udslip. Udslippet bestod af ædelgasserne xenon og krypton, hvoraf alt menes at være frigivet, af jod, mest I-131, hvor 50 - 60% blev frigivet, og af to cæsiumisotoper, hvor $33 \pm 10\%$ blev frigivet. Der var mange andre stoffer, nogle, som barium og strontium, er meget lidt flygtige, og de kom kun i ringe grad ud til omgivelserne. Andre, molybdæn og ruthenium, har letflygtige oxider, og det har været svært at vurdere målingerne, men der er i hvert fald kommet mere ud end de 2 - 3%, man først regnede med. Af selve reaktorbrændslet er ca. 3,5% kommet ud, mest som findelt støv. Tallene stammer fra OECD's Nuclear Energy Agencys nyeste vurdering, som sammenfatter, hvad vi ved i dag. Nogle af tallene er ca. dobbelt så store, som den første sovjetiske rapport angav kun fire måneder efter ulykken. Forklaringen er, at den rapport var baseret på de målinger af luftprøver og nedfald, der var foretaget i Sovjetunionen. De nye tal medregner også målingerne fra andre lande.

Isotop	Aktivitet i reaktor(PBq)	Udslip (pct)
Xe-133	6500	100
I-131	3200	50-60
Cs-134	180	20-40
Cs-137	280	20-40
Sr-89	2300	4-6
Sr-90	200	4-6
Mo-99	4800	>3,5
Ru-103	4800	>3,5
Pu-239	0,85	3,5
Pu-241	170	3,5

Tabel 1: Tjernobyl-4's indhold af nogle vigtige radionuklider og deres procentvise udslip. 1PBq er 10^{15} henfald/sek.

Man kan i dag komme ind i bygningerne og måle og tage prøver, ofte med fjernbetjent udstyr p.g.a.strålingen. En del af den ødelagte kerne smeltede, reagerede med betongulvet og gik ned gennem gulvet, før det størknede som noget, der lignede lava. Denne lava ville man gerne have prøver af, da det blev muligt at komme ind i underetagen igen nogle år efter ulykken. Nyere RBMK-reaktorer har en underetage, der er indrettet, så den kan aflaste et vist overtryk i reaktorrummet ved uheld; det gik bare alt for hurtigt denne gang. Men lavaen var så hård, at det var umuligt at tage prøverne. Hvad gør man så? Man tager en Kalashnikov riffel og ...? Ja, rigtigt gættet. Og bagefter kan man så pille splinterne op. Det mest ejendommelige er, at lavaen et par år senere var forvitret, så den smuldrede af sig selv.

Kort efter ulykken begyndte byggeriet af "sarkofagen", en meget stor bygning uden om den ødelagte reaktor. Sarkofagen, som ukrainerne hellere vil kalde "Ukrytie" - på russisk betyder det noget i retning af "Beskyttende

dække" - skal sørge for, at der ikke kommer mere radioaktivt stof ud som følge af blæst eller nedbør. Den blev bygget i et imponerende tempo, men den var ikke ment som den endelige løsning på problemet. Den kan formentlig holde nogle år endnu, men dens tilstand er ikke god. Der er huller og revner i murene - tilsammen vel 1000 kvadratmeter, og klimaet på stedet er hårdt ved betonen. Bryder bygningen sammen, vil der "kun" blive tale om en lokal forurening, men alligevel må der inden for en ikke alt for fjern fremtid gøres noget, og det vil nok sige, at der skal bygges en ny "Ukrytie" uden om den gamle. Ukraine er begyndt at se på det, men det er tvivlsomt, om landet selv kan magte opgaven, teknisk og økonomisk.

Hvem havde ansvaret? I første omgang var det operatørerne og dem, der stod for eksperimentet, der fik skylden. Synderegisteret ser også slemt ud. Tre beskyttelsessystemer blev koblet fra, reaktoren kørte i en "ulovlig" tilstand, som skyldtes, at forsøgsprogrammet blev fraveget allerede, da effektsænkningen blev standset, og alle kontrolstavene var trukket helt ud for at holde effekten. Ingen tvivl om, at de havde båret sig galt ad. Det var da også dem, der blev gjort ansvarlige i den officielle sovjetiske rapport, som blev fremlagt på en konference i Wien i august 1986. Kort tid efter blev nogle af dem fængslet og året efter idømt fra to til ti år i en arbejdslejr.

Det var imidlertid kun den ene side af sagen. RBMK-reaktorernes svagheder blev fremhævet i fagpressen, hjulpet af den "glasnost", som var en nyskabelse i Sovjet dengang. Reaktorerne tendens til at blive ustabile. Beskyttelsessystemerne, der kunne slås fra, det ene efter det andet. Kontrolstave, der ikke havde større fart end 40 cm/s, selv ved nødstop. Det forhold, at stavene kunne trækkes helt ud og, hvis det skete, skulle bevæges langt, før de begyndte at virke. Og endelig kontrolstavens udformning med grafit under den absorberende del. Ideen er ellers god nok. Kontrolstavene kører i vandkølede kanaler. Trækkes kontrolstavene op (ud), vil neutronabsorberen blive erstattet af grafit, som næsten ikke absorberer neutroner, og ikke af vand, som absorberer. Skubbes stavene ind, er det omvendt, og stavene er altså mere effektive, end de ville være uden grafit. Men grafitten var for kort. Hvis en stav var trukket helt op, var der vand forneden i dens kanal. Skulle staven så føres ind, ville der ske det i bunden af reaktorkernen, at absorberende vand blev erstattet af ikke-absorberende grafit med en midlertidig forøgelse af reaktiviteten til følge. Det ville svare til, at en bil begyndte med at give sig til at accelerere, når man trykkede på bremsen.

Anatolij Djatlov, der var næstkommanderende driftsingeniør på Tjernobyl-4 og havde ledelsen i kontrolrummet natten til den 26. april, har beskæftiget sig med skyldsspørgsmålet, og han har gjort opmærksom på reaktorens mangler og på, at værket ikke modtog relevant information fra myndighederne. Han blev idømt ti års arbejdslejr ved retssagen, men blev benådet efter fire år, fordi han var svagelig efter den store strålingsdosis, han fik ved ulykken. Han har, indtil han døde af et hjerteanfald kort før jul 1995, argumenteret kraftigt for, at det

ikke var personalet, men reaktoren, der var noget i vejen med. Reaktordrift under 700 MW var ikke forbudt. Den regel blev indført efter ulykken og før konferencen i Wien! Det var ikke forbudt at blokere det beskyttelsessystem, der skal lukke reaktoren ned, hvis der ikke er damp til turbinerne. Det var heller ikke forbudt at blokere det signal, der skyldes lav vandstand i de tromler, hvor vandet skilles fra dampen - og det havde heller ikke været blokeret, selv om det blev påstået i Wien.

Djatlov lægger entydigt skylden på reaktoren. Det gik galt, da kontrolstavene blev ført ind, fordi grafitten var for kort. Han indrømmer, at operatørerne havde trukket kontrolstavene for langt ud, men de havde aldrig fået en ordentlig forklaring på, hvorfor stavene ikke måtte trækkes helt ud. Desuden var deres instrumenter uegnede til at fortælle dem, hvordan stavene lå i forhold til det tilladte. Operatørerne vidste selvfølgelig, at kontrolstave ikke kan kontrollere en reaktor, når de er trukket helt ud af reaktorkernen, men de havde aldrig hørt om, at stavene kunne virke modsat hensigten. Det var blevet opdaget et par år tidligere under afprøvningerne, da Ignalina-1 og Tjernobyl-4 selv skulle tages i brug. De centrale myndigheder kendte årsagen, men havde hverken gjort noget ved det eller underrettet operatørerne ved de værker, hvor der var RBMK-reaktorer.

På den anden side står det tilbage, at forsøgsproceduren uden videre blev ændret, da effekten ikke kunne holdes så højt oppe som planlagt, og at kontrolstavene blev trukket meget langt ud, selv om det ikke var forudset, at det skulle være nødvendigt for at gennemføre eksperimentet. Begge forhold vidner om dårlig sikkerhedskultur på værket. Men de rent tekniske fejl, at erkendte fejl ikke blev rettet, og at operatørerne ikke fik den information fra reaktorkonstruktører og myndigheder, de havde brug for, viser, at den dårlige sikkerhedskultur ikke var et lokalt fænomen.

Er RBMK-reaktorerne lige så usikre i dag som dengang? Nej, der er sket mange forbedringer siden 1986. Kontrolstavene er ændret, så de kun virker på den tilsigtede måde. De er blevet hurtigere, når det skal gå stærkt. Det tager nu 2,5 sekunder at få ført dem helt ind i reaktorkernen; før tog det ca. 18 sekunder. Brændslet er blevet højere beriget, så forholdet mellem mængden af moderator og mængden af U-235 er blevet lavere. Uddannelsen af operatørerne er forbedret. Beskyttelsessystemerne kan ikke blokeres samtidigt længere. Med hjælp fra Vesten er også brandsikkerheden forbedret, kabler til instrumenter udskiftet og mange andre foranstaltninger, hvor behovet måske ikke er helt så akut, men alligevel påtrængende, er blevet foretaget. Vi skal altså ikke være bange for en ny ulykke af samme karakter som Tjernobyl. Men RBMK-reaktorerne har stadig en del mangler, der skal udbedres, og to grundlæggende fejl har de stadig. De har stadig kun eet system til at standse kædeprocessen, og de mangler også stadig en reaktorindeslutning.

Den enkleste løsning, set her vestfra, er naturligvis at lukke reaktorerne, men de berørte lande kan ikke undvære elektriciteten fra værkerne. Det er derfor urealistisk,

når vestlige regeringer forlanger værkerne lukket uden videre. Der er i stedet to veje, man kan følge, hvis man er meget urolig over RBMK-reaktorerne - eller for den sags skyld over den anden sovjetiske reaktortype, VVER-reaktorerne. Enten må man betale en del af prisen for opførelsen af fossilt fyrede værker, eller også må man betale en del af udgifterne ved at få gjort de eksisterende værker sikrere. I nogle lande har det holdt meget hårdt med at nå til den erkendelse.

Konklusion

Der er skrevet mange rapporter og mange artikler i fagpressen om både uheldet på Three Mile Island i 1979 og ulykken i Tjernobyl. Forløbet på Three Mile Island er godt kendt, og der er kun enkelte forhold, der ikke forstås. Det vigtigste uløste spørgsmål handler om konsekvensen af en kernenedsmeltning: Reaktorkernen smeltede delvis, og en del af smelten løb ned i bunden af reaktortanken. Hvorfor smeltede den sig ikke igennem tankbunden? Svaret kan være væsentligt for, hvordan et eventuelt fremtidigt reaktoruheld skal håndteres.

Som det måske er fremgået, er der ved Tjernobyl langt mere, der ikke forstås, men det er også ulige sværere at skaffe data i dette tilfælde.

Ser man derimod på årsagerne, er opgaven lettere, og efter Three Mile Island stod det klart, at uddannelsen af operatører og instrumenteringen på i hvert fald nogle reaktorer skulle forbedres. Desuden bør reaktoroperatører underrettes om hændelser med sikkerhedsmæssig betydning. (Det vidste man godt, men det var blevet glemt i forbindelse med en hændelse nogle år tidligere, hvor optakten lignede det, der skete på Three Mile Island.) Generelt skulle man også se mere på at bekæmpe de små tab-af-kølemiddel-uheld end at bekæmpe de store, som man hidtil havde gjort, simpelthen fordi de små er hyppigere. Erfaringerne fra Three Mile Island blev udnyttet i Vesteuropa, Nordamerika o.s.v., men ikke i Sovjetunionen.

Helt anderledes var det med Tjernobylulykken. De konstruktionsfejl, der var så afgørende her, ville myndighederne i vestlige lande ikke have accepteret. Og som nævnt havde man efter Three Mile Island lært større omhu med at informere reaktoroperatører om hændelser, der har betydning for sikkerheden. Tjernobylulykken viste et behov og Sovjetunionens opløsning gav muligheden for samarbejde på tværs af de gamle skel. Viden og erfaringer er blevet stillet til rådighed for landene og atomkraftværkerne i Øst, der set ud fra denne synsvinkel har lært af ulykken. Men det grundlæggende i erfaringsudvekslingen drejer sig altså om noget, der var kendt før Tjernobyl. Sætter man det lidt på spidsen, kan man sige, at hvad reaktorsikkerhed som fagdisciplin angår, er der ikke meget at lære af Tjernobyl. Det kan højst blive til en bekræftelse af det, man vidste i forvejen.

Lidt reaktorfysik

Neutroner produceret ved fission er meget hurtige - adskillige tusind kilometer per sekund. Hurtige neutroner har imidlertid ringe sandsynlighed for at spalte U-235, og de må derfor "bremses ned" til nogle få km/s. Det sker i en moderator, et stof, hvor neutronerne kan aflevere deres energi ved kollisioner med atomkernerne. Velegnede stoffer er (let) vand, tungt vand og grafit. Let vand er billigst, men absorberer forholdsvis mange neutroner. Af den grund skal uranet i en letvandsmodereret reaktor være beriget, dvs. have en mere end 0,7% U-235 kerner. Berigning er dyr, og derfor bruges tungt vand og grafit som moderator i nogle reaktorer.

