

»Institut für Plasmaphysik erhält IBM System /360 Modell 91«

Pressekonferenz am 17. April 1969 in Garching bei München

Presseinformation Nr. 2

FORSCHUNGSWERKZEUG COMPUTER

Mehrdimensionale Plasma-Dynamik, Vielteilchenmodelle, Versuchsauswertungen - Ein breites Anwendungsprogramm für das IBM System/360 Modell 91 im Institut für Plasmaphysik

Garching, 17. April 1969 - Eines der schnellsten gegenwärtig verfügbaren Datenverarbeitungssysteme, ein IBM System/360 Modell 91, ist im Institut für Plasmaphysik in Garching in Betrieb genommen worden. Der neue Computer erlaubt es den Wissenschaftlern des Instituts, theoretische und praktische Forschungsprogramme aufzunehmen, die bisher nicht realisierbar waren.

Bei der Verschmelzung von leichten Atomkernen zu schwereren werden gewaltige Energien frei. Wir wissen, dass die Wärme, die die Sonne seit Jahrmillionen in den Weltraum und damit auch auf unsere Erde strahlt, in derartigen Kernfusionsprozessen ihren Ursprung hat. Durch die Zündung der Wasserstoffbombe wurden zum ersten Mal auf der Erde auf diese Weise immense Energien freigesetzt. Gelingt es, die hierbei explosionsartig und unkontrolliert ablaufenden Prozesse zu steuern, so wird damit eine fast unerschöpfliche Energiequelle erschlossen. Denn als Brennstoff werden schwere Isotope des Wasserstoffs verwendet, die als Bestandteile des Wassers auf der Erde in ausreichendem Masse vorkommen. Das Endprodukt der Kernfusion ist das ungefährliche Edelgas Helium.

Physiker in aller Welt arbeiten seit Jahren an der Aufgabe, diese Prozesse wirtschaftlich nutzbar zu machen. Eines der grössten und bisher erfolgreichsten Forschungszentren, die sich ihr gewidmet haben, befindet sich in der Bundesrepublik, am nördlichen Stadtrand von München, zwischen den Feldern des oberbayerischen Dorfes Garching.

Das Institut für Plasmaphysik wurde im Jahre 1960 als eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung gegründet, der zwei Gesellschafter angehören: die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. und Professor Dr. Werner Heisenberg.

Als Angehörige des Instituts sind etwa tausend Personen mit wissenschaftlichen Forschungs- und Hilfsaufgaben beschäftigt. Der derzeitige Jahresetat von etwa 50 Millionen DM wird zur Hälfte vom Bund und von den Ländern gedeckt. Wissenschaftliche Arbeiten wurden zu einem Teil auch von der Europäischen Atomgemeinschaft finanziert.

Grundlagenforschung an der Kernverschmelzung

Das Institut beschäftigt sich mit der Erforschung der Grundlagen der Plasmaphysik. Sein Ziel ist es, Voraussetzungen für die Energiegewinnung durch Kernverschmelzung zu schaffen. Damit Atomkerne miteinander verschmelzen, müssen sie mit hohen Geschwindigkeiten aufeinanderstossen; Voraussetzung für die Kernfusion sind hohe Temperaturen. Kernverschmelzungsprozesse beginnen bei etwa zehn Millionen Grad. Damit sie sich selbsttätig in Gang halten, sind Temperaturen von hundert bis zweihundert Millionen Grad erforderlich.

Hier erkennt man die Schwierigkeiten des Projekts: Die Erzeugung derart hoher Temperaturen erfordert eine ausserordentlich starke Energiezufuhr. Das heisse Gas aber kann nicht in materiellen Gefässen eingefangen werden, da auch die hitzebeständigsten Stoffe bei spätestens 5 000 Grad Celsius verdampfen.

Ein Ausweg bietet sich an: Die Bahnen geladener Teilchen sind in magnetischen Feldern an die Feldlinien geheftet. Da die Atomkerne elektrisch geladen sind, ist es möglich, ihnen durch Magnetfelder ihre Bahn vorzuzeichnen.

Seit dem Beginn der Fusionsforschung geht man diesen Weg: Einschliessung der heissen Plasmen durch starke Magnetfelder.

Magnetische Käfige

Durch einen geschickt gesteuerten Aufheizungsprozess bilden die elektrischen Ströme im Plasma selbst zusammen mit den von aussen angelegten Feldern magnetische Käfige, aus denen das Plasma nicht entweichen kann. Diese Magnetfeldkonfigurationen sind teilweise so kompliziert, dass jeder Versuch versagt, sich die Felder vorzustellen, sie mit dem Rechenschieber, ja selbst, sie mit kleineren Computern zu berechnen.

