



Magneto – hydrodynamik och fusion

Professor Hannes Alfvén, Stockholm

532.5 + 538.6

Den väg som vi av allt att döma har att följa för att i en framtid kunna utnyttja den termokleära energin skiljer sig väsentligt från den som förde till fissionsenergens frigörande. Denna senare öppnades genom rent vetenskaplig grundforskning inom kärnfysiken. Målet var att vinna kunskap av materians struktur och ej att nå tekniska resultat. Inte förrän fissionsprocessen upptäckts gjorde sig tekniska synpunkter på allvar gällande.

Som jämförelse är det av intresse att se vad som krävs innan vi kan hoppas frigöra fusionsenergi för fredligt bruk. Denna möjlighet beror ej på framsteg inom kärnfysiken eftersom troligen de processer, som kommer att bli av betydelse, redan är välkända. Huvudsvårigheten är att upphetta en gas till mycket höga temperaturer och att sammanhålla denna heta gas under en tillräckligt lång tid. Det område som vi måste ägna oss åt för att möta dessa krav är magneto-hydrodynamiken och den s.k. plasmafysiken, dvs. den gren av fysiken som behandlar heta joniserade gaser ("plasma").

Magneto-hydrodynamik är en kombination av elektromagnetism och hydrodynamik och detta betyder att vi har att möta svårigheterna inom elektromagnetismen multiplicerade med svårigheterna inom hydrodynamiken. Men eftersom i de termonukleära problemen magneto-hydrodynamiken kombineras med plasmafysiken får vi våra svårigheter än en gång multiplicerade, nämligen med svårigheterna inom plasmafysiken. Som synes inträder vi på ett utomordentligt komplicerat men också utomordentligt rikt och fruktbarande fält som väl är värt att studera även ur rent vetenskaplig synvinkel.

Till helt nyligen har magneto-hydrodynamiken studerats mest på grund av dess betydelse inom astrofysiken, där den är av fundamentalt intresse. I motsats till vad som antogs tidigare är vanlig hydrodynamik icke tillämpbar inom astrofysiken utom i några få fall. Skälet är att under "normala" astrofysiska förhållanden den elektriska ledningsförmågan är så stor att det i regel förefinnes en koppling mellan

mekanisk rörelse och elektromagnetiska fenomen så att alla mekaniska rörelser framkallar elektromagnetiska fenomen som i sin tur påverkar och förändrar rörelsen. Inom sol- och stjärnfysiken, inom den interplanetariska och interstellära rymdens fysik liksom i ett antal problem rörande jonosfären och jordens flytande inre måste vi använda oss av magneto-hydrodynamik. I själva verket är i hela universum den vanliga hydrodynamiken användbar endast i atmosfärens lägre lager samt i floder, sjöar och hav.

Genom att magneto-hydrodynamik och plasmafysik ligger till grund för både astrofysiken och det termonukleära området, är dessa båda vetenskapsgrenar intimt förbundna med varandra. Forskningsresultat inom det termonukleära området kommer att befrukta astrofysiken, och omvänt kommer framsteg inom vissa grenar av astrofysiken måhända att vara av stor vikt för våra försök att nyttiggöra den termonukleära energin.

Sammanfattat kan man säga att fissionsenergin frigjordes som ett resultat av grundforskning inom atomfysiken för att finna materian mikrostruktur. Framstegen på fusionsenergens frigörande är associerade med astrofysiken, studiet av makrostrukturen i vår värld.

I många länder har stora projekt satts i gång för att åstadkomma de nödvändiga villkoren för den termonukleära energins frigörande. Dessa är av stor betydelse genom att de riktar intresset mot området och visar svårigheterna. Men av lika stor betydelse är framstegen på en bred front inom magneto-hydrodynamiken och plasmafysiken och jag tror att sådana arbeten kan leda till många nya projekt. Fältet innehåller så rika möjligheter att det inte är troligt att det är de redan prövade angreppslinjerna som kommer att leda till den definitiva lösningen.

Norrskan och plasmafysik

Som ett exempel på detta skall jag diskutera en av de grundläggande principerna på området. För att få en termonukleär reaktion till

Föredrag vid konferensen om atomenergis fredliga användning den 2 september 1958 i Genève.

stånd måste en upphettad gasmassa hållas samman under en viss tid. Den första fråga, som vi måste avgöra, är om vi skall innesluta gasen först och därefter upphetta den, upphetta den först och därefter innesluta den eller upphetta och innesluta den på samma gång.

I de flesta projekten har man valt det första alternativet, i några fall det tredje, trots att det ur teknisk synpunkt kan vara av fördel att först värma gasmassan och därefter sluta in den i magnetfältet.

Det andra alternativet skulle kunna realiseras, om vi t.ex. kunde skjuta ett hett plasma in i ett magnetfält så att det fångas in av fältet. Man har sagt sig att detta är svårt, kanske omöjligt. En laddad partikel som utifrån slungas in i ett magnetfält kommer vanligen ut igen. Vidare, om vi betraktar magnetiska kraftlinjer som "infrusna" i plasmat, frestas vi att dra den slutsatsen att plasmat ej kan införas utifrån i ett magnetfält och fångas av detta. Jag tror att vi kan lära av astrofysiken att dessa slutsatser ej är hållbara. Vad som händer under magnetiska stormar och norrsken visar att ett magnetiserat plasma kan införas i ett magnetfält och kvarhållas där.