De fleste neutroner dannes i selve fissionsøjeblikket. Det er de såkaldt *prompte neutroner*. Men 0,65% sendes ud fra de kerner, urankernerne spaltes i. Da det først sker efter et betahenfald, kan det vare fra nogle sekunder og op til over et minut, før disse *forsinkede neutroner* kommer. De spiller en stor rolle, selv om de er få, for de forøger den effektive levetid for neutroner, der skyldes fission, så meget, at reaktoren kan styres. Kunsten består i at regulere med kontrolstave, som indeholder neutronabsorberende materiale, så der er for få prompte neutroner til at gøre reaktoren kritisk uden hjælp fra de forsinkede neutroner. Hvis der derimod absorberes så få neutroner, at de prompte neutroner kan gøre reaktoren overkritisk alene, kaldes reaktoren *prompte kritisk*. I dette tilfælde er der stor risiko for, at effekten stiger meget hurtigt. Reaktor fire i Tjernobyl var prompte kritisk.

Reaktivitet er et mål for en reaktors evne til at holde kædeprocessen i gang. En underkritisk reaktor har negativ reaktivitet, og en overkritisk har positiv reaktivitet. Reaktiviteten påvirkes af mange faktorer. F. eks. mindskes vands evne til at moderere eller absorbere neutroner ved termisk udvidelse og navnlig ved kogning, fordi tætheden af vandet falder. Et mindre trivielt eksempel er den *xenonforgiftning*, der skyldes Xe-135. Denne kerne har meget stor tilbøjelighed til at absorbere neutroner. Den dannes i mindre omfang direkte ved fission, men i betragtelige mængder ved henfald af fissionsproduktet I-135, som har halveringstiden 6,7 timer. Xe-135 forsvinder, dels ved henfald til Cs-135 med en halveringstid på 9,2 timer, dels ved omdannelse efter neutronindfangning. Efter nogle dages drift ved konstant reaktoreffekt vil både I-135 og Xe-135 være i ligevægt, men sænkes effekten, vil Xe-135 stadig dannes ved henfald af I-135, mens absorptionens bidrag til fjernelsen falder. Derfor vil koncentrationen af Xe-135 stige og reaktiviteten falde. Xenonforgiftning bidrog til, at reaktoren blev bragt i en ustabil tilstand, og var på den måde en medvirkende årsag til ulykken i Tjernobyl.

Hvis $n_U = \text{ca. } 9 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}$, er den gennemsnitlige koncentration af uran-235 i reaktorkernen, n_I og n_{Xe} er koncentrationerne af jod-135 og xenon-135, λ_I og λ_{Xe} er henfaldskonstanterne, ϕ er neutronfluxen, $\sigma_f = \text{ca. } 10^{-25} \text{ m}^2$ er fissionstværsnittet for U-235, $\gamma_I = 0,06$ er antallet af I-135 kerner pr. fission og $\sigma_{Xe} = \text{ca. } 2,5 \cdot 10^{-22} \text{ m}^2$ er Xe-135's termiske absorptionstværsnit, er

$$\begin{aligned}\frac{dn_I}{dt} &= \gamma_I \cdot \sigma_f \cdot n_U \cdot \phi - \lambda_I \cdot n_I \\ \frac{dn_{Xe}}{dt} &= \lambda_I \cdot n_I - \sigma_{Xe} \cdot \phi \cdot n_{Xe} - \lambda_{Xe} \cdot n_{Xe}\end{aligned}$$

Vi har set bort fra, at I-135 destrueres ved neutronabsorption, og at Xe-135 i et vist omfang dannes direkte ved fission.

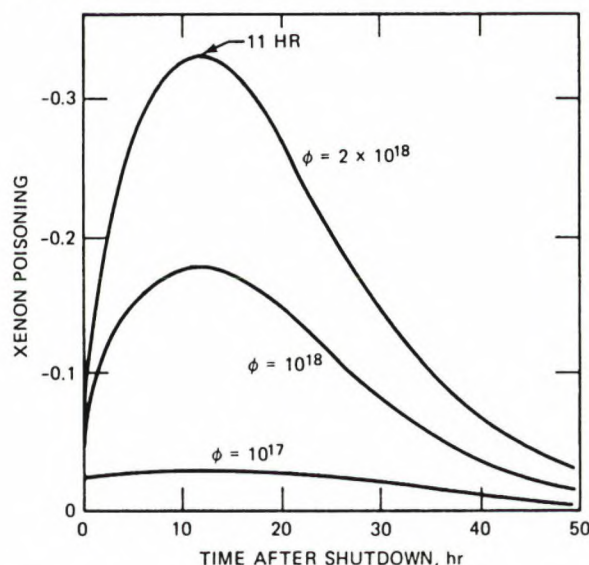
Hvis n_{I0} og n_{Xe0} er ligevægtskoncentrationerne, og fluxen pludselig falder til nul, får vi løsningen:

$$n_{Xe} = c_1 \cdot \exp(-\lambda_I \cdot t) + c_2 \cdot \exp(-\lambda_{Xe} \cdot t)$$

Her bestemmes c_1 og c_2 ud fra ligevægtskoncentrationen og den afledede til begyndelsestidspunktet:

$$\begin{aligned}c_1 + c_2 &= n_{Xe0} \\ \lambda_I \cdot c_1 + \lambda_{Xe} \cdot c_2 &= -\lambda_I \cdot n_{I0} + \lambda_{Xe} \cdot n_{Xe0}\end{aligned}$$

Løsningen giver forløbet af n_{Xe} som vist i figur 3.



Figur 3. Xenonforgiftning efter nedlukning for forskellige værdier af fluxen før nedlukning (målt i neutroner/(m²·s)). Reaktivitetsændringen, der er proportional med xenonkoncentrationen, er afsat op ad ordinataksen.

Temperaturen påvirker reaktiviteten på flere måder. En af de vigtigste, "dopplereffekten", skyldes, at brændslet i langt de fleste kraftværksreaktorer har et højt indhold af U-238, da berigningen er lavere end 4 %. U-238's evne til at absorbere neutroner afhænger af neutronernes energi. Neutroner, der er bremset ned til energier mellem 6 eV og 100 eV, er særlig udsatte, fordi absorptionsevnen bliver meget stor ved visse neutronenergier, "resonansenergierne", i dette område. Resonanserne er skarpe, men p.g.a. urankernerne termiske bevægelse vil U-238 kernerne "se" forskellige neutronenergier, selv for neutroner, der har samme hastighed. Det svarer til, at resonanserne bliver bredere, især ved høj temperatur, og derfor absorberes der desto flere neutroner i U-238 kernerne, jo

varmere brændslet er. Dopplereffekten virker således stabiliserende. (U-238 kerner kan, i modsætning til U-235 kerner, ikke spaltes af neutroner, der har så lav energi, som der her er tale om).

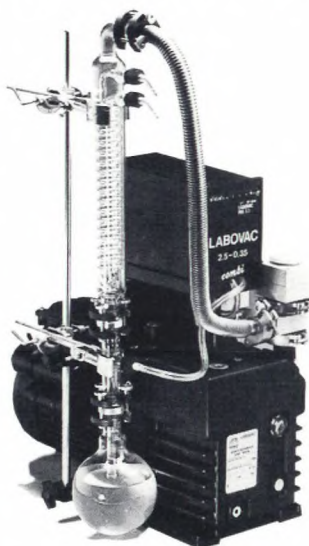
Referencer:

- 1) CHERNOBYL - Ten Years On: Radiological and Health Impact. OECD/NEA, Paris, November 1995.



Peter Bille Fynbo er seniorforsker på Risø. Han er civilingeniør og lic.techn. Hans forskning drejer sig om fissionsprodukters opførsel under et stort reaktoruheld. Desuden hjælper han gymnasiaster og andre med fysikøvelser på Risø's undervisningsreaktor DR 1, som han er leder af.

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland. SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotor-skiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt tryk eller med aggressive gasser. Med en frekvensregulering kan pumpehastigheden fordobles, så man f.eks. hurtigt kan evakuere et anlæg og derefter anvende pumpen som holdepumpe ved lav hastighed. SASKIA's kemisk resistente membran-pumper har liniærdrevne membraner, hvilket sikrer en lang levetid og lavt effektforbrug. En membranpumpe på ca. 30 W kan med de store afgifter på brugsvand hurtigt tjene sig ind, hvis den erstatter en vandstråle-pumpe. SASKIA's TOWER pumpestande er kemipumpestande kombineret med kondensatorer og med instrumentering for indstilling af trykket. SASKIA leverer oliefri pumpestande kombineret med turbomolekularpumper i et handy design og rootspumpestande op til 20.000 m³h⁻¹.

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

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

Dansk Fysisk Selskab - Danish Physical Society

Årsmøde 23. - 24. maj 1996, Hotel Nyborg Strand.

Foreløbigt program.

Kl.	Torsdag d. 23.5.96	Fredag d. 24.5.96
9:00		Plenum (Chair: J. O. P. Pedersen): Calvin Quate: <i>On atomic force microscopy.</i>
9:45		David E. Pritchard: <i>Atom interferometers and their scientific applications.</i>
10:30		Kaffe
11:00	Plenum (Chair: P. Alstrøm): Ewine van Dishoeck: <i>Physics and chemistry in interstellar space: The stellar life cycle from death to birth.</i>	Session III
11:45	Sol Gruner: <i>Bicontinuous mesoporous materials.</i>	
12:15		Frokost
12:30	Frokost	
13:15		Generalforsamling + Posterpris
14:00	Session I	
14:15		Kaffe
14:30		Sessions IV
15:30	Kaffe	
15:45		Kaffe
16:00	Session II	Session V
17:00		
17:30		
18:00	Aftensmad	
19:30	Aftenarrangement (Chair: O. G. Mouritsen): <i>What future will we choose for physics?</i> Debatoplæg af Sol Gruner, Jens Ulrik Andersen, og Klaus Bechgaard.	
21:00	Posters + Fadøl	

Dansk Fysisk Selskab - Danish Physical Society

De fem sessioner (I-V) er, som det fremgår nedenfor, generelt opdelt i fire parallel-sessioner, Faststoffysik A, Faststoffysik B, Atomfysik, og Astrofysik. Det første faststoffysik-foredrag i session I samt begge faststoffysik-foredrag i session III er dog fællesforedrag under Faststoffysik A.

De indsendte abstracts, der er udvalgt som foredrag, fremgår af programmet (med tider). De øvrige indsendte abstracts er alle accepterede som posterbidrag. Ændringer i programmet kan løbende følges på <http://www.nbi.dk/dfs>.

Foredragsholderne bør reservere tid til spørgsmål. Hvis lysbilled-, video-, eller filmfremviser ønskes benyttet, skal dette oplyses før mødet til: Jens Olaf Pepke Pedersen, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 Ø (e-post: jopp@amo.fys.ku.dk). Lysbilleder / video / film afleveres til sessionens chairman i god tid før sessionens start.

Session I, torsdag

Tid	Faststoffysik A Chair: D. Posselt	Faststoffysik B Chair: M. P. Sørensen	Atomfysik Chair: J. O. P. Pedersen	Astrofysik Chair: P. Jakobsen
14:00	Annette Zippelius: <i>Statistical mechanics of vulcanization.</i>		Christophe Salomon: <i>Bose-Einstein condensation of cold gas atoms.</i>	Stephan Mayer: <i>Measurements of the cosmic microwave background.</i>
14:15				
14:30				
14:45	C. M. Papadakis: <i>Phase behavior of symmetric diblock copolymers and of block copolymer blends.</i>	P.-E. Hansen: <i>The thickness dependence of SHG from metallic quantum-wells.</i>	V. V. Petunin: <i>Resonant ionization spectroscopy of negative ions.</i>	H. U. Nørgaard-Nielsen: <i>The ESA medium size cosmic microwave background mission COBRAS/SAMBA.</i>
15:00	M. C. Gerstenberg: <i>Surface-induced ordering of micelles at the solid-liquid interface.</i>	G. Wang: <i>Angular momentum photon drag in mesoscopic rings: Aharonov-Bohm effect.</i>		V. Antonuccio-Delogu: <i>Large-scale structure formation as a critical problem.</i>
15:15	E. Danielsen: <i>Interplay between valence state of a metal ion and structure of metal site in a Cu-protein.</i>	M. R. Sørensen: <i>Tip-surface interactions and atomic-scale mechanics.</i>	H. B. Pedersen: <i>Electron-negative ion collisions at ASTRID.</i>	S. Hermit: <i>Clustering in the optical redshift survey.</i>

