

IV Fusions-, rymd- och plasmafysik

IV.1. Sammanfattande bedömning

Plasmafysik är ett område där materiens fjärde tillstånd, plasmatillståndet, utgör grunden. I ett klassiskt plasma är elektronerna dissocierade från atomkärnorna, ett tillstånd som är mycket vanligt i universum. Här på jorden hittar vi exempel i svetslågorna och lysrör, längre bort hittar vi jonosfären och solvinden och ännu längre bort finns interstellära medier och ackretionsskivor kring svarta hål och neutronstjärnor, för att nämna några exempel. Tillgängligheten till fria laddningsbärare innebär att många nya fenomen och kollektiva egenskaper blir viktiga i plasmor. Två stora tillämpningsområden av plasmafysik är fusionsfysik och rymdfysik. Inom det förstnämnda området försöker man hitta sätt att uppnå kontrollerad och effektiv energiproduktion genom fusion. Forskningen är till stor del uppbyggd kring internationella, storskaliga samarbeten, men det finns också nationella och lokala initiativ inom fusionsforskningen. Det andra området, rymdfysiken, studerar framförallt solsystemets fysik, speciellt i jordens näromgivning. Här kan nämnas solvindens påverkan av jorden, jordens magnetosfär och norrsken. En viktig del i rymdfysikforskningen är de data som erhålls via satellit- och radarmätningar, och därför är en kombination av dataanalys, modellering och teori viktig inom området. Här finns flera svenska aktörer, men de flesta har Institutet för rymdfysik (IRF) som gemensam nämnare. Viktigt är också att många projekt inom rymdfysikforskningen har flera källor till finansiering, som exempelvis Rymdstyrelsen, och inte bara Vetenskapsrådet.

Plasmafysik som område har även naturliga kopplingar till kondenserade materiens fysik samt atom- och molekylfysik. I detta gränsland växer också nya tillämpningar av plasmafysiken fram, som exempelvis komplexa plasmor och kvantplasmor. En inte oväsentlig komponent inom plasmafysiken är den beräkningsteknik som följer med tillämpningar inom till exempel fusion och laser-plasmaväxelverkan. Här finns goda exempel på hur småskaliga utvecklingsprogram kan leda långt även med internationella mått mätt.

Tidigare har den mesta av forskningen inom dessa tre områden bedrivits via ”vanliga” statliga anslag. Men forskningen inom dessa tre områden har alla potentialen att knyta an till industri och statliga intressen. Därför vore det gynnsamt om ytterligare finansiärer kunde komma in i bilden. Detta skulle kunna erbjuda möjligheter till långsiktighet inom flera forskningsgrenar. Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att det är den grundläggande plasmafysiken som knyter samman dessa områden. Om den forskningen saknar finansiering kommer det i ett längre perspektiv påverka även de tillämpade grenarnas möjligheter till framgångsrik forskning. Därför verkar det rimligt att finansiärer satsar brett inom dessa tre områden.

IV.2.1. Fusionsfysik

Stora delar av den experimentella fusionsfysiken är koncentrerade runt ett antal experimentella anläggningar med magnetiskt inneslutna plasmor. Dessa kan indelas efter magnetfältsgeometrin. Viktiga anläggningar ur ett svenskt perspektiv innefattar Tokamak-anläggningar såsom JET vid Culham i Storbritannien vilken på sikt kommer ersättas av ITER som är under uppbyggnad i Cadarache i Frankrike. Vidare finns en anläggning av Stellarator-typ i Greifswald i Tyskland och Extrap vid KTH i Stockholm, som är en anläggning av typen Reversed Field Pinch. Den svenska representationen vid de större internationellt finansierade anläggningarna är förhållandevis god.

Den teoretiska fusionsfysiken har många beståndsdelar gemensamt med grundläggande teoretisk plasmafysik. Problemområden som exempelvis instabiliteter, turbulens, och upphettningsmekanismer har alla sin bas i grundläggande plasmafysik. Fusionsfysiken kännetecknas dock av ett stort intresse för effekter av komplicerade magnetfältsgeometrier, och har ett naturligt fokus på parametrar relaterade till fusionsprestanda.

Fusionsfysik innefattar även materialfysik och ingenjörsvetenskapliga frågeställningar. Exempelvis är utvecklingen av material som står emot det kraftiga neutronflödet ett viktigt område. Vissa forskningsområden inom fusion, som exempelvis ”Plasma–Vägg–Växvelverkan”, har viktiga inslag av både plasmafysik och materialfysik.

Beräkningsfysik inom fusion finns i Stockholm och Göteborg. Området kännetecknas normalt av numeriska koder som tillåter ett fullt tredimensionellt rumsberoende. Fullt sjuddimensionella koder baserade på kinetisk teori är för lång framtid orealistiska, och metodutveckling sker därför i nära samspel med teori.