Visserligen har vi flera motsägande teorier om magnetiska stormar och norrsken, men det torde nu vara klarlagt att en magnetisk storm orsakas av ett mycket hett plasma som intränger i det jordmagnetiska fältet och kvarhålls där under en avsevärd tid. Det synes också troligt att detta plasma skjuts in i det jordmagnetiska fältet från solen där det har upphettats genom "solaktivitet" och magnetiserats av solens magnetiska fält.

Vi kan alltså ur ett studium av magnetiska stormar och norrsken sluta oss till att det i princip är möjligt att skjuta in ett upphettat, magnetiserat plasma i ett magnetfält och att kvarhålla det där. Detta torde kunna verifieras genom ett laboratorieexperiment i vilket vi efterbildar de geofysiska fenomenen. Det kan emellertid även finnas andra och enklare metoder.

Infångning av ett plasma i ett magnetfält

En apparatur för att infånga ett plasma i ett magnetfält kan i princip utföras enligt fig. 1. Mellan två cylindriska elektroder A och B alstras en magnetiserad plasmaring genom en kraftig elektrisk urladdning. Plasmat driver i axiell riktning genom påverkan av elektriska och magnetiska fält. I området NS alstras ett radiellt magnetfält mellan en magnetisk pol S inuti den inre elektroden och en ringformig pol N utanför den yttre elektroden. Om plasmaringen har tillräckligt hög ledningsförmåga och täthet, kan den föra med sig de magnetiska kraftlinjerna då den lämnar området mellan elektroderna, fig. 1 b. När ringen avlägsnar sig allt längre bryts kraftlinjerna och sluter sig kring plasmaringen, fig. 1 c. Fältet mellan polerna återgår till ursprungstillståndet och vi

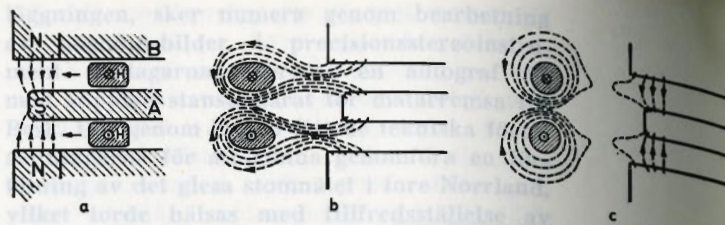


Fig. 1. Anordning för att infånga ett magnetiserat, hett plasma i ett starkt magnetfält; a det ringformiga plasmat rör sig mellan en inre och en yttre elektrod mot det radiella magnetfältet NS, b plasmat drar med sig fältet ur gapet, c fältet rycks loss och innesluter plasmat.

har åstadkommit en högt magnetiserad plasmaring.

Denna ring har ett longitudinellt magnetfält omslutet av kraftlinjer som går genom hålet i ringen. Denna struktur är olik Bostick's "plasmoider" men liknar fältkonfigurationen i Zeta-maskinen (Tekn. T. 1958 s. 213). Temperaturen i plasmat är en funktion av den termiska och den kinetiska energin i det ursprungliga plasmat samt av det radiella magnetfältets styrka. Sambanden är emellertid tämligen komplicerade.

Arbeten vid KTH

Arbeten med anknäytning till fusionsproblemet pågår i Sverige vid institutionen för fysik vid Uppsala Universitet samt vid institutionen för elektronik vid KTH i Stockholm.

De teoretiska och experimentella arbeten rörande magneto-hydrodynamik vid KTH har nu pågått i mer än tio år. Experiment har utförts i ledande vätskor, kvicksilver och flytande natrium, i starka magnetfält. Många intressanta resultat har erhållits på detta sätt, men experiment i heta plasman synes vara ett ännu mer fascinerande område. Efter en lång serie undersökningar av relativt kalla plasman har vi nu börjat studier av heta plasman och vi har då koncentrerat oss på dessas grundegenskaper. Vi försöker också systematiskt analysera nya möjliga vägar att angripa de termionukleära problemen. Bland dessa vill jag särskilt nämna ett arbete av Bo Lehnert om problemet huruvida ett plasma kan inneslutas av ett magnetiskt fält från en sluten cirkulär strömslinga.

Experiment med plasman alstrade av urladdningar på upp till några hundratal kiloampere har igångsatts. Vi undersöker här alstringen av ett magnetiserat plasma som accelererats till stora hastigheter och studerar om det kan infångas såsom beskrivits i det föregående. Dessutom täcker våra arbeten även andra magneto-hydrodynamiska problem med möjliga tillämpningar både inom astrofysik och fusionsteknik. Denna angreppslinje har vi valt emedan vi anser att man för att lösa de termionukleära problemen måste gå fram på en bred front inom såväl magneto-hydrodynamik som plasmafysik och astrofysik.