MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

8046 GARCHING B. MÜNCHEN

PRESSEINFORMATION

PI 4/89

10. Oktober 1989

TEST AUF REAKTORTAUGLICHKEIT

Das Fusionsexperiment ASDEX Upgrade wird aufgebaut / Betriebsbeginn 1990

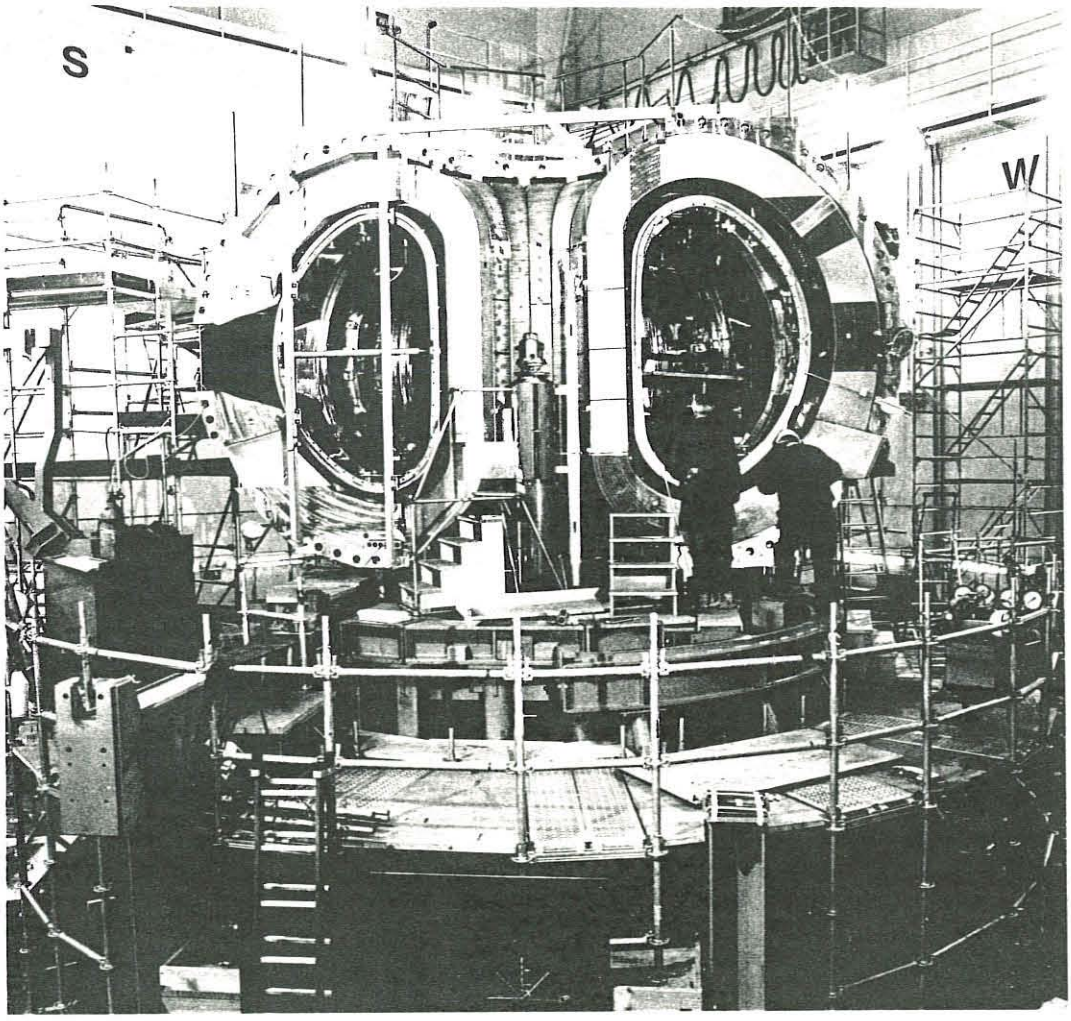

Abb. 1: Blick in das Innere des Fusionsexperimentes ASDEX Upgrade während des Aufbaues: Die erste Torushälfte, bestehend aus dem ringförmigen Plasmagefäß, das von Magnetspulen und deren Abstützung umgeben ist, wurde im Mai 1988 fertiggestellt.