Eine weitere Erschwerung der theoretischen Behandlung ergibt sich daraus, dass die räumlichen Felder auch noch zeitlich veränderlich sind. Es handelt sich um Probleme, die von den drei Raumkoordinaten und der Zeit abhängen.

Um das Verhalten des Plasmas zu verstehen, muss ein Modell theoretisch durchgerechnet werden. Die realen Prozesse sind jedoch so kompliziert, dass ein Modell immer nur eine Näherung darstellt. Die Wahl dieser Näherung hängt vom jeweiligen Problem ab. So kann man z. B. das Plasma wie eine Flüssigkeit aus geladenen Teilchen behandeln oder aber versuchen, die Bahnen der einzelnen Atomkerne im gemeinsamen Feld aller anderen geladenen Teilchen und im äusseren Feld zu berechnen. Die rechnerische Lösung dieser mathematischen Probleme kann schon bei relativ einfachen Modellen nur mit Datenverarbeitungsanlagen durchgeführt werden. Bei verfeinerten Modellen mit weniger groben Näherungen wird der Computer zur notwendigen Voraussetzung. Je tiefer das Verständnis für die Prozesse im Plasma werden soll, umso feiner müssen die Modelle werden, umso komplizierter werden die mathematischen Anforderungen und umso leistungsfähiger muss der Computer sein.

Computer:
verfeinertes
Modell

Bei der Entwicklung der Experimente ergab sich ebenfalls eine Steigerung des Kompliziertheitsgrades. War es vor Jahren noch das Ziel der Theta-Pinch-Versuche, mit vertretbarem Aufwand möglichst hohe Temperaturen zu erzeugen, so hat sich heute die Schwierigkeit auf Einschliessungsfragen verlagert: Im linearen (zylinderförmigen) Theta-Pinch wurden Temperaturen von ca. 80 Millionen Grad erzeugt, die schon nahe den für Fusionsreaktoren erforderlichen Temperaturen liegen. Da jedoch aus dem linearen Gefäss das Plasma an den Enden entlang der Magnetfeldlinien ausfliessen und verlorengehen kann, wird der Übergang zu toroidalen, d. h. ringförmig in sich geschlossenen Gefässen nötig. Die Magnetfeldkonfigurationen werden damit um viele Grade komplizierter. Der höhere Schwierigkeitsgrad der theoretischen Probleme ist offenbar: Im linearen Theta-Pinch ist im Modell eine Näherung aufgrund der Rotationssymmetrie um die Achse berechtigt. Das Problem lässt sich also zweidimensional behandeln.

Beim Übergang zum toroidalen Theta-Pinch entfällt diese Symmetrie und die mathematische Behandlung wird dementsprechend schwieriger. Erschwerend für die Theorie sind auch die für den toroidalen Einschluss benötigten stabilisierenden Zusatzfelder zum toroidalen Hauptfeld. Die Parallele zwischen der Entwicklung zu leistungsfähigeren Maschinen und den erhöhten Anforderungen an die Hilfsmittel der Theorie sind offensichtlich. Es zeigt sich hier, dass das "Forschungswerkzeug Computer" leistungsfähiger werden muss, genau wie die das Experiment steuernde Elektronik oder die Energieversorgung. Mit anderen Worten: Der Computer erweist sich als Werkzeug, von dem die weitere Bearbeitung wesentlicher experimenteller Probleme entscheidend abhängen kann. Die Grösse der Rechenkapazität kann in bestimmten Fällen zugleich eine Grenze für den mit vernünftigen wirtschaftlichen Mitteln und unter sinnvollen organisatorischen Verhältnissen erreichbaren wissenschaftlichen Fortschritt sein.

Das Institut für Plasmaphysik in Garching hat zu Beginn des Jahres 1969 die gegenwärtig grösste Rechanlage in Deutschland erhalten, ein Modell 91 des IBM Systems/360, mit dem die beschriebenen Probleme angepackt werden können. Durch eine mehrfach aufgestockte Speicherhierarchie, durch Überlappung beim Hauptspeicherzugriff und bei der Instruktionsausführung erreicht diese Anlage bisher nicht verfügbare Rechengeschwindigkeiten. Die Rechengeschwindigkeit ist dreissig bis fünfzig Mal, für besonders umfangreiche Matrix-Operationen der beschriebenen Art bis zu hundertzwanzig Mal grösser als die der bisher verwendeten Anlagen. Für die Betrachtung der dynamischen Plasma-Probleme bedeutet dies eine Erweiterung der rechnerischen Behandlungsmöglichkeiten um mindestens eine Grössenordnung.

Mikro-
instabilitäten

Selbst die mehrdimensionale Betrachtung der magneto-hydrodynamischen Abläufe in magnetisch komprimierten Hochtemperaturplasmen muss jedoch noch nicht zu einem ausreichenden Verständnis und zur Beherrschung der Prozesse führen. Auch bei diesen mehrdimensionalen Untersuchungen wird das Plasma den Differentialgleichungen der Dynamik entsprechend als Kontinuum betrachtet. Das heisst, man rechnet in Wahrheit nicht

mit den echten Werten für Ort und Geschwindigkeit der betroffenen Teilchen, sondern man setzt Mittelwerte und eine gleiche statistische Verteilung voraus. Diese Betrachtungsweise hat sich bei den makroskopischen Erscheinungen, mit denen wir normalerweise zu tun haben, bewährt. Sie muss jedoch keineswegs in dem Mikrobereich, in dem wir uns bei der Betrachtung der ionisierten Atome befinden, gültige Ergebnisse bringen. Es kann neben den magneto-hydrodynamisch erfassbaren Makroinstabilitäten durchaus auch Mikroinstabilitäten geben, die mit den Mitteln der Magnetohydrodynamik weder zu erkennen noch zu erklären sind: Bei einer annähernd zuverlässigen, wenn auch äusserst langwierigen und schwierigen Berechnung der für eine dynamische Situation gültigen Mittelwerte können sich einzelne Teilchen oder Gruppen von Teilchen trotzdem anders als vorausberechnet verhalten: Sie durchbrechen die Einschliessung, obwohl sie es eigentlich nicht "dürften". Sie "verschwinden" - niemand weiss, warum und wohin. Man weiss nur eines: Diese Anomalität ist normal. Denn bei einem statistischen Mittelwert für die Geschwindigkeit der Teilchen gibt es sowohl Teilchen, die eine geringere als auch solche, die eine höhere Geschwindigkeit haben. Wenn die Stärke des Magnetfeldes an einem bestimmten Punkt aber ausreicht, Teilchen mit der mittleren Geschwindigkeit am Austritt zu hindern, so ist verständlich, dass andere Teilchen mit einer höheren als der mittleren Geschwindigkeit die Einschliessung durchbrechen - obwohl dies bei der angenommenen Gleichverteilung als unmöglich erscheint.

Das Problem verlangt offensichtlich die Einführung der Verteilungsfunktion als zusätzliche Variable und im strengen Sinne sogar die Betrachtung der Wechselwirkung der Einzelteilchen untereinander.

Plasma
als
"Sternhaufen"

Mit diesem Problem der "Einzelteilchen-Modelle" beschäftigt man sich in Garching. Es gibt hier eine Parallelität zur astronomischen Betrachtungsweise der "Sternhaufen". In der Plasmaphysik kann die Wechselwirkung von Teilchen in Analogie zur Wirkung der Himmelskörper aufeinander betrachtet werden. Dabei sind bei einer dreidimensionalen Betrachtung von nur hundert Teilchen bereits zehntausend Verknüpfungen für jeden

Zeitschritt zu berechnen. Da viele Zeitschritte berechnet werden müssen, wird schon bei einer verhältnismässig kleinen Zahl von beteiligten Teilchen der Rechenaufwand sehr gross. Man darf andererseits jedoch nicht beliebig wenig Teilchen annehmen, da jede Begrenzung der Teilchenzahl unvermeidlich verfälschend wirkt: In der Realität wirken so viele Teilchen aufeinander ein, dass der Effekt nahezu einer unendlichen Anzahl entspricht. Bei jeder kleineren Auswahl treten dagegen Randprobleme auf.

Ein "Nachrechnen" der Wechselwirkungen in einem realen Teilchenensemble ist auch mit den schnellsten Computern unmöglich. Immerhin erlaubt die Vervielfachung der Rechenkapazität auch hier eine Verfeinerung. Von wesentlicher Bedeutung aber ist sie insbesondere für eine "Kompromisslösung" zwischen der einseitig makroskopischen dynamischen Betrachtung und dem Einzelteilchen-Modell: Wenn man die Voraussetzung fallen lässt, dass die dynamischen Kenngrössen wie Dichte, Temperatur, Geschwindigkeit innerhalb des Plasmas gleich verteilt sind und ihre Verteilung als veränderlich betrachtet wird, erhält man Werte für die Grösse und den Anteil der Abweichungen. Damit wird allerdings zusätzlich zu den zwei- oder dreidimensionalen Rechnungen für die statistischen Mittelwerte die Geschwindigkeitsverteilung als Variable eingeführt, was für die Rechnung ebenso wirkt, als würde man weitere Dimensionen einführen. Der Rechenaufwand wächst stark an. Für die Genauigkeit und damit die Brauchbarkeit des Modells jedoch bringt dies entscheidende Vorteile.