IV.2.2. Rymdfysik

Inom rymdfysiken utforskas jordens närmare omgivning, från atmosfären till rymdplasmata i jonosfären och övriga delar av magnetosfären. Solen och solvinden, magnetosfären hos övriga planeter, liksom kometer och asteroider tillhör också områdets intressesfär. Rymdfysiken är till stora delar observationellt driven, där data från satelliter, radaranläggningar, ballong och raketmätningar, utgör hörnstenarna i verksamheten. Områdets teoretiska grupper, som har sin tyngdpunkt i Uppsala, har starka kopplingar till plasmafysikområdet, då en stor del av rymdmiljöerna utgörs av plasmor.

Stor kraft ägnas åt att generera bättre mätdata, liksom mätdata från nya områden i rymden. Detta sker genom att medverka i nya satellitmissioner, utveckling av radartillämpningar (exempel EISCAT i Kiruna), instrumentutveckling med mera, ofta i samarbete med ESA. Många rymdfysikforskare ägnar sig åt dataanalys till stor del, vilket är följdriktigt.

Teoretiska och beräkningsinriktade grupper har ett väsentligt överlapp med fusionsfysik och plasmafysik, då de grundläggande ekvationerna för beskrivningen av plasmamiljön till stor del sammanfaller.

IV.2.3. Plasmafysik

Experimentell plasmafysik i Sverige, förutom fusions- och rymdfysik, görs inom områdena komplexa plasmor och tillämpad plasmafysik. Visst överlapp gentemot rymd- och fusionsfysik finns även bland dessa verksamheter. Området komplexa plasmor undersöker hur plasmaegenskaperna förändras i närvaron av laddade partiklar av nano- eller mikrometerstorlek. Radikalt annorlunda egenskaper, exempelvis uppkomsten av nya fasövergångar tillkommer då. En stor del av den tillämpade plasmafysiken är inriktad mot olika metoder för ytbehandling (exempel Linköping och Uppsala), men även andra områden finns representerade.

Viss del av den teoretiska plasmafysiken bedrivs av forskare i Göteborg, Stockholm och Uppsala, vars huvudområde är rymd- och fusionsfysik. Forskning vars fokus är teoretisk plasmafysik bedrivs i första hand i Umeå. Man har under lång tid haft fokus på icke-linjära plasmafenomen, men har på senare år intresserat sig mycket för kvantplasmor och effekter i superstarka elektromagnetiska fält. Utveckling och utvärdering av modeller har varit kärnverksamheten.

IV.3. Styrkor, svagheter och ämnesmässiga trender

I Sverige finns en stor styrka i att ha varit historiskt framstående inom områdena fusionsfysik, rymdfysik och plasmafysik (FRP). Sveriges forskare var tidigt världsledande inom ett flertal områden inom de ovanstående ämnena, och kunde därför positionera sig på ett mycket bra sätt. Även idag är svenska forskare i världsklass inom en rad relaterade forskningsområden. Exempelvis är svensk rymdfysikforskning generellt sett fortfarande mycket stark. Den har också ett stort stöd som ligger utanför Vetenskapsrådets ramar, exempelvis från IRF och Rymdstyrelsen. När det gäller stöd så har även fusionsverksamheten i stort ett stöd från Euratom.

En ytterligare styrka är det starka internationella kontaktnät som hela området FRP besitter. Forskare inom alla områden under FRP arbetar aktivt inom både stora internationella nätverk och mindre, mer informella, kluster. Därmed finns en stor möjlighet att påverka och påverkas av den internationella scenen inom FRP. En sådan styrka bör också premieras då den kan ligga till grund för ytterligare framtida rekryteringar.

En svaghet finns i återväxten. Ett generellt problem inom svensk (och internationell) FRP-forskning är att det helt enkelt inte kommer in tillräckligt många unga människor i systemet. För internationella projekt som ITER och W7-X kan detta innebära ett stort problem. Det finns alltså även risker att de relativt få svenska forskarna som skulle ha möjlighet att arbeta inom det svenska systemet flyttar utomlands för att fylla andra luckor (även om projekt som ITER inte jobbar i första hand med att rekrytera forskare till anläggningen). Återväxtproblematiken skapar också sekundära problem i att ämnena kan komma under vad som kan uppfattas som en rimlig ”kritisk massa”. Områdena inom gruppen FRP löper därmed risken att blir isolerade öar, från att ha varit relativt starkt kopplade till varandra. Här ser man också att det sammanbindande kittet, plasmafysiken, spelar en stor roll för att hålla FRP samman till en koherent forskningsstruktur.

Vidare finns även andra svagheter. Den generella trenden inom svensk forskningspublicering är att svenska forskares citeringar går ner över tiden, relativt andra länders forskare. Om man använder ISI Web of Science som verktyg ser man också att få forskare inom FRP sticker ut ur ett internationellt perspektiv. Det finns ett fåtal som är mycket välmeriterade och välciterade, men ett stort antal forskare har relativt blygsamma citeringssiffror. Bibliometriska analyser av det här slaget är förstås alltför enkla för att kunna ge en fullt rättvisande bild av läget, men indikerar antagligen att det finns ett systemproblem när det gäller rekrytering och tjänstestrukturer.