Gegenwärtig wird ein neues Fusionsexperiment im Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Garching bei München aufgebaut. ASDEX Upgrade wird nach der Fertigstellung die größte Fusionsanlage in der Bundesrepublik sein und soll Kernfragen der Fusionsforschung

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK · D-8046 Garching b. München · Boltzmannstraße 2

Telefon 089/3299-317 · Telegramm Plasma München · Telex München 5215808 · Teletex 898586 = IPP · Fax (089) 3299-9200

Bei Abdruck wird um Übersendung eines Belegs erbeten

unter reaktorähnlichen Bedingungen untersuchen. An der Herstellung der Hauptkomponenten des Experimentes waren etwa 25 in- und ausländische Industriebetriebe beteiligt, insgesamt trugen mehrere hundert Firmen zu Herstellung und Aufbau von ASDEX Upgrade bei. Das Experiment, dessen Zusammenbau 1988 nach der Lieferung der ersten Bauteile begonnen hat, soll 1990 in Betrieb gehen.

Ziel der Fusionsforschung ist die Entwicklung eines Fusionsreaktors, der Energie aus der Verschmelzung von Atomkernen gewinnen soll. Brennstoff der Fusion ist ein sehr dünnes ionisiertes Gas - ein sogenanntes "Plasma" - aus den beiden Wasserstoffsorten Deuterium und Tritium. Zum Zünden des Fusionsfeuers wird das Plasma in ringförmigen Magnetfeldern eingeschlossen und auf hohe Temperaturen aufgeheizt. Oberhalb von 100 Millionen Grad beginnt das Plasma zu brennen, d.h. die Wasserstoffkerne verschmelzen miteinander zu Helium, wobei nutzbare Energie freigesetzt wird.

Aufgabe

Nachdem es im Verlauf der Fusionsforschung gelungen ist, genügend dichte Plasmen stabil einzuschließen und auf die nötigen Zündtemperaturen aufzuheizen, hat sich die Wechselwirkung des heißen Plasmas mit den umgebenden Wänden zu einem der zentralen Untersuchungsgebiete entwickelt: Obwohl der heiße Plasmaring im Inneren des Vakuumgefäßes von magnetischen Kräften in Schwebe gehalten wird, gerät das Plasma an seiner äußeren Begrenzung dennoch in Kontakt mit den umgebenden Wänden. Unter ungünstigen Umständen kann dies zur Folge haben, daß unerwünschte Verunreinigungen von der Wand abgeschlagen werden und in das Plasma eindringen, daß die Wand beschädigt und keine zur Zündung ausreichende Wärmeisolierung des Hauptplasmas erreicht wird.

Einen entscheidenden Beitrag zur Lösung dieser Probleme brachte das IPP-Experiment ASDEX (Axialsymmetrisches Divertor-Experiment). Während man in früheren Experimenten den Plasmaschlauch nach außen durch materielle Blenden begrenzte, geschieht dies bei ASDEX weitgehend berührungsfrei: Hier wird die gesamte äußere Randschicht des Plasmas auf magnetische Weise in separate Nebenkammern abgelenkt ("divertiert"). Die Plasmateilchen treffen daher erst abgekühlt und weit vom heißen Zentrum entfernt auf eine materielle Wand auf, wo sie abgepumpt werden können. Auf diese Weise können auch die störenden Verunreinigungen - in einem brennenden Plasma auch die "Fusionsasche" Helium - aus dem Plasma entfernt werden. Zugleich wird die Wand des Plasmagefäßes geschont und außerdem eine gute Wärmeisolation des Brennstoffes erreicht.

Die Ergebnisse des ASDEX-Experimentes waren so bedeutend, daß gegenwärtig das europäische Gemeinschaftsexperiment JET (Joint European Torus) im englischen Culham nach diesem Vorbild auf Divertorbetrieb umgerüstet wird. Auch ein zukünftiger Reaktor wird mit Divertor arbeiten. Als reines Physikexperiment hatte ASDEX seine Erfolge jedoch mit einer Divertorkonstruktion erreicht, die weder technisch unmittelbar reaktortauglich war, noch der Einwirkung eines

wirklich heißen und dichten Reaktorplasmas standhalten mußte. Der Nachfolger ASDEX Upgrade soll diese Lücke schließen und einen Divertor sowohl physikalisch als auch technisch unter Reaktorbedingungen untersuchen. Damit erarbeitet das Experiment wesentliche Kenntnisse für das nächste im europäischen Fusionsprogramm geplante Großexperiment, das erstmals ein gezündetes Plasma realisieren soll.