Session II, torsdag

Tid	Faststoffysik A Chair: P. Sibani	Faststoffysik B Chair: F. Besenbacher	Atomfysik Chair: J. J. Rasmussen	Astrofysik Chair: H. E. Jørgensen
16:00	Jeppe Dyre: <i>Anomalous diffusion in rugged energy landscapes: Universality in the extreme disorder limit.</i>	Ib Chorkendorff: <i>Catalytic reactivity of surface alloys.</i>	Søren Pape: <i>Atomic collisions with antiparticle projectiles.</i>	J. Andersen: <i>Our observational tools 1997-2005: What are our scientific priorities? What tools will we need?</i>
16:15				N. Lund: <i>CHAMELEON: A Danish satellite for gamma- burst observations.</i>
16:30	E. Schröder: <i>Particle motion in capillary waves.</i>	M. Ø. Pedersen: <i>STM studies on the temperature dependent growth of Cobalt on Copper.</i>		P. Jakobsen: <i>The STJ Camera: An advanced instrument for HST.</i>
16:45	M. R. Schmidt: <i>Inverse cascade and intermittency in 2D turbulence.</i>	T. R. Linderoth: <i>Pt adatom diffusion on Pt surfaces studied with scanning tunneling microscopy.</i>	Søren Keiding: <i>Femtochemistry.</i>	A. C. Andersen: <i>The various disguises of presolar micro- diamonds.</i>
17:00	K. B. Lauritsen: <i>Noisy Kuramoto-Sivashinsky equation and ion-sputtering.</i>	S. V. Christensen: <i>Formation of surface ternary alloys by coadsorption of alkali metals.</i>		Discussion
17:15	S. A. Hattel: <i>Phase transitions in the weakly frustrated two dimensional XY model.</i>	M. M. Nielsen: <i>Substitutional adsorption of Li on Al: The structure of the Al(111)-$\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ R30°-Li phase.</i>	N. Melander: <i>Adsorption of ammonia to surfaces.</i>	

Dansk Fysisk Selskab - Danish Physical Society

Session III, fredag

Tid	Faststoffysik A Chair: J. Hvam	Faststoffysik B	Atomfysik Chair: S. Keiding	Astrofysik Chair: J. Madsen
11:00	Lars Samuelson: <i>Self-limiting transformation of monodisperse Ga droplets into GaAs nanocrystals.</i>		Eugene Polzik: <i>Physics with squeezed states of light.</i>	Kristian Pedersen: <i>Groups of galaxies: LEGO bricks of the universe. Internal structure and evolution revealed by X-ray studies.</i>
11:15				
11:30				
11:45	Bjerne S. Clausen: <i>Properties and reactivity of small particles.</i>		N. N.: <i>Magneto-optical trap: A target for quantum optics experiments.</i>	J. Hjorth & N. Tanvir: <i>The fundamental plane in the Leo-I group and the value of the Hubble constant.</i>
12:00			S. Bay: <i>Quantum optics at the edge of a photonic band gap.</i>	P. Jakobsen: <i>Detections of the Helium Gunn-Peterson Effect.</i>

Session IV, fredag

Tid	Faststoffysik A Chair: D. Birkedal	Faststoffysik B Chair: F. Grey	Atomfysik Chair: J. O. P. Pedersen	Astrofysik Chair: P. E. Nissen
14:30	Mark Oxborrow: <i>Quantum chaology in quarts.</i>	Brian Bech Nielsen: <i>Light impurities in Si and Ge.</i>	Mikael Svalgaard: <i>UV writing in glass materials.</i>	H. Pedersen: <i>Recent X-ray studies of GRB error boxes.</i>
14:45				B. Nordstrøm & J. Andersen: <i>The nearby F and G dwarfs: Can we know where they come from?</i>
15:00	S. M. Reimann: <i>Shell structure of a circular quantum dot in a weak magnetic field.</i>	A. Kristensen: <i>Hall-velocity limited magnetoconductivity in a classical two-dimensional Wigner crystal.</i>	O. K. Andersen: <i>Optical phase conjugation in Rb vapour.</i>	S. Larsen: <i>A study of field stars in the Magellanic Clouds.</i>
15:15	F. B. Rasmussen: <i>Three-axis magnetometer utilizing weak localization.</i>	K. Johnsen: <i>Dynamical Franz-Keldysh effect.</i>	S. Grego: <i>Effects of initial alignment and orientation on electron transfer dynamics in the velocity matching region.</i>	L.M. Freyhammer: <i>Photometry of crowded fields.</i>
15:30	U. Quaade: <i>Theory of current-voltage characteristics during H desorption from H/Si(100)2x1 by STM.</i>	T. Geisler: <i>Saturation in third-order optical nonlinearity of polymers.</i>	S. Guldborg-Kjaer: <i>Reverse energy-pooling collisions: experiment and theory.</i>	M.I. Andersen: <i>High resolution imaging at the Nordic optical telescope: The High Resolution Adaptive Camera (HiRAC).</i>

Session V, fredag

Tid	Faststoffysik A Chair: I. Chorkendorff	Faststoffysik B Chair: K. Mortensen	Atomfysik Chair: J. J. Rasmussen	Astrofysik Chair: J. Otzen Petersen
16:00	S. Madsen: <i>Optical microscopy and lithography beyond the far-field diffraction limit.</i>	J. Kutchinsky: <i>Andreev Reflections at superconductor-semiconductor- superconductor planar junctions of Al and Nb on delta-doped GaAs.</i>	Jørgen Schou: <i>Angular resolved UV laser ablation from silver.</i>	S. Frandsen: <i>Asteroseismology.</i>
16:15	M. Drewsen: <i>Atom lithography using light induced forces.</i>	Y. O. Shen: <i>Integrated high-T_c magnetometer for biomagnetic measurements.</i>		H. Kjeldsen, S. Frandsen, T. Dall & T.R. Bedding: <i>Oscillations in Alpha Centauri and Procyon.</i>
16:30	U. D. Keil: <i>Fiber coupled ultrafast scanning tunnel microscope.</i>	M. R. Eskildsen: <i>Flux-line lattice anisotropy in high-temperature superconductors.</i>	<i>To be announced.</i>	M. Viskum, H. Kjeldsen & S. Frandsen: <i>Delta Scuti star seismology.</i>
16:45	D. Birkedal: <i>Binding of quasi two-dimensional biexcitons.</i>	J. Jensen: <i>Commensurable magnetic structures in holmium.</i>	<i>To be announced.</i>	P. Thejll: <i>HIPPARCOS results for white dwarfs and hot subdwarfs.</i>

Dansk Fysisk Selskab - Danish Physical Society

KIF: Årsmøde onsdag den 22. maj 1996, Hotel Nyborg Strand

Tid	Foreløbigt program
11:00	Velkomst
11:15	Kirstine Berg-Sørensen: <i>Laserkøling og anvendelser af laserkølede atomer.</i>
12:15	Anja Andersen: <i>Mikro-diamanter i meteoritter.</i>
12:45	Frokost
13:45	Britt H. Larsen: <i>Josephson junctions og kvanteelektronik.</i>
14:30	Dorte Nilsson: <i>Læring gennem eksperimenter gennem det sidste århundrede.</i>
15:15	Kaffe og te
15:45	Netværksmøde (partly in english). Diskussionen vil blive indledt af Annette Zippelius, der taler om "Barriers for women in science in Germany".
17:15	Generalforsamling i sektionen.
17:45	

SORØDAGE 96

23. JUNI - 1. JULI

Takket være støtte fra industrien og fra universiteterne i København, Aarhus og Odense har Dansk Fysisk Selskab siden 1988 arrangeret en serie sommerskoler for gymnasieelever. I lighed med tidligere afholdes kurset på Sorø Akademi i den første uge af skoleferien, i år i dagene 23. juni - 1. juli. Deltagerantallet begrænses til 24, og tilbudet gælder alle elever, som til sommer afslutter 2.g. Sommerens to hovedemner bliver "ASTRONOMI OG KOSMOLOGI" (v. Allan Hornstrup) og "SUPERLEDNING OG LAV-TEMPERATURFYSIK" (v. Britt Larsen), som suppleres med aktuelle indslag indenfor områderne astronomi, fysik og geofysik. Tilmeldingsfristen er 1. maj og prisen er 950 kr. Et mindre antal fripladser er til rådighed. Foldere med indbydelse og tilmeldingsblanketter udsendes i marts måned til alle gymnasier via fysiklærerforeningens kontaktpersoner. De kan også bestilles ved at skrive til Klaus Mosegaard, Niels Bohr Institutet, Geofysisk Afdeling, Juliane Maries Vej 30, 2100 Kbh. Ø, eller ved henvendelse på telefon 35 32 06 00.

Det, der i sig selv kan bevises og vides, kan antages som trosgenstand også af dem, der ikke forstår beviset.

Thomas Aquinas, 1225–74

Orakler kan være nyttige. Over porten til oraklet i Delphi står den manende indskrift, $\gamma\upsilon\omega\upsilon\iota\ \sigma\epsilon\alpha\upsilon\tau\omicron\upsilon$ (kend dig selv), som Sokrates gjorde til sit valgsprog. Og det er utvivlsomt en nyttig opfordring.

Men orakler og for den sags skyld også astrologer og andre spåmænd og -koner kan opfylde et behov på en hensigtsmæssig måde, samtidig med at de fritager kunden for at forstå, hvad der foregår. Kunden holder sig til Thomas og forventer at få en sandhed, selv om det er ubegribeligt, hvor den kommer fra. Men det er ikke tilfældet, der stikker noget helt andet under!

Når man træffer beslutninger med vinding for øje i politik, forretning, i et spil eller i kampen for tilværelsen, så er man i den situation, at man skal vælge i uvidenhed om, hvad modstanderne eller naturen finder på af modtræk.

For at få et overblik over, hvilke konsekvenser valgene kan have, skriver man gerne mulighederne op i en matrix. Lad os f. eks. tænke på et spil mellem Rikke og Søren, der hver har valget mellem fire muligheder, som vi i denne sammenhæng kalder "strategier." Hvis vi yderligere tænker os, at udfaldet af et par af valgte strategier består i, at den ene betaler et beløb til den anden, så er det nok at anføre, f. eks. Rikkens gevinst, regnet med fortegn. Det kan f. eks. se sådan ud:

		Søren			
		A	B	C	D
Rikke	A	12	-1	1	0
	B	5	1	7	-20
	C	3	2	4	3
	D	-16	0	0	16

I dette tilfælde er det ikke svært at vælge en god strategi. Søren skal vælge B, mens Rikke skal vælge C. Begrundelsen er den simple, som er fælles for de to, at ethvert andet valg tillader modstanderen at opnå en større gevinst. Endda så simpelt, at uanset hvilken anden strategi, Søren vælger, vil Rikke få en lidt større gevinst blot ved at fastholde sin strategi, C. Og omvendt. Men hvis Søren vælger først og Rikke bagefter, har hun naturligvis mulighed for at få mere ud af det, med mindre han vælger strategien B.. Punktet (B,C) kaldes et *sadelpunkt*, fordi værdierne vokser i den ene retning og aftager i den anden.

Hvis et spil har et sadelpunkt, er det bedst at vælge den strategi, som sadelpunktet ligger i. Et spil kan godt have flere sadelpunkter, men da giver de altid samme gevinst.

Så det betyder blot, at der er flere lige gode optimale strategier.

Hvis et sadelpunkt eksisterer, er det let at finde. Søren bestemmer for hver af sine strategier det dårligste resultat, altså $A : 12, B : 2, C : 7$ og $D : 16$. Det bedste af dem er 2 i punktet (B,C). Dette punkt kaldes *minimax* punktet. Derefter bestemmer Rikke tilsvarende $A : -1, B : -20, C : 2$ og $D : -16$. Det bedste er 2 i punktet (B,C). Dette punkt kaldes *maximin* punktet. Når de to punkter, minimax og maximin, falder sammen, er det et sadelpunkt.

Men der findes ikke altid noget sadelpunkt. Selv med blot to strategier til hver, kan det gå galt.

		Søren	
		A	B
Rikke	A	2	-3
	B	0	3

I dette spil er minimax (A,A), mens maximin er (A,B). Man risikerer altid at fortryde sin strategi. Søren vælger A i håb om tabet 0, men når Rikke vælger A, taber han 2. Derfor ændrer han til B og vinder 3, men så vælger Rikke B og vinder 3. Derfor vil Søren vælge A, men så foretrækker Rikke også A. Osv.

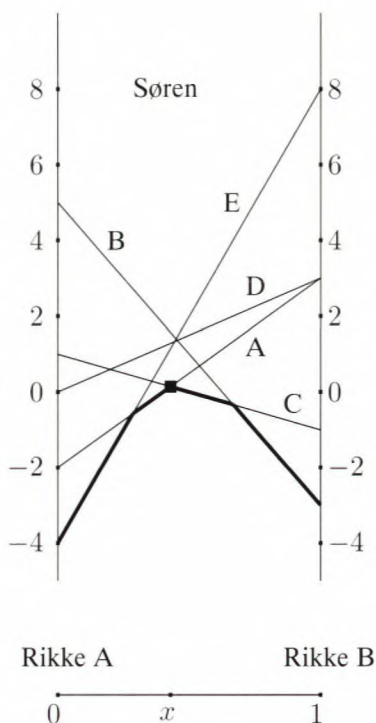
Men hvis Rikke vælger sin strategi A med sandsynligheden p , og strategi B med sandsynligheden $1 - p$, så kan hun ophæve forskellen mellem gevinsterne for Søren. For nu er Sørens forventede gevinst ved strategien A jo $2p$, mens gevinsten ved strategien B er $-3p + 3(1 - p)$. Hvis Rikke derfor vælger p , så $2p = -3p + 3(1 - p)$, dvs. $p = \frac{3}{8}$, så kan Søren gøre, hvad han vil, uden at det gør nogen forskel. I det lange løb vinder Rikke $\frac{3}{4}$ pr. spil. Tilsvarende kan Søren vælge strategien A med sandsynligheden q og B med sandsynligheden $1 - q$, hvorved Rikkens forventede gevinster bliver hhv. $2q - 3(1 - q)$ for A og $3(1 - q)$ for B. Disse størrelser er ens for $q = \frac{3}{4}$. Med dette valg kan Rikke gøre, hvad hun vil, og i det lange løb kun vinde $\frac{3}{4}$ pr. spil.