IV.4. Hot och möjligheter

Det gemensamma hotet mot forskning inom fusions-, rymd- och plasmafysik finns främst på rekryteringssidan: hur skall tillräckligt många unga och kompetenta forskare kunna ges plats i systemet? Finansieringssituationen för yngre forskare kommer att förändras, kanske inte dramatiskt men ändå väsentligt, när forskarassistentanställningarna och rådsforskaranställningarna nu försvinner från Vetenskapsrådet. Kan detta kompenseras på något väsentligt sätt, och vad är i så fall önskvärt? Kan dessa yngre forskare senare också absorberas in i det reguljära universitetssystemet som blir allt mer ansträngt på grund av till exempel medfinansieringsbördor och avsaknaden av utrustningsanslag? Det vore givetvis en dålig investering att inte kunna ta hem postdoks efter deras avslutade värv vid annan institution, eller att kunna rekrytera dem som fått sin utbildning utomlands. Många projekt kunde också bättre genomföras om en långsiktig finansiering var tillgänglig.

Hoten mot de olika disciplinerna skiljer sig dock något åt. Inom fusionsforskningen finns hotet att den inte ses som viktig på lokal nivå, på grund av dess långsiktiga karaktär, och att resurser tas till andra, mer kortsiktiga investeringar. Rymdfysikforskningen kan till viss del brottas med problematiken kring dess tillämpbarhet, även om det inte ser ut som ett överhängande problem. Den ”rena” plasmafysiken har definitivt ett problem när det gäller att motivering genom tillämpningar, men genom sin generalitet erbjuder den också en lösning på detta dilemma genom möjliga tillämpningar till fusionsfysik, rymdfysik, ytfysik etcetera.

Tittar man på möjligheterna så ser man att den beräkningsforskning som bedrivs inom fusions-, rymd- och plasmafysik är relativt välmående, och Sverige som nation erbjuder utmärkta (om än för tillfället något ansträngda) möjligheter att utföra storskaliga beräkningar. Här kan man också hitta möjliga industrianknytningar, då koderna ofta är generella till sin natur, eller tillämpningar till närliggande områden, som kondenserade materiens fysik eller atom- och molekylfysik. En vidare aktiv utveckling av sådana program framstår som en relativt kostnadseffektiv investering. Fusionsfysiken behandlar ett utomordentligt viktigt problem, vilket på lång sikt antagligen uppfattas positivt bland beslutsfattare. Euratom är också en stark finansiär som bidrar till den svenska forskningen.

Kortfattat kan man säga att hoten ligger inom finansieringssidan: Är den för kortsiktig, och vad händer med de yngre forskarna?

Möjligheterna finner man i den mångsidighet som fusions-, rymd- och plasmafysikforskningen idag representerar i Sverige, samt att det finns viktiga problemställningar i fokus som inte bara är av naturvetenskapligt intresse. Beräkningsidan representerar en stark och autonom forskningsgren inom alla de tre fälten, där stor potential för interdisciplinära samarbeten finns.

IV.5. Forskningsinfrastruktur

Både fusions-, rymd- och plasmafysik är beroende av forskningsinfrastruktur. Speciellt tydligt blir det för områdena fusionsfysik och rymdfysik, där två tydliga aktörer kan ses på den europeiska scenen: Euratom respektive ESA. Här står också internationella projekt i förgrunden.

ITER är förstås av stor vikt för även för den svenska fusionsverksamheten i dess nuvarande form, precis som svenska fusionsforskare har och har haft stort utbyte av anläggningen vid JET. Här bidrar svenska forskare på ett förtjänstfullt sätt både på teori- och experimentsidan, till exempel när det gäller rollen av ”edge transport phenomena” eller ”runaway electrons”.

För rymdfysik bidrar givetvis ESA med europeisk infrastruktur, som exempelvis satellitprojekt som Cluster, en infrastruktur som även svenska forskare inom fältet har mycket stor nytta av. Här kan vi framförallt se den framgångsrika och framskjutna roll som den svenska dataanalysen från satellituppdragen har och har haft för vår förståelse av jordens närmaste omgivning, till exempel för uppkomsten av norrsken.

När det gäller plasmafysik så finns givetvis liknande infrastrukturbehov som ovan, men möjligen i något mindre skala. Exempelvis kan verksamheten inom så kallade komplexa plasmor ofta bedrivas i mindre kostsamma miljöer (även om det även här finns behov av till exempel satellitkonstellationer). En minst lika viktig och ej försumbar infrastruktur tillhandahålls nationellt av Swedish National Infrastructure for Computing (SNIC) via Vetenskapsrådet. Här kan vi se ett möjligt ökat behov inför framtiden, då beräkningsverktyg görs tillgängliga för en större grupp forskare och inom ett vidare område av fusions-, rymd-

och plasmafysiken, som till exempel laser–materieväxelverkan (vilket annars normalt räknas till atom- och molekylfysik).

Arbetsmaterial