Planung

ASDEX Upgrade kann zum Erreichen seiner wissenschaftlichen Ziele auf ein brennendes Plasma und volle Reaktorgröße noch verzichten. Um die Wechselwirkung zwischen Plasma und Wand unter reaktorähnlichen Bedingungen zu studieren, ist es physikalisch ausreichend, allein die Plasmarandschicht, d.h. die äußeren 10 Zentimeter eines Reaktorplasmas zu reproduzieren. Insbesondere strebt ASDEX Upgrade reaktorgleiche Werte für die Plasmadichte an - $1{,}6 \cdot 10^{14}$ Teilchen pro Kubikzentimeter, eine Viertel Million mal dünner als die uns umgebende Luft - sowie Temperaturen bis zu 25 Millionen Grad. Um wie im Reaktor eine Wandbelastung von

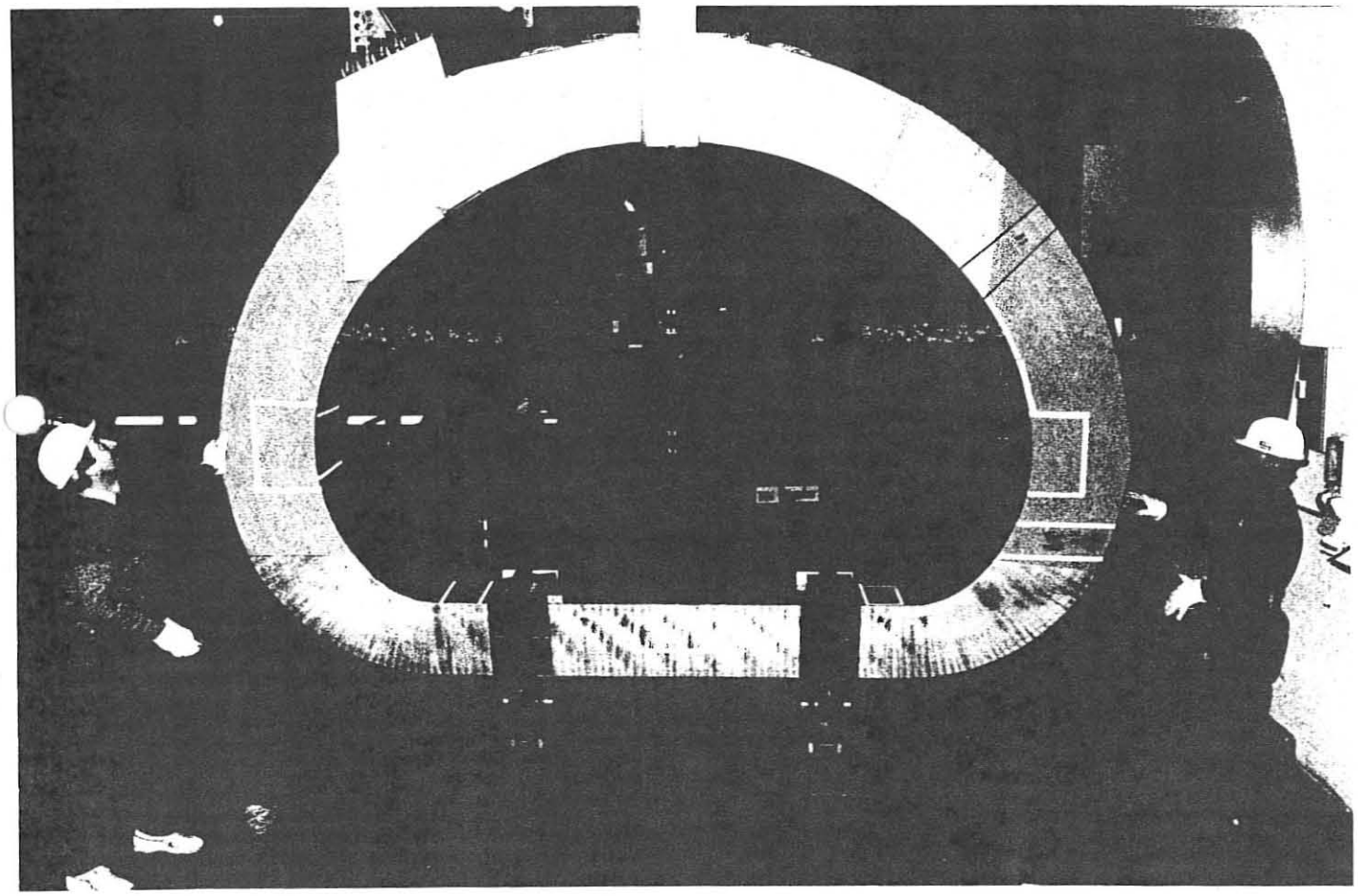

Abb. 2: Eine der 16 Magnetspulen des Fusionsexperimentes ASDEX Upgrade, mit denen der Magnetfeldkäfig zum Einschluß des heißen Plasmas erzeugt wird.

30 Watt pro Quadratzentimeter zu erreichen, ist eine Heizleistung von 12 bis 15 Megawatt vorgesehen, die bis zu 7 Sekunden lang bereitgestellt wird.

Die Bedingungen an die Plasmaeigenschaften legen - zusammen mit der Forderung nach einem technisch reaktortauglichen Divertor - dann auch die äußeren Dimensionen der Apparatur fest: Das Untersuchungsobjekt, der Plasmaring, wird einen Radius von 1,70 Meter und ein Volumen von 13 Kubikmetern besitzen. Das einschließende Magnetfeld wird im wesentlichen von 16 großen Magnetspulen erzeugt, die auf das ringförmige Plasmagefäß aufgefädelt sind. Zusammen mit den 17 Zusatzspulen für den Divertor, die Heizung, Form- und Lageregelung des Plasmas sowie den Abstützungen für die Magnetspulen erreicht das insgesamt 9 Meter hohe Experiment ein Gewicht von 700 Tonnen.