Metoden kaldes at bruge en *blandet strategi*, og den fælles gevinst siges at være spillets *værdi*.

Lad os tage et mere indviklet eksempel. Søren har fem strategier at vælge mellem, mens Rikke har to. Matricen ser sådan ud:

		Søren				
		A	B	C	D	E
Rikke	A	-2	5	1	0	4
	B	3	-3	-1	3	8

For hver af Søren's strategier afbildes Rikkes forventede gevinst ved at vælge den blandede strategi, x B og $1 - x$ A. Det gælder nu for Rikke om at vælge x , så at Søren ikke kan få noget ud af et selv nok så snedigt valg af strategi.



Det fremgår af figuren, at $x = \frac{3}{7}$ er det rigtige. Nu kan Søren ikke forhindre Rikke i at vinde $\frac{1}{7}$. Han kan endda kun sikre sig, at Rikke må nøjes med at vinde $\frac{1}{7}$ ved selv at begrænse sig til strategierne A og C. Men hvis han vælger mellem dem med frekvensforholdet 2:5, kan han sikre sig mod, at Rikke vinder mere end $\frac{1}{7}$. Denne gevinst til Rikke er derfor spillets værdi.

John von Neumann's berømte sætning fra 1928 siger, at ethvert matrix-spil har en sådan løsning med blandede strategier, altså en bedste strategi for hver af spillerne og en værdi af spillet.

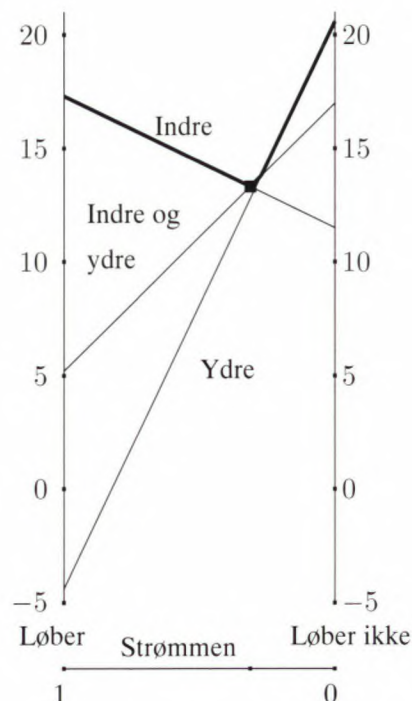
Når man skal udnytte den optimale strategi, gælder det om at finde en metode til lodtrækning mellem strategierne, så de vælges med den rigtige relative hyppighed, men samtidig i et uforudsigeligt mønster. Skal man f. eks. bruge en bestemt strategi med hyppigheden $\frac{1}{3}$, kan man jo slå en terning og bruge 1 eller 2 som kriterium.

Nogle mennesker har måske ondt ved at acceptere, at dette er den bedste måde at handle på. Især hvis spillet er i forretningslivet, hvor man gerne vil kende den helt rigtige beslutning. Metoden kan så være at spørge en konsulent, der kan fungere som erstatning for en rigtig terning.

Et berømt eksempel om fiskeriet fra øen Jamaica skyldes W. C. Davenport (1960), der fortæller:

26 besætninger fisker i farvandet ved at sætte og hente ruser med udhulede kanoer, som vejret tillader, i tre dage hver uge. Fiskebankerne inddeles i ydre og indre banker

i forhold til et rev. På grund af bundforholdene bliver de ydre banker jævnligt hjemsoget af en kraftig strøm, som ødelægger de udsatte ruser. Det har ikke været muligt at forudsige strømmene ved tegn fra vejret eller på anden måde. De indre banker er fuldstændig beskyttet mod disse strømme.



Kaptajnen på den enkelte båd vælger mellem tre strategier: At sætte alle ruser på de indre banker, at sætte alle ruser på de ydre banker, og at sætte nogle ruser ude og nogle inde.

De forskellige strategier har forskellige fordele og ulemper. Sejler man langt, når man at sætte færre ruser. Kommer strømmen, går ruserne uden for revet tabt. Men fiskene fra de ydre banker er mere værd end de fisk, man kan fange på de indre banker. Men når der er en strøm, så får man jo ikke leverancerne udefra, derfor stiger priserne på de fisk, man fanger fra de indre banker.

Vi kan stille det op som et matrix-spil mod naturen, hvor naturen har strategierne, Strøm og Ikke strøm, mens fiskerne har de tre nævnte strategier. Gevinsten er i £ pr. måned til kaptajnen.

		Fiskerne		
		Indre	Indre og ydre	Ydre
Strømmen	løber	17.3	5.2	-4.4
	løber ikke	11.5	17.0	20.6

Hvis dette er et spil mellem fiskerne og naturen, kan vi finde fiskernes optimale strategi ved at finde naturens optimale, formentlig blandede strategi. Vi laver det næste billede omtrent som for spillet ovenfor.

Det fremgår, at naturens optimale strategi er at vælge at lade strømmen løbe med sandsynligheden 31% med

spillets værdi 13.3 L pr. måned til kaptajnen. Men samtidig finder vi den optimale strategi for fiskerne, nemlig at vælge de indre banker 67% af tilfældene og både de indre og de ydre i 33% af tilfældene, men de ydre alene i 0% af tilfældene.

Det viser sig, at ingen af fiskerne vælger den ydre strategi, de siger, at den er for farlig. Og når fiskerne rådfører sig med den lokale woodoo heksedoktor, fører det til, at 69% af dem vælger den indre strategi, mens 31% vælger både og.

Men naturen er jo ligeglad, den lader strømmen løbe 25% af tiden. Man kunne derfor indvende, at når man nu har iagttaget denne frekvens, kunne man så ikke være så ufin at benytte sig af det? Med denne viden ser det ud til, at den ydre strategi vil give en forventet fortjeneste på 14.35 L, altså ca. 1 L mere.

Hvem er klogest, heksedoktoren eller statistikerens? Når heksedoktorens løsning er den, som århundredernes erfaringer har bekræftet som den bedste, skyldes det et simpelt statistisk fænomen, spredning. Det er ikke godt nok, at vi kender gennemsnittet, fordi strømmen kan vælge at løbe 35% i år og måske næste år. Det vil føre til for store tab, som vi ikke har råd til, selv om det giver gevinst i det meget lange løb. Når vi vælger den blandede strategi, som fiskerne faktisk gør, så er vi uafhængige af, om naturen gør som den plejer, eller hvad den nu finder på. Det er det, der er styrken ved den optimale strategi.

Denne løsning på problemet giver en forklaring på astrologiens eller oraklets nytte: Disse visdomskilder giver os den ønskede frekvens, den ønskede uforudsigelighed, hvis den er påkrævet, og den fritager os for at forstå vores adfærd som grundlæggende tilfældig.

Derimod er det ikke oplagt, hvordan heksedoktoren/astrologen finder den ønskede frekvens. Svaret er simpelthen, at det gør han heller ikke. Hvis betingelserne er uændrede over lang tid, kan et darwinistisk udvælgelsesprincip anvendes: Kun de gode heksedoktorer overlever og får mulighed for at give deres måde at lægge stjerner på videre til næste generation. Moderne konsulenter må håbe på fuldbyrdelsen af spådommen, at heldet følger de tossede.



Mogens Esrom Larsen er redaktør af matematikken i KVANT. Han er lektor ved Københavns Universitet.



Anvendelse:

- ★ Kvalitetskontrol
- ★ Forskning og udvikling
- ★ Analyseudstyr
- ★ Høj -og ultrahøjvakuum

Læksøger på heliumbasis

Hvilke krav stilles der?

- ★ Hurtig
- ★ Nem og entydig betjening
- ★ Oliefri indsugning
- ★ Robust
- ★ Enkelt service
- ★ Prisbillig

Leybold ApS
Roskildevej 342A
2630 Tåstrup
Tlf.: 43996444
Fax: 43996544



Den radioaktive sky fra Tjernobyl - dosis og virkning

Heinz Hansen

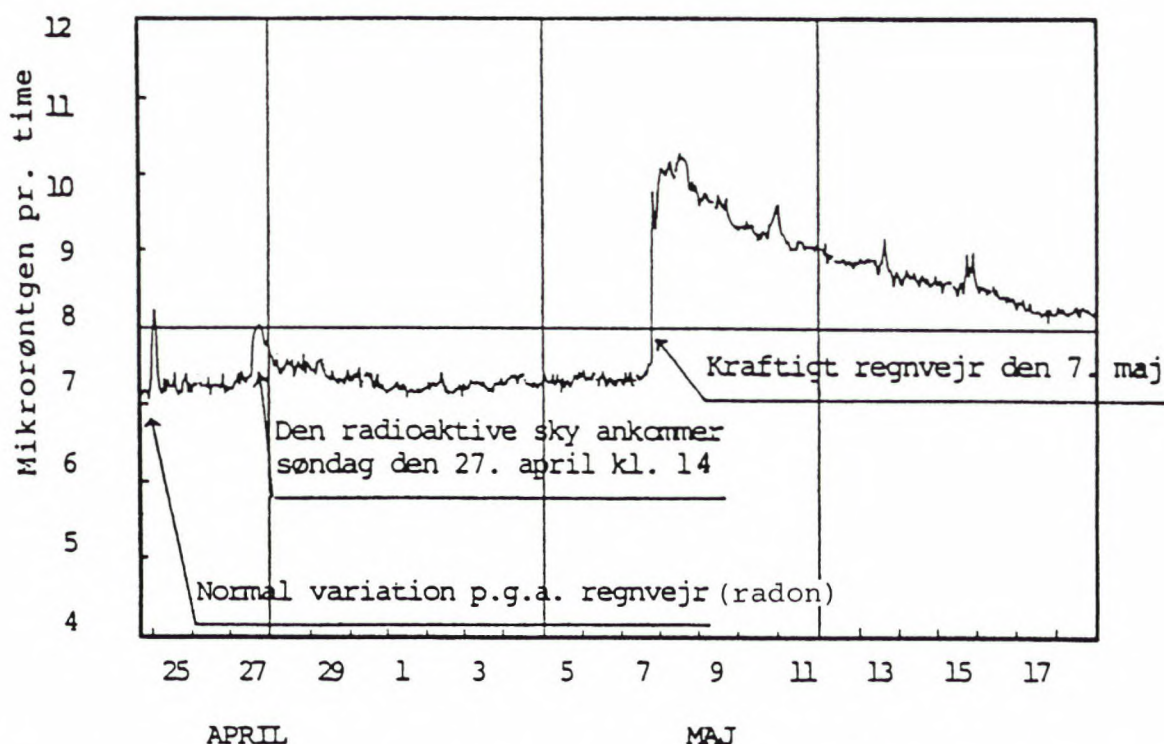
På vej mod Skandinavien

Der var solskin og blå himmel, og i det hele taget stabile vejrforhold over hele Østeuropa, også over Danmark og Sydsverige, hin weekend sidst i april 1986. Den radioaktive sky fra selve den oprindelige knaldgasekspllosion, der var blevet blæst op i een kilometers højde, fik mulighed for at drive afsted med vinden mod nordvest som en relativt samlet enhed. Nok dryssede de tunge partikler efterhånden ned på jorden, men der var ingen regnbyger, der vaskede noget ud, før skyen nåede midtsverige søndag aften. Danmark blev ramt søndag middag. Da havde skyen været inde over Polen og så drejet nordpå over Østersøen. Det var kun Sjælland, der fik en snært, og endda kun den nordlige del. På Risø ved Roskilde kunne man således måle skyen direkte; men et luftfilter, der havde kørt hele weekenden i Næstved, viste ingenting.

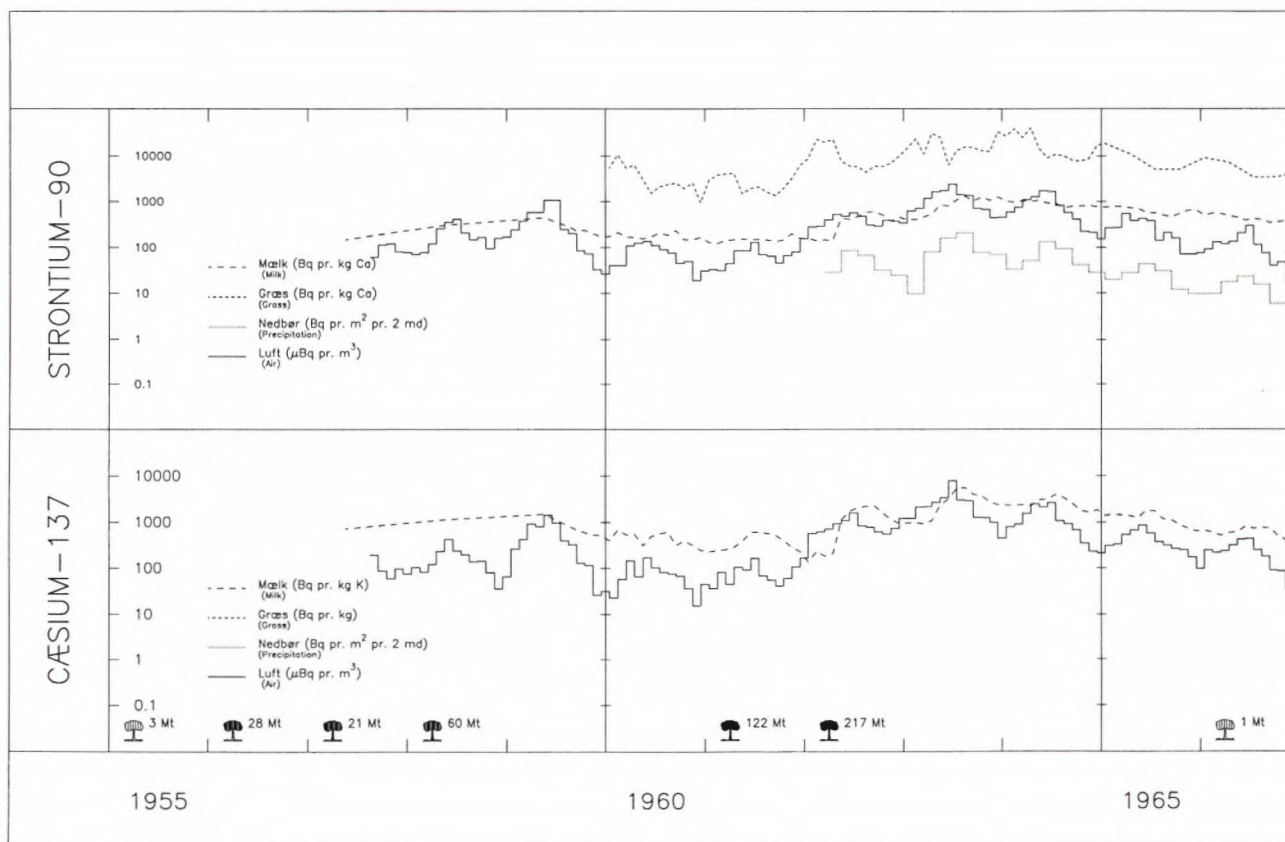
Risø slog alarm mandag den 28. april om formiddagen. Der var ellers en automatisk måleopstilling med computer-hukommelse, der havde registreret den svage stigning i baggrundsstrålingen fra 0,07 til 0,08 mikrosivert i timen, som skypassagen havde medført søndag eftermiddag, men dette blev først opdaget et par dage

senere. Mandag ved 10-tiden om formiddagen viste den ugentlige græsprøve en smule jod-131, og det samme gjorde den ugentlige måling af et luftfilter. I første omgang troede man, det stammede fra Risø's eget Hot-cell anlæg, som er det sted, hvor der arbejdes med stærkt radioaktive stoffer; men efter en opringning fra Sverige mandag middag kom Risø på det rigtige spor.

Sverige havde fået ikke så lidt af skyens radioaktivitet ned over sig med nogle regnbyger natten mellem søndag og mandag. Da morgenholdet skulle ind på atomkraftværket ved Forsmark nord for Stockholm, viste kontrolmålinger, at tøjet var forurenet med jod-131. Det skabte en del forvirring hos kontrolpersonalet, der endte med at fejlfortolke situationen og antog, at aktiviteten kunne stamme fra deres eget anlæg, hvorfor de sendte de fleste af de ansatte hjem igen "for en sikkerheds skyld" mandag ved middagstid - en, skulle det vise sig, fuldkommen tåbelig foranstaltning, for det var jo netop udenfor, problemet lå. Folk stod i timevis ude i den radioaktive regn og ventede på de ekstra busser, der skulle køre dem hjem! Alt i alt betød det ikke noget videre, for doserne var kun forsvindende, men det viste i hvert fald, at man ikke bare skal gøre noget "for en sikkerheds skyld".



Figur 1: Et stort ionkammer på Risø var under kalibrering og registrerede luftens aktivitet i dagene omkring reaktorekspllosionen i Tjernobyl. Kammeret var ikke indrettet til at slå alarm og ville heller ikke have gjort det ved skyens ankomst den 27. april. Da steg strålingsniveauet ikke mere end det naturligt ville, hvis det havde regnet en smule. 10 dage efter, da et regnvejr begynder at vaske aktivitet ud af skyen ser vi den kraftige forøgelse. Grafen er kalibreret så den viser den eksterne dosishastighed en person på stedet udsættes for. Den gammeldags enhed mikrorøntgen svarer til 10 nanogray.



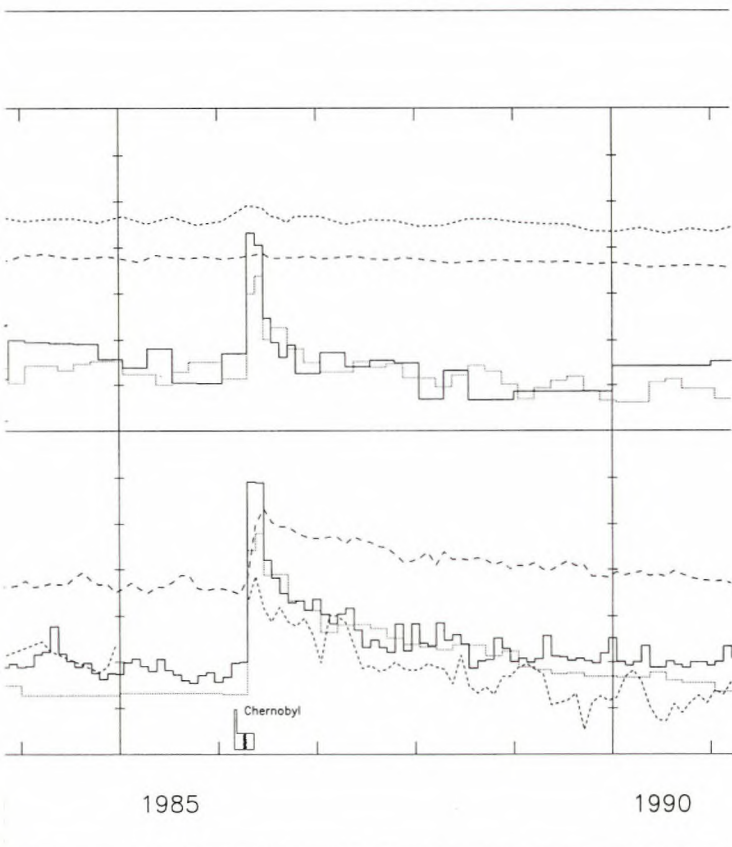
Figur 2. Målinger fra RISØ af strontium-90 og cæsium-137 aktiviteten i mælk, græs, nedbør og luft. Disse to isotoper stammer udelukkende fra menneskelige aktiviteter, så den naturlige baggrund er nul. Strontium følger kemisk set calcium og cæsium følger kalium. Derfor er indholdet i mælk og græs angivet som becquerel per kilogram af disse to grundstoffer. Grafen viser tre vigtige træk: For det første virkede stoppet for atmosfæriske kernevåbensprængninger. Fra midten af 60-erne til midten af 80-erne faldt aktiviteten mere end 100 gange. For det andet ses det at Tjernobyl katastrofen gav anledning til samme aktivitet i luft og vand, som prøvesprængningerne, men kun i en periode på få måneder. For det tredje er der en vigtig forskel mellem 1965 og 1986. I 1965 dukker den strontium-90, der er i vand og luft, op i mælk og græs. Det gør den ikke i 1986! Ved et kernevåbenforsøg spredes al aktivitet fint ud i atmosfæren og falder ud på en biotilgængelig form. Ved den kemiske eksplosion i Tjernobylreaktoren kom strontiummen ud i hårde og uopløselige kemiske forbindelser der ikke kan optages af planterne. Denne strontium var altså ikke biotilgængelig. Det samme ses desværre ikke for den flygtige cæsium.

Imens rygtedes det blandt fagfolk, at der var sket et eller andet, og i begyndelsen af eftermiddagen havde også Danmarks Radio fået fat i historien om alarmen fra Forsmark. Risø havde samtidig intensiveret sine undersøgelser, der efterhånden afslørede ikke blot jod-131 men også cæsium-137 og tilmed cæsium-134, der er en tilsvarende kunstig, men mere kortlivet isotop (halveringstid 2 år, mod 30 år for cæsium-137). Da man ved 17-tiden om eftermiddagen kom med en udtalelse til Ritzaus Bureau, kunne Risø ud fra sine målinger af forholdet mellem cæsium-137 og cæsium-134 sige, at der måtte være sket et reaktoruheld, efter al sandsynlighed i Sovjetunionen. Det sidste havde man gættet sig til, dels på grund af vindretningen, dels fordi ethvert andet europæisk land nok selv ville have fortalt om en ulykke inden for sig eget område. Og det fremgik også af forholdet mellem cæsium isotoperne, at der ikke var tale om et nyt atmosfærisk kernevåbenforsøg.

Oplysningen om det formodede sovjetiske reaktoruheld var baseret på nogle få græsprøver og en enkelt luftprøve, der hver havde ganske lidt radioaktivitet i sig. Så nøjagtigt kan man faktisk måle i vore dage - hvilket jo på den ene side er imponerende, men på den anden side også nemt kan blive årsag til en overdreven fornemmelse af, hvor farlig situationen er.

Cæsium-jodid fordamper

Fordi Sverige og Danmark var de første lande til at slå international alarm, blev de over alt i Vesten anset for at være særlig hårdt ramt. Det var der for så vidt også noget om for Sveriges vedkommende; men slet ikke for vores vedkommende i Danmark. Vi var i virkeligheden et af de europæiske lande, der slap billigst. Pudsigt nok blev nedfaldet i Norge næsten ikke omtalt i verdenspressen, selvom Norge fik lige så meget som Sverige.



En kernevåbeneksplosion slynger alle fissionsprodukter, det uforbrugte brændsel, og hvad der er tilbage af bombens uranskjold ud i biosfæren, dér, hvor mennesket befinder sig - men det var der slet ikke energi til i Tjernobyl situationen. Der kom en vis spredning af de fleste fissionsprodukter med den første sky, men den var procentvis ringe. Til gengæld var der grafitbranden, som beskrevet i det forrige afsnit. Den stod på i hele to uger og var årsag til den største del af det samlede radioaktive udslip. Her havde man i al den tid noget grafit - der som bekendt er kulstof - som lå og ulmede ved 600-700°C i en total blottet reaktorkerne, hvorved radioaktivt cæsium-jodid fik lejlighed til at fordampe ud til atmosfæren. Cæsium-saltene er nemlig relativt flygtige, og cæsium-jodid fordamper allerede ved 500°C.

Skyen af radioaktiv cæsium-jodid og til dels frit radioaktiv jod lagde sig efterhånden som en dyne over hele Europa. Fordi udslippet strakte sig over så lang tid, nåede vinden at blæse fra alle mulige kanter, medens det stod på, og i det lodrette plan nåede dag- og natskifterne også at røre rigtig godt rundt i det hele.

Det blev regnvejr eller ikke regnvejr, der afgjorde, om der kom noget ned. Onsdag aften den 7. maj oplevede Risø eksempelvis større nedfald end det, der i sin tid havde vakt opsigt den 28. april. Baggrundsniveauet steg fra 0,07 mikro-sievert til 0,10 mikro-sievert i timen, og holdt sig oppe i længere tid end før. Det var fordi, det langt om længe var blevet bygevejr over københavnsområdet.

Tilsvarende fik Sønderjylland og Fyn alt i alt mere radioaktivitet end det øvrige land, fordi der her kom mere regn.

Der var noget skæbnsvangert over den nederste kilometer af Europas luft i de dage. Man kunne i almindelighed ikke måle noget på jorden, hvor menneskene var, og selvfølgelig slet ikke mærke noget - men enhver regnbyge fik vasket lidt af aktiviteten ned, som en slags hilsen og påmindelse fra det hinsides, Var det ikke skriften på væggen, så var det i hvert fald skriften i luften.

Optagelse i fødekæden og myndighedernes reaktion

Nogle husker måske, at vi selv i Danmark fik forbud imod at sende køerne på græs i en uge i begyndelsen af maj måned. Det var et rent politisk tiltag. Landbrugsrådet ville have Danmark til at vise vore kunder i udlandet, at vi også var parate til at indføre restriktioner, i lighed med hvad lande som Sverige, Vesttyskland og Østrig havde gjort. Man fortrød dog, efterhånden som det gik op for de danske landmænd, hvad der var på færde, og de gjorde vrøvl på dyrenes vegne. De landmænd, der allerede havde lukket deres køer ud på græs, var i hvert fald ikke stolte af, at skulle hente dem ind igen. Og om den falske alarm gavtede eksporten siden hen, kan man sikkert diskutere.

Baggrunden var, at komælk er det første led i menneskets fødekæde, der mærker forureningen med radioaktivitet. På grund af den korte halveringstid af jod-131, er mælken samtidig den eneste betydningsfulde kilde for denne isotop. Jod-131 spillede slet ingen rolle hos os under kernevåbenforsøgene, hvor det globale nedfald var flere år om at nå frem.

Kødet er det næste væsentlige led i fødekæden; det berører i praksis dog kun oksekødet. for grisene spiser ikke det radioaktive græs. I kødet gælder det begge cæsium isotoperne, 134 og 137. Niveauerne herhjemme kom aldrig op på over 50 Bq cæsium-137 pr. kg, så den grænse på 300 Bq pr. kg, som EF fik vedtaget kort efter uheldet, betød ingenting hos os - men alligevel må vi desværre igen konstatere, at det mere var politiske end saglige grunde, der lå bag også denne restriktion. Man skulle spise over halvdelen kg kød om dagen i et helt år, for at en grænseværdi på 300 Bq pr. kg skulle bringe et menneske op i nærheden af den ene milli-sievert, man i gennemsnit igennem hele livet må få pr. år, ifølge internationale vedtægter.

Optagelse i mennesket

Radioøkologigruppen på Risø har i mange år fulgt det radioaktive nedfald, fra i sin tid stormagternes atmosfæriske kernevåbenforsøg i begyndelsen af tresserne, på sin vej gennem fødekæden til mennesket. Man har især interesseret sig for de biologisk set vigtigste fissionsprodukter, strontium-90 og cæsium-137. Da den radioaktive sky fra Tjernobyl ramte Danmark gjaldt det om at relatere de akutte målinger til, hvad der var blevet målt tidligere, for at kunne sige noget om, hvilke doser man kunne forvente fremover.

Kort fortalt følges strontium med calcium i naturen. -

strålingen fra strontium-90 giver derfor specielt anledning til knoglekræft og blodkræft (leukæmi) i det sidste tilfælde fordi den også bestråler den bloddannende knoglemarv. Cæsium følger tilsvarende med kalium, som vi har overalt i vore celler, og påvirkningen fra radioaktiv cæsium virker således som en generel -bestråling af hele kroppen, både når vi har det i os, og når det ligger på jorden.

Som omtalt ovenover var det cæsiumisotoperne 134 og 137, der frem for alt slap ud, og kun meget lidt strontium-90. Dette var i hvert fald en væsentlig forskel mellem doserne fra Tjernobyl- nedfaldet og atombomben- nedfaldet. Det betød, at påvirkningen fra Tjernobyl af vores fødekæde blev af langt kortere varighed, for det er mest strontium-90, der ved sin optagelse via rodnettet og aflejring i knoglevæv bidrager til doserne på længere sigt.

	Kost	Ekstern	Ialt
Tjernobyl:			
Cs-137	0,04	0,05	0,09
Bombeforsøg:			
Cs-137	0,26	0,54	0,80
Sr-90	0,13	-	0,13
Andre isotoper	0,02	0,47	0,49

Tabel 1: Dosisbyrder til det enkelte menneske i Danmark, fra Tjernobyludslippet og fra kerneåbennefaldet (mSv).

Tabel 1 sammenligner de resulterede dosisbyrder fra Tjernobyl-nedfaldet med de dosisbyrder som de atmosfæriske kerneåbenforsøg gav anledning til i sin tid. Dosisbyrden er den samlede dosis man enten allerede har modtaget, eller som man har bundet sig til at få, ved at optage radioaktive stoffer i organismen, og ved at bosætte sig et bestemt sted. Tabellens dosisbyrder stammer dels fra en forurening af fødekæden, dels fra en direkte deponering af nedfaldet på jordoverfladen. Tjernobyl-doserne danner alt i alt et mere begrænset mønster end bombedoserne. Der mangler ikke blot, som allerede omtalt, hele bidraget fra strontium-90 i fødekæden, men også det ikke ubetydelige bidrag fra deponeringen på jorden af andre bombeisotoper end cæsium-137. Den samlede Tjernobyl-dosisbyrde bliver da også ca. 15 gange mindre end den samlede bombedosis.

Jeg vil gerne understrege denne forskel mellem Tjernobyl og det globale radioaktive nedfald fra stormagternes atmosfæriske prøvesprængninger - specielt at den går i retning af, at Tjernobyl-doserne herhjemme var væsentlig mindre sammensatte og mindre alt i alt, end bidraget fra bombeforsøgene sidst i halvtredserne og i begyndelsen af tresserne. Den gang var der bare ikke så meget blæst om sagen i medierne.

Brandmænd og soldater

Vi har kigget ind af vore egne vinduer, for det gør man nu engang helst; men hvad skete der tilsvarende hos russerne selv, i og omkring Tjernobyl?

Det var det lokale brandvæsen, der måtte slukke ilden i resterne af den højaktive reaktorbygning med det resultat, at 28 brandfolk og reaktorteknikere fik akut strålesyge og døde. En ansat, som arbejdede på toppen af reaktoren blev dræbt øjeblikkeligt af eksplosionen, og en anden blev ramt af brændende dele og døde få timer efter af svære forbrændinger.

Akut strålesyge er, hvad der står - netop en sygdom. Det er ikke, som ved langtidsvirkningen efter mindre doser, tale om at der måske kan komme kræft eller arvelig skade om nogle år. Der er tale om, at der her og nu er opstået en akut beskadigelse, som den bestrålede under alle omstændigheder vil få visse mén af, mere eller mindre alvorlige alt efter dosisstørrelsen. Dette giver en særlig psykologisk baggrund.

Medens langtidsvirkninger efter både mindre og større doser er noget, man på en eller anden måde selv må "leve med" ved enhver håndtering af radioaktivitet, eftersom de ikke helt kan udelukkes selv ved den mindste smule stråling, så vil akut strålesyge i princippet altid være uacceptabel. Det betyder, at man ikke på forhånd må planlægge på en måde, der indkalkulerer individ-doser større end en sievert, svarende til begyndende strålesyge - og altså må regne med at evakuere en befolkning, hvis doserne nærmer sig denne grænse.

Det var således også kun brandmændene, samt enkelte af kraftværkets teknikere, og ikke befolkningen uden for anlægget, det gik akut ud over i Tjernobyl. Den forulykkede reaktor 4 var bygget sammen med en tilsvarende reaktor 3, og myndighederne satte alt ind på, at denne sidste reaktor ikke skulle gå til - om ikke andet, så af hensyn til el-forsyningen. Vi kender ikke de nøjagtige motiver, men en kendsgerning er det i hvert fald, at brandmandskabet blev sat ind i en nådeløs kamp mod ilden samtidig med, at kernen i reaktor 4 nærmest lå blottet. Der var tale om en ren menneskeofring, og hvad enten brandfolkene selv var klar over det eller ej, medens det stod på, så kunne indsatsen i hvert fald betegnes som helttemodig bagefter. Man har set billeder af de stakkels mennesker, hvor huden på ryggen ligefrem viste brandsår fra en forurening med beta-aktivitet. Det tog brandfolkene ca. to timer, at slukke ilden i bygningerne.

Dertil kom så oprydningen. I alt 600.000 arbejdere - mange fra militæret og civilforsvaret - blev mobiliseret til at rydde op omkring selve reaktoren. At der var så mange var netop ud fra tanken om at fordele strålingsbyrden så man undgik akut strålesyge. Det har krævet et stort organisationsarbejde at hente disse mange mennesker fra alle egne af landet. I november 1986 var arbejdet afsluttet, og reaktoren 4 var blevet indkapslet i en sarkofag af beton og stål, således at man igen kunne arbejde på de øvrige tre enheder uden væsentlig risiko fra den ødelagte enhed 4.

Oprydningsarbejdet var tilrettelagt så de individuelle strålingsdoser skulle holdes under 250 mSv, men 10% af arbejderne fik mere, især i de første dage efter ulykken. I gennemsnit fik arbejderne hver 100 mSv.

I løbet af de første uger af uheldsbekæmpelsen havde i

alt 237 personer vist kliniske tegn på stråleudsættelse, og de blev overført til specialbehandling i Kiev og Moskva. De havde fået doser mellem 2 og 16 Sv. Antallet af akutte dødsfald var, som sagt, i alt 30.

Doser til den øvrige befolkning

Allerede lørdag morgen, den 26. april, blev det besluttet at gennemføre en forebyggende evakuering af indbyggerne i byen Pripjat, nogle få kilometer fra den havarerede reaktor. Her boede fortrinsvis de ansatte på kraftværket med deres familier, i alt 44.000 mennesker.

Man startede med at opfordre folk til at holde sig indendøre og lukke vinduerne. Lørdagen igennem blev der uddelt kaliumjodid tabletter, for at mindske den biologiske optagelse af jod-131. Det blev gjort ved at myndighederne gik fra dør til dør. Sent om aftenen, lørdag, var strålingsniveauet steget til 10 mSv i timen og evakueringsplanerne kom for alvor i gang. Ved middagstid søndag den 27. blev folk opfordret til at være klar kl. 1400, med forsyninger til tre dage. I løbet af mindre end tre timer blev byen tømt, bortset fra de, der havde offentlige gøremål. 1200 busser havde man fået fat i og de kørte i kortege under politieskorte til to opsamlingscentre, 50 km borte.

Mandag den 28. gik man så i gang med at evakuere hele zonen ud til 10 km fra den havarerede reaktor; og den 2. maj tilsvarende ud til 30 km. Hele denne evakuering var gennemført den 6. maj. Alt i alt blev 115.000 mennesker evakueret. Det skulle have været midlertidigt, men bortset fra nogle mere eller mindre illegale tilbageflytninger gælder evakueringen af 30 km zonen endnu den dag i dag. I gennemsnit fik de evakuerede en bestråling på 140 mSv, med en øvre grænse på 300-400 mSv.

Den alvorligste kilde til bestrålingen af befolkningen i de første uger efter ulykken var jod-131. Folk fik det i sig ved at drikke mælk fra køer, der havde græsset i de forurenede områder, og ved at spise salat og andre bladrigte grøntsager. I gennemsnit fik de ikke-evakuerede børn i de udsatte områder (ialt 2,5 million indbyggere) 2 Sv til skjoldbruskkirtelen, med maksimum helt op til 30-40 Sv til skjoldbruskkirtelen. Man plejer at regne med, at den ækvivalente helkropsdosis udgør 3% af dosis til skjoldbruskkirtelen. Så de doser som børnene fik, har under alle omstændigheder været betydelige.

Ligesom i det øvrige Europa var det mest regnvejr eller ikke regnvejr, der afgjorde dosis til den øvrige befolkning. Kortene i figur 3 og på forsiden viser den principielle forskel mellem udbredelsen af henholdsvis strontium-90 og cæsium-134, 137. Hvor forureningen fra strontium stort set holder sig til 30 km zonen, da viser cæsium-forureningen et helt anderledes spredt mønster, med en ekstra "varm" plet 150 km mod nordøst og en mindre plet endnu længere væk, nær Moskva. Cæsium mønsteret er præget af den direkte fordampning gennem 14 dage og udvaskning i regnvejr, medens strontium følger den oprindelige eksplosion.

Ser vi bort fra jod-131, så var det de eksterne doser fra

den deponerede radioaktivitet, der gav de største bidrag. I gennemsnit kom 80% af den samlede dosis til den udsatte befolkning fra eksterne kilder, især Cs-134 og Cs-137.

Isotop	Kollektiv totaldosis (manSv)
Cs-137	155.000
Cs-134	43.000
I-131	13.000
Kortlivede isotoper	5.000
I alt:	216.000

Tabel 2: Kollektive dosisbyrder til befolkningen i den tidligere Sovjetunion fordelt på isotoper (manSv).

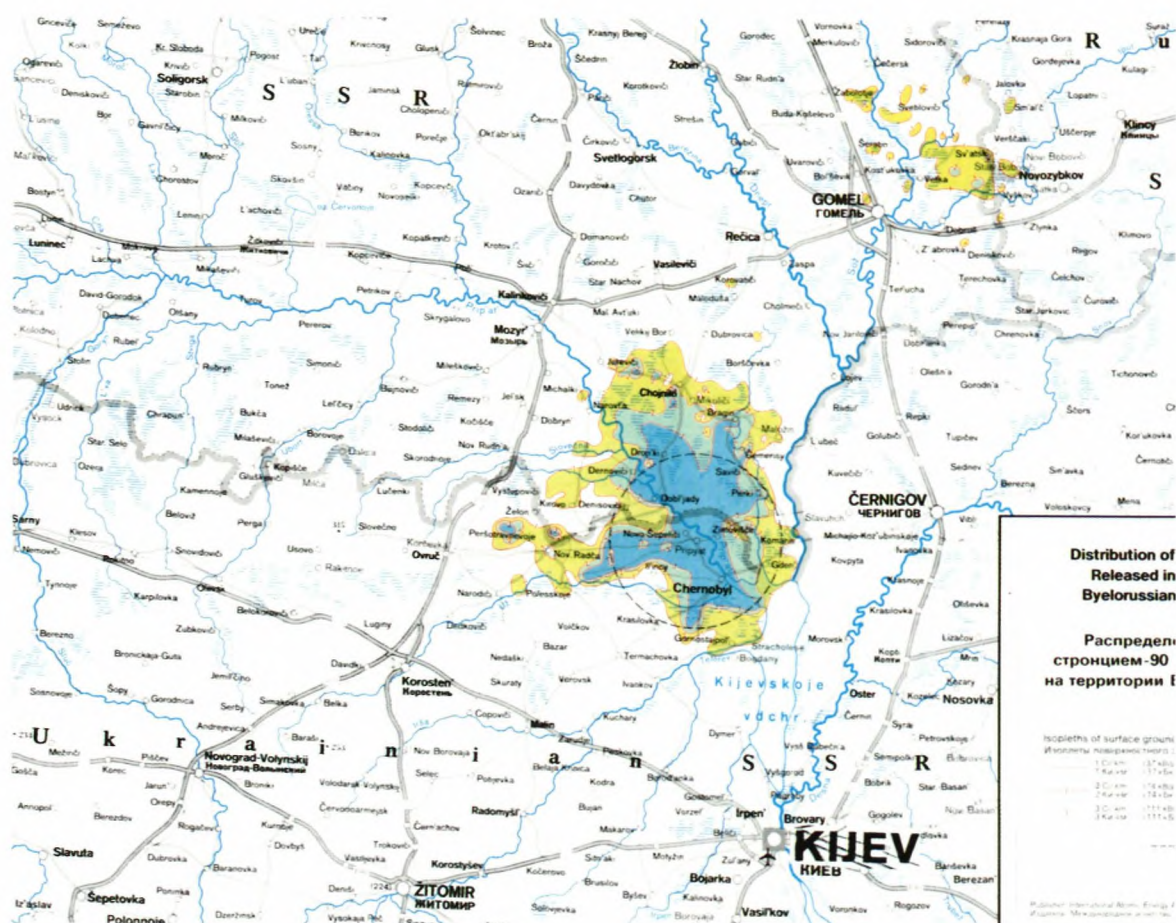
Befolkningens totale strålingsbelastning regnes i mand-sievert (manSv) uanset de bestråledes køn. Det er en produktsum af indviddoser og antallet af individer. Hvis man går ud fra linearitet mellem dosis og virkning er det ligegyldigt om en kollektiv dosis består af 10 personer, der hver får 1 Sv, eller 100 personer, der hver får 0,1 Sv; i begge tilfælde bliver det til 10 manSv. I alt får befolkningen i den tidligere Sovjetunion en effektiv livstidsdosis på 216.000 manSv på grund af ulykken i Tjernobyl. Tabel 2 viser hvordan denne er fordelt mellem de enkelte isotoper. De 700.000 mennesker, der fortsat bor i de mest forurenede områder, får heraf alt i alt 54.000 manSv, eller 25% af den samlede sovjetiske dosis, medens de 115.000, der i sin tid blev evakueret, fik 16.000 manSv.

Til sammenligning kan det anføres, at vi herhjemme har en baggrundsstråling, der giver os hver især 225 mSv gennem hele livet, eller 157.500 manSv på en befolkning på 700.000 mennesker.

Langtidsvirkningen

I samarbejdet mellem WHO og lokale myndigheder i den tidligere Sovjetunion er mere end 50.000 børn, født mellem 1971 og 1987, blevet undersøgt for kræft i skjoldbruskkirtelen. Man har konstateret i alt 560 tilfælde, hvilket er klart mere end det "normale", uden at man dog helt ved, hvad der er normalt i området. Skønsmæssigt skyldes i hvert fald de 400 påvirkning fra jod-131. Tilsvarende kræfttilfælde plejer at være 95% helbredelige hos os efter operative indgreb; men dels har de russiske tilfælde vist sig at være særligt ondartede, dels er hospitalsforholdene ikke så gode i østlandene, så man må regne med en væsentlig større dødelighed.

Udover kræft i skjoldbruskkirtelen har man hidtil ikke kunnet konstatere strålingsbetingede langtidsvirkninger efter Tjernobylulykken. De mange indberetninger om dårligt helbredsforhold må nok alle tilskrives psykologiske og sociale eftervirkninger. Fortsatte epidemiologiske undersøgelser vil sammen med kræft i skjoldbruskkirtelen hos børn og unge undersøge omfanget af leukæmi og hjerneskader hos børn bestrålet "in utero", d.v.s. født inden 9 måneder efter ulykken af mødre, der har opholdt sig inden for 30 km zonen.



Figur 3. Den geografiske fordeling af den radioaktive forurening med strontium-90. Grænserne til de tre områder er tegnet ved 37, 74 og 111 kBq/m². En sammenligning med det tilsvarende kort for cæsium-137, der er vist på forsiden af dette nummer, afslører forskellen i spredningsmekanisme for de to stoffer. Cæsium fordamper under hele branden i reaktorkernen og fordeles derfor vidt og bredt afhængigt af vind og vejr. Strontium kommer kun ud med eksplosionen og fordeles sig hovedsageligt indenfor 30 km zonen.

Område	Kollektiv totaldosis (manSv)
Europa	318.000
Asien	48.000
Andre verdensdele	18.000
I alt:	384.000

Tabel 3: Kollektive dosisbyrder til befolkningen i områder udenfor Sovjetunionen, fra Tjernobylulykken (manSv).

Den kollektive dosisbyrde angivet i manSv kan bruges til at beregne fremtidige kræfttilfælde. Efter de nyeste teorier gælder det, at for hver 20 manSv vil der opstå eet kræfttilfælde, som medfører døden efter sammen aldersfordeling, som de andre kræfttilfælde vi ellers kender -

altså gennemsnitlig i ca. 70 års alderen - uafhængig af hvornår i livet bestrålingen er sket.

I landene uden for den tidligere Sovjetunion har ulykken i Tjernobyl medført en effektiv livstidsdosis på 384.000 manSv, fordelt som angivet i Tabel 3. Sammen med de tidligere nævnte 216.000 manSv giver dette alt i alt 600.000 manSv eller 30.000 kræfttilfælde inden for de kommende 70 år. Hvad Danmark angår, får hver af os, ifølge Tabel 1, 0,09 mSv eller $0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^6 = 450$ manSv til os alle, svarende til 22 kræfttilfælde her i landet inden år 2060.

Man kan ikke stole på russiske tal

Vi er ved at lære det: hvordan der efterhånden er gået penge, og især fremmed valuta, i al ting i den tidligere Sovjetunion. Der skal i hvert fald trækkes godt fra når

Complete Optical Answers



Optics is providing the answers for many of today's new technologies and applications. Melles Griot's Application Engineers are trained to help you find those answers with our versatile range of optical tools. Answers that translate into working, valuable, real-life products.

Our carefully specified range of optical components — lasers, opto-mechanical hardware, and instrumentation; plus our complete line of optical tables, breadboards, and workstations — are all designed

to work together, with metric and inch systems equally supported.

All components are integrated into a versatile family of optics and support equipment designed with your requirements in mind.

From small-scale, non-linear devices to high performance imaging systems, from the infrared to the near UV, our products provide the reliable quality and dependable performance that you can rely on.

For the OEM we provide large volumes of custom components and sub-systems optimized for your specific needs — with major North American, Asian and European optical fabrication and coating facilities for worldwide support.

Warehouses around the world provide prompt shipment of our standard products and our toll free telephone makes us easy to reach. Just part of the reason why Melles Griot should be your source for complete optical answers.

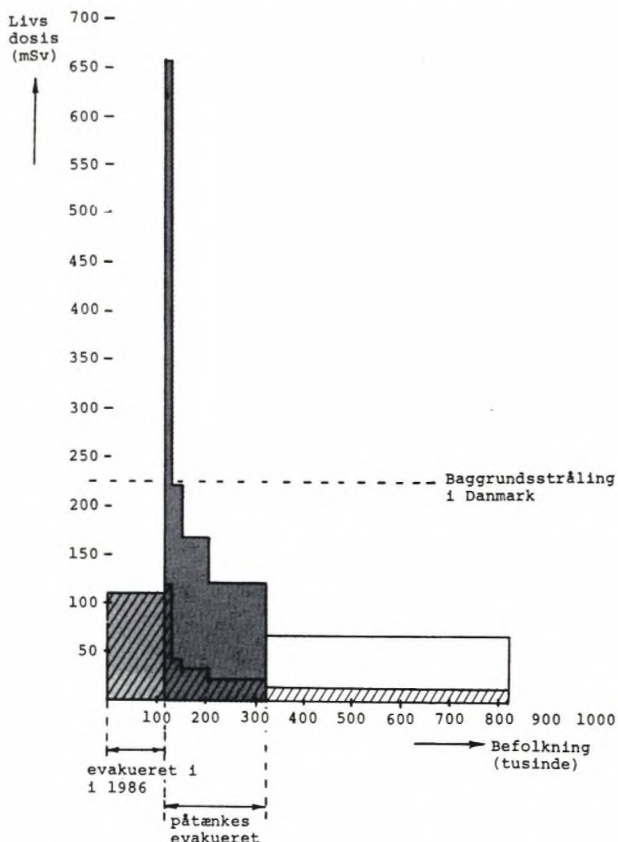
MELLES GRIOT

OPTICS • LASERS • RESEARCH EQUIPMENT

MELLES GRIOT DANMARK
Stenagervej 13
DK-4100 RINGSTED

Phone +45 53 61 50 49
Fax. +45 53 61 60 49

man hører om skader, russerne gerne vil have penge af os til at imødegå. Ikke desto mindre var der en hel del, der studerede under WHO konferencen "Health consequences of the Chernobyl accident" i november 1995, da S. Yarmonenko (vistnok chef for Radiological Institute, Moskva) i stærke vendinger og i næsten en time holdt auditoriet fanget med sin kritik af "the Radiation Mafia" - d.v.s. de mange dårlige og spredte studier i SNG landene.



Figur 4. En opgørelse fra 1990 over den ekstra dosisbyrde som Tjernobyl ulykken gav anledning til. Doserne er fordelt efter størrelse og grafen viser størrelsen af den befolkningsgruppe der påvirkes. Det skraverede område er den dosisbyrde som var modtaget indtil 1990. Det blanke område er den dosisbyrde de enkelte kan forvente at modtage hvis der ikke foretages yderligere indgreb. Siden 1990 er en stor del af de påtænkt evakuerede faktisk flyttet. Dette er en disposition der kan være fornuftig for de få tusinde mennesker der levede i de hårdest belastede områder udenfor 30 km zonen, eller for unge og mobile mennesker. Det er straks et større spørgsmål, om belastningen ved en evakuering af bønder der er bundet til området, opvejes af fordelene ved at slippe for en ekstra dosis, der er en brøkdel af baggrundsstrålingen i Danmark.

Yarmonenko dokumenterede med navns nævnelse og citater fra artikler, hvorledes præmisser og konklusioner ikke hang sammen. Han brugte udtryk som "uansvarlig" og "postulation" og beskyldte ordret kolleger for skrækkampagner for at rejse penge til lokale, ukoordinerede studier. "Aldrig har jeg hørt en så velrettet opsang til kolleger og landsmænd" skriver overlæge ved Glostrup Amtssygehus, Harriet Dige-Petersen, i sin beretning.

Referencer:

- 1) *Health consequences of the Chernobyl accident, summary report*, (40 sider)
WHO 1995, ISBN 92-4-156181-5.
- 2) Per Brøns, Heinz Hansen og Erland Andersen, *Vor radioaktive klode*, Rhodos 1993, ISBN 87-7245-552-7.
- 3) The international Chernobyl project, *Surface contamination maps*, IAEA 1991, ISBN 92-0-129291-0



Heinz Hansen er biokemiker, Dr.scient, og har siden 1959 været tilknyttet helsefysisk- (nu miljø-)afdeling på Risø.

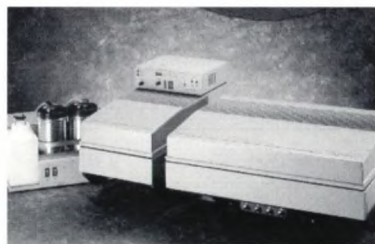


optilas

Optilas Danmark, den lokale internationale leverandør med specialer indenfor:

Optik og lasere til forskning og industri

Continuum, Inc. - Corion Corp. - CVI Laser Corp. - Ion Laser Technology, Inc. - Labsphere, Inc. - Laservision - Optical Surfaces Ltd. - Physical Optics Corp. - Research Electro Optics - Santa Fe Laser Co. - Synrad, Inc. - m.fl.



Spektroskopisk udstyr

Chromex, Inc. - McPherson Milton Roy - Photek Ltd. m.fl.



Elektronik

Directed Energy, Inc. - Maxwell Laboratories, Inc. - Quantum Design, Inc. - Stanford Research Systems, Inc. - Trek, Inc. - m. fl.

Optilas Danmark

Billedvej 2

DK-2100 København Ø

Telefon: 3543 0133

Fax: 3543 8334

E-mail: optilas@inet.uni-c.dk

Vejledning for forfattere

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne artikler fra læserne. Indholdet af artiklerne bør være forståelig for personer med interesse for fysik – således at en god gymnasieelev vil få noget ud af at læse artiklen. Illustrationer til artiklerne er meget velkomne.

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

Vejledning i udformning af artikler til KVANT

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

kvant@nbivax.nbi.dk

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

KVANT
c/o Mads Hammerich
Gersonsvej 40
2900 Hellerup

eller afleveres til et redaktionsmedlem sammen med eventuelle figurer, og – *meget vigtigt* – et billede og en præsentation af forfatteren, i stil med de præsentationer,

der findes i slutningen af hver artikel i dette nummer.

Teksten kan være skrevet i L^AT_EX, som ren ASCII fil, i WordPerfect eller Word. De første formater foretrækkes.

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

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

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

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

Abonnement på KVANT

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

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

Abonnement tegnes ved at skrive til

Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, e-mail: koerner@math.ku.dk



I denne oversigt beskriver vi kort de produktgrupper som vi leverer fra EDWARDS HIGH VACUUM. EDWARDS HIGH VACUUM er ejet af BOC og er ISO 9000 certificeret. De har mere end 2000 ansatte fordelt på 10 datterselskaber med hovedkontor i Crawley, UK, samt et verdensomspændende net af veletablerede forhandlere. Buch & Holm A/S har forhandlet EDWARDS HIGH VACUUM siden 1949. EDWARDS produkter er CE mærkede.

Turbomolekylarpumper

EXT, STP oliefri højvakuumpumper, sluttryk 10^{-7} mbar.

EXT pumperne er forsynet med keramiske lejer, der ikke kræver smøring. Vand- eller luftkølet, kan arbejde i alle vinkler, fås i 4 størrelser 70 – 250 – 350 – 500 l/sek.

Maglev er velegnet til rene systemer, pumperne har magnetiske lejer, er vedligeholdelsesfri, vibrationsfri og har meget lavt støjniveau. 5 størrelser fra 200–2000 l/sek. sluttryk 10^{-10} mbar.

Til turbopumperne leveres en serie power supplies der tilgodeser de forskellige anvendelsesområder.

Turbopumperne leveres også som pumpestande med integreret forpumpe.



RV Rotationsvakuumpumper

Edwards High Vacuum har introduceret en ny rotationsvakuumpumpe, der både er en et- og to-trins pumpe.

Leveres i 4 størrelser på 3,7 – 5,8 – 9,7 og 14,2 m³/h.

Variabelt sluttryk mellem 2×10^{-3} og $1,2 \times 10^{-1}$ mbar.

Pumpen er velegnet som kemipumpe og er meget støjsvag (48 dBA). Anvendelsesområde $100-10^{-2}$ mbar



EDWARDS

Dry-Pump

En tørtløbende vakuumpumpe, der ikke indeholder olie, betyder at man kan kondensere sine dampe efter pumpen. Derved undgår man at skulle køle dampene så langt ned.

Kapaciteter fra 160 til 400 m³/h med Dry-Pump alene, eller op til 3.000 m³/h i kombination med Roots Booster pumpe.

Sluttryk 0,1 mbar.



Giv os opgaven og vi finder den rette kombination.

Vakuum måleinstrumenter serie 500

Pirani – Penning – Termocouple analog instrumenter leveres som viser instrumenter samt i controller versioner med set-punkter for automatisering.

Pirani	trykområde	1000– 10^{-3} mbar
Termocouple	trykområde	4– 10^{-3} mbar
Penning	trykområde	10^{-2} – 10^{-7} mbar



Kursus i vakuumteknik

Vi tilbyder, i samarbejde med Edwards High Vacuum i England, forskellige kurser i vakuumteknik. Mulighederne er talrige, så rekvirer det komplette kursusprogram hos os.

Læksøgning

Som forhandler af udstyr fra Edwards High Vacuum har vi fundet det naturligt at udbygge vor kundeservice på ovennævnte område. Vi tilbyder læksøgning som lønarbejde eller på udlejningsbasis:

1) Helium læksøgning som lønarbejde til kr. 950,- pr. opgave plus normal tekniker timepris samt kilometerpenge efter statens regler.

2) Leje af Edwards helium læksøger til de lidt større opgaver indenfor produktionskontrol af en serie. Pris kr. **4.200,-** pr. uge plus tekniker tid til installation, oplæring og hjemtagning.



Edwards
Spectron 300E

BOOSTER pumper

EDWARDS EH serie booster har hydrokinetisk drev, som er en effektiv væskekobling til kraftoverførsel. Fordelen ved denne koblingstype er, at boosterens kan startes samtidig med forpumpen, således at nedpumpningstiden afkortes. Serien går fra 310–4120 m³/h.

Til semiconductor industrien og renrum fås en QmB serie som udover det hydrokinetiske drev, har indkapslet vandkølet motor.

Med forpumpe er boosterens anvendelig i området 500–10⁺³ mbar.



Vakuüm måleinstrumenter serie 1000

Pirani – Penning digital instrumenter og controllere med setpunkter for automatisering. Leveres som Pirani-meter med 2 eller 4 sonder, som Penning-meter og som Pirani/Penning-meter

Pirani. trykområde 1000–10⁺⁴ mbar
Penning. trykområde 10⁺²–5x10⁺⁸ mbar



Frysetørningsanlæg

til laboratorier og farmaceutisk industri for tørring af medier i bulk, hætteglas, flasker eller ampuller. Anlæg med kondensatorkapacitet fra 1,5 til 600 kg is, hyldeareal op til 29m².



Helium læksøger Spectron E300/5000

til vakuum- og overtryks-systemer, fås i transportabel og stationær udgave med følsomhed fra 4000–10⁺¹¹ mbar/s⁺¹.

Stor stabilitet – hurtig response.

Anvendelsesområder: Rørsystemer til procesgasser mv., vakuumanlæg og -systemer, Kryobeholdere, køleanlæg, varmevekslere, ventiler, komponenter og meget andet.



Rotationsvakuumpumper

Ud over den nye **RV serie** findes der også pumper på 0,7 m³/h, 1,8m³/h og fra 20,5 til 292 m³/h. Alle pumperne har et sluttryk på 10⁺⁴ mbar.

Specielt velegnet til laboratoriebrug er **Speedivac 2** på 2,7 m³/h, med et sluttryk på 0,13 mbar. Den er velegnet til filtrering, destillation, vakuumtørreskabe og meget andet.

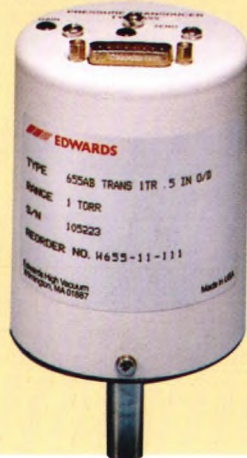


Barocel membranmanometre

Disse vakuum transducere udført i Inconel/Monel med tilhørende viserinstrument er specielt velegnede til målinger i anlæg med korrosive/eksplosive dampe.

Transduceren måler ægte totaltryk, har responsetid på millisek. 4–6 dekader med samme transducer, stor stabilitet.

Barocel dækker trykområdet $1000-5 \times 10^{-6}$ mbar.



Active Gauges

er et helt nyt koncept for måling af vakuum. Målehovedet indeholder hele elektronikken til måleudstyret og kræver kun en standard DC strømforsyning. Udlæsningen kan foregå på et almindeligt måleinstrument, PLC eller på en computer.



Vakuumentiler



Edwards program i systemventiler er bredt.

PV-serien omfatter aluminium eller rustfri bælgventiler manuelt, solenoid eller pneumatisk betjent. Størrelser NW 10, 16, 25, 40, 50 for tryk ned til 10^{-9} mbar.

SP-serien er håndbetjente membranventiler NW 10, 16, 25, 40 for tryk ned til 10^{-6} mbar.

BRV backing/roughing ventiler til Diffstac for manuel eller pneumatisk betjening. Størrelser NW 10 eller 25.

GV-serien omfatter rustfri skydeventiler med bælgætning for manuel eller pneumatisk betjening. Størrelser fra 40mm til 320mm og tryk ned til 10^{-9} mbar. Ventilerne kan bages til 200°C og har ISO eller ANSI flanger.

QSB rustfri butterfly ventiler NW 63, 100, 160, 250 manuelt eller pneumatisk betjent for tryk ned til 10^{-8} mbar. Indluftsventiler type AV – manuel, PVA – pneumatisk. Nåleventiler til præcis dosering af tilført gasmængde.

Diffusionspumper og Diffstak

Et bredt program i vand- og luftkølede pumper. Diffstak med integreret optisk baffel og eventuelt Butterfly ventil og backing/roughing ventil.

Pumpehastigheder fra 60 l/sek.–12.500 l/sek. Tilslutninger fra NW50 – ISO 630.

Sluttryk ned til 10^{-9} mbar afhængig af valgt tilbehør og oltetype.

Stort program i tilbehør. Leveres også færdigmonteret med forpumpe. Arbejdsområde $10^{-3}-10^{-9}$ mbar



Pådamplingsanlæg

til forskning og udvikling. Leveres i standard størrelser med et bredt tilbehørsprogram, der individuelt kan sammenstilles til den enkelte opgave. Til SEM og EM elektronmikroskoper leveres standard opbygninger, der opfylder de krav, der stilles til denne anvendelse.



Scroll Pump

ESDP 30 er en nyskabelse indenfor olieforpumper til turbomolekylar- og booster-pumper på rene systemer. Kapacitet $25\text{m}^3/\text{h}$, sluttryk 10^{-2} mbar.



Gascheck læksøgere til overtrykssystemer

R2 til køleindustrien – selektiv for CFC – HFC – HCFC – Ammoniak og Isobutan. Kompensation for baggrunds niveau. Alarmset til $15\text{g}/\text{år}$, min. læk $0,2\text{g}/\text{år}$ for R134A.



B4 til læksøgning på forbrædningsinstallationer – anlæg og komponenter under He eller CO_2 tryk – andre detektive gasser: H_2 – R12 – R131A – R1301 – He – SF_6 – R22 – CH_4 – Ar – CO_2 . Udlæsning digitalt i ml/sek. ppm eller cu.ft./år. Min. læk 10^{-5} ml/sek Helium.

Kapsel vakuummetre og afbrydere.

Manometrene type CG16K har 100mm skaladiameter, nøjagtighed på $\pm 2\%$ fsd, er uafhængige af gastype og barometertryk, leveres i 4 områder 0-1050, 0-125, 0-50 og 0-25 mbar.

Vakuumb afbryderen VS16K kan justeres i området 30-1000 mbar og har omskifterkontakt NO/NC til 250V/10A.



Olje – Fedt – voks

Edwards leverer et komplet program i olietyper der er nøje tilpasset de enkelte processer som apparaturet udsættes for. Det rette valg forbedrer resultatet og forlænger udstyrets levetid.



Pumpesystemer til semiconductor industrien

Edwards er en af de største leverandører til denne industrigren, der kræver specialpumper som kan tåle og håndtere de stærkt korrosive og toksiske gasser der anvendes.

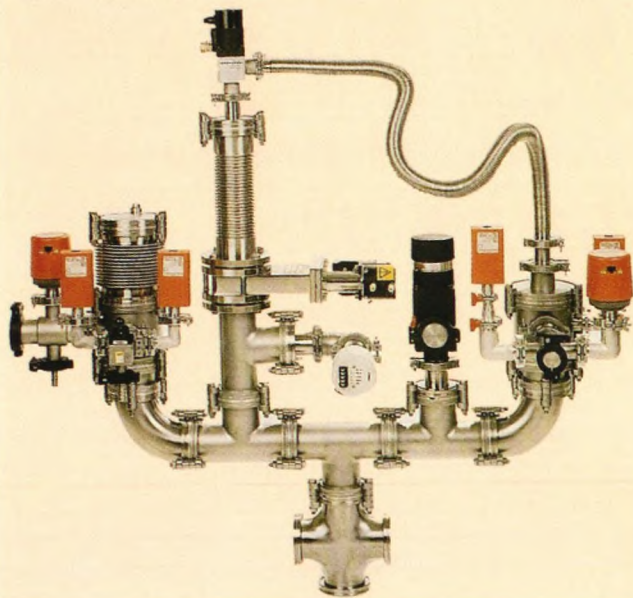
Gas Reactor Columns (GRC) med udskiftelige cartridges er specielt udviklede til at håndtere og absorbere Klor, Bromin, Fluorsilan, Fosfin og Diboran på pumpernes trykside.

Programmet omfatter pumpesystemer med oliefri **Drystar QDP** tørpumper kombineret med **QMB** serien af Boosterpumper.



Vakuumb Fittings katalog

med produkter fra Edwards. Komplet katalog over alle komponenter til opbygning af vakuumsystemer. Kataloget er på dansk og med priser.



SERVICE

Vore veluddannede teknikere udfører på eget værksted service og reparationer på hele Edwards program. Vi har et velassorteret reservedelslager samt læksøgere og testudstyr for kalibrering.

DØGNSERVICE/HOT-LINE

Udenfor normal arbejdstid (8⁰⁰-16⁰⁰) kan vi nu også tilbyde assistance, både telefonisk rådgivning og service på stedet.

HOT-LINE 30 42 58 44

(Mellem kl. 16⁰⁰ og 08⁰⁰)

 **EDWARDS**

Abnstrom & Vinggaard Reklamebureau