

# Rapport fra det faglige panel for fysik og univers i forbindelse med udarbejdelse af en dansk roadmap for forskningsinfrastruktur

## Fagpanelets medlemmer:

Formand: Professor Jes Madsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Lektor Lars Diekhöner, Institut for Fysik og Nanoteknologi, Aalborg Universitet

Professor Jens Jørgen Gaardhøje, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Professor Jens Hjorth, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Lektor Jane Hvolbæk Nielsen, Institut for Fysik, CINF, Danmarks Tekniske Universitet

Professor Francesco Sannino, Institut for Fysik og Kemi, Syddansk Universitet

Professor Niels Skou, Institut for Rumforskning og -teknologi, Danmarks Tekniske Universitet

# 1. Nye tendenser og behov for forskningsinfrastruktur

## ***De store spørgsmål***

Fysik, astronomi, geofysik og tilgrænsende fag kan i disse år se frem til en række store forskningsmæssige gennembrud af stor betydning for vores verdensbillede, selvforståelse og indsigt i de fysiske love. Inden for astronomien jagter man naturen af det mørke stof og den mørke energi som tilsammen udgør 96 % af Universets energitæthed, samtidig med, at man (på grund af lysets endelige udbredelseshastighed) ser længere og længere tilbage i tiden mod Big Bang til en epoke, hvor de første stjerner og galakser blev dannet. I de kommende år vil nye vinduer mod Universet blive åbnet, f.eks. med detektion af gravitationsbølger og mikrobølger fra fjerne kilder. Parallelt med dette er eftersøgningen af planetsystemer omkring andre stjerner gået ind i en ny fase med opdagelsen af den første planet udover Jorden, der med nogen sandsynlighed kunne huse liv. Med opstarten af CERN's Large Hadron Collider er partikelfysikere tæt på opklaringen af et af naturens helt fundamentale mysterier, nemlig hvorfor elementarpartikler og dermed alt i naturen vejer noget. Samtidig kan disse eksperimenter forhåbentlig kaste lys over, om astronomernes mørke stof, som meget tyder på, består af hidtil ukendte elementarpartikler. Der er således en nær sammenhæng mellem udforskningen af naturens største og mindste enheder. Forståelsen af vores egen planets indre struktur og dynamiske udvikling gennemgår en kraftig vækst i disse år, ligesom udforskningen af Jordens magnetfelt og samspillet med den kosmiske stråling. Ind i mellem disse skalaer sker en lang række spændende nybrud i udforskningen af en mangfoldighed af fænomener, lige fra molekylers vekselvirkning med hyperintense lyskilder, til ultrakolde kondensater af atomer samt materialer med revolutionerende nye egenskaber, for blot at nævne nogle få eksempler.

## ***Danmarks rolle***

Danske forskere har alle muligheder for at indtage vigtige roller i disse opdagelser, som i stigende omfang er knyttet til udvikling af nye eksperimentelle, beregningsmæssige og observationelle metoder og teknologier. Udforskningen af naturens største såvel som mindste bestanddele kræver adgang til enestående infrastruktur, som ofte har en sådan kompleksitet, størrelse og pris, at det langt overstiger et enkelt (mindre) lands formåen, og dermed alene kan foregå i internationalt samarbejde. F.eks. kræver udforskningen af elementarpartiklers egenskaber ekstremt høje energier, hvilket kun kan opnås i kæmpemæssige accelerators, mens studiet af Universets fjerneste objekter kræver meget store og specialiserede teleskoper på jorden eller i rummet. Danske forskeres fortsatte førerposition på disse spændende og internationalt højt prioriterede områder stiller derfor krav om adgang til de kraftigste accelerators og de største og bedste teleskoper, som kun kan opnås via fortsat medlemskab af store internationale infrastrukturfaciliteter. På andre felter er infrastrukturens størrelse og pris overkommelig for en mindre gruppe af lande i fællesskab. En sådan tendens ses i flere samarbejder indenfor geovidenskab, hvor udforskningen af en række af tidens mest spændende videnskabelige spørgsmål vedr. jordskælv er knyttet til observationsmaterialets tidlige og geografiske dækning. Her stilles der infrastrukturmæssige krav om mange men hver især knap så store eller dyre måleenheder, hvor de enkelte lande i et samarbejde kan bidrage til den fælles pulje.

Endelig er der områder, hvor infrastrukturer i et land som Danmark ikke er realistiske indenfor de enkelte universiteters økonomi, men med fordel kan realiseres, hvis man samarbejder nationalt.

I det følgende gennemgår Fagpanelet for Fysik og Univers en række nye tendenser og behov for forskningsinfrastruktur indenfor forskning i fysik, astronomi, geofysik og tilgrænsende fagområder. Emner og infrastruktur-forslag, som primært knytter sig til materiale- og nanoteknologi, eller til energi, klima og miljø er dækket af andre paneler. Fagpanelet for Fysik og Univers vil knytte nogle kommentarer til behovet for beregningsmæssige faciliteter, selv om dette område primært behandles af Fagpanelet for e-Science. Panelet er specielt blevet bedt om at forholde sig til Danmarks fortsatte bidrag til de konventionsbårne medlemskaber af bl.a. CERN, ESA og ESO, herunder først og fremmest den fremtidige finansiering af danske forskeres adgang til og brug af forskningsinfrastrukturene. Dette vigtige tema indtager en central plads i rapporten. Panelet har endvidere analyseret og vurderet den generelle udvikling indenfor fysik, astronomi mv. og fundet, at dansk forskning står særdeles godt rustet på en række felter, hvor adgang til den nødvendige infrastruktur allerede er sikret, eller hvor behovene har en størrelsesorden, som mere naturligt hører hjemme i institutionernes almindelige budgetter eller hos diverse råd og fonde. Panelet har derfor i rapporten valgt at fokusere på nogle udvalgte faglige styrkeområder, hvor en særlig satsning på ny stor forskningsinfrastruktur vil kunne gøre en afgørende forskel. Disse styrkeområder og de tilhørende infrastrukturer er nærmere beskrevet i afsnit 2 samt for de mere langsigtede satsningers vedkommende i afsnit 3.

### ***Store internationale infrastrukturfaciliteter***

Danske forskere er internationalt med helt i front på en række fagområder indenfor astronomi, astrofysik, elementarpartikelfysik og rumforskning, som alle har det til fælles, at de primært baserer sig på udnyttelsen af Danmarks konventionsbårne medlemskaber af CERN (Det Europæiske Center for Højenergifysik), ESA (Den Europæiske Rumorganisation) og ESO (Den Europæiske Organisation for Astronomisk Forskning). Disse organisationer, der som medlemmer tæller en stor del af Europas lande samt en række lande udenfor Europa, driver nogle af verdens allerbedste (i visse tilfælde eneste) infrastrukturfaciliteter til udforskning af naturens mindste byggesten (CERN), kosmos og Solsystemet såvel som vores egen Jord (ESA), samt Universets struktur og udvikling (ESO). De konventionsbårne medlemskaber finansieres via kontingenter afsat direkte på Finansloven, mens udgifterne til udnyttelse af faciliteterne samt forskningen skal dækkes på anden vis (se afsnit 3 og 4). De årlige danske finanslovsbidrag til medlemskontingenter er store (hhv. 96,9 (CERN), 94,2 (ESA) og 20,0 (ESO) mio. kroner i 2010), men de er helt afgørende for den (generelt fremragende) danske forskning på de pågældende fagområder. Uden de konventionsbårne medlemskaber ville danske forskere indenfor observationel astronomi og eksperimentel højenergifysik ikke kunne være med i front internationalt. Samtidig giver medlemskaberne (specielt ESA, hvor der for nogle programmers vedkommende lægges vægt på juste retour-princippet, hvorefter kontrakter fordeles mellem landene i forhold til deres bidrag) gode muligheder for dansk industriel spin-off. *Panelet betragter fortsat aktivt dansk medlemskab af disse organisationer som*

*en afgørende forudsætning for dansk forskning på højeste niveau indenfor de pågældende fagområder.*

Alle tre organisationer søger gennem langsigtet planlægning og udarbejdelse af roadmaps at sikre ikke bare ”her og nu”-drift af den eksisterende infrastruktur men også at tænke 5-10-20 år frem, hvilket er afgørende, eftersom alle felterne er karakteriseret af en meget lang tidshorison for planlægning, udvikling og opbygning af nye faciliteter, det være sig nye accelerators (CERN), satellitter (ESA) eller store teleskoper (ESO). Via sine medlemskaber er Danmark og danske forskere med til at påvirke planlægningen, som pga. organisationernes størrelse primært foregår udenfor ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructure).

CERN, ESA og ESO er på linje med f.eks. European Spallation Source (ESS; neutronsprøngning) eksempler på, at visse forskningsinfrastrukturer kræver samarbejde på europæisk eller sågar global skala for at kunne realiseres. Dansk forskning er videnskabeligt særdeles godt rustet til aktiv deltagelse i disse store internationale samarbejder, men som nærmere beskrevet i rapportens afsnit 3 og 4 er der nogle strukturelle problemer i det danske forskningsfinansieringssystem, som gør det vanskeligt at sikre det fulde danske udbytte, når det gælder aktiv involvering i udvikling og opbygning af nye instrumenter og andet udstyr til de store internationale infrastrukturfaciliteter, ligesom der bør findes en bedre måde til at sikre finansieringen af danske forskeres adgang til og brug af forskningsinfrastrukturene.

*Fagpanelet for Fysik og Univers vil i afsnit 3 og 4 pege på nogle muligheder, der for forholdsvis begrænsede midler (relativt til de årlige medlemskontingenter) vil kunne øge dansk forsknings (og formentlig dansk erhvervslivs) udbytte af de internationale forskningsinfrastrukturer markant.*

### **Mellemstore internationale infrastrukturfaciliteter**

Danske forskere drager også stor nytte af en række mellemstore faciliteter, som er realiseret på regionalt plan, f.eks. gennem nordisk samarbejde, eller på internationalt plan, men med relativt små bidrag fra de fleste af de deltagende lande. Et eksempel på det første er det Nordiske Optiske Teleskop (NOT) på De Kanariske Øer, mens et eksempel på det andet er International Ocean Drilling Programme (IODP). En tredje model for deltagelse i internationale faciliteter praktiseres ved Den Europæiske Synkrotronstrålingsfacilitet (ESRF), hvor de nordiske lande er gået sammen om at dele et medlemskab. Det er vigtigt, at Danmark også fremover agerer kreativt, når det gælder modeller for tilslutning til nye mellemstore internationale infrastrukturfaciliteter med henblik på at sikre danske forskere bedst mulig adgang til samarbejde, viden og apparatur. *To af de faciliteter, som Fagpanelet har valgt at prioritere på kort sigt, falder direkte eller indirekte i kategorien af mellemstore internationale infrastrukturfaciliteter. Det ene (Stellar Observations Network Group—SONG) vil styrke den danske førerposition indenfor stjerneseismologi og udbygge Danmarks rolle i forbindelse med studiet af fremmede planetsystemer. Det andet (DanSeis) vil åbne nye muligheder indenfor et af dansk geovidenskabs stærkeste områder, nemlig studiet af Jordens*

*dynamiske udvikling via seismiske undersøgelser, og samtidig vil det kunne indgå som et bidrag til det europæiske ESFRI-projekt EPOS (European Plate Observing System).*

### **Nationale infrastrukturfaciliteter**

Konkurrence er på mange måder en drivkraft i moderne forskning, men når det gælder investering i meget dyr forskningsinfrastruktur, er det panelets opfattelse, at Danmark er for lille et land til væsentlig konkurrence mellem universiteterne. F.eks. foregår acceleratorbaseret forskning med synkrotronstråling ved ASTRID-anlægget på Aarhus Universitet, og det ville ikke være rationelt at opbygge et anlæg af tilsvarende karakter andre steder. Dette stiller naturligvis krav til, at sådanne anlæg fungerer som nationale faciliteter med lige adgang for alle, der har projekter af høj kvalitet. Omvendt er megen materialeforskning afhængig af adgang til lokale renrumsfaciliteter, hvorfor det giver god mening at sådanne faciliteter findes og drives decentralt, men med national koordinering af mere specialiserede funktioner og adgang. Dette tema behandles nærmere i rapporten fra materiale- og nanoteknologi-panelet, som i samme forbindelse anbefaler øget fokus på opbygningen af *kvantedevices*, der fagligt vedrører begge paneler, og som har nær relation til temaet om renrum. *Roadmapppanelet Fysik & Univers finder, at dansk forskning står med særdeles gode kort på hånden til en styrket national indsats på det meget spændende grænseområde mellem kvantefysik, elektronik og optik, som vil kunne opnås gennem investeringer i infrastruktur til udvikling og karakterisering af kvantedevices, men henviser i øvrigt til rapporten fra materiale- og nanoteknologi panelet.*

Panelet har modtaget en række forslag til infrastruktur med tilknytning til stærke danske forskningsaktiviteter indenfor laserfysik, optisk fysik og studiet af kolde atomer mv., som har det til fælles, at de investeringsmæssigt ligger på kanten af, hvad der er realistisk for den enkelte institution, og hvor der kunne opnås en synergigevinst ved at etablere dem som nationale faciliteter. *Panelet har valgt at prioritere etablering af et Dansk Nationalt Laser Center (DANLASE), som på afgørende vis vil kunne styrke den fortsatte udvikling og brug af avancerede laserlyskilder indenfor en række forskningsfelter.*

Panelet har ligeledes modtaget forslag med tilknytning til high performance computing, hvor det enkelte projekt ikke er afhængigt af den fysiske placering af den anvendte hardware, og hvor det derfor er oplagt at tænke i nationale baner. Panelet knytter nogle kommentarer til dette tema i afsnit 3, men den detaljerede behandling er overladt til Fagpanelet for e-Science. Det samme gælder behandlingen af de muligheder, der ligger i oprettelsen af datacentre i Danmark i tilknytning til internationale forskningsinfrastrukturer, som omtales i afsnit 4.

## 2. Prioritering af infrastrukturbehovet på kort sigt (op til 3-5 år)

Det faglige roadmappanel Fysik & Univers har på basis af sin kortlægning og drøftelser af infrastrukturbehovet på kort sigt udvalgt tre faciliteter, der hvis de realiseres vil betyde et afgørende løft af forskningsmulighederne indenfor områder, hvor Danmark i forvejen står meget stærkt internationalt. De tre faciliteter, som omtales herunder i alfabetisk rækkefølge, er DANLASE, DanSeis og SONG. Alle tre faciliteter vil på deres respektive felter bidrage væsentligt til såvel den almindelige uddannelse som til forskeruddannelsen, hvorfor disse aspekter ikke omtales yderligere i det følgende. De angivne beløb er uden overhead og baseret på skøn, som panelet dog ikke har haft mulighed for at vurdere i detaljer.

### ***DANLASE (Danish National Laser Center)***

Laserteknologi udgør grundstammen i en bred vifte af tekniske og videnskabelige discipliner fra kemi og medikoteknik over studier af celler, til fremstilling og bearbejdning af nanomaterialer, miljøovervågning og fundamental forskning i relativistisk fysik, atomfysik, faststoffysik og fotonik. En række danske forskergrupper fra hele landet er med i den internationale front indenfor forskningsområder, hvor lasere udgør en afgørende del af den eksperimentelle udrustning, og med de seneste års teknologiske udvikling på området tyder alt på, at betydningen af lasere vil øges i de kommende år. Moderne lasersystemer giver mulighed for stadig større frekvenspræcision, kortere pulser, større spektralområde og højere intensitet, og systemerne bliver mindre, mere fleksible, og dermed mere tilgængelige for nye anvendelser indenfor både forskning og industri. Panelet vurderer, at en satsning på dette område vil være af bred interesse for fundamental såvel som anvendt forskning på en række felter, og den tilknyttede udvikling af teknisk og videnskabelig ekspertise vil have positiv afsmittning på dansk erhvervsliv, både gennem direkte samarbejde og via de uddannede kandidater og ph.d.-er.

I modsætning til en række af vore nabolande har Danmark ikke en national infrastrukturfacilitet på laserområdet til koordination af viden om og udvikling af avanceret laserteknologi og anvendelser indenfor forskning og industri. Dansk forskning vil kunne styrkes afgørende på en række felter gennem oprettelse af et sådant center, og panelet anbefaler derfor oprettelse af et *Danish National Laser Center (DANLASE)*. Panelet vurderer, at et sådant center med fordel vil kunne oprettes ved Aarhus Universitet, som i forvejen rummer den største nationale koncentration af ekspertise på laserområdet sådan som det er beskrevet i et af de indsendte forslag til roadmapprocessen. Panelet foreslår, at der afsættes 25 mio. kroner til konstruktion af en sådan facilitet i perioden 2011-13, samt 1-2 mio. kroner per år til drift fra 2011. Der er primært tale om indkøb af kommercielt udstyr, som sammen med allerede eksisterende apparatur ved Aarhus Universitet (Kemisk Institut, Institut for Fysik og Astronomi, iNano, samt Aarhus School of Engineering) vil give en komplet vifte af laserudstyr til dækning af hele spektralområdet fra ekstrem ultraviolet til fjernt infrarødt, tidsskalaer fra sub-femtosekund til sekunder, samt høj rumlig opløsning. Den rumlige opløsning skal

være høj for at kunne afbilde eksempelvis sub-cellulære systemer, systemerne skal være hurtige for at kunne studere termiske nanobevægelser, og udstyret skal være hyper-spektralt for at kunne kombinere rumlig og spektroskopisk information.

Forskergrupperne bag forslaget om DANLASE har et meget omfattende nationalt og internationalt kontaktnet og samarbejde og vil søge tilslutning til det europæiske laserlaboratoriesamarbejde Laserlab Europe. Dette betragter panelet som vigtigt. Samtidig bør det sikres, at faciliteten fokuserer på det unikke og gennem samarbejde med faciliteter i nærområderne udenfor Danmarks grænser undgår unødigt dublering. Panelet anbefaler endvidere, at den eksisterende laser-ekspertise ved landets øvrige forskningsinstitutioner fra begyndelsen inddrages direkte i projektets realisering og organisering.

*DANLASE vurderes af roadmapppanelet Fysik & Univers som en facilitet, der på afgørende måde vil styrke en række danske forskningsområder, som anvender lasere. Den vil have bred national interesse, og den vil naturligt kunne indgå i det internationale samarbejde mellem nationale laserlaboratorier. Forslaget har en karakter, som gør det til en lavrisiko investering med potentielt stort udbytte, ikke blot for basal forskning i kemi, fysik, cellebiologi mv., men også med henblik på industrielle anvendelser.*

### **DanSeis (Nationalt Center for Seismisk Instrumentering)**

Seismologi er den vigtigste metode til bestemmelse af strukturer og fysiske parametre i Jordens indre på alle dybdeskalaer og derigennem til forståelse af Jordens dynamik og udvikling. Danske forskere har gennem de seneste år markeret sig stærkt internationalt med en række markante seismologiske resultater og gennem tolkning af resultaterne i integrerede geofysiske og geodynamiske modeller for processer i Jordens indre, herunder betydningen for geologiske processer ved overfladen. Blandt de vigtige spørgsmål, som danske forskere har bidraget til løsningen af, kan nævnes: Hvorfor findes der bjergkæder omkring Nordatlanten? Hænger Islands skabelse sammen med processer i den øverste kappe eller omkring Jordens flydende kerne? Har de dybe processer i Jorden eller strækning ved overfladen skabt de sedimentære bassiner i Nordeuropa med deres væsentlige forekomster af kulbrinter? Blandt de nye spørgsmål, som ønskes undersøgt, er om oprindelsen af specielle skælv på Grønland med meget lave frekvenser kan skyldes anomale bevægelser af gletschere knyttet til klimaændringer. Feltet har således store implikationer, ikke bare for den basale naturvidenskab, men også for den samfundsmæssige ressourceeftersforskning og –udnyttelse, samt for klimadebatten.

Seismologien fremstår således som et førende område i dansk geovidenskab, og panelet vurderer, at feltet kan styrkes afgørende gennem investering i et *Nationalt Center for Seismisk Instrumentering (DanSeis)*, sådan som det er foreslået i et af de modtagne indspil til roadmapprocessen. Panelet foreslår derfor afsat 30 mio. kroner til konstruktion i 2012-13 og 6 mio. kroner til drift i 2012-32 af en pulje af seismografer til brug på land samt på havbunden. Der er tale om indkøb af udstyr, som findes på markedet, hvorfor etableringen vil kunne ske umiddelbart. De 130 nye seismografer vil fordoble puljen af eksisterende seismografer ved Geocenter Danmark (samarbejde mellem KU, AU og GEUS; også DTU forventes at benytte den nye infrastruktur), og kvalitativt vil den åbne

helt nye muligheder. Således er den eksisterende pulje af seismografer optimeret til eksperimenter med kontrollerede kilder, mens det nye udstyr primært vil blive anvendt til målinger, hvor jordskælv udgør kilderne. Desuden vil det nye udstyr udgøre en af de eneste instrumentpuljer internationalt, som kan anvendes til havs, hvilket vil bringe danske forskere helt i front hvad angår gennemførelse af en række nye eksperimenter.

DanSeis vil kunne indgå som dansk del af EuroArray; den seismologisk instrumentelle del af ESFRI-projektet EPOS, som er i forberedelsesfasen. DanSeis-faciliteten foreslås administreret og teknisk vedligeholdt af Institut for Geografi og Geologi, KU, som har lang erfaring med tilsvarende udstyr, i samarbejde med øvrige institutioner tilsluttet Geocenter Danmark. Udnyttelse af faciliteten bør organiseres via en videnskabelig komite med inddragelse af internationalt peer-review. Data forventes at blive offentligt tilgængelige via EPOS.

*DanSeis vurderes af roadmapppanelet Fysik & Univers som en facilitet, der på afgørende måde vil styrke spydspidsaktiviteter indenfor dansk geovidenskab. Den vil have bred national og international interesse og har en karakter, som gør den til en lavrisiko investering med potentielt stort udbytte, ikke blot for basal geofysik og geologi, men også med relevans for jordskælvs risikovurdering, klimastudier, samt efterforskning af mineraler og kulbrinter.*

### **SONG (Stellar Observations Network Group)**

Observationer af svingninger på stjerners overflader har i de senere år gjort det muligt at studere stjernernes indre opbygning gennem teknikker, der er analoge til seismiske undersøgelser af Jordens indre. Disse studier fører til en langt bedre forståelse af stjerners struktur og udvikling og derigennem til et sikrere grundlag for de store dele af astrofysikken, der er baseret på viden om stjernernes egenskaber. Danske astrofysikere er internationalt førende i denne udvikling, både observationelt og teoretisk, senest gennem en ledende rolle i udnyttelsen af data fra NASA's Kepler-mission, hvis Asteroseismic Science Consortium med mere end 350 internationale forskere ledes fra Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet. Hvor målet for de fleste astronomiske teleskoper er at forøge præcisionen af den enkelte observation, f.eks. ved at kunne måle på svagere og fjernere objekter, handler asteroseismiske studier om fænomener, der varierer i tid, hvilket kræver kontinuerte observationer gennem dage, uger eller måneder. Samme krav stilles indenfor udforskningen af exoplaneter (planeter omkring andre stjerner end Solen), som er et af de hastigst voksende felter i astronomien med identifikation af mere end 450 exoplaneter i de 15 år, der er gået siden opdagelsen af den første. Også her har danske forskere spillet en vigtig rolle, ikke mindst gennem udviklingen af den såkaldte mikrolinse-observationsmetode, der i 2005 førte til opdagelsen af den første jordlignende exoplanet.

Panelet vurderer, at danske forskeres ledende rolle i asteroseismologi og studiet af exoplaneter vil kunne styrkes afgørende gennem yderligere dansk investering i den internationale forskningsinfrastruktur *Stellar Observations Network Group (SONG)*, som det er foreslået i et indspil til roadmapprocessen fra de involverede grupper ved AU og KU. Panelet foreslår afsat 2 mio. kroner frem til 2012 til forberedelse, 30 mio. kroner til

konstruktion af to teleskop-nodes i 2013-14, samt 1 mio. kroner/år til drift fra 2013-2030+. Investeringen skal anvendes til placering af 2 ud af i alt 8 teleskoper i et globalt netværk med 4 teleskoper på hhv. den sydlige og den nordlige halvkugle med en fordeling, som muliggør tidslig kontinuert overvågning af stjerner udvalgt efter deres relevans for asteroseismiske studier og eftersøgning af exoplaneter. Det første af de i alt 8 teleskoper er under konstruktion i et samarbejde mellem AU, KU, samt det spanske Instituto de Astrofísica de Canarias, og forventes opstillet på Tenerife medio 2011. De resterende nodes til den nordlige halvkugle forventes leveret af amerikanske og kinesiske partnere. Investering i yderligere 2 nodes på den sydlige halvkugle vil dels muliggøre asteroseismiske undersøgelser af en række interessante stjerner og dels afgørende styrke eftersøgningen af exoplaneter, idet det vil blive muligt at observere de stjernetafte områder nær Mælkevejssystemets centrum og dermed potentielt opdage omkring 150 nye exoplaneter om året.

*SONG vurderes af roadmappanelet Fysik & Univers som en facilitet, der på afgørende måde vil styrke internationalt førende aktiviteter indenfor dansk astronomi og astrofysik. Dansk ejerskab af yderligere to nodes vil give danske forskere en fortsat ledende rolle i et stort internationalt infrastrukturprojekt, som allerede er påbegyndt, og som har en etableret struktur for organisering og videnskabelig prioritering, hvor teleskoperne ejes af de institutioner, som bygger dem, men hvor prioriteringen af observationsprojekter mv. sker via fælles styregrupper. Der er tale om nyudviklet udstyr, hvor en prototype bestående af en container med robotteleskop samt tilhørende spektrograf, kamera og fjernstyringssoftware forventes færdig medio 2011. Såfremt prototypen fungerer som forventet, er den primære resterende tekniske udfordring udviklingen af den fremtidige koordinerede styring af flere teleskoper. Teleskoperne vil blive placeret på eksisterende observatorier for at sikre den nødvendige infrastruktur til drift og vedligeholdelse, men planen er at sætte dem i stand til at fungere uden operatørbistand. Panelet vurderer, at der er tale om en investering med en vis risiko, indtil prototypen er demonstreret funktionsdygtig og robotstyringen er udviklet, men samtidig er det en investering, som afgørende vil styrke en dansk spydspidsaktivitet, og som (navnlig gennem exoplanet udforskningen) vil have stor almen opmærksomhed.*

### **3. Behovet for forskningsinfrastruktur på mellemlang sigt (3-10 år)**

#### ***Overvejelser vedr. dansk deltagelse i store internationale forskningsinfrastrukturer***

Som omtalt i afsnit 1 er medlemskaberne af CERN, ESA og ESO af afgørende betydning for dansk forskning indenfor centrale dele af Fysik og Univers-panelets fagområder. Danske forskeres optimale udnyttelse af disse og andre store internationale forskningsinfrastrukturer er imidlertid ikke alene gjort med kontingentbetalingen. En meget vigtig problemstilling i forbindelse med dansk deltagelse i internationale forskningsinfrastrukturer vedrører muligheden for at bidrage aktivt til design, udvikling og konstruktion af hardware i form af f.eks. instrumenter, beamlines og detektorer og siden opretholde disses funktionsdygtighed. Sådant aktiv deltagelse er i nogle tilfælde en nødvendig adgangsbillet for at være med i de pågældende projekter, og selv hvor man alternativt kan få adgang mod betaling, kan der være store forskningsmæssige såvel som erhvervmæssige fordele for Danmark ved at levere in kind-bidrag i form af udstyr el.lign. frem for penge. Da mange af projekterne har en meget lang tidshorisont, er der ofte tale om, at danske forskere og institutioner må forpligte sig såvel økonomisk som arbejdsmæssigt mange år frem i tiden for at kunne være med. Samtidig kræver deltagelsen tilstedeværelsen af en teknisk ekspertise og kapacitet, som ikke (længere) er en selvfølge på de danske forskningsinstitutioner. Dette rejser nogle strukturelle problemstillinger vedr. dansk deltagelse i store internationale forskningsinfrastrukturer, som vil blive berørt i det følgende med udgangspunkt i et af de dansk prioriterede ESFRI-forslag, E-ELT, som Fagpanelet for Fysik og Univers eksplicit er blevet anmodet om at forholde sig til.

#### **E-ELT (European Extremely Large Telescope)**

Det Europæiske Sydobservatorium (ESO) har besluttet at starte opbygningen af næste generations teleskop til jordbaseret observationel astronomi, kaldet European Extremely Large Telescope (E-ELT). Med 42 meters diameter og en række teknologiske nyskabelser vil dette teleskop få en følsomhed og opløsningsevne, som vil betyde et kvalitativt spring i forhold til eksisterende astronomiske faciliteter på verdensplan. *Det er således afgørende for alle grene af dansk astronomi og astrofysik, at Danmark gennem fortsat aktivt medlemskab af ESO deltager i udviklingen af E-ELT.* Mens den basale finansiering af E-ELT forventes dækket via det danske medlemskontingent til ESO, er det sandsynligt, at en del af instrumentudviklingen og -konstruktionen vil foregå i tværnationale konsortier, hvor de enkelte landes forskere kan byde ind med bidrag af såvel idemæssig som finansiell karakter. Danske grupper har tidligere aktivt deltaget i sådanne udviklingsprojekter, og dette har været af stor gavn for dansk astronomi og astrofysik (udover at det har været vigtigt for bygningen af de pågældende faciliteter).

- For det første betyder aktiv deltagelse i design, udvikling og konstruktion af instrumenter og udstyr, at danske forskere aktivt kan være med til at sikre, at det

- pågældende hardware optimeres med henblik på de forskningsprojekter, som de danske grupper ønsker at gennemføre.
- For det andet betyder det intime kendskab til udstyret, at de danske forskere efterfølgende har optimale vilkår for at udnytte det.
  - For det tredje indgår det ofte i aftalerne om instrumentleverancer, at de, der har medvirket til udviklingen, har særlige privilegier i form af observationstid, i hvert fald i en opstartsfasen. Med andre ord får de medvirkende danske forskere et forspring i den internationale konkurrence om udnyttelse af den pågældende facilitet.
  - Hertil kommer muligheden for, at dansk erhvervsliv kan få bedre adgang til at deltage i det pågældende projekt og få del i investeringen.

Forskere fra alle danske institutioner med tilknytning til astronomi/astrofysik (primært KU, AU og DTU) kan have interesse i at deltage i instrumentkonsortier i forbindelse med E-ELT, og selv om færdiggørelsen af teleskopet og dermed behovet for instrumentering ligger knap 10 år ude i fremtiden, så er tidshorizonten for design, udvikling og konstruktion så lang, at der allerede i de nærmeste år vil blive behov for konkrete danske tilsagn om finansiering og aktiv deltagelse. Den samlede finansieringsmodel for E-ELT ligger endnu ikke fast, og det er derfor for tidligt at give et præcist estimat af det konkrete behov for dansk finansiering i forbindelse med instrumenteringsprojekter. Vurderet på baggrund af tidligere store ESO-projekter som Very Large Telescope (VLT) er det forventningen, at selve teleskopet og den basale instrumentering dækkes via medlemskontingenterne, men at *yderligere danske investeringer i størrelsesordenen 20 mio. kr. vil give danske grupper mulighed for at spille en fremtrædende rolle i opbygningen af avancerede instrumenter til E-ELT*, sådan som det f.eks. skete med X-shooter spektrografen til VLT.

Imidlertid er den tekniske infrastruktur på de danske institutioner (i form af elektronik-, konstruktions-, optik- og værkstedsfaciliteter) ikke (længere) optimalt gearet til en sådan indsats, som kræver helt specielle ekspertiser på de relevante fagområder, eftersom der er tale om one-of-a-kind udstyr langt fra mere normale tekniske opgaver. En række medarbejdere med erfaring fra lignende opgaver er gennem de senere år pensioneret uden i alle tilfælde at blive erstattet, og samtidig er de tekniske udfordringer i forbindelse med infrastrukturprojekter blevet større.

### **Dansk Instrumentcenter for International Forskningsinfrastruktur**

Astronomisk Udvalg (som er et koordinationsorgan for dansk astronomi nedsat af KU, DTU og AU) foreslår i et indspil til roadmap-processen, at man opretter et Dansk Instrumentcenter for International Astrofysik for at sikre den langsigtede stabilitet og alsidige tekniske kompetence, der skal til for at muliggøre dansk engagement i instrumentudvikling mv., ikke bare til E-ELT, men også til andre internationale infrastrukturprojekter indenfor astronomi/astrofysik og rumforskning. Fagpanelet for Fysik og Univers finder et sådant center særdeles vigtigt og foreslår det udvidet til at omfatte ikke bare astrofysik, men også andre—nuværende såvel som fremtidige—internationale forskningsinfrastrukturer, hvor fuldstændig tilsvarende problemstillinger

eksisterer, f.eks. i forbindelse med detektorudvikling i relation til det danske medlemskab af CERN eller in kind-leverancer til ESS.

*Panelet foreslår således oprettelse af et **Dansk Instrumentcenter for International Forskningsinfrastruktur (DIIF)**, som skal have til opgave at koordinere og samle den nødvendige tekniske ekspertise til at sikre aktiv dansk deltagelse i internationale infrastrukturprojekter. Panelet har ikke lagt sig fast på en konkret organisationsmodel for et sådant center. Centeret bør baseres på den eksisterende specialviden på de danske forskningsinstitutioner og kunne f.eks. være et center uden mure med udgangspunkt i eksisterende specialenheder, såsom DTU's ekspertise indenfor rumforskning, KU's ekspertise i detektorudvikling og AU's ekspertise indenfor acceleratorteknologi. Det vigtige er, at den samlede nødvendige nationale ekspertise sikres og koordineres i et samarbejde mellem de relevante institutioner. Gennem det nationale samarbejde kan man også sikre, at specialister, som den enkelte institution ikke selv har arbejdsopgaver til i et omfang, som retfærdiggør en fuld stilling, gennem fælles projekter og projekter for andre institutioner kan fastholdes ved institutionen. Behovet omfatter discipliner som optik, elektronik, mekanik, software mv., og nye behov kan opstå i forbindelse med tilkomsten af nye opgaver. Astronomisk Udvalg anslår, at en fast stab på cirka 10 fuldtidspersoner vil kunne dække instrumentudvikling mv. indenfor astronomi og rumforskning, suppleret med projektansættelser og industriudlicitering i konkrete sager. Det samlede omfang af en enhed, der ikke begrænser sig til astronomi og rumforskning, må afhænge af, hvor bredt man ønsker at udbrede dens virke, samt hvilke konkrete arrangementer, danske forskningsgrupper vil indgå i i de første år efter centerets oprettelse. **Roadmappanelet anbefaler, at der nedsættes en arbejdsgruppe med repræsentanter for alle interesserede forskningsinstitutioner for at drøfte oprettelsen og organiseringen af et nationalt samarbejde, som vedrører udvikling af udstyr og in kind-leverancer til internationale forskningsinfrastrukturer på alle fagområder. En styrket og nationalt koordineret indsats på dette område vil give dansk forskning og dansk erhvervsliv en international konkurrencefordel.***

## **Øvrige anbefalinger vedr. indsatsen på mellemlang sigt**

### **High performance computing**

Væsentlige dele af den teoretiske forskning indenfor fysik, astronomi, kemi og geofysik er baseret på omfattende numeriske beregninger og/eller simuleringer. Afgørende for udviklingen af felter som f.eks. plasmafysik, elementarpartikelfysik, kosmologi og faststoffysik er derfor adgangen til de største og hurtigste computere. Som eksempel har panelet modtaget et indspil om high performance computing (HPC) i forbindelse med studiet af fundamentale spørgsmål indenfor partikelfysik. *Adgang til de bedst mulige faciliteter indenfor HPC er helt fundamental for en række danske forskere og forskningsgrupper i den internationale elite, og panelet anser det som afgørende vigtigt for dansk forskning at en sådan adgang sikres, også på længere sigt. Hvordan dette konkret kan gøres, behandles i rapporten fra det faglige panel for e-Science.*

## ESFRI-projekter

Udover EPOS og E-ELT, som er omtalt tidligere, samt eksperimentel astropartikelfysik, som omtales nedenfor, har panelet identificeret et antal ESFRI-projekter på panelets område, som ikke for tiden har officiel dansk deltagelse. Fælles for projekterne er, at de, såfremt de realiseres, vil præge udviklingen på de pågældende fagområder, og det er derfor vigtigt at understrege, at danske forskere i mange tilfælde vil være *brugere* af disse faciliteter, som heldigvis typisk giver mulighed for gennemførelse af kvalitetsprojekter efter åben konkurrence. Det kan vise sig, at denne udnyttelse vil kræve betaling for beamtid eller lignende. *Det anbefales derfor, at Danmark i alle tilfælde følger udviklingen af de pågældende faciliteter og så vidt muligt sikrer sig, at dørene ikke lukkes for senere udbygget dansk engagement eller anvendelse.* Forskningen inden for panelets fagområde udvikler sig meget dynamisk, og det er tænkeligt, at faciliteter, som ikke har stor dansk interesse i 2010, kan få det på en 10-årig tidshorizont. Det drejer sig om ESFRI-projekterne Extreme Light Infrastructure (ELI), Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR), Square Kilometre Array (SKA), samt SPIRAL2.

## ESFRI-lignende projekter

Det er vigtigt at understrege, at nogle fagområder udarbejder egne internationale roadmaps for fremtidig forskningsinfrastruktur frem for at indgå i ESFRI's roadmap. Således foregår en stor del af den europæiske planlægning indenfor partikel- og kernefysik i CERN-regi, ligesom rumforskningen planlægges via ESA. *Panelet konstaterer, at det er vigtigt, at Danmark via sit medlemskab af disse organisationer deltager aktivt i at præge denne udvikling og i den forbindelse byder aktivt ind på design, udvikling, konstruktion, databehandling og lignende, f.eks. i forbindelse med udvikling af en ny generation af accelerators eller satellitprojekter af relevans for dansk forskning, såsom ESA's planlagte survey-mission Euclid.*

## Eksperimentel astropartikelfysik

Danmark har en række internationale topmiljøer i teoretisk astropartikelfysik, i astrofysik generelt, samt i tilgrænsende dele af partikel- og kernefysik. Derimod har Danmark i øjeblikket kun begrænset aktivitet i eksperimentel astropartikelfysik, som er et felt med stort potentiale for fundamentale forskningsmæssige gennembrud i de kommende år, f.eks. vedrørende naturen af de elementarpartikler, der udgør det mystiske mørke stof i Universet. Internationalt er en række store projekter i gang, under opførelse, eller under planlægning. Heriblandt flere projekter på ESFRI-listen (Cherenkov Telescope Array—CTA, samt Cubic Kilometre Neutrino Telescope—KM3NeT) samt projekter som LAGUNA og EURECA, der arbejder henimod optagelse på ESFRI's roadmap. Blandt de indkomne forslag til roadmapprocessen er også et forslag om dansk engagement på dette område. *Panelet finder, at eksperimentel astropartikelfysik er et meget vigtigt forskningsområde, hvor fremtidig dansk deltagelse bør overvejes grundigt. Panelet anbefaler, at der nedsættes en særlig arbejdsgruppe med henblik på at kulegrave et eventuelt fremtidigt dansk engagement på dette felt.* En sådan arbejdsgruppe med repræsentanter for alle relevante forskningsmiljøer bør udover de rent faglige aspekter have til opgave at give et realistisk bud på omfanget af de nødvendige investeringer såvel teknisk som mandskabsmæssigt og overveje modeller, som helt eller delvist baseres på omlægning af eksisterende forskningsaktiviteter på tilgrænsende områder.

## 4. Behovet for særskilte aktiviteter eller midler, som kan fremme danske forskeres adgang til og brug af forskningsinfrastrukturer

### ***Adgang til store internationale forskningsinfrastrukturer***

Det faglige roadmappanel for Fysik og Univers har identificeret to problemstillinger, som kræver en særlig indsats og nye løsninger for at sikre den optimale adgang for danske forskere til brug af store internationale forskningsinfrastrukturer.

Den ene problemstilling er behandlet i det foregående afsnit 3, nemlig spørgsmålet om, hvordan danske forskere kan indgå i design, udvikling og konstruktion af beamlines, detektorer eller andet udstyr, som ofte fungerer som adgangsbillet til det internationale samarbejde, og som i hvert fald kan sikre, at danske forskere er med allerforrest i konkurrencen om de mest spændende forskningsgennembrud.

Som en løsning foreslås i afsnit 3 oprettelse af et ***Dansk Instrumentcenter for International Forskningsinfrastruktur*** med henblik på at sikre den nødvendige tekniske kompetence på nationalt plan.

Samtidig er der behov for en ny finansieringsmodel, som kan sikre, at institutioner og forskere kan indgå i langsigtede økonomiske forpligtelser, der ofte kan strække sig mere end 10 år ud i fremtiden—med andre ord en tidshorisont, som langt overstiger varigheden af eksisterende bevillingstilsagn fra forskningsrådssystemet og andre sædvanlige finansieringskilder. Det anbefales at afsætte særlige midler til en ny form for bevillingstilsagn, som under veldefinerede forudsætninger af faglig, tidsmæssig og økonomisk art kan gøre det muligt at forpligte sig i internationale projekter med lang tidshorisont, selv om dele af udgifterne evt. først forfalder om mange år.

Den anden problemstilling, hvor der er behov for nye løsninger, drejer sig om det, der i nogle sammenhænge er blevet betegnet som *følgforskning*. De konventionsbårne medlemskontingenter til CERN, ESA og ESO dækker alene udgifterne til det danske medlemskab og derigennem til infrastrukturens basale konstruktion og drift. Som på andre forskningsområder dækkes de deltagende danske forskeres løn og sædvanlige drift af institutionerne og via de sædvanlige eksterne finansieringskilder såsom forskningsråd, fonde mv. Men benyttelsen af store internationale forskningsinfrastrukturer stiller herudover nogle helt særlige krav, som ikke er almindelige på andre områder, og som har store økonomiske omkostninger. F.eks. nødvendiggør forskningen en meget omfattende rejseaktivitet, ligesom det ofte er nødvendigt at have fast udstationerede teknikere og/eller videnskabelige medarbejdere (f.eks. postdocs eller forskningsassistenter) for at holde detektorer og instrumenter i gang, og for at deltage løbende i testobservationer, test af detektorer og andet udstyr mv. Meget af dette arbejde er ikke i sig selv forskning, og det er derfor uhyre vanskeligt at få finansieret gennem de sædvanlige kanaler såsom forskningsråd og fonde. Men det udgør et helt nødvendigt og afgørende fundament for den egentlige forskning ved de pågældende faciliteter. Det samme gælder de danske

grupper bidrag til drift af forskningsudstyr ved de internationale faciliteter, der typisk baseres på formelle Memoranda of Understanding.

Denne *følgeforskning* har historisk været støttet med særlige beløb på finansloven, udmøntet gennem SNF—Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd (forløberen for Det Frie Forskningsråd | Natur og Univers—FNU). Også efter at de særlige finanslovsbevillinger udgik, har SNF og senere FNU afsat betragtelige midler til følgeforskning ved CERN, ESO, ESRF mv. gennem tre instrumentcentre (NICE, IDA og DANSCATT), men med de senere års ændrede bevillingsprincipper og –procedurer i forskningsrådssystemet, er denne praksis ikke længere hensigtsmæssig, endsige mulig. Behovet for denne type bevillinger affødt af, men ikke direkte gående til, den egentlige forskning ved internationale infrastrukturer, er imidlertid usvækket, og tilsvarende behov kan forventes at opstå i forbindelse med dansk engagement i nye store internationale faciliteter som f.eks. X-FEL og ESS. De relevante beløb er store i forhold til et enkelt fagligt forskningsråds budget (FNU har bevilget 20-25 mio. kr. per år, cirka 10 % af rådets midler, til følgeforskning), men de er forholdsvis små i relation til de årlige medlemskontingenter og i forhold til tilsvarende bevillinger i vore nabolande.

Det Faglige Panel for Fysik og Univers konstaterer, at aktiv deltagelse i førende internationale forskningsinfrastruktur-faciliteter er en vigtig investering i dansk adgang til den nyeste videnskabelige og tekniske viden og knowhow. Deltagelsen stiller særlige udgiftskrav udover de lønninger og det basale udstyr, som forskningsinstitutionerne, forskningsråd og fonde normalt dækker på andre forskningsområder. *Derfor er specielle bevillinger til følgeforskning på niveauet 15-20 % af det årlige medlemskontingent til de pågældende organisationer en helt nødvendig og relativt beskedent investering i at sikre danske forskere den nødvendige adgang til faciliteterne og det maksimale udbytte af de pågældende medlemskaber.* Man kan forestille sig dette realiseret ved flere modeller: Enten ved direkte udmøntning på Finansloven eller (for at sikre midlernes konkurrenceudsættelse) gennem et Råd for Forskningsinfrastruktur, som det bl.a. kendes fra Sverige og Storbritannien. Uanset metoden bør der tilstræbes en lang tidshorisont (5-10 år) i de enkelte bevillinger, idet det lange tidsperspektiv er en del af det internationale samarbejdes natur. *For at dette kan fungere, er det nødvendigt at sikre en form for national totalbudgettering i forbindelse med dansk deltagelse i internationale forskningsinfrastrukturer, således at man sikrer, at de nødvendige midler samlet set er til stede til såvel konstruktion som til drift og forskningsudnyttelse. Dette bør ske i samarbejde mellem de centrale bevilgende myndigheder, de deltagende forskningsinstitutioner, samt relevante forskningsråd, fonde mv.*

Panelet bemærker, at en særlig problematik gør sig gældende i relation til ESA. Danmarks medlemskontingent dækker blandt andet deltagelse i ESA's grundvidenskabelige satellitprogram, mens særlige midler (af samme størrelsesorden som det konventionsbårne medlemskontingent) årligt afsættes på Finansloven til deltagelse i udvalgte ikke-obligatoriske programmer såsom Den Internationale Rumstation, jordobservation og klimaprogrammer. Mens investeringen i de ikke-obligatoriske programmer via *juste retour* "betales tilbage" til Danmark i det omfang, danske institutioner, erhvervsliv mv. deltager aktivt, kan danske forskeres deltagelse i det

grundvidenskabelige satellitprogram (herunder den astronomisk/astrofysiske forskning) sammenlignes med deltagelse i ESO-samarbejdet. Der er således også for ESA's obligatoriske program behov for særlige ekstra midler til udvikling af detektorer, software el.lign., som ikke for nuværende er afsat specifikt til formålet. Behovet for midler til følgeforskning gælder såvel ESA's obligatoriske som ikke-obligatoriske programmer.

### ***Andre tiltag til fremme af udnyttelsen af forskningsinfrastrukturer***

Mange forskningsaktiviteter indenfor panelets fagområder involverer store datamængder og tilsvarende store dataanalyse- og beregningsbehov. Ligesom high performance computing (omtalt i afsnit 3) behandles disse emner af roadmappanelet for e-Science, men *Fysik og Univers panelet ønsker at understrege, at adgangen til såvel højhastigheds-datatransmission som til de bedste beregningsfaciliteter er en nødvendig og afgørende forudsætning for udnyttelsen af de fleste store forskningsinfrastrukturer på panelets område.* Grid-faciliteter (såsom Nordic Data Grid Facility, NDGF) spiller en afgørende rolle i forbindelse med CERN-aktiviteterne og vil fremover formentlig blive vigtige i andre sammenhænge også.

En særlig overvejelse gør sig gældende i forbindelse med egentlige *datacentre*, som samler ekspertise omkring behandling af videnskabelige data. Et sådant center oprettes i København i tilknytning til ESS i Lund. Men det er også nævnt i flere forslag i forbindelse med roadmap-processen, at et dansk in kind bidrag i forbindelse med f.eks. satellitprojekter som ESA's Euclid-mission kunne være oprettelse af et datacenter i tilknytning til faciliteten. *Panelet finder, at oprettelsen af sådanne datacentre åbner interessante nye veje til at fremme dansk adgang til og udnyttelse af international forskningsinfrastruktur, idet placeringen af datacentre i Danmark vil give danske forskere en central rolle i de pågældende aktiviteter.*

## 5. Konklusioner og anbefalinger

- Dansk forskning indenfor fysik, astronomi, geofysik og en række tilgrænsende fagområder er på mange felter af meget høj international klasse. En opretholdelse og udbygning af dette niveau fordrer fortsat adgang til de bedst mulige forskningsinfrastrukturer nationalt såvel som internationalt.
- På kort sigt anbefaler panelet, at der (i alfabetisk rækkefølge) investeres i:
  - **DANLASE** (Danish National Laser Center)
  - **DanSeis** (Nationalt Center for Seismisk Instrumentering)
  - **SONG** (Stellar Observations Network Group)
- På mellemlang sigt anbefaler panelet, at der satses på
  - Aktivt dansk engagement i **European Extremely Large Telescope (E-ELT)**.
  - Etablering af et **Dansk Instrumentcenter for International Forskningsinfrastruktur**.
  - Udbygning af faciliteter til **High Performance Computing**.
- Endvidere anbefaler panelet
  - Fortsat aktivt dansk engagement i de store internationale forskningsinfrastruktur-organisationer **CERN, ESA og ESO**.
  - Oprettelse af særlige **bevillingstyper med lang løbetid** (10 år), som kan skabe grundlag for danske forskeres og institutioners engagement i internationale forpligtelser med langt tidsperspektiv.
  - Afsætning af **særlige midler til de nødvendige følgeudgifter** til aktiv udnyttelse af store internationale infrastrukturer. Beløb af størrelsesordenen 15-20 % af medlemskontingenterne vil på afgørende vis kunne styrke den danske udnyttelse af faciliteterne.
  - Aktivt opsyn med ESFRI-projekter samt ESFRI-lignende projekter, som ikke pt. har direkte dansk deltagelse, med henblik på at **sikre fremtidig adgang** for danske brugere.
  - Nedsættelse af en særlig arbejdsgruppe med henblik på at vurdere mulighederne for dansk deltagelse i **eksperimentel astropartikelfysik**.
  - At overveje oprettelsen af **datacentre** som dansk in kind bidrag ved engagement i fremtidige internationale forskningsinfrastrukturer.