Obwohl ASDEX Upgrade beim Experimentieren auf den Einsatz des radioaktiven Fusionsbrennstoffs Tritium verzichten wird, sind die Plasmawerte schon so fortgeschritten, daß auch in dem Modellplasma aus normalem Wasserstoff und Deuterium bereits Verschmelzungsreaktionen ablaufen. Zum Abschirmen der dabei entstehenden Fusionsneutronen wurde das Experiment daher in einer Halle mit 2 Meter dicken Wänden und einer 1,80 Meter dicken Decke aufgebaut. Mit insgesamt 8000 Kubikmetern vergossenem Beton kann sie eine jährliche Menge von 10^{19} Neutronen sicher auffangen. Die Aktivierung der Apparaturen bleibt dabei so gering, daß das Experiment - außerhalb der Betriebszeiten - jederzeit zugänglich ist.

Geplant und entworfen wurde ASDEX Upgrade ab 1981 von einem Team von ca. 23 Ingenieuren und Physikern. 1983 wurden die ersten Industrieaufträge zur Fertigung der Hauptkomponenten - Plasmagefäß, Magnetspulen und ihre Abstützungen - vergeben. Da die Arbeiten des IPP in das europäische Fusionsprogramm integriert sind, wurden die Investitionskosten von ca. 200 Mio DM zusammen mit der europäischen Forschungsbehörde EURATOM getragen. Auch die Aufträge wurden europaweit ausgeschrieben. An der Herstellung der Großkomponenten des Experimentes waren etwa 25 Firmen aus der Bundesrepublik Deutschland, Italien, Frankreich und der Schweiz beteiligt. Zusammen mit kleineren Aufträgen, die eher regional vergeben wurden, tragen bis zum Betriebsbeginn mehrere hundert Firmen aller industriellen Sparten zu Herstellung und Aufbau von ASDEX Upgrade bei.

Fertigung und Zusammenbau

Da die Bauteile genau auf den einmaligen wissenschaftlichen Zweck des Experimentes zugeschnitten sind, sind wesentliche Teile der Maschine Sonderanfertigungen mit entsprechend hohen Anforderungen an Innovationsbereitschaft und Leistungsfähigkeit der Lieferfirmen. Dabei hat man die Möglichkeiten moderner Materialien optimal genutzt und nicht selten bekannte Techniken ungewohnt kombiniert. Zum Beispiel war die Herstellung der jeweils 10 Tonnen schweren

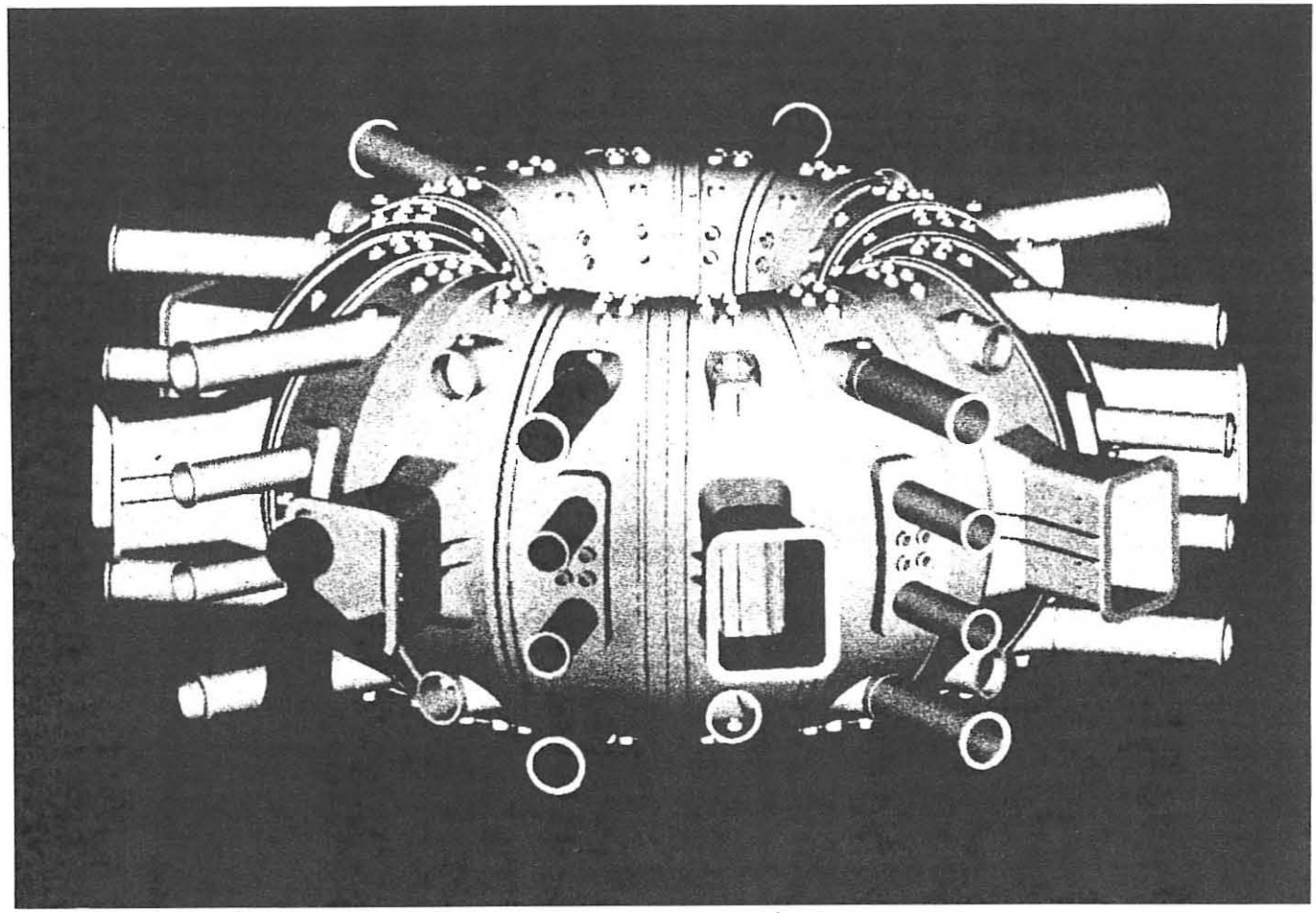

Abb. 3: Computerdarstellung des Plasmagefäßes von ASDEX Upgrade, das mit zahlreichen Stutzen zum Anschluß von Pumpen, Heizungen und Meßgeräten versehen ist.

Hauptfeldspulen zunächst eine Aufgabe für den normalen Schwermaschinenbau: Die 2,5 Meter hohen Magnetspulen bestehen aus massiven handbreiten Kupferbalken, die in 24 Einzelwindungen pro Spule zunächst exakt in die gewünschte D-Form der Spulen vorgebogen, dann zusammengesetzt und verlötet wurden. Da jede Windung jeweils mit Glasfaserbändern isoliert und die Spule anschließend mit Kunstharz vergossen wird, müssen alle Arbeitsgänge jedoch in einem Reinraum vonstatten gehen - für Schwermaschinenbauer eine ungewöhnliche Arbeitsbedingung.

Das Vergießen mit Kunstharz gibt den Windungen ihre Verbindung untereinander und der Spule die nötige mechanische Festigkeit. Während des Experimentierens müssen die Spulen nämlich großen Beanspruchungen gewachsen sein. Zum Beispiel wird jede der 16 Spulen, die in Form eines 16-strahligen Sternes auf das ringförmige Plasmagefäß aufgefädelt sind, mit Magnetkräften bis zu 1600 Tonnen in das Zentrum drücken. Aufgefangen werden diese Kräfte von dem Gesamtverband der Spulen selbst, die mit ihren Innenschenkeln in der Mitte des Experimentes

aneinanderstoßen und sich hier wie ein Gewölbe gegeneinander abstützen. Da man so den Platz für eine zentrale Stützsäule spart, kann das Experiment sehr kompakt und deshalb erheblich kostengünstiger gebaut werden.

Nach Fertigstellung der europaweit gefertigten Einzelkomponenten begann die Montage von ASDEX Upgrade im Mai 1988. Der Torus wird in acht Teilstücken - bestehend aus einem Achtel des Vakuumgefäßes, zwei Magnetspulen und äußerer Stützschale - vormontiert, die anschließend verbunden werden. Die optimale Raumausnutzung der kompakten Anlage verlangt von den Monteuren äußerst behutsame Handhabung der großen und schweren Bauteile, die auf engem Raum mit hoher Genauigkeit zusammengefügt werden müssen. Mit einem Gewicht von 10 Tonnen am Kranhaken wird zu Beispiel das Auffädeln der Magnetspulen auf das mit Pump- und Meßstutzen gespickte Vakuumgefäß eine heikle Millimeterarbeit. Um sicherzustellen, daß sich die vielen, komplex geformten Einzelteile am Ende nahtlos ineinanderfügen, ging dem Zusammenbau eine ausgefeilte Montageplanung voraus. So wurden in maßstäblichen Holz- und Metallmodellen Einzelheiten der Montage vorab durchgespielt. Im August 1989 war der Torus fertig aufgebaut. Er wird nun von Zusatzspulen und ihren Abstützungen umgeben, die ersten Heizapparaturen und Meßgeräte werden aufgestellt und Pumpen und Versorgungsleitungen angeschlossen. Auch die Lage der zahlreichen Kühlwasserrohre und Stromanschlüsse wurde in eigenen Modellen getestet. Insgesamt werden etwa 100 Kilometer Kabel verlegt, die - in rund 2000 Meßkabel zerteilt - während einer Plasmaentladung etwa 20 Megabyte an Meßdaten von den 35 Meßgeräten an das Rechenzentrum zur Auswertung weiterleiten. Nachdem ASDEX Upgrade von den Ingenieuren und Monteuren in die Hände der Physiker übergeben worden ist, werden die ersten Plasmadaten Mitte 1990 erwartet.

Isabella Milch

Anmerkung der Redaktion:
Dieser Text steht Ihnen zur beliebigen Auswertung auch ohne Namensnennung zur Verfügung. Reproduktionsfähige Abzüge der Fotos erhalten Sie (auch in Farbe) unter Tel.Nr.(089) 3299